

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи



ПЕТРОВ Вячеслав Сергеевич

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

2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
ЗАХАРОВ Николай Степанович

Тюмень 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	12
1.1. Проблемы, связанные с обеспечением сцепных свойств шин в зимний период.....	12
1.2. Особенности зимних шин по сравнению с летними	14
1.3. Анализ технологии изготовления и эксплуатационных характеристик шипованных шин	19
1.4. Нагрузки, действующие на шип во время движения	23
1.5. Взаимодействие шипов с дорожным покрытием	28
1.6. Особенности производства шипов противоскольжения	34
1.7. Анализ характеристик сцепления шипованных шин на обледенелых поверхностях	39
1.8. Износстойкость шипов противоскольжения.....	42
1.9. Анализ моделей изнашивания шипов.....	47
1.10. Анализ нормативной базы и стандартов в области эксплуатации зимних шин.....	51
1.11. Анализ методик диагностирования технического состояния шин...	55
1.12. Автоматизация диагностики технического состояния шипованных шин	59
1.13. Выводы. Задачи исследований	62
2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	65
2.1. Общая методика исследований	65
2.2. Обоснование цели исследований. Формирование целевой функции	68
2.3. Отбор факторов, влияющих на сцепные свойства зимних шин	73
2.4. Идентификация изучаемой системы.....	74
2.5. Модель влияния остаточной степени ошиповки шин на время разгона автомобиля.....	79
2.6. Модель зависимости тормозного пути от степени остаточной ошиповки шин.....	82
2.7. Модель влияния коэффициента сцепления на тормозной путь автомобиля.....	84
2.8. Модель зависимости времени разгона автомобиля от коэффициента сцепления шин с дорогой.....	86

2.9. Многофакторная модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на тормозной путь автомобиля	88
2.10. Многофакторная модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля	92
2.11. Выводы по разделу 2	95
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	96
3.1. Цель и задачи экспериментальных исследований.....	96
3.2. План эксперимента	97
3.3. Обоснование выбора автомобиля для проведения исследований	103
3.4. Результаты экспериментальных исследований	108
3.5. Определение численных значений параметров многофакторных математических моделей.....	131
3.6. Техническое задание на разработку MVP системы автоматизированной диагностики шипованных шин	135
3.7. Проектирование аппаратного решения для автоматического подсчёта шипов на автомобильной шипованнойшине	138
3.8. Изготовление элементов стенда и сборка	143
3.9. Проектирование программного обеспечения автоматизированной системы подсчёта шипов.....	145
3.10. Диаграмма состояний	150
3.11. Диаграмма классов	155
3.12. Описание программы	158
3.13. Руководство пользователя	162
3.14. Испытания устройства для автоматического подсчёта шипов	166
3.15. Выводы по разделу 3	170
4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	172
4.1. Методика оценки и контроля технического состояния шипованных шин	172
4.2. Практическое применение методики.....	181
4.3. Экономическая эффективность дошиповки шин	183
4.4. Визуализация затрат на ремонт.....	190
4.5. Методология исследования зависимости стоимости шин от геометрических параметров.....	191

4.6. Практическая значимость и перспективы дальнейших исследований	195
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	199
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	201
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	220
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	221
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	225
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	228

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Безопасность эксплуатации транспортных средств в зимний период во многом определяются состоянием шин, от которых зависит сцепление автомобиля с дорожным покрытием, управляемость и устойчивость при движении. В условиях отрицательных температур, обледенения и снежного покрова основную роль в обеспечении сцепных свойств играют шипованные шины, эксплуатационные характеристики которых напрямую зависят от количества и состояния шипов противоскольжения, состояния протектора. В процессе эксплуатации происходит постепенная потеря и разрушение шипов, что снижает эффективность их работы и приводит к уменьшению коэффициента сцепления с дорожным покрытием. Это, в свою очередь, увеличивает тормозной путь, снижает устойчивость автомобиля на поворотах и значительно повышает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. Таким образом, контроль технического состояния шипованных шин и прогнозирование их остаточного ресурса являются необходимыми условиями обеспечения безопасности дорожного движения в зимний период.

Современные методы контроля состояния шипованных шин, применяемые как на автотранспортных предприятиях, так и в частной практике, преимущественно основаны на визуальной или ручной оценке степени износа протектора и количества оставшихся шипов. Такие подходы носят субъективный характер и не позволяют обеспечить достоверную количественную оценку остаточного ресурса, поскольку не учитывают динамику изменения сцепных свойств шины в зависимости от степени износа, погодных условий и характера дорожного покрытия. Отсутствие единой стандартизированной методики комплексной оценки эксплуатационного состояния шипованных шин приводит к затруднениям при определении момента, когда использование шины становится небезопасным. В результате шины нередко эксплуатируются за пределом рационального ресурса или,

напротив, выводятся из эксплуатации преждевременно, что снижает экономическую эффективность их использования и может привести к росту аварийности вследствие непредсказуемого изменения сцепных свойств в процессе движения.

В связи с этим актуальной является разработка методики, позволяющей повысить объективность оценки работоспособности, контролировать состояние и прогнозировать эксплуатационные свойства шипованных автомобильных шин в зависимости от условий эксплуатации, параметров дорожного покрытия и конструктивных особенностей 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 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.

Области исследований (из паспорта специальности 2.9.5.): «... 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. ... 19. Требования и особенности организации технического обслуживания и ремонта автомобилей в особых производственных природно-климатических условиях. ...».

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации автомобилей путём разработки методики оценки и контроля технического состояния шипованных шин с учётом остаточной степени ошиповки.

Задачи исследования:

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 теоретические и методические 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. Теоретическая значимость исследования заключается в установлении закономерностей изменения сцепных свойств шипованных шин в зависимости от степени остаточной ошиповки и характеристик дорожного покрытия, а также в разработке математических моделей, описывающих влияние этих факторов на динамические показатели автомобиля (время разгона и тормозной путь). Полученные математические модели 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 состояниями 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 зависимость динамических показателей автомобиля от типа дорожного покрытия и степени ошиповки. Адекватность моделей подтверждена статистическими критериями достоверности, 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.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав (содержат 34 таблицы и 71 иллюстрацию), заключения, списка использованных источников (содержит 116 источников) и трёх приложений. В первой главе проведён анализ состояния вопроса, рассмотрены конструктивные, технологические и эксплуатационные особенности шипованных шин, а также проанализирована нормативная база и существующие методы диагностики. Во второй главе выполнены аналитические исследования и разработаны математические модели влияния

остаточной ошиповки на динамические характеристики автомобиля. Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований, описание проектирования и испытаний устройства для автоматического подсчёта шипов. В четвёртой главе приведено обоснование практической значимости полученных результатов и оценена экономическая эффективность применения разработанной методики.

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».

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1. Проблемы, связанные с обеспечением сцепных свойств шин в зимний период

Зимняя эксплуатация автомобилей сопровождается рядом особенностей, связанных с изменением дорожных условий. Так, в холодное время года дорожные покрытия покрываются снегом, наледью или ледяной коркой, что резко снижает коэффициент сцепления шин с дорогой [45, 74, 63, 12], и приводит к увеличению тормозного пути, ухудшению управляемости автомобиля и снижению его устойчивости на поворотах и при торможении [20, 115]. Таким образом, сцепные свойства шин являются одним из ключевых факторов, определяющих безопасность дорожного движения в зимний период.

В работах Федотова А.И. [106] были детально исследованы процессы взаимодействия эластичных шин с опорной поверхностью дороги в различных состояниях. Особое внимание в его исследованиях уделялось оценке сопротивления качению и динамическим характеристикам шин при испытаниях на стенде с беговыми барабанами, что позволило значительно продвинуться в понимании влияния сезонных факторов на безопасность движения. Балакина Е.В. [69] внесла существенный вклад в изучение влияния элементов шасси и параметров эластичных колёс на взаимодействие с опорной поверхностью. Её исследования позволили глубже понять механизмы формирования коэффициента сцепления и устойчивости транспортных средств в режиме торможения, что имеет первостепенное значение для повышения безопасности движения в зимних условиях. Захаров Н.С. [40] провёл исследования влияния сезонных условий на коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием и интенсивность их изнашивания. Его работы позволили установить закономерности изменения эксплуатационных характеристик шин в зависимости от погодных условий и типа дорожного покрытия.

Согласно данным статистики, значительная часть дорожно-

транспортных происшествий в зимний период связана именно с потерей сцепления колёс с дорожным покрытием, особенно на гололёде и укатанном снегу [39]. Применение зимних шин, оснащённых противоскользящими шипами, позволяет существенно повысить коэффициент сцепления, особенно на покрытиях с низким коэффициентом сцепления. Однако эффективность таких шин со временем снижается из-за износа протектора и выпадения шипов [55].

Одним из важнейших факторов, влияющих на сцепные свойства, является тип дорожного покрытия. В зимних условиях можно выделить несколько характерных типов покрытий [74, 33, 29, 31, 30, 44]:

- сухой или мокрый асфальт, обеспечивающий наибольший коэффициент сцепления;
- укатанный снег, при котором коэффициент сцепления снижается в 1,5–2 раза;
- рыхлый снег, значительно ухудшающий сцепление;
- лёд, на котором коэффициент сцепления минимален.

Другим ключевым фактором является степень ошиповки шин n , определяющая количество сохранившихся шипов относительно их номинального числа, заданного производителем [54]. В процессе эксплуатации шипы постепенно выпадают, изнашиваются и шины теряют свои сцепные свойства. Это приводит к снижению коэффициента сцепления и, как следствие:

- увеличению тормозного пути;
- ухудшению разгонной динамики;
- снижению курсовой устойчивости транспортного средства.

Характер износа и выпадения шипов зависит от многих условий [107]:

- интенсивности эксплуатации автомобиля;
- типа дорожного покрытия;
- нагрузки на ось и конкретное колесо;
- конструктивных особенностей шины;

- качества установки и материала шипов;
- соблюдения режима давления в шинах.

В настоящее время контроль остаточной ошиповки шин в большинстве случаев осуществляется визуально или посредством точечных измерений в условиях технического обслуживания [34]. Такие методы не позволяют получить объективную и оперативную информацию о фактическом состоянии всех шин одного автомобиля или парка транспортных средств. В результате шины могут использоваться сверх допустимого износа, что резко повышает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий и увеличивает эксплуатационные затраты, включая [19, 16]:

- затраты на восстановление или преждевременную замену шин;
- убытки, связанные с дорожно-транспортными происшествиями;
- косвенные потери, вызванные простоем техники и снижением эффективности транспортных операций.

Таким образом, проблема отсутствия научно обоснованной методики оценки работоспособности, контроля и прогнозирования эксплуатационных свойств шипованных автомобильных шин является актуальной как с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения [18], так и в аспекте экономической эффективности эксплуатации транспортных средств [59, 23].

В связи с этим возникает необходимость разработки математической модели, позволяющей количественно оценивать влияние остаточной ошиповки на ключевые динамические показатели автомобиля – тормозной путь и время разгона. Это создаст основу для формирования научно обоснованных критериев своевременной замены или восстановления шин, а также для оптимизации затрат автотранспортных предприятий.

1.2. Особенности зимних шин по сравнению с летними

Зимние шины играют ключевую роль в обеспечении безопасности дорожного движения в холодное время года, когда состояние дорожного покрытия значительно отличается от летнего периода. Основная функция

таких шин заключается в обеспечении устойчивого сцепления с дорожной поверхностью при отрицательных температурах, а также на снегу и льду. Эффективность работы зимних шин напрямую зависит от состава резиновой смеси, конструкции протектора и дополнительных элементов, таких как шипы противоскольжения и ламели.

Функциональность зимних шин определяется применением эластомерных композиций с низкой температурой стеклования и высокой эластичностью при отрицательных температурах. Это позволяет поддерживать оптимальный уровень адгезии на заснеженных и обледенелых покрытиях. Влияние низких температур на эксплуатационные свойства шин и их приспособленность к зимним условиям эксплуатации рассмотрены в работах Лямзина А. М. [63].

В состав резиновой смеси входят натуральный и синтетический каучук, сажа, диоксид кремния, а также высокомолекулярные полимеры. Соотношение этих компонентов определяет баланс между сцеплением, износостойкостью и долговечностью шины [26, 26]. Модификация наполнителей и полимерной матрицы даёт возможность регулировать реологические свойства, обеспечивая оптимальное сочетание эластичности и жёсткости в различных условиях эксплуатации. Современные исследования направлены на разработку инновационных резиновых композиций с улучшенными эксплуатационными характеристиками, включая стойкость к износу и эффективное сцепление при низких температурах [77, 21].

Одной из основных проблем зимней эксплуатации автомобилей является образование тонкой водяной плёнки на поверхности льда во время торможения. Блокировка колеса вызывает локальное повышение температуры, что приводит к таянию льда и снижению коэффициента сцепления [53, 64]. Для решения этой проблемы производители применяют различные технологические решения, среди которых широкое распространение получили ламели – зигзагообразные прорези на протекторе, расположенные перпендикулярно направлению движения. Взаимодействие

шин с дорожным покрытием рассматривал Масленников В.Г. [66]

Во время движения автомобиля ламели раскрываются, эффективно отводя воду и снежную кашу из зоны контакта колеса с дорогой, повышая сцепные свойства и сокращая тормозной путь. Общий вид зимней шины с ламелями представлен на рисунке 1.1.

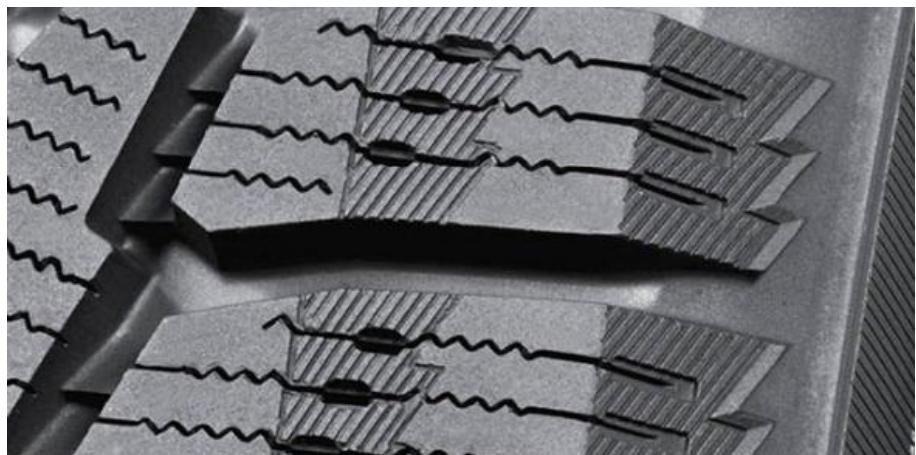


Рисунок 1.1 – Общий вид зимней шины с ламелями [57].

Альтернативным решением для улучшения сцепления является применение двухслойного протектора [73]. В этом случае под основным слоем располагается тонкий слой пористой резины. Такая структура, подобно губке, впитывает воду, образующуюся при торможении, а также мелкие частицы дорожного мусора, предотвращая формирование скользкой плёнки в зоне контакта. Благодаря высокой капиллярности пористая резина способствует быстрому отводу влаги, что позволяет значительно повысить коэффициент сцепления и сократить тормозной путь на льду. При этом выбор состава и структуры пористого слоя является критически важным, поскольку необходимо обеспечить баланс между водоотведением, износостойкостью и устойчивостью шины к высоким нагрузкам.

Несмотря на внешнюю схожесть, зимние и летние шины принципиально отличаются по своим эксплуатационным характеристикам. Эти различия связаны как с особенностями климатических условий, так и с различными задачами, которые они решают.

Летние шины проектируются для эксплуатации при положительных температурах и рассчитаны на движение по сухому и мокрому асфальту. Они отличаются более жёсткой резиновой смесью, что позволяет снизить сопротивление качению, обеспечить чёткую управляемость на высоких скоростях и уменьшить износ протектора. В таких шинах применяются конструкции протектора, оптимизированные для эффективного отвода воды и снижения риска аквапланирования. Однако при понижении температуры ниже $+5^{\circ}\text{C}$ жёсткость резины резко возрастает, что приводит к ухудшению сцепных свойств, увеличению тормозного пути и потере устойчивости автомобиля [87].

Зимние шины, напротив, изначально разрабатываются для эксплуатации при отрицательных температурах. Мягкая резиновая смесь таких шин позволяет сохранять эластичность даже при сильных морозах, что обеспечивает стабильный контакт с дорожным покрытием. Протектор зимних шин имеет увеличенную глубину и снабжён большим количеством ламелей, создающих дополнительные кромки зацепления. Это особенно важно при движении по рыхлому снегу или льду. Дополнительно зимние шины могут оснащаться шипами противоскольжения, которые значительно повышают сцепление на скользких покрытиях [25]. Эффективность действия антиблокировочной системы на автомобилях с шипованными шинами рассматривал [83].

Если летняя шина обеспечивает максимальную эффективность на сухом асфальтобетонном покрытии и при высоких скоростях (коэффициент сцепления 0,7–0,9), то зимняя шина предназначена для эксплуатации в условиях пониженного сцепления, когда коэффициент трения колеса с дорогой на укатанном снегу снижается до 0,2–0,3, а на льду – до 0,1–0,15 [74, 33, 29, 31, 30]. Использование летних шин зимой значительно повышает риск дорожно-транспортных происшествий, так как они теряют свою эластичность и не обеспечивают должного уровня безопасности.

В зимних шинах ключевым элементом, определяющим характеристики, является рисунок протектора. Он задаёт поведение шины на различных типах

покрытий – от сухого асфальта до глубокого снега или льда. В современных конструкциях выделяют два основных типа зимних шин: скандинавские и европейские [51].



Рисунок 1.2 – Типы зимних шин [65]

Скандинавские зимние шины создаются для эксплуатации в условиях сурового климата, при низких температурах и регулярных снегопадах. Протектор таких шин имеет глубокие ромбовидные блоки и большое количество ламелей, что обеспечивает максимальное сцепление на рыхлом снегу и льду. Применение мягкой резины позволяет шине сохранять эластичность даже в сильные морозы. Однако у таких шин есть и недостатки: они быстрее изнашиваются, обладают повышенным уровнем шума и менее устойчивы на сухом асфальте при высоких скоростях. Тем не менее, именно такие шины обеспечивают максимальную безопасность на заснеженных и обледенелых дорогах.

Европейские зимние шины рассчитаны на эксплуатацию в умеренном климате, где дороги регулярно очищаются от снега. Протектор данного типа шин имеет меньшую глубину и меньшее количество ламелей, что обеспечивает стабильность на высоких скоростях и низкий уровень шума. Эти шины хорошо проявляют себя на мокром асфальте и укатанном снегу, однако в условиях глубокого снега или гололёда их эффективность снижается. Они чаще всего применяются в городских условиях и на автомагистралях [65].

Выбор между скандинавскими и европейскими зимними шинами

определяется сочетанием климатических и дорожных условий региона [62].

В северных районах, где зимой преобладают сильные морозы, ледяные покрытия и рыхлый снег, предпочтение отдают скандинавскому типу шин. Глубокий протектор и мягкая резина таких шин обеспечивают высокое сцепление и безопасность даже в самых сложных условиях, несмотря на более быстрый износ и высокий уровень шума.

В регионах с умеренным климатом, где дороги регулярно очищаются и зимой чаще встречается мокрый асфальт или укатанный снег, целесообразно использовать европейские шины. Они обеспечивают хорошую управляемость на высоких скоростях и создают комфортные условия вождения, благодаря низкому уровню шума и устойчивости на асфальте. Однако на льду и рыхлом снегу они уступают скандинавским шинам.

Анализ конструкции и технологий изготовления шин показал, что эффективность сцепных характеристик во многом определяется техническим состоянием последних и условиями эксплуатации. Универсальные шины, как правило, обладают средними свойствами и не обеспечивают высокого уровня безопасности в изменяющихся дорожных условиях, тогда как специализированные модели эффективны лишь на покрытиях, для которых они разработаны. В результате в регионах с переменчивыми погодными условиями наиболее рациональным решением становится применение шипованных шин, которые позволяют компенсировать снижение сцепления на обледенелых и заснеженных дорогах.

1.3. Анализ технологии изготовления и эксплуатационных характеристик шипованных шин

Эффективность зимней эксплуатации автомобиля напрямую зависит от выбора типа шин, который определяется климатическими условиями региона и характером дорожных покрытий. Условия эксплуатации в России характеризуются низкими температурами, резкими колебаниями, значительными снегопадами и частым образованием наледи. В таких условиях

значительную часть зимнего периода дороги находятся в состоянии укатанного снега или льда. Указанные факторы обусловливают ключевую роль сцепных свойств шин в обеспечении безопасности движения и управляемости транспортных средств [110, 75].

Шипованные шины обеспечивают оптимальные характеристики на льду и укатанном снегу, где сцепление резины с поверхностью само по себе недостаточно. Главную роль в увеличении сцепления играют шипы, проникающие в лёд или уплотнённый снег и создающие механическую фиксацию, обеспечивающую надёжную передачу касательных нагрузок. За счёт этого значительно снижается вероятность проскальзывания и неконтролируемого заноса. В регионах с более мягким климатом, где дорожное покрытие чаще представлено мокрым снегом и слякотью, допускается эксплуатация фрикционных шин без шипов. Однако на участках с обледенением такие шины демонстрируют существенно худшие сцепные характеристики, особенно в режимах торможения и разгона. Это обусловлено нелинейным характером контактного взаимодействия шины с жёстким скользким покрытием, при котором отсутствует механизм механического зацепления, что подтверждается результатами решения контактных задач стационарного качения автомобильной шины, представленными в работах Одинцова О. А. [73].

Ключевым преимуществом шипованных шин является существенное сокращение тормозного пути на скользких покрытиях. Исследования, проведённые научными организациями и подтверждённые практическими испытаниями транспортных предприятий, показывают, что тормозной путь автомобиля на льду с полностью ошипованными шинами может быть сокращён более чем в два раза по сравнению с использованием шин без шипов [20]. Этот эффект особенно важен в условиях городского движения и на загородных трассах с переменным состоянием покрытия.

Другим важным достоинством является улучшение разгонной динамики автомобиля. Шипы, расположенные на ведущих колёсах, обеспечивают более

надёжное сцепление при передаче крутящего момента, что позволяет быстрее набирать скорость и, за счёт этого, предотвращает пробуксовку. В условиях гололёда разгон может быть улучшен до 40–45%, что особенно важно для городских условий движения, где стабильность и предсказуемость движения критичны для безопасности [26, 27].

Шипованные шины также повышают курсовую устойчивость и управляемость транспортного средства. Это проявляется как при прямолинейном движении, так и при прохождении поворотов на скользких покрытиях. Испытания Шаратинова А.Д. [114] показали, что автомобили на шипованных шинах способны проходить повороты на скоростях в два раза выше, чем автомобили на всесезонных или фрикционных шинах, сохраняя при этом контролируемость. Заносы, возникающие в таких условиях, остаются прогнозируемыми и не требуют специальной квалификации водителя [59].

Многочисленные исследования [95, 48], в том числе тесты, проведённые научно-исследовательскими институтами автомобильного транспорта [50, 59], изучали эффективность шипованных шин. Эксперименты на автомобилях различных марок показали зависимость тормозного пути и устойчивости от количества и расположения шипов [114]. Результаты испытаний Научно-исследовательского института автомобильного транспорта (НИИАТ) также свидетельствуют о значительном сокращении тормозного пути (более чем в два раза) [47] при полной ошиповке колёс по сравнению с неошипованными. Однако неравномерная ошиповка (например, только на одной передней и одной задней оси) приводила к значительному ухудшению управляемости и заносам при торможении. Установка шипованных шин на переднюю ось показала более высокую эффективность торможения (до 40%) по сравнению с установкой на заднюю ось (до 30%). Эти данные подчёркивают важность правильного выбора и установки шипованных шин для обеспечения безопасности движения.

Испытания на грузовых автомобилях подтвердили тенденцию, наблюдавшуюся на легковых автомобилях: полная ошиповка всех колёс

приводит к значительному сокращению тормозного пути. Однако асимметричная ошиповка (например, только передней или задней оси) также вызывает занос, хотя и менее выраженный, чем на легковых автомобилях. Это различие может быть связано с большей массой и инерцией грузовых автомобилей. Результаты экспериментов с ошиповкой только передней или задней оси на грузовиках аналогичны результатам, полученным для легковых автомобилей.

Испытания на автопоездах продемонстрировали ещё более значительное сокращение тормозного пути – до трех раз при полной ошиповке всех колёс [47]. Важно отметить, что неравномерная установка шипованных шин (на разные оси или стороны) на автопоездах недопустима, поскольку это может привести к критическим нарушениям управляемости и опрокидыванию.

Испытания разгонной динамики показали, что эффективность ускорения повышается до 45% при использовании шипованных шин. В этом случае решающее значение имеет наличие шипов на ведущей оси автомобиля, так как именно сцепление ведущих колёс с дорогой определяет эффективность разгона.

Испытания на прохождение поворотов продемонстрировали существенное улучшение устойчивости автомобилей, оснащённых шипованными шинами. Скорость прохождения поворотов увеличилась в два раза как для легковых автомобилей и одиночных грузовиков, так и для автопоездов. Кроме того, заносы автомобилей на шипованных шинах оставались контролируемыми, в отличие от автомобилей на всесезонных шинах. В итоге исследования показали, что для оптимальной безопасности зимней эксплуатации легковых и грузовых автомобилей, а также автобусов рекомендуется полная ошиповка всех колёс. Для грузовиков со сдвоенными задними колёсами допускается ошиповка одной передней и одной задней оси, хотя полная ошиповка все же предпочтительнее.

В то же время у шипованных шин существуют и недостатки, которые

необходимо учитывать при выборе. Один из наиболее значимых – потеря эффективности сцепления шин по мере выпадения шипов. Также они обладают повышенным уровнем шума, особенно при движении по сухому или мокрому асфальту. Это объясняется ударным взаимодействием шипов с твёрдой поверхностью. Кроме того, использование шипованных шин сопровождается более быстрым износом как самих шипов, так и дорожного покрытия, что влечёт дополнительные затраты на его восстановление. В некоторых регионах также действуют ограничения по скорости движения автомобилей, оснащённых шипованными шинами, что связано с особенностями сцепных свойств шипов нашине и уровнем безопасности [70].

Таким образом, шипованные шины играют важнейшую роль в обеспечении безопасности движения в зимних условиях. Применение таких шин позволяет существенно снизить тормозной путь, улучшить разгон и повысить устойчивость автомобиля на скользких дорогах. Несмотря на ряд недостатков, связанных с шумом, износом дорожного покрытия и ограничениями по скорости, использование шипованных шин остаётся наиболее эффективным решением для регионов с суровыми зимами и частым образованием льда на дорогах.

1.4. Нагрузки, действующие на шип во время движения

Исследование нагрузок, действующих на шипы противоскольжения зимних шин, является важнейшей задачей при проектировании и эксплуатации шин для сложных зимних условий. От правильного понимания механизма нагружения шипа зависят не только его долговечность, но и безопасность эксплуатации автомобиля, особенно на обледенелых и заснеженных дорогах. Эффективность работы шипа определяется его способностью выдерживать комплекс воздействий, возникающих в процессе движения автомобиля, и обеспечивать необходимый уровень сцепления при различных режимах движения.

При движении автомобиля на шип действуют две основные силы:

нормальная нагрузка (R_h) и касательная нагрузка (R_k). Нормальная сила направлена перпендикулярно поверхности дороги и обусловлена массой автомобиля, включая массу пассажиров и перевозимого груза. Она определяет глубину проникновения шипа в лёд или уплотнённый снег, формируя необходимое прижимное усилие для обеспечения сцепления. Касательная сила, действующая параллельно поверхности дорожного покрытия, возникает при движении автомобиля и передаёт на шип тяговые и тормозные усилия.

Особенностью взаимодействия на твёрдом покрытии (сухой асфальт, ледяная корка) является стремление касательной силы наклонить шип относительно вертикальной оси. При увеличении наклона возрастает выступающая часть шипа, что повышает вероятность его вырывания из посадочного места. Чтобы снизить этот эффект, конструкция шипа предусматривает сферическую форму выступающей части, которая способствует перераспределению нагрузок и уменьшает усилие, направленное на вырыв. Противодействие наклону обеспечивается силами упругой реакции резины – $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$, которые стабилизируют положение шипа в протекторе и препятствуют его чрезмерному отклонению (рисунок 1.3).

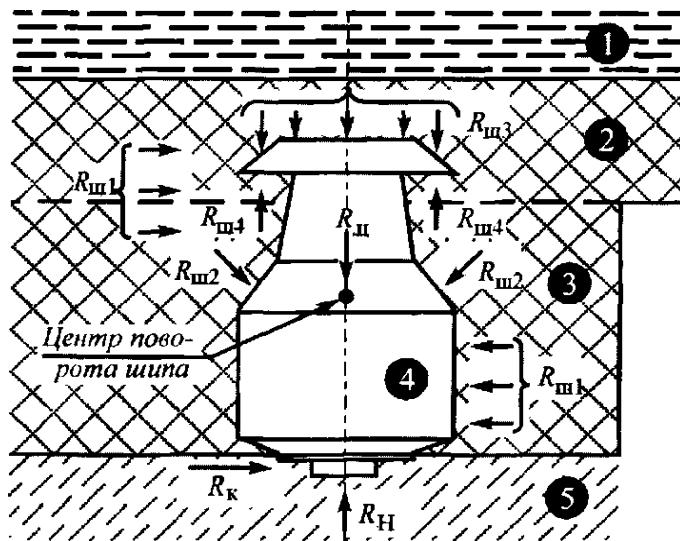


Рисунок 1.3 – Силы, действующие на шип:

- 1 – корд;
- 2 – подканавочный слой резины,
- 3 – выступ протектора;
- 4 – шип противоскользения;
- 5 – дорожное полотно [34]

Вертикальная или нормальная реакция опоры R_h приблизительно равна массе автомобиля, приходящейся на одно колесо, и равномерно распределяется между всеми шипами, находящимися в пятне контакта. Чем больше площадь пятна контакта и количество шипов, тем ниже нагрузка на каждый из них, что положительно сказывается на ресурсе. Однако в процессе движения автомобиля, помимо статической составляющей, возникает и динамическая (ударная) нагрузка, которая формируется в момент удара шипа о поверхность дороги при наезде на неровности, ледяные наплывы или другие препятствия [15, 34]. Эти импульсные нагрузки могут существенно превышать статические значения, вызывая высокие локальные напряжения в корпусе шипа и в резиновой матрице, что приводит к ускоренному износу или даже разрушению конструкции.

При движении по твёрдому покрытию нормальной реакции достаточно, чтобы шип временно утопился в подканавочный слой резины. Это позволяет снизить уровень шума, улучшить комфорт движения и уменьшить повреждение дорожного полотна. При утапливании шипа включаются силы упругой реакции резины $R_{ш3}$ и $R_{ш2}$, которые стремятся вернуть шип в исходное положение и вытолкнуть его обратно на поверхность. Такое взаимодействие увеличивает срок службы шипов, снижает риск вырывания из посадочного отверстия и обеспечивает оптимальный баланс между сцеплением и долговечностью.

На высоких скоростях добавляется ещё один важный фактор – центробежная сила ($R_{ц}$). Она возникает вследствие вращения колеса и стремится вырвать шип из посадочного места. Величина центробежной силы прямо пропорциональна массе шипа, радиусу его расположения и угловой скорости вращения колеса. Для противодействия этой силе конструкция шины предусматривает прочное удержание шипа за счёт упругих свойств резины и специально сформированного гнезда. Сопротивление вырывающей силе оказывает реакция протектора $R_{ш4}$, которая фиксирует шип и препятствует его выпадению даже при резких динамических изменениях нагрузки.

Таким образом, на шип одновременно воздействуют несколько разнонаправленных сил:

R_h – вертикальная нагрузка, определяющая глубину проникновения шипа в дорожное покрытие;

R_k – касательная нагрузка, стремящаяся наклонить шип и вызвать его проскальзывание;

R_c – центробежная сила, увеличивающаяся с ростом скорости и способная привести к вырыванию шипа;

R_{sh1} , R_{sh2} , R_{sh3} и R_{sh4} – реакции резины, стабилизирующие положение шипа и обеспечивающие его фиксацию в протекторе.

Взаимодействие этих сил формирует сложное напряжённо-деформированное состояние (НДС), которое меняется в зависимости от режима движения и состояния дорожного покрытия. На льду основным фактором является проникновение шипа в поверхность и создание механической зацепки. На укатанном снегу важную роль играет совместная работа ламелей протектора и шипов, а на сухом асфальте ключевым является способность шипа временно утапливаться, минимизируя шум и повреждения дороги.

Учитывая сложность и переменность нагрузок, при проектировании шипов необходимо применять методы компьютерного моделирования, такие как метод конечных элементов (МКЭ) [85]. Это позволяет прогнозировать поведение шипа под воздействием комбинированных сил и оптимизировать его конструкцию для повышения ресурса и эффективности работы. Кроме того, регулярный мониторинг состояния шин и шипов в процессе эксплуатации остаётся важным условием обеспечения безопасности движения, поскольку износ или вырыв отдельных элементов значительно снижает сцепные свойства и управляемость автомобиля.

Помимо внешних сил, действующих на шип в процессе его взаимодействия с дорожным покрытием, значительное влияние оказывают внутренние напряжения, формируемые вшине при различных режимах

эксплуатации. Исследования Гончарук А. И., Ковалевского В. Н., Кузнецова Е. Е. и Самуйло В. В. [76] показали, что при понижении внутреннего давления на 30 % интенсивность износа протектора возрастает примерно на 20 %, причём нагрузка смещается к краям беговой дорожки. При повышении давления на те же 30 % износ снижается до 25 %, а распределение напряжений становится более равномерным. Это означает, что величина давления напрямую определяет условия фиксации шипа в протекторе и устойчивость его работы.

Также проведённые исследования, выполненные с применением специализированных стендов, подтверждают неравномерное распределение напряжений в пятне контакта в зависимости от давления и степени износа протектора. Так, при давлении 150 кПа и износе протектора 30 % минимальные напряжения фиксируются в центральной зоне, тогда как при давлении 230 кПа и износе 80 % они значительно возрастают по краям, что создаёт риск локального разрушения посадочных мест шипа. Распределение внутренних напряжений в графическом виде представлено на рисунках 1.4 и 1.5.

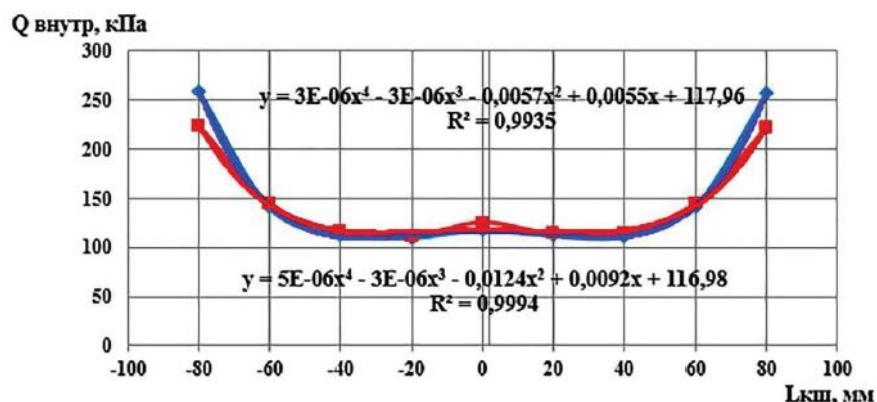


Рисунок 1.4 – Зависимость внутренних напряжений в шине по ширине контакта, при давлении в 150 кПа и износе протектора 30 %, и нагрузке на передние колёса 3,80 кН (синий) и 4,60 кН (красный) [76]

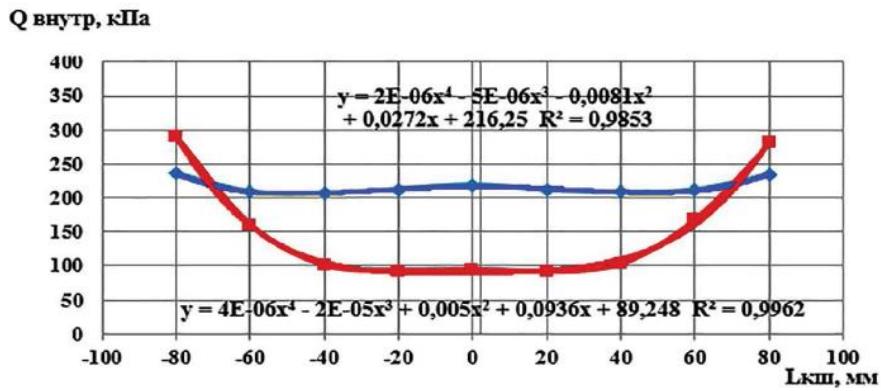


Рисунок 1.5 – Зависимость внутренних напряжений в шине по ширине контакта, при давлении 230 кПа, нагрузке на передние колёса 3,80 кН, при износе протектора 30 % (синий) и 80 % (красный) [76]

Таким образом, внутренние напряжения можно рассматривать как дополнительный фактор нагрузки, действующей на шип, определяющий его долговечность и эффективность сцепления.

1.5. Взаимодействие шипов с дорожным покрытием

Процесс взаимодействия шипованной шины с дорожным покрытием является сложным динамическим явлением, включающим совокупность механических и термодинамических процессов, определяющих коэффициент сцепления, тормозной путь, разгонную динамику, управляемость и безопасность движения в зимних условиях. Аналитические подходы к оценке тормозного пути транспортных средств, оснащённых шипованными шинами, представлены, в частности, в работах Гладушевского И. С., где предложена методика расчёта тормозного пути при движении по сухому асфальтобетонному покрытию с учётом сцепных характеристик шин [24]. В то же время данные зависимости ориентированы на стационарные условия эксплуатации и не учитывают изменение сцепных свойств, обусловленное снижением степени остаточной ошиповки, а также специфику движения по зимним типам дорожных покрытий.

На шину и шипы одновременно действуют две основные группы сил.

Как было описано ранее, нормальная сила направлена перпендикулярно к плоскости дороги и обеспечивает прижатие колеса к покрытию, создавая условия для формирования сцепления. Касательная сила, действующая параллельно плоскости дороги, определяет возможность передачи тяговых или тормозных усилий. Соотношение этих сил изменяется в зависимости от состояния дорожного покрытия, температуры, давления в шинах и других эксплуатационных факторов [49].

Тип дорожного покрытия оказывает ключевое влияние на характер взаимодействия. На сухом асфальтобетоне основную часть сцепления обеспечивает резиновая смесь протектора, а шипы выступают как дополнительные точки контакта, воспринимающие ударные нагрузки. Однако из-за того, что шипы слегка приподнимают протектор над дорогой, они могут уменьшать площадь пятна контакта и, как следствие, снижать коэффициент сцепления на 10–15 %. В зимних условиях ситуация меняется: на льду и укатанном снегу резина не способна эффективно взаимодействовать с поверхностью из-за наличия тонкой снежной или водяной пленки, поэтому именно шипы обеспечивают механическую зацепку, проникая в твёрдую поверхность и значительно увеличивая коэффициент сцепления. В рыхлом снегу взаимодействие осуществляется в основном за счёт кромок протектора и ламелей, а шипы лишь стабилизируют положение колеса, предотвращая боковые смещения.

В зоне контакта шипованной шины с дорогой действуют обе группы сил. При увеличении коэффициента сцепления они воспринимаются всей площадью пятна контакта. На льду нормальные силы полностью передаются через поверхность протектора, а касательные – почти исключительно через активные части шипов, внедряющихся в лёд. Поскольку в пятне контакта одновременно находится всего 10–15 шипов, на каждый из них приходится значительная нагрузка, что предъявляет высокие требования к конструкции посадочного места и материалам шипа. Для корректной работы шипа его выступ над поверхностью протектора должен составлять 8–12 % от его полной

длины – около 1,0 мм для легковых автомобилей и 2,5–3,0 мм для грузовых, при этом фланец шипа должен быть погружен в подканавочный слой резины, не повреждая брекер.

Взаимодействие шипа с дорожным покрытием можно разделить на несколько стадий (рисунок 1.6). В начальный момент контакта происходит его мгновенная остановка относительно поверхности, что обеспечивает первичное сцепление и предотвращает проскальзывание. На льду или укатанном снегу в этот момент шип углубляется в верхний слой покрытия, формируя механическую фиксацию. Этот процесс сопровождается локальным повышением давления в зоне контакта, а при низких температурах – образованием микротрещин и разрушением верхнего слоя льда. Если же покрытие мягкое, например рыхлый снег, часть деформаций воспринимается протектором, что обеспечивает более равномерное распределение нагрузки.



Рисунок 1.6 – Фазы взаимодействия шипа с дорожным покрытием [20]

По мере вращения колеса касательная сила может вызывать смещение шипа в посадочном месте и изменение его угла наклона. Это способствует более равномерному распределению напряжений и повышает устойчивость сцепления. При достижении критического значения касательной силы шип начинает скользить вдоль поверхности покрытия. На льду этот процесс часто сопровождается образованием тонкой водяной плёнки вследствие локального таяния, что снижает коэффициент трения, увеличивает тормозной путь и ухудшает управляемость. На сухом асфальте скольжение шипа вызывает интенсивный механический износ как его рабочей части, так и резиновой смеси протектора.

В отдельных случаях шип может дополнительно углубляться в дорожное покрытие, особенно на льду, где за счёт давления и механического воздействия происходит разрушение верхнего слоя. Это кратковременно увеличивает коэффициент сцепления, но одновременно ускоряет износ как самого шипа, так и дорожного покрытия. На мягких покрытиях, таких как рыхлый снег, сопротивление проникновению минимально, однако удерживающая способность шипа также невелика, что ограничивает эффективность передачи касательных усилий.

Завершающей стадией цикла является выход шипа из пятна контакта. В этот момент нагрузка на него постепенно снижается, а благодаря упругости резины шип возвращается в исходное положение, готовясь к следующему циклу взаимодействия. Многократное повторение этих циклов в процессе движения определяет динамику износа шипов и протектора.

Долговечность и стабильность работы шипованной шины во многом зависят от соотношения размеров шипа и посадочного отверстия в протекторе. Исследования Стратия И.В. и Степанова А.С. [100] показали, что ключевым параметром является исходное растягивающее напряжение резины, возникающее при установке шипа.

При большом натяге (отношение диаметра шипа к отверстию около 0,87) на начальных этапах эксплуатации обеспечиваются высокие сцепные характеристики, но из-за повышенного напряжения происходит интенсивный износ стенок отверстия. Это подтверждается ростом температуры резины в зоне контакта. В результате быстро снижается угловая жёсткость посадки шипа – показатель, характеризующий сопротивление отклонению шипа от вертикали под действием касательных сил. Такой процесс ускоряет выпадение и износ шипов противоскольжения.

Если диаметр отверстия увеличен (соотношение около 0,84), исходные напряжения снижаются. На ранних стадиях эксплуатации сцепные свойства немного хуже, но износ стенок отверстия происходит медленнее, температура в зоне контакта остаётся стабильной, а угловая жёсткость снижается

постепенно. Это обеспечивает увеличение срока эффективной работы шипов почти в два раза по сравнению с вариантом с повышенным натягом.

Таким образом, правильно подобранное соотношение размеров шипа и посадочного отверстия позволяет достичь баланса между сцепными характеристиками и долговечностью. Завышенный натяг обеспечивает отличное сцепление на первых этапах, но ускоряет износ и выпадение шипов. Умеренный натяг позволяет продлить срок службы шипованной шины без значительной потери характеристик.

Взаимодействие шипованной шины с покрытием тесно связано с тормозным путём автомобиля, который определяется расстоянием, пройденным транспортным средством от начала торможения до полной остановки. Тормозной путь зависит от массы автомобиля, начальной скорости, коэффициента сцепления шин и других факторов.

Общая формула для тормозного пути с учётом особенностей взаимодействия шипов имеет вид [13]:

$$S_{\text{торм}} = \frac{V_t^2 * m_a * \beta * K_{\text{эф}}}{g(m_{\text{торм}} \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_{\text{ш}} + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha) + (C_x \cdot \rho \cdot F_l \cdot V_t^2) + (0,1 \cdot Z \cdot \sigma_p \cdot F_{\text{вш}})},$$

где V_t – скорость автомобиля, м/с;

m_a – масса автомобиля, кг;

$m_{\text{торм}}$ – масса, приходящаяся на заторможенные колеса, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

α – угол продольного уклона дороги;

$\varphi_{\text{ш}}$ – коэффициент сцепления шин с дорогой;

C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

F_l – лобовая площадь автомобиля, м²;

Z – количество шипов на колесе;

σ_p – динамический предел прочности льда на разрушение, Па;

$F_{\text{вш}}$ – площадь рабочей поверхности вставки шипа, м²;

$K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности тормозной системы;

β – коэффициент учёта вращающихся масс.

Сила зацепа одного шипа определяется по формуле [24]:

$$P_{\text{зац}} = \sigma \sigma_p \cdot F_{\text{вш}}.$$

Из анализа видно, что при движении по льду касательные силы передаются практически полностью через шипы, тогда как на сухом асфальте шипы препятствуют полному прилеганию колеса к поверхности, уменьшая коэффициент сцепления на 10–15 %. Это подтверждается экспериментальными расчётами Фролова Р.В. и Степанова А.С. [96], представленными в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Влияние типа шин на K_c и тормозной путь [24]

Тип шины	Коэффициент сцепления	Замедление, $\text{м}/\text{с}^2$	Время торможения, с	Тормозной путь, м
Летняя	0,80	6,47	3,40	37,39
Зимняя нешипованная	0,60	5,37	4,09	45,03
Зимняя шипованная	0,50	4,76	4,62	50,83

Результаты демонстрируют, что на сухом асфальте шипованная шина имеет наименьший коэффициент сцепления и, как следствие, самый длинный тормозной путь. Это связано с тем, что шипы вдавливаются в резину и уменьшают площадь контакта протектора с дорогой.

Для более точного моделирования тормозного пути был введён поправочный коэффициент, учитывающий шероховатость покрытия и особенности взаимодействия шипов с поверхностью. Введение этого коэффициента позволило скорректировать расчёты тормозного пути автомобиля, снизив погрешность на 2–2,5 метра, что показано в таблице 1.2.

Эти данные подтверждают, что при правильном учёте взаимодействия шипов с дорогой можно более точно прогнозировать динамические характеристики автомобиля и его поведение в различных условиях.

Таблица 1.2 – Расчёт тормозного пути автомобиля ГАЗ-2705 с учётом поправочного коэффициента [24]

Тип расчёта	Замедление, м/с ²	Время торможения, с	Тормозной путь, м
Без поправочного коэффициента	4,53	4,86	53,41
С поправочным коэффициентом	4,76	4,62	50,83

Таким образом, шипы играют ключевую роль в обеспечении безопасности движения в зимний период. Эффективность последних определяется не только материалами и конструкцией, но и точностью расчёта параметров, описывающих взаимодействие с дорожным покрытием.

1.6. Особенности производства шипов противоскольжения

Процесс производства шипов для зимних шин требует строгого соблюдения технологических параметров, так как именно от качества шипа и надёжности его фиксации зависит безопасность автомобиля на зимних дорогах. Корпус шипа является ключевым элементом, обеспечивающим его прочность, устойчивость к нагрузкам и долговечность. Основная задача при его изготовлении – добиться баланса между высокой прочностью, минимальным весом и оптимальной геометрией, что напрямую влияет на сцепные свойства и срок службы шины [52, 48].

Корпус шипа обычно изготавливается из алюминиевых или стальных сплавов. Алюминий выбирают за счёт его малого веса и коррозионной стойкости, что снижает нагрузку на протектор и уменьшает риск преждевременного разрушения посадочного отверстия [113]. Однако из-за меньшей прочности алюминиевые корпуса чаще применяются в легковых шинах, где эксплуатационные нагрузки ниже. Для грузовых автомобилей и тяжёлых условий эксплуатации чаще используют стальные корпуса, отличающиеся высокой механической прочностью и способностью

выдерживать большие ударные нагрузки. В некоторых случаях применяются комбинированные материалы – например, корпус из алюминиевого сплава с упрочнённой вставкой в зоне посадки сердечника, что повышает стойкость к вырывным нагрузкам и снижает вероятность деформации.

В качестве альтернативы металлическим шипам в последние годы получили развитие керамические шипы. Керамика отличается высокой твёрдостью и стойкостью к износу, но имеет меньшую массу по сравнению с металлом. Это позволяет снизить нагрузку на протектор и уменьшить расход топлива за счёт снижения инерционных потерь. Керамические шипы оказывают менее разрушительное воздействие на дорожное покрытие, однако сцепные свойства таких шипов уступают металлическим, особенно на чистом льду. Они более эффективны в условиях умеренного обледенения и на дорогах, где снежный покров сочетается с частично очищенными участками.

Инновационным направлением являются полимерные шипы, которые создаются из современных высокопрочных полимеров. Основное преимущество заключается в снижении негативного воздействия на дорожное полотно и окружающую среду. Они легче металлических аналогов и обладают достаточными сцепными свойствами для эксплуатации в регионах с умеренными зимами, где сильное обледенение встречается реже. Полимерные шипы не разрушают лёд за счёт глубокого проникновения, а работают преимущественно благодаря силе трения, что позволяет им быть более щадящими по отношению к дороге. Однако в условиях экстремального обледенения они оказываются недостаточно эффективными.

Шипы с твёрдосплавными наконечниками представляют собой комбинированное решение, объединяющее преимущества разных материалов. Как правило, корпус шипа изготавливается из алюминиевого или стального сплава, обеспечивающего прочность и надёжность фиксации, а рабочая часть – из карбида вольфрама. Такая конструкция позволяет одновременно добиться высокой износстойкости и максимального сцепления. Данный тип шипов особенно эффективен в условиях экстремально низких температур и

интенсивной эксплуатации, что делает их востребованными на грузовых автомобилях и в северных регионах. Конструкция шипа с твёрдосплавным наконечником представлена на рисунке 1.7.

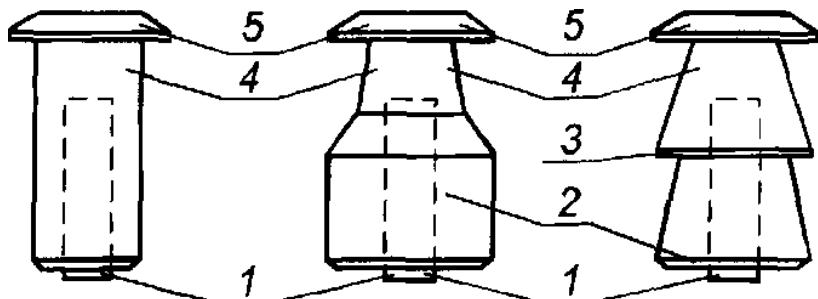


Рисунок 1.7 – Конструкция шипов:

1 – вставка из износостойкого материала; 2 – нижний фланец; 3 – средний фланец; 4 – корпус шипа; 5 – верхний фланец [34]

Процесс формообразования корпуса шипа включает несколько этапов. На первом этапе происходит подготовка исходного материала, который должен обладать равномерной структурой без дефектов, таких как микротрешины или пористость. Затем материал подвергается прессованию или ковке, что обеспечивает его плотность и прочность. На следующем этапе корпус шипа проходит механическую обработку – токарную и фрезерную, в ходе которой формируются его окончательные размеры и конфигурация. Геометрические параметры – высота, диаметр и форма выступающих частей рассчитываются исходя из характеристик шины, особенностей дорожного покрытия и предполагаемых условий эксплуатации [14].

Особое внимание уделяется качеству внутренней поверхности корпуса, так как именно она контактирует с резиной протектора и определяет надёжность фиксации шипа. Для обеспечения максимальной прочности соединения применяются методы микротекстурирования и фрезерования, создающие мелкий рельеф на поверхности корпуса. Это увеличивает силу сцепления между корпусом и резиной, предотвращая вылет шипа при динамических нагрузках. Важным этапом является термическая обработка

корпуса, которая обеспечивает оптимальное соотношение твёрдости и пластичности. Корпус должен быть достаточно жёстким, чтобы удерживать сердечник в стабильном положении, но при этом обладать упругостью, необходимой для компенсации ударных нагрузок.

Одним из важнейших аспектов является точность изготовления корпуса шипа. Даже незначительные отклонения в размере могут привести к снижению надёжности крепления или преждевременному разрушению шины. Современные предприятия используют автоматизированные линии с цифровым контролем параметров, что позволяет поддерживать стабильное качество и минимизировать количество брака. Каждая партия шипов проходит контроль по геометрическим размерам, прочности материала и точности посадочных мест.

Форма корпуса шипа также играет важную роль в его эксплуатационных характеристиках. Наиболее распространены цилиндрические и конические формы, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузок в момент контакта с дорогой. Коническая форма предпочтительнее для условий сильного обледенения, так как она способствует лучшему проникновению шипа в лёд и повышает эффективность сцепления. В некоторых конструкциях применяются двухфланцевые корпуса, которые обеспечивают повышенную фиксацию и устойчивость шипа при боковых нагрузках, что особенно важно при маневрировании и торможении.

Наряду с корпусом важное значение имеет сердечник шипа – его рабочая часть, непосредственно контактирующая с дорожным покрытием. Сердечники обычно изготавливаются из карбида вольфрама или закалённой стали. Карбид вольфрама отличается высокой твёрдостью и износостойкостью, что особенно важно при эксплуатации на сухом асфальте, где износ происходит интенсивнее всего. Геометрия сердечника подбирается таким образом, чтобы обеспечить эффективное внедрение в ледяную поверхность и минимизировать износ дорожного покрытия.

Завершающим этапом производства корпуса шипа является его

окончательная сборка и контроль качества. Корпус, сердечник и удерживающие элементы собираются в единое целое, после чего готовый шип подвергается тестированию на вырывные нагрузки, стойкость к ударным воздействиям и долговечность. Только после этого он может использоваться в производстве шин.

Выбор конкретного типа шипа зависит от нескольких ключевых факторов. Прежде всего, климатические условия региона определяют требования к сцепным свойствам. В районах с суровыми зимами и регулярным образованием ледяного покрытия предпочтение отдаётся металлическим или комбинированным шипам с твёрдосплавными наконечниками, обеспечивающими глубокое проникновение в лёд и высокую надёжность сцепления. В более мягких климатических условиях, где дороги очищаются регулярно, а сильное обледенение встречается редко, допустимо использование керамических или полимерных шипов, которые меньше изнашивают дорожное покрытие.

Вторым важным фактором является состояние дорожного покрытия. На чистом льду эффективнее работают металлические шипы, в то время как на снежных или смешанных покрытиях целесообразно использование более мягких конструкций, которые создают необходимое сцепление, не разрушая структуру дороги.

Кроме того, следует учитывать нормативные и законодательные ограничения, действующие в конкретном регионе [93]. В некоторых странах или областях введены ограничения на использование определённых типов шипов из-за негативного воздействия на асфальт и окружающую среду. Например, для снижения износа дорог могут устанавливаться лимиты на количество шипов на одно колесо или применяться специальные экологические стандарты.

Таким образом, процесс изготовления корпуса шипа представляет собой сложный технологический цикл, включающий выбор оптимальных материалов, точную обработку и многоступенчатый контроль качества. От

правильной организации этого процесса зависит не только срок службы шипа и шины в целом, но и безопасность дорожного движения в зимний период. Высокие требования к качеству шипов обусловлены тем, что именно они определяют ключевые сцепные свойства автомобиля на льду и укатанном снегу, где риск аварийных ситуаций особенно высок.

1.7. Анализ характеристик сцепления шипованных шин на обледенелых поверхностях

Теоретические основы математического моделирования сцепных характеристик шин сформулированы в работах Пацейки Х. Б. [7], где предложены обобщённые зависимости, описывающие взаимодействие шины с опорной поверхностью в продольном и поперечном направлениях. Эти модели широко применяются при анализе динамики транспортных средств и служат базисом для дальнейших исследований, включая адаптацию к условиям зимней эксплуатации и использованию шипованных шин. В работах Дика А. Б. [35] рассмотрено влияние сцепных свойств шин на динамику автомобиля в режимах торможения и маневрирования, что позволило получить количественные зависимости, используемые при оценке устойчивости, управляемости и эффективности тормозных систем.

На чистом льду коэффициент сцепления не шипованных колёс крайне низок – не превышает 0,1, что делает эксплуатацию автомобиля в подобных условиях практически невозможной [20]. В таких ситуациях единственным эффективным средством обеспечения безопасного передвижения являются шипованные шины, которые значительно повышают коэффициент сцепления за счёт механического проникновения шипов в ледяную поверхность.

Принцип действия шипа заключается во внедрении в лёд, при котором создаётся механическая зацепка, препятствующая проскальзыванию. Степень увеличения сцепления (усиление зацепления, $P_{зап}$) зависит от нескольких ключевых факторов:

- количества шипов на шине;

- площади рабочей поверхности шипа (F);
- предельного сопротивления льда сдвигу ($\sigma_{\text{сдв}}$).

Последний показатель ($\sigma_{\text{сдв}}$) определяется как структурными характеристиками льда, так и его температурой. При повышении температуры лёд становится более пластичным и менее прочным, что снижает его сопротивление сдвигу. Так, по данным исследований Степанова А.С., Шаратинова А.Д. и Старостина А.В. [97], при температуре 0°C значение $\sigma_{\text{сдв}}$ составляет около 7 МПа, а при температуре -60°C увеличивается до 33 МПа. Это свидетельствует о том, что в экстремально холодных условиях шипам требуется приложить значительно большее усилие для проникновения в поверхность льда.

На рисунке 1.8 представлена зависимость силы зацепления от температуры льда, где показано, что при понижении температуры сцепление значительно увеличивается:

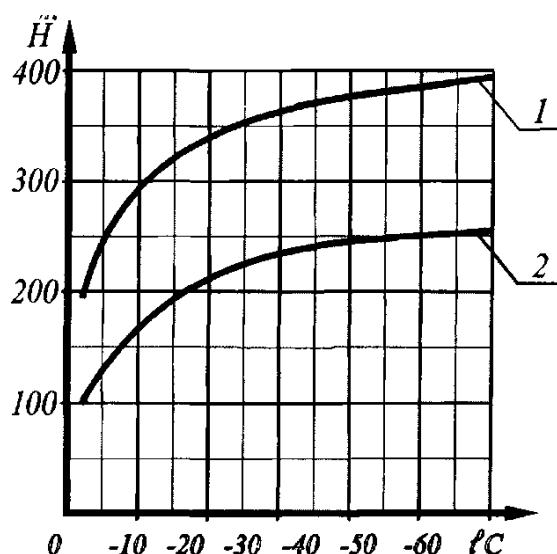


Рисунок 1.8 – Зависимость силы зацепления от температуры льда:

1 – грузовые шипы; 2 – легковые шипы [97]

Из анализа данных видно, что рост сцепления при понижении температуры обусловлен увеличением прочности льда, что позволяет шипу формировать более прочную механическую зацепку. В то же время на более тёплом льду сцепление снижается из-за наличия тонкой водяной плёнки,

образующейся при локальном таянии поверхности в результате трения.

Главным условием надёжного внедрения шипа в ледяную поверхность является превышение вертикальной нагрузки, приходящейся на один шип, над предельным сопротивлением сжатия льда на площади внедрения. Математически это условие выражается неравенством [97]:

$$R_h > \sigma_{сж} \cdot F_b,$$

где R_h – вертикальная нагрузка на один шип;

$\sigma_{сж}$ – предельное сопротивление льда сжатию;

F_b – площадь внедрения шипа.

Значения $\sigma_{сж}$ также зависят от температуры льда и скорости внедрения шипа. При малых скоростях движения сопротивление сжатия льда находится в пределах 0,8...5,5 МПа. Однако при увеличении скорости автомобиля возрастает скорость внедрения шипа, и процесс приближается к характеру ударного взаимодействия. Это приводит к резкому росту сопротивления поверхности льда.

Например, при движении со скоростью 50 км/ч сопротивление сжатия льда составляет:

при -3°C – около 25 МПа;

при -60°C – до 130 МПа.

Это означает, что в условиях высоких скоростей и низких температур нагрузка на каждый шип резко возрастает, а его конструкция должна быть рассчитана на восприятие таких экстремальных воздействий. Если прочности материала шипа или удерживающей его резиновой матрицы недостаточно, возникает риск его деформации, повреждения посадочного места или даже вырывания шипа из протектора.

В работах Кристального С.Р., Иванова А.М, Борисевича В.Б., Попова Н.В., Фомичёва В.А. [58, 102], посвящённых исследованию сцепных характеристик шипованных шин с уводом, предложена методика их определения дорожным методом на легковом автомобиле в условиях обледенелого покрытия. На основе экспериментальных исследований

получены p - S диаграммы, характеризующие зависимость сцепной силы от бокового увода для шипованных и не шипованных шин на льду. Результаты показали существенное преимущество шипованных шин по величине реализуемых сцепных сил и устойчивости характеристик при увеличении угла увода, что подтверждает их эффективность при движении и маневрировании на покрытиях с крайне низким коэффициентом сцепления.

Таким образом, выбор зимних шин должен учитывать не только общее количество и расположение шипов, но и геометрические параметры, а также предполагаемые скорости движения и климатические условия эксплуатации. Для легковых автомобилей, эксплуатируемых в умеренных зимних условиях, допустимо использование шин с меньшими по размеру и количеству шипами. В то же время для грузового транспорта, работающего в экстремальных условиях Крайнего Севера или Сибири, необходимо применение усиленных шипов с увеличенной рабочей площадью и повышенной прочностью материалов.

Это позволяет обеспечить необходимый уровень сцепления при различных температурах и минимизировать риск аварийных ситуаций, связанных с потерей управляемости на обледенелой дороге.

1.8. Износостойкость шипов противоскольжения

Износостойкость противоскользящих шипов является одним из ключевых параметров, определяющих срок службы зимних шин и уровень эксплуатационной эффективности. В процессе эксплуатации шипы подвергаются воздействию комплекса механических нагрузок, сил трения и абразивных факторов, что приводит к постепенному износу, деформации или выпадению. Поскольку именно шипы в наибольшей степени обеспечивают сцепление шин с обледенелыми и заснеженными покрытиями, их состояние напрямую влияет на безопасность движения, устойчивость автомобиля и эффективность торможения.

На долговечность шипов влияет широкий спектр факторов, которые

условно можно разделить на конструктивные и эксплуатационные, рассмотренные в работах Степанова А.С. и Устарова Р.М. [96, 99, 105]. К конструктивным факторам относятся размеры и форма шипа, его конструкция, высота выступания над поверхностью протектора, жёсткость резиновой смеси, а также степень натяга при посадке шипа, определяемая разностью диаметров шипа и посадочного отверстия. Оптимальные параметры обеспечивают надёжное удержание шипа в протекторе, минимизируют раскрытие зазоров при его отклонении и тем самым снижают риск попадания в них песка или соли. Конструктивно эффективные шипы способны частично утапливаться в протектор при движении по очищенному асфальту, что уменьшает ударные нагрузки и повышает общую износостойкость системы «шип–протектор».

Эксплуатационные факторы оказывают не меньшее влияние на износ и долговечность противоскользящих шипов. К ним относятся тип и состояние дорожного покрытия, степень его обледенения, наличие влаги, противогололедных реагентов и абразивных частиц, а также стиль вождения. Плавный разгон и торможение, а также минимизация эксплуатации по сухому асфальту позволяют существенно продлить срок службы шипов. Напротив, агрессивная манера управления, частые резкие ускорения и торможения, а также движение по поверхностям с песком и солью приводят к ускоренному износу и снижению эксплуатационной надёжности шипованных шин, что подтверждается результатами исследований Старостина А.В., посвящённых оценке и прогнозированию их эксплуатационной надёжности [95].

Выбор материала шипа формирует основу его износостойкости. Закалённая сталь обеспечивает достаточную прочность при относительно низкой себестоимости, однако уступает по характеристикам твёрдосплавным композитам на основе карбида вольфрама, которые обладают высокой твёрдостью и стойкостью к абразивным воздействиям, особенно на грубых покрытиях [48]. Керамические материалы в этом отношении менее универсальны: они обеспечивают меньшую абразивность по отношению к дорожному полотну, однако чувствительны к ударным нагрузкам. Важное

значение имеет и геометрия шипа. Коническая и пирамидальная формы позволяют равномернее распределять напряжения в зоне контакта и тем самым снижают риск локальных разрушений. Цилиндрическая форма, напротив, вызывает концентрацию нагрузок на небольшой площади, ускоряя износ, в то время как сферическая верхушка играет стабилизирующую роль, предотвращая наклон и вырывание шипа при действии касательных сил [52, 46].

Значительное влияние оказывает и характер дорожного покрытия. Асфальт и бетон создают условия для интенсивного абразивного износа, тогда как укатанный снег и лёд являются более щадящими средами, при которых скорость износа заметно снижается. Однако гравий и неровные покрытия приводят к ударным нагрузкам, вызывающим деформацию или выпадение шипов. Стиль вождения также выступает ключевым фактором: агрессивное маневрирование, резкие ускорения и торможения резко увеличивают нагрузки на шипы, тогда как плавная эксплуатация способствует продлению их ресурса и снижает риск повреждений [98, 14, 40].

Данные испытаний, проведённых Научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта [47], показали, что для легковых автомобилей эффективность шипованных шин сохраняется в среднем до 35–40 тысяч километров пробега, а для автобусов – до 60 тысяч километров. После достижения этих значений высота выступа шипов снижается до критического уровня, что существенно ухудшает их сцепные характеристики. На рисунке 1.9 представлена зависимость величины выступания шипов от пробега из исследований Корнеевой А.С., отражающая закономерность снижения их эффективности в процессе эксплуатации. Из графика видно, что с увеличением пробега уменьшается способность шипа проникать в лёд и формировать механическую зацепку, что ведёт к снижению коэффициента сцепления, удлинению тормозного пути и ухудшению управляемости транспортного средства.

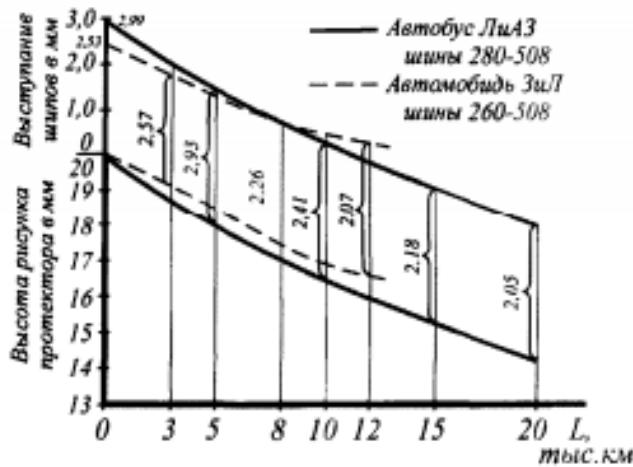


Рисунок 1.9 – Зависимость высступания шипов противоскользения относительно протектора шины от пробега [55]

Из графика видно, что по мере увеличения пробега уменьшается способность шипа проникать в лёд и формировать механическую зацепку. Это приводит к постепенному снижению коэффициента сцепления, а значит, и к удлинению тормозного пути, снижению курсовой устойчивости и ухудшению управляемости транспортного средства.

Практические рекомендации по контролю износа

Для поддержания безопасной эксплуатации шипованных шин рекомендуется:

- регулярно проводить визуальный осмотр шипов на предмет их повреждений, деформации и потери;
- выполнять количественную оценку износа с использованием специальных измерительных приборов;
- производить своевременную замену изношенных или повреждённых шипов;
- строго соблюдать рекомендации производителя относительно условий эксплуатации, давления в шинах и сезонности их использования [84, 105, 116].

Перспективным способом повышения ресурса шипованных шин является восстановление ошиповки с применением ремонтных шипов. В

исследованиях Неволина Д.Г. показано, что при рациональном выборе шин и соблюдении технологических условий дошиповка позволяет сохранить требуемые сцепные характеристики и существенно увеличить продолжительность их эксплуатации [71]. Данный подход согласуется с положениями, представленными в работах Алаэддина А.М. [11], где обоснована необходимость внедрения систем оперативного управления ресурсом шин в автотранспортных предприятиях, основанных на учёте фактического технического состояния и остаточного ресурса, что позволяет принимать экономически и технически обоснованные решения о восстановлении, продолжении эксплуатации либо замене шин.

Наибольший эффект достигается при восстановлении шин среднего и высокого ценового сегмента, поскольку такие изделия, как правило, характеризуются более стабильными физико-механическими свойствами резиновой смеси и сохраняют работоспособность в течение длительного времени. Экономическая целесообразность применения ремонтных шипов в этом случае обусловлена тем, что затраты на восстановление значительно ниже стоимости приобретения нового комплекта шин. Отмечается, что проведение дошиповки оправдано при достаточной остаточной глубине протектора, ориентировочно не менее 7–8 мм, что свидетельствует о наличии значимого остаточного ресурса. Выполнение контрольного осмотра и восстановительных работ рекомендуется осуществлять после завершения зимнего периода эксплуатации, что позволяет своевременно оценить степень утраты шипов и подготовить шины к следующему сезону. Вопросами снижения износа шин также занимался Троицкий В.И. [104], а восстановление шин исследовал Сорокин В.В. [13].

Таким образом, износостойкость шипов является важнейшей характеристикой, напрямую связанной с безопасностью дорожного движения в зимний период. Контроль за состоянием шипов, своевременная замена шин или проведение ремонтной ошиповки и правильный подбор шин позволяют значительно снизить риск аварийных ситуаций.

1.9. Анализ моделей изнашивания шипов

Моделирование процессов изнашивания шипов является важнейшим этапом в разработке эффективных стратегий технического обслуживания и эксплуатации шипованных шин. Оно позволяет прогнозировать остаточный ресурс шин, своевременно выявлять критические состояния и оптимизировать процессы замены и восстановления. Существующие модели условно делятся на две основные категории – эмпирические и механистические, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения.

Эмпирические модели строятся на основе статистической обработки данных, полученных в результате наблюдений и экспериментов. Такие модели представляют собой математические зависимости, которые описывают износ шипов как функцию различных факторов, включая пробег автомобиля, состояние и тип дорожного покрытия, температуру окружающей среды, стиль вождения и нагрузку на колесо [43, 17]. Они удобны в практическом применении благодаря простоте и минимальным требованиям к исходным данным. Однако их главный недостаток заключается в том, что они не отражают физическую природу процессов износа и плохо переносятся на условия, отличающиеся от тех, при которых были собраны исходные данные. Как показывают исследования Рязанова Д.Ю. и Иванова Р. [3, 68], точность таких моделей напрямую зависит от репрезентативности исходной информации. При изменении климатических или эксплуатационных условий прогнозируемые значения могут существенно отличаться от фактических, что ограничивает возможности применения этих моделей в новых ситуациях.

Механистические модели основаны на физических законах и учитывают реальные процессы, происходящие в шине и дорожном покрытии. Они описывают явления трения, пластической деформации, усталостного разрушения и абразивного износа [97, 113]. Для построения таких моделей применяются методы механики сплошных сред. Эти модели позволяют более глубоко понять механизмы взаимодействия шипов с дорожным покрытием, что делает их незаменимыми для проектирования новых конструкций шин и

прогнозирования их ресурса в условиях, отличных от исходных. Однако их практическое использование затруднено, так как для расчётов требуются детальные сведения о материалах шипа и протектора, свойствах дорожного покрытия и условиях эксплуатации, а также значительные вычислительные ресурсы.

Несмотря на развитие теоретических и прикладных исследований, универсальной модели износа шипов, которая бы одинаково точно описывала процесс износа в любых условиях эксплуатации, на сегодняшний не обнаружено. Процесс изнашивания носит многофакторный характер и зависит не только от конструкции и материала шипа, но и от условий эксплуатации, включая климатические факторы, качество дорожного покрытия, интенсивность использования транспортного средства и стиль вождения [109].

Наиболее значимыми факторами, определяющими характер и скорость износа, являются температура окружающей среды, количество осадков, тип дорожного покрытия, воздействие химических реагентов, режим эксплуатации автомобиля, включая резкие разгоны и торможения, а также давление в шинах и нагрузка на ось. Низкие температуры делают резину более жёсткой и хрупкой, увеличивая риск повреждения шипов при контакте с твёрдыми поверхностями. В таких условиях также усиливаются коррозионные процессы в металлических элементах шипа. При повышении температуры резина становится более мягкой и подверженной деформации, что приводит к ослаблению фиксации шипа и его ускоренному износу. Влага и снег снижают коэффициент сцепления, способствуют проскальзыванию шин и ускоряют выпадение шипов, а соль и химические реагенты активируют коррозию, разрушая как металлические элементы, так и структуру резины. На асфальте износ происходит быстрее за счёт абразивного воздействия, тогда как на снегу и льду нагрузка перераспределяется, но при этом возрастаёт риск боковых нагрузок, которые могут повредить шипы. Неровности дорожного покрытия создают ударные нагрузки, способствующие выпадению или поломке шипов.

Стиль вождения также имеет существенное влияние. Агрессивная

эксплуатация, включающая резкие старты и торможения, высокие скорости и резкие повороты, увеличивает динамические нагрузки и ускоряет разрушение шипов. Более плавное и умеренное вождение, напротив, снижает темп износа и продлевает срок службы шин. Избыточное или недостаточное давление в шинах вызывает неравномерное распределение нагрузок, что приводит к локальному износу и выпадению отдельных шипов. Перегрузка автомобиля также усиливает вертикальные и касательные нагрузки, что ускоряет разрушение посадочных мест.

Эти же факторы существенно влияют на точность диагностики состояния шин. Грязь, наледь и коррозия могут затруднять визуальный осмотр и искажать результаты автоматизированного подсчёта шипов. При неравномерном износе одной части шины результаты диагностики могут быть некорректно интерпретированы.

В зарубежной литературе встречаются экспериментально-калиброванные модели абразивного износа, применяемые, например, в Швеции, где была предложена модель износа асфальта под влиянием шипованных шин и её калибровка на полевых данных [60]. Такие модели позволяют оценивать взаимосвязь между пробегом, количеством шипов и износом покрытия.

Финские и скандинавские компании уделяют внимание не только долговечности шипов, но и влиянию их конструкции на износ дорожного покрытия. Так, компания Nokian в своих материалах описывает систему «Eco Stud», направленную на снижение износа асфальта при сохранении сцепных свойств шины [6].

В России исследования моделей износа шипов часто основаны на полевых испытаниях или сравнении динамических показателей шин на льду и снегу. Например, в диссертации Сахиева А.А. исследовали эффективность шипованных шин на разных покрытиях, фиксируя изменение показателей ускорения, торможения и проскальзывания, что косвенно отражает износ шипов [89].

Сравнительный взгляд показывает, что зарубежные модели чаще опираются на экспериментально-калиброванные зависимости и включают параметры покрытия и эксплуатации, тогда как российские подходы преимущественно эмпиричны и ориентированы на конкретные условия региональной эксплуатации.

К числу основных недостатков существующих моделей относятся:

- недостаточная универсальность – многие модели работают только для ограниченной комбинации шин, покрытий и климатических условий;
- неполный учёт динамических нагрузок и ударных воздействий, характерных для реального движения;
- отсутствие достаточных полевых данных и статистики, особенно в российских реалиях, для надёжной калибровки;
- слабая интеграция исходных конструктивных параметров шипов (форма, материал, посадка) в прогнозные формулы.

Таким образом, процесс износа шипов является сложным и многофакторным, а существующие подходы к его моделированию пока не обеспечивают полного описания всех влияющих факторов. Эмпирические модели удобны для практического применения, но ограничены рамками исходных данных. Механистические модели предоставляют более точное и детальное понимание процессов, но их применение ограничивается сложностью реализации. В связи с этим актуальной задачей является разработка комплексной модели, которая объединяла бы преимущества обоих подходов, учитывала ключевые эксплуатационные параметры и могла бы использоваться как для прогнозирования остаточного ресурса, так и для повышения точности систем диагностики. Решение этой задачи позволит значительно повысить безопасность дорожного движения и снизить затраты на эксплуатацию шипованных шин.

1.10. Анализ нормативной базы и стандартов в области эксплуатации зимних шин

Нормативно-правовая база, регулирующая эксплуатацию зимних шин, включает международные и национальные стандарты, технические регламенты, а также рекомендации производителей. Эти документы определяют ключевые параметры, обеспечивающие безопасность дорожного движения и эффективность эксплуатации транспортных средств в зимних условиях. Основное внимание уделяется минимальной глубине протектора, допустимой высоте выступа шипов и правилам технического обслуживания шин. Однако анализ существующей нормативной базы показывает, что она не всегда учитывает разнообразие климатических условий, специфику дорожных покрытий и особенности эксплуатации в различных регионах.

Важнейшим документом, определяющим общие требования к безопасности транспортных средств в странах Евразийского экономического союза, является Технический регламент ТР ТС 018/2011 «О безопасности колёсных транспортных средств». В приложении №8 данного регламента содержатся требования к остаточной глубине протектора зимних шин. Для легковых автомобилей эта глубина должна быть не менее 4 мм [103]. Это положение направлено на обеспечение необходимого уровня сцепления шин с дорогой в зимний период. Однако в регламенте отсутствуют чёткие требования к высоте выступа шипов. Документ ограничивается лишь упоминанием их наличия и целостности, что создаёт неопределённость при оценке пригодности шины к дальнейшей эксплуатации. Такая неоднозначность может привести к различиям в интерпретации норм как водителями, так и контролирующими органами.

Особое значение для оценки сцепных свойств имеет ГОСТ 33078-2014 «Автомобильные дороги общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием». Данный стандарт устанавливает методы определения коэффициента сцепления колеса с различными дорожными покрытиями, включая лёд и снег [31]. Несмотря на важность данного

документа, его применение ограничено: он регламентирует лишь методику измерений, но не устанавливает конкретные допустимые значения коэффициента сцепления для шин различных типов, в том числе шипованных. Таким образом, данный стандарт не может быть использован в полной мере для оценки технического состояния зимних шин.

Международная нормативная база представлена, в частности, Правилами ЕЭК ООН №117 «Единообразные предписания, касающиеся утверждения шин в отношении уровней шума при качении и сцепления на мокрой поверхности и/или сопротивления качению». Эти правила широко применяются производителями шин по всему миру. Однако их анализ показывает, что они в основном ориентированы на эксплуатацию шин на мокрой и сухой поверхности [93]. Конкретные требования к сцепным характеристикам на льду или укатанном снегу в документе отсутствуют, что создаёт пробел в регулировании характеристик шипованных шин, особенно в условиях эксплуатации, характерных для северных регионов.

Также важным является ГОСТ Р 54095-2023 «Шины пневматические. Условия хранения, транспортирования и требования к утилизации», который регламентирует правила хранения, транспортирования и утилизации шин [32]. Однако данный стандарт не затрагивает вопросы эксплуатации или диагностики зимних шин. Это подчёркивает необходимость разработки дополнительных документов, которые бы определяли порядок контроля состояния шипов и условий их эксплуатации, включая методы автоматизированной диагностики.

Помимо государственных стандартов, существенное влияние оказывают технические требования производителей шин. Компании указывают в своей документации оптимальные значения давления в шинах, рекомендуемые условия хранения, сроки эксплуатации, минимальную остаточную глубину протектора и допустимую высоту выступа шипов. Однако данные рекомендации могут значительно различаться у разных производителей и не всегда совпадают с национальными или международными стандартами.

Например, один производитель может устанавливать минимальную высоту выступа шипа в 0,8 мм, а другой – в 1,2 мм. Это приводит к возникновению неоднозначных ситуаций при оценке состояния шин, особенно в условиях отсутствия единой методики измерения и учёта износа.

Современные методы диагностики состояния зимних шин и шипов в большинстве случаев выполняются вручную, что повышает вероятность субъективной ошибки и снижает точность оценки. В существующей нормативной базе отсутствуют чёткие регламенты, предусматривающие автоматизированный контроль остаточной высоты шипов и других параметров. Это существенно осложняет задачу прогнозирования ресурса шин и своевременного принятия решений о необходимости их замены.

Проведённый анализ нормативной базы, регулирующей эксплуатацию зимних шин, показывает, что действующие документы охватывают лишь отдельные аспекты обеспечения безопасности и технического состояния шин, не формируя единой комплексной системы требований. Основные положения международных и национальных стандартов сосредоточены на параметрах протектора, допустимой высоте выступа шипов и условиях хранения, однако они слабо учитывают специфику климатических зон и реальные эксплуатационные факторы, влияющие на сцепные свойства.

В частности, Технический регламент ТР ТС 018/2011 устанавливает минимальную глубину протектора, но не содержит норм по высоте выступа шипов, что создаёт неоднозначность при оценке их пригодности. ГОСТ 33078-2014 регламентирует методику измерения коэффициента сцепления, но не задаёт предельных значений для различных типов шин. Международные стандарты, такие как Правила ЕЭК ООН №117, ориентированы на сцепление на мокрых покрытиях и не адаптированы к условиям льда и укатанного снега. При этом национальный ГОСТ Р 54095-2023 охватывает вопросы хранения и утилизации, но не эксплуатации и диагностики шин.

Таким образом, анализ показывает фрагментарность и несогласованность действующих требований. Отсутствие единых норм по

сцепным характеристикам, высоте шипов и методам контроля их состояния снижает точность оценки технического состояния шин и усложняет задачу прогнозирования их ресурса. Для обеспечения безопасности дорожного движения требуется внедрение более комплексного подхода, который учитывал бы влияние климатических условий, дорожных покрытий и эксплуатационных режимов.

Для наглядности различий в подходах представлена сравнительная таблица 1.3:

Таблица 1.3 – Сравнительная характеристика нормативных документов, регулирующих эксплуатацию зимних шин

Документ / Стандарт	Основной предмет регулирования	Наличие норм по шипам	Учёт климатических факторов	Тип регулирования
TP TC 018/2011	Безопасность транспортных средств, глубина протектора	Нет	Частично	Обязательный
ГОСТ 33078-2014	Методы измерения коэффициента сцепления	Нет	Нет	Технический
Правила ЕЭК ООН №117	Шум, сопротивление качению, сцепление на мокрой поверхности	Нет	Нет	Международный
ГОСТ Р 54095-2023	Хранение, транспортировка, утилизация шин	Нет	Нет	Национальный
Технические требования производителей	Давление, высота шипа, сроки эксплуатации	Да (разные нормы)	Частично	Рекомендательный
Положение Банка России "О единой методике определения размера расходов на восстановительный ремонт в отношении повреждённого транспортного средства" [82]	Степень износа шины	Нет	Нет	Обязательный

Обобщая результаты анализа, можно заключить, что современная нормативно-правовая база не обеспечивает достаточной адаптации требований к реальным условиям эксплуатации в северных и континентальных климатических зонах. Необходима разработка унифицированных стандартов, включающих критерии оценки сцепных свойств, нормирование остаточной высоты шипов и внедрение автоматизированных систем диагностики [84]. Это позволит повысить точность контроля состояния шин, продлить срок их службы и снизить риск аварийных ситуаций в зимний период.

1.11. Анализ методик диагностирования технического состояния шин

Современные методы диагностики состояния шипованных шин базируются на трех основных подходах: визуальном осмотре, измерении параметров и специализированных испытаниях в контролируемых условиях [92]. Несмотря на широкое применение, все эти методы обладают рядом ограничений, связанных с точностью, оперативностью и зависимостью от человеческого фактора, что снижает их эффективность при массовой или автоматизированной диагностике.

Визуальный осмотр является наиболее распространённым, но в то же время наименее точным методом оценки состояния шипованных шин. Он предполагает определение видимых повреждений протектора, подсчёт количества сохранившихся шипов, а также выявление их деформаций. Однако исследования показали, что результаты визуального осмотра напрямую зависят от квалификации специалиста, условий освещения и других субъективных факторов, что снижает воспроизводимость полученных данных. Кроме того, ручной подсчёт шипов является трудоёмким и неэффективным для шин с большим количеством шипов и сложным рисунком протектора.

Методы измерения остаточной глубины протектора и высоты выступа шипов обеспечивают более объективные результаты, позволяя получить количественные данные. Однако для этого требуется использование специальных инструментов – штангенциркулей или глубинометров. Даже при их применении измерения часто оказываются недостаточно точными для выявления локальных дефектов, а сам процесс занимает значительное время и плохо масштабируется для массовых проверок. Как отмечают исследования в области трибологии шин [95, 94, 114], износ шипов напрямую влияет на коэффициент сцепления, и точность измерений является критическим фактором при прогнозировании ресурса шин.

Наиболее полные данные о сцепных характеристиках можно получить с помощью специализированных испытаний, проводимых на стендах или полигонах [92, 76]. Эти испытания позволяют оценивать сцепные свойства шин на различных покрытиях (лёд, снег, асфальт) и при разных режимах движения – разгоне, торможении, маневрировании [88, 41]. Однако такие испытания требуют значительных финансовых и временных затрат, а также привлечения квалифицированного персонала, что ограничивает их применение в повседневной практике.

В последние годы разрабатываются системы мониторинга шин в режиме реального времени, использующие датчики удара, температуры и камеру [78]. Эти технологии позволяют получать данные о состоянии шин во время движения автомобиля, но из-за высокой стоимости и сложности интеграции они пока не получили массового распространения и применяются преимущественно в исследовательских целях.

Существующие подходы включают эмпирические и аналитические методы диагностики. Эмпирический метод предполагает подсчёт всех работоспособных шипов после очистки протектора и демонтажа шины. На его основе рассчитывается процент остаточного количества шипов.

Процент остаточного количества шипов является критически важным показателем для оценки эксплуатационной пригодности шипованной шины.

Исследования показывают, что при равномерном выпадении шипов, процент остаточного количества шипов на исправной шипованной шине не должен быть ниже 40% [114]. Значения ниже 40% указывают на значительное снижение коэффициента сцепления шины со скользкими дорожными поверхностями, что приводит к увеличению тормозного пути и снижает общую безопасность эксплуатации транспортного средства. Шины, у которых процент остаточного количества шипов ниже 40%, должны быть заменены или отремонтированы путём повторной ошиповки.

Проверка однородности износа шипов на одной оси автомобиля является важным этапом диагностики шипованных шин. Сравнение количества работоспособных шипов на передних и задних колёсах одной оси позволяет оценить равномерность износа и, следовательно, обеспечить безопасность вождения.

Сравнение шипов на одной оси определяется после подсчёта количества работоспособных шипов на каждойшине, установленной на автомобиле, следует сравнить полученные значения для шин одной оси. Разница в количестве работоспособных шипов между шинами одной оси не должна превышать 20%. Превышение этого значения свидетельствует о неравномерном износе, что может привести к существенному изменению сцепления шин с дорогой на одной стороне автомобиля по отношению к другой. Такое неравномерное распределение сил трения, особенно при разгоне или торможении, создаёт момент сил, способствующий заносу автомобиля, что значительно снижает безопасность его эксплуатации. В таких случаях необходима незамедлительная замена или ремонт шин, включающий ошиповку, для обеспечения равномерного распределения нагрузки и повышения безопасности вождения.

Аналитический метод диагностики состояния шипованных шин основан на принципе частичного анализа, позволяющем оценить состояние всей шины по ограниченной выборке данных. В основе метода лежит мысленное или визуальное деление поверхности протектора на несколько условных зон. Эти

зоны формируются таким образом, чтобы максимально точно отражать реальное распределение шипов и их износа. Чаще всего используется два основных подхода: деление по окружности шины на равные сектора и деление по функциональным областям протектора – центральной, плечевой и промежуточной. При необходимости может применяться комбинированный вариант, при котором сочетаются оба способа.

Преимуществом аналитического метода является существенное сокращение времени диагностики по сравнению с традиционным эмпирическим методом. Подсчёт шипов в одной зоне требует значительно меньше усилий и концентрации специалиста, снижая вероятность ошибок из-за утомляемости и повышая воспроизводимость результатов. Кроме того, метод не требует дорогостоящего оборудования и может выполняться в условиях обычного шиномонтажа или автосервиса.

Однако у метода есть и недостатки. Главным является допущение о равномерности износа шипов по всей поверхности шины. В реальных условиях это допущение часто нарушается из-за особенностей эксплуатации автомобиля, таких как неравномерное распределение нагрузки, различия в давлении в шинах или особенности вождения. Если в выбранной зоне износ шипов отличается от среднего по всей шине, результаты подсчёта будут искажены. Также точность метода сильно зависит от правильности деления протектора на равные части. Неправильное или неточное деление приведёт к систематической ошибке, которая будет влиять на итоговый расчёт.

Дополнительным фактором, снижающим точность, является человеческий фактор. Хотя аналитический метод снижает нагрузку на специалиста, он всё ещё требует внимательности и аккуратности при определении состояния шипов и подсчёте их количества. Ошибки в определении работоспособности отдельных шипов (например, при наличии микротрещин или частичной деформации) могут существенно повлиять на результат.

Таким образом, аналитический метод является компромиссным

решением между традиционным визуальным подходом и более современными автоматизированными системами. Он позволяет снизить трудоёмкость и ускорить процесс диагностики, однако требует внимательного подхода к организации процесса, выбора зон для анализа и интерпретации результатов. Для повышения точности рекомендуется использовать аналитический метод в сочетании с автоматизированными технологиями, которые минимизируют влияние человеческого фактора и обеспечивают более объективную и полную оценку состояния шипованных шин.

Рассмотрение представленных методов диагностики (эмпирического и аналитического) выявило их существенный общий недостаток: значительное влияние человеческого фактора на точность и эффективность подсчёта шипов. Субъективность оценки работоспособности шипов, вероятность ошибок в подсчёте и неравномерность скорости работы оператора снижают достоверность полученных результатов и влияют на точность и обоснованность практических рекомендаций на основе диагностики. В качестве решения данной проблемы могут применяться автоматизированные способы подсчёта шипов [80].

1.12. Автоматизация диагностики технического состояния шипованных шин

Современное развитие систем технического обслуживания транспортных средств характеризуется активным внедрением автоматизированных и интеллектуальных методов диагностики, направленных на повышение точности контроля, снижение трудоёмкости и исключение субъективного влияния оператора. В области оценки технического состояния шин, включая шипованные, автоматизация рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений, поскольку традиционные визуальные и ручные методы не обеспечивают необходимой достоверности и воспроизводимости результатов [58, 60, 9].

В ряде исследований показано, что применение автоматизированных

средств диагностики позволяет перейти от качественной субъективной оценки состояния шин к количественному анализу их эксплуатационных параметров.

В работах Сиротина П.В. и Кристального С.Р. [92, 59] рассмотрены подходы к автоматизированному контролю состояния шин с использованием измерительных систем, датчиков и программных средств обработки данных, обеспечивающих повышение точности и воспроизводимости результатов диагностики.

Отдельное направление исследований связано с разработкой автоматизированных испытательных установок и шинных тестеров, предназначенных для объективной оценки взаимодействия шины с опорной поверхностью в контролируемых условиях. В работах Ле В.Л. [61] представлены методы диагностики тормозных систем автотранспортных средств на основе измерения сил в пятнах контакта колёс с беговыми барабанами стендов, что позволяет получать количественные характеристики сцепных свойств шин.

Конструктивные решения и принципы функционирования шинных тестеров и мобильных испытательных установок, обеспечивающих автоматизированное проведение экспериментальных исследований пневматических шин без непосредственного участия оператора, описаны в работах Жила А.С. и Сергеева Н.В. [38, 91]. В патенте Гергенова С.М. и соавторов [79] предложен шинный тестер для определения коэффициента поперечного сцепления эластичной шины автомобильного колеса, реализующий измерение сцепных характеристик в автоматическом режиме. Отмечено, что применение подобных установок позволяет снизить трудоёмкость испытаний, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить достоверность оценки эксплуатационных свойств шин.

В научных публикациях также подчёркивается, что автоматизированные методы диагностики позволяют существенно сократить время проведения контроля и снизить требования к квалификации обслуживающего персонала. Это особенно важно для автотранспортных

предприятий с большим парком транспортных средств, где регулярная ручная проверка состояния шин сопровождается значительными затратами времени и ресурсов. Автоматизация диагностики рассматривается как основа для внедрения систем мониторинга технического состояния шин в рамках цифровых платформ управления автопарками.

Смежные исследования в области автоматизированного выявления дефектов транспортной инфраструктуры Аксельрода Д.В., Александрова В.С. и Юрчика П.Ф. [10] подтверждают высокую эффективность применения технологий компьютерного анализа изображений для детектирования поверхностных повреждений. Так, в ряде работ, посвящённых автоматическому обнаружению трещин дорожного полотна, показано, что использование изображений, получаемых с камер, установленных на транспортных средствах, позволяет в реальном времени выявлять дефекты покрытия с высокой точностью и устойчивостью к изменению условий освещённости и типа поверхности. Отмечено, что подобные системы обеспечивают надёжную классификацию дефектов на различных видах дорожного полотна и могут быть эффективно использованы для оперативного мониторинга состояния инфраструктуры.

Полученные в указанных исследованиях результаты подтверждают принципиальную применимость методов автоматического детектирования поверхностных дефектов к задачам технической диагностики, в том числе в автомобильной тематике. Аналогичный подход может быть адаптирован и для анализа состояния элементов шины, включая выявление и классификацию дефектов шипов противоскользения на основе обработки изображений протектора.

В то же время анализ существующих публикаций показывает, что большинство автоматизированных решений ориентировано на общий контроль состояния шин либо параметров протектора и давления, тогда как вопросы объективной оценки остаточной степени ошиповки и классификации состояния отдельных шипов освещены ограниченно. Отсутствие

унифицированных методик и технических средств, обеспечивающих комплексную автоматизированную диагностику шипованных шин, указывает на необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

Таким образом, анализ научных источников свидетельствует о высокой актуальности автоматизации диагностики технического состояния шипованных шин и наличии существенного задела в области применения компьютерного зрения и интеллектуальных алгоритмов. Вместе с тем выявлены нерешённые вопросы, связанные с точной количественной оценкой состояния шипов и их влияния на эксплуатационные характеристики шин, что обосновывает целесообразность разработки специализированных методик и диагностических средств, рассматриваемых в последующих разделах диссертационной работы.

1.13. Выводы. Задачи исследований

Анализ существующих подходов к диагностике состояния шипованных шин показал, что в настоящее время широко применяются методы визуального осмотра и измерения параметров вручную, которые, несмотря на простоту и доступность, имеют ряд существенных недостатков. Ключевыми из них являются высокая трудоёмкость, зависимость результатов от квалификации и внимательности специалиста, а также значительное влияние человеческого фактора на точность и воспроизводимость данных.

Исследование литературных источников и практического опыта эксплуатации показало, что в процессе использования шипованных шин происходит постепенный износ шипов, связанный с воздействием дорожного покрытия, температурных факторов, особенностей стиля вождения и конструктивных характеристик шипов. Кроме того, изнашиваются и посадочные места в протекторе, что приводит к выпадению шипов и существенному ухудшению эксплуатационных свойств шины.

Одной из ключевых проблем является то, что срок службы самих шин в большинстве случаев превышает срок службы шипов противоскольжения. Это

приводит к тому, что даже при визуально удовлетворительном состоянии протектора шина теряет свои сцепные свойства и перестаёт обеспечивать необходимый уровень безопасности движения. При этом существующие методики диагностики не обеспечивают достаточной точности для объективной оценки остаточного количества и состояния шипов, что затрудняет своевременное принятие решений о ремонте или замене шин.

Также установлено, что методы диагностики, основанные на ручном подсчёте шипов, не приспособлены для массового контроля большого количества шин и не позволяют проводить диагностику в оперативном режиме. Аналитические методы частично снижают трудоёмкость процесса, однако не решают проблему субъективности оценки и ошибок, вызванных неравномерностью износа и выпадения шипов.

Для повышения точности и эффективности контроля целесообразно внедрение автоматизированных систем диагностики, использующих современные технологии обработки изображений и алгоритмы машинного обучения. Такие системы позволяют минимизировать влияние человеческого фактора, повысить скорость диагностики и формировать объективную и детализированную оценку состояния шины.

Проведённый анализ показал, что одной из ключевых нерешённых проблем в области обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации зимних шин является отсутствие научно обоснованной методики оценки работоспособности, контроля и прогнозирования эксплуатационных свойств шипованных автомобильных шин. Существующие подходы не позволяют в полной мере учитывать влияние эксплуатационных, климатических и конструктивных факторов на изменение сцепных характеристик в процессе износа. Разработка такой методики позволит объективно оценивать техническое состояние шин, прогнозировать остаточный ресурс шипов и принимать своевременные решения о необходимости обслуживания или замены, что, в свою очередь, повысит безопасность дорожного движения и снизит эксплуатационные затраты автотранспортных предприятий.

Задачи исследования:

- 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.

Решение перечисленных задач позволит повысить точность диагностики состояния шин, своевременно выявлять снижение их сцепных свойств, оптимизировать процесс обслуживания и замены шин, а также повысить безопасность эксплуатации транспортных средств в зимних условиях.

2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая методика исследований

Общая методика исследования разработана с учётом положений системного подхода, в соответствии с которым объект исследования рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов, функционирующих в условиях внешней среды. Такой подход позволяет обоснованно формализовать исследуемые процессы, выявить ключевые зависимости и выстроить структуру анализа, направленного на повышение эффективности технической эксплуатации транспортных средств в зимний период.

На первом этапе обосновывается актуальность проблемы обеспечения сцепных свойств шин в условиях зимней эксплуатации. Определяются объект и предмет исследования, формулируется его цель и формируется перечень задач, решаемых в рамках работы. Для детализации постановки задач и уточнения направления дальнейших исследований проводится анализ ранее выполненных теоретических и экспериментальных исследований в рассматриваемой области. На основании полученных выводов конкретизируются исследовательские цели и определяются подходы к построению математических моделей (рисунок 2.1).

Решение поставленных задач осуществляется в рамках аналитического этапа исследования с использованием комплекса теоретических и эмпирических методов. Теоретическая часть основана на применении логико-аналитических методов, таких как анализ и синтез, систематизация, сравнительно-сопоставительный подход и формализация закономерностей.



Рисунок 2.1 – Укрупнённая схема общей методики исследований

Анализ и формализация связей между элементами изучаемой системы проводятся на основе результатов как ранее выполненных теоретических исследований, так и данных, полученных в результате экспериментальных исследований, описанных в следующей главе. Промежуточные результаты обобщаются в виде однофакторных и многофакторных моделей, отражающих

влияние остаточной степени ошиповки и характеристик сцепления на параметры движения автомобиля при разгоне и торможении.

Первая задача исследования – выявление закономерностей, формирующих изменение динамических характеристик при различной степени ошиповки шин. Решается на основе обобщения теоретических представлений о взаимодействии шины с дорожным покрытием, а также статистической обработки экспериментальных данных.

В дальнейшем формулируются гипотезы о виде функциональных зависимостей, определяется система значимых факторов, подлежащих моделированию, и разрабатывается структура математических моделей, позволяющих количественно оценить критические условия эксплуатации шин.

Первая глава диссертационной работы выявила ключевые недостатки существующих методов диагностики шипованных шин и обосновала необходимость разработки автоматизированного решения.

Следующим этапом исследования стала разработка математических моделей, отражающих влияние основных факторов на динамические характеристики автомобиля при зимней эксплуатации. В процессе построения моделей использовался гипотетико-дедуктивный подход. Формулировались гипотезы о виде функциональных зависимостей между степенью ошиповки, коэффициентом сцепления и исследуемыми параметрами (время разгона, тормозной путь), последующая проверка которых осуществлялась на основе обработки экспериментальных данных.

Зависимости формировались как в однофакторной, так и в многофакторной постановке. Их аналитическое представление уточнялось путём аппроксимации экспериментальных точек и оценки статистической значимости выявленных закономерностей. Отдельное внимание уделялось определению области допустимых значений исследуемых параметров, при которых сохраняется безопасный уровень сцепления шин с дорогой.

Заключительным этапом теоретической части исследований стало

проектирование и реализация устройства для автоматизированной оценки степени ошиповки шин. Разработка конструкции велась с учётом требований к надёжности, простоте в эксплуатации и возможности последующей интеграции в систему технического обслуживания автомобилей.

Для проверки работоспособности устройства и оценки его точности были проведены испытания, включающие сопоставление результатов автоматического подсчёта количества шипов с ручным методом. По результатам сравнительного анализа была подтверждена достаточная точность применяемой технологии, что позволяет использовать разработанное устройство в задачах диагностики технического состояния шин в эксплуатации.

2.2. Обоснование цели исследований. Формирование целевой функции

Определение цели исследования и целевой функции осуществляется на основе требований, предъявляемых к научным разработкам в рамках специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта». Согласно её формулировке, область охватывает научные, технические и организационные разработки, направленные на обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации автомобильного транспорта, в том числе за счёт совершенствования процессов диагностики и технического обслуживания, а также рационального использования материальных ресурсов и технологий обеспечения движения в различных условиях.

Ключевая задача прикладных исследований в данной области заключается в обеспечении надёжной, безопасной и экономически оправданной эксплуатации транспортных средств, особенно в условиях сезонных изменений дорожной среды. Известно, что зимой уровень сцепления шин с дорогой существенно снижается, и эффективность торможения и ускорения напрямую зависит от технического состояния шин, в частности, степени их остаточной ошиповки.

Современные методы контроля технического состояния зимних шин в эксплуатации основаны, как правило, на визуальной оценке износа протектора, не позволяющей объективно оценить остаточную степень ошиповки и её влияние на сцепные характеристики. Отсутствие количественных критериев и технических средств объективного контроля приводит к несвоевременному принятию решений о замене шин или проведении ремонтной ошиповки. Это снижает надёжность транспортных средств, увеличивает тормозной путь на скользких покрытиях и повышает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий.

В этой связи целью настоящего исследования является повышение уровня безопасности эксплуатации автомобилей в зимних условиях за счёт разработки математических моделей и средств диагностики, позволяющих объективно оценивать влияние остаточной степени ошиповки и сцепных свойств дорожного покрытия на динамические характеристики транспортных средств.

Для достижения этой цели предусмотрено решение следующего комплекса задач.

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 типами дорожных покрытий.
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.

С точки зрения системного подхода, эффективность решения

поставленной задачи достигается за счёт увеличения достоверности оценки технического состояния шин и снижения затрат, связанных с преждевременной заменой или аварийными ситуациями. Целевая функция может быть представлена как соотношение между надёжностью обеспечения сцепления (в условиях различных покрытий) и затратами на техническое обслуживание шинного парка. В качестве целевого показателя предлагается использовать минимизацию суммарных потерь от снижения сцепных характеристик и нерационального использования зимних шин.

Структура целей и подцелей, формирующих основу данного исследования, представлена на рисунке 2.2.

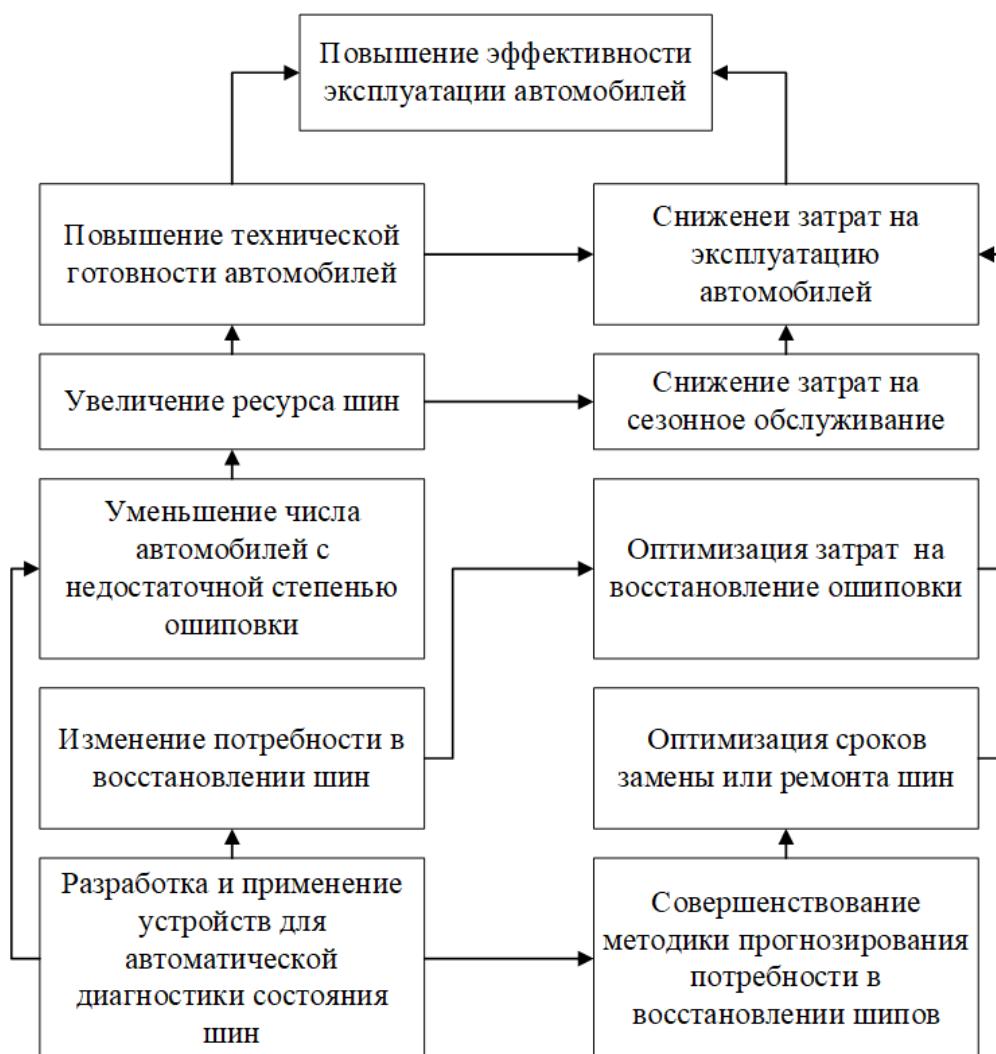


Рисунок 2.2 – Дерево целей при разработке методики оценки и контроля технического состояния автомобильных шипованных шин

Главная цель исследования реализуется через две ключевые подцели:

- обеспечение надёжности и технической готовности автомобилей в зимний период;
- снижение затрат, связанных с обслуживанием шин и аварийными ситуациями, вызванными ухудшением сцепных свойств.

При рассмотрении первой подцели установлено, что она может быть достигнута за счёт предотвращения эксплуатации транспортных средств с недостаточной степенью остаточной ошиповки шин. Проведение своевременной диагностической оценки технического состояния шин позволяет повысить безопасность дорожного движения за счёт сокращения тормозного пути и повышения устойчивости автомобиля на скользких покрытиях.

Вторая подцель ориентирована на минимизацию эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий. Речь идёт о снижении расходов на преждевременную замену шин, минимизации последствий ДТП, связанных с недостаточным сцеплением, и оптимизации планирования ремонтной ошиповки или замены шин.

Для достижения подцелей разрабатывается система оценки технического состояния шин, включающая математические модели и устройство для автоматизированного подсчёта остатка шипов. Эта система позволяет формировать рациональные решения о восстановлении или замене шин на основе количественных критериев, а не субъективных визуальных оценок.

В общем виде целевая функция, отражающая эффективность использования зимних шин с учётом остаточной ошиповки, записывается как:

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{вш}} + Z_{\text{ав}} + Z_{\text{диаг}} \rightarrow \min,$$

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

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

$Z_{\text{диаг}}$ – затраты на реализацию системы диагностики (устройство + оценка).

В рамках диссертации предлагается снизить суммарные затраты Z сумма счёта своевременной и количественно обоснованной оценки остаточной степени ошиповки и определения предельных значений пригодности шин к эксплуатации.

Для удобства анализа и математического моделирования вместо категории «тип дорожного покрытия» используется коэффициент сцепления K_c , который является количественной характеристикой взаимодействия шины с поверхностью дороги и отражает суммарное влияние дорожных условий [22]. Это позволяет не только упростить интерпретацию полученных данных, но и обеспечить универсальность модели, применимой для различных условий эксплуатации.

В качестве ограничений принимаются условия, при которых эксплуатация автомобиля с остаточной ошиповкой шин допустима:

$$\begin{cases} n \geq n_{\min} \\ K_c = f(t, P) \in [0.1; 0.8] \\ S_{\text{торм}} \leq S_{\text{допуст}} \\ t_a \leq t_{\text{допуст}} \end{cases},$$

где n – степень остаточной ошиповки;

K_c – коэффициент сцепления, зависящий от температуры и типа покрытия;

$S_{\text{торм}}, t_a$ – тормозной путь и время разгона;

$S_{\text{допуст}}, t_{\text{допуст}}$ – граничные значения, при которых эксплуатация признаётся безопасной.

Таким образом, планирование технического обслуживания шин с учётом фактической остаточной ошиповки и дорожных условий позволяет минимизировать совокупные потери автопредприятий при сохранении требуемого уровня безопасности.

2.3. Отбор факторов, влияющих на сцепные свойства зимних шин

Сцепные свойства шин в условиях зимней эксплуатации зависят от большого числа факторов, среди которых можно выделить:

- конструктивные особенности шины (тип протектора, глубина канавок, жёсткость резиновой смеси, номинальное количество шипов);
- качество изготовления и используемые материалы;
- давление воздуха вшине;
- температура резины и дорожного покрытия;
- степень износа протектора;
- наличие снега, наледи или влаги в зоне контакта;
- условия эксплуатации (режим движения, нагрузка, маневрирование, скорость);
- сезонные и климатические особенности (температура воздуха, перепады в течение суток, количество осадков).

Как показал анализ выполненных ранее исследований, влияние большинства перечисленных факторов на сцепные свойства шин изучено достаточно подробно. В частности, получены зависимости влияния рисунка протектора и резиновой смеси на коэффициент сцепления, исследованы эффекты давления в шинах и температуры резины, а также особенности работы шин в условиях различной нагрузки и скорости движения. Эти данные могут быть использованы при моделировании сцепных свойств как исходная база.

Однако закономерности изменения сцепных свойств шин в процессе эксплуатации, связанные с потерей шипов, изучены недостаточно. При этом именно степень остаточной ошиповки определяет, насколько эффективно шина взаимодействует с зимними покрытиями, особенно в условиях укатанного снега и льда [101,50].

Вместе с тем большое значение имеет тип дорожного покрытия. Для зимнего периода можно выделить четыре характерных состояния:

- сухой асфальт;
- укатанный снег;
- рыхлый снег;
- лёд.

Влияние этих покрытий на коэффициент сцепления изучено достаточно хорошо [56], однако совместное рассмотрение их с фактором остаточной ошиповки в условиях реальной эксплуатации требует дополнительного исследования.

Поэтому в рамках данной работы в качестве исходных факторов для моделирования сцепных свойств шин и анализа их влияния на динамические показатели автомобиля (время разгона и тормозной путь) выделены:

- степень остаточной ошиповки;
- тип дорожного покрытия (сухой асфальт, укатанный снег, рыхлый снег, лёд).

2.4. Идентификация изучаемой системы

Основной научной идеей диссертационной работы является разработка подхода к оценке технического состояния зимних шин на основе объективных измерений остаточной степени ошиповки и условий сцепления с дорогой, с последующим использованием этой информации для рационализации технического обслуживания.

В ходе аналитических исследований установлено, что остаточная степень ошиповки шин оказывает существенное влияние на динамические характеристики автомобиля в зимний период, в частности – на тормозной путь и время разгона. При этом традиционные методы оценки состояния шин, не учитывающие количество сохранившихся шипов и реальные дорожные условия, не позволяют эффективно управлять планированием замены и обслуживанием шин и обеспечивать безопасную эксплуатацию транспортных средств.

Целью исследования является повышение надёжности и безопасности

эксплуатации автомобилей в зимних условиях за счёт оценки остаточной степени ошиповки шин и учёта сцепных характеристик покрытия, а также разработки математических моделей и средств автоматизированного контроля.

Первый этап исследований по решению обозначенной проблемы посвящён определению структуры изучаемой системы (рисунок 2.3).

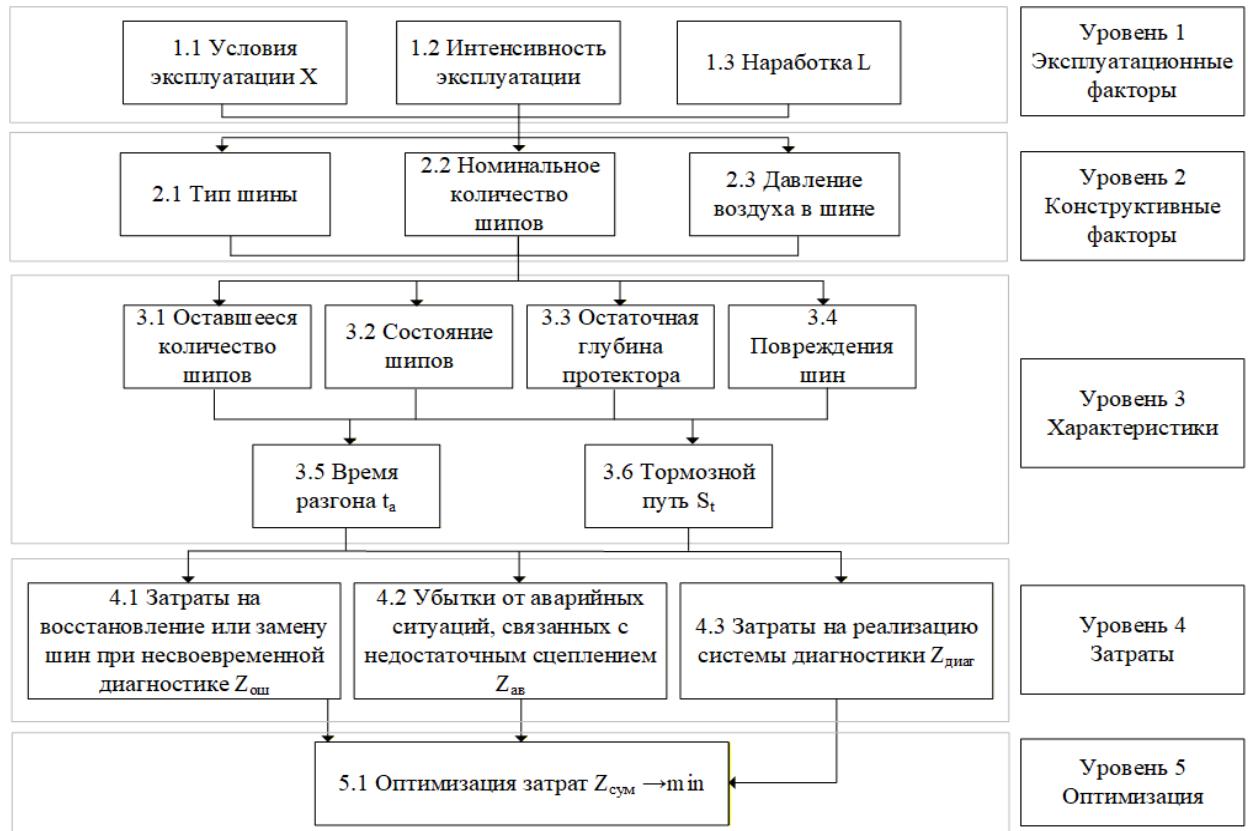


Рисунок 2.3 – Структура изучаемой системы

Рассматриваемая система, связанная с оценкой технического состояния зимних шипованных шин и их влияния на динамические характеристики автомобиля, по своему происхождению является искусственной, поскольку формируется в результате целенаправленных действий человека и функционирует в рамках системы обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации автотранспортных средств.

С иерархической точки зрения она относится одновременно к подсистемам технической эксплуатации автомобилей (в аспекте определения

пригодности шин к дальнейшему использованию) и к системам обеспечения безопасности движения. Это обуславливает её междисциплинарный характер, объединяющий элементы технической диагностики, математического моделирования и практической реализации средств диагностики.

Система обладает выраженными связями с внешней средой – в частности, с климатическими и дорожными условиями, от которых напрямую зависят такие ключевые параметры, как коэффициент сцепления, скорость износа и потеря шипов. В связи с этим система рассматривается как открытая.

Изменяемость параметров во времени (в том числе остаточной ошиповки, погодных условий, характеристик дорожного покрытия) позволяет отнести систему к динамическим, поскольку её состояние и выходные характеристики зависят от текущих и накопленных изменений входных воздействий.

По характеру функционирования система является стохастической. Значительная часть её параметров и связей носит вероятностный характер: например, распределение шипов по поверхности шины, неравномерность их выпадения, вариативность сцепных свойств дорожного полотна в реальных условиях эксплуатации.

Типологически система включает как абстрактные элементы, так и конкретные физические компоненты – шины, протектор, шипы, автомобиль, элементы измерительной аппаратуры. Таким образом, по типу элементов система носит смешанный характер.

Связь между входными параметрами и выходными результатами носит последовательный характер. Выходные значения – такие как тормозной путь и время разгона – определяются не только значениями входных переменных (остаточной ошиповки, коэффициента сцепления), но и последовательностью их действия, а также взаимодействием между ними в процессе движения.

Структурная сложность системы определяется наличием множества взаимосвязанных параметров и переменных, описываемых как дискретными, так и непрерывными функциями, с различной степенью влияния на конечный

результат. Это позволяет отнести рассматриваемую систему к разряду сложных технических систем.

Такое представление исследуемой системы позволяет обоснованно подойти к построению математических моделей и диагностических алгоритмов, направленных на решение задач оценки технического состояния шин и прогнозирования поведения автомобиля в зимних условиях.

Параметризация системы выполнена в виде таблицы (табл. 2.1), в которой приведён перечень и описание элементов изучаемой системы.

Таблица 2.1 – Описание элементов изучаемой системы

Параметр	Описание	Обозначение	Размерность
1	2	3	4
Средняя скорость движения	Среднее значение скорости автомобиля за исследуемый период	$V_{ср}$	км/ч
Тип и состояние дорожного покрытия	Характеристика поверхности: сухой асфальт, укатанный снег, рыхлый снег, лёд	D	категориальная
Условия эксплуатации	Совокупность факторов, определяющих режим работы автомобиля в зимний период	X	–
Перепады температур	Характеристика изменения температурных условий эксплуатации	Δ_t	°C
Количество осадков	Интенсивность выпадения снега/дождя, влияющая на состояние дороги	Q_{oc}	мм
Температура воздуха	Основной климатический фактор, влияющий на сцепление и износ шин	t	°C
Нагрузка на одно колесо	Вертикальная нагрузка, передаваемая от автомобиля на колесо	P_k	кН
Средняя скорость движения	Повторяющийся параметр, уточняющий эксплуатационные условия	$V_{ср}$	км/ч
Наработка	Пробег или время работы автомобиля с начала эксплуатации	L	км; моточас
Тип шины	Конструктивная характеристика покрышки, определяющая назначение (зимняя, всесезонная, с шипами/без шипов), рисунок протектора и технологию изготовления	$T_{ш}$	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Номинальное количество шипов	Количество шипов, установленное производителем в новой шине, определяющее исходный уровень сцепных свойств	n_0	шт.
Давление воздуха в шинах	Текущее давление в шине	$P_{ш}$	МПа
Интенсивность эксплуатации	Скорость приращения наработки автомобиля во времени	I	км/год; км/мес.
Оставшееся количество шипов	Число сохранённых шипов после износа	n	шт.
Состояние шипов	Степень износа сердечника и корпуса шипа	$S_{ш}$	—
Остаточная глубина протектора	Остаточная глубина рисунка протектора	h_p	мм
Повреждения шин	Наличие механических дефектов (порезы, пробои, разрывы)	$D_{ш}$	—
Тормозной путь	Дистанция от начала торможения до полной остановки	S_t	м
Время разгона	Время набора скорости до установленного значения	t_a	с
Затраты на восстановление или замену шин	Потери при несвоевременной диагностике износа	$Z_{вос}$	руб.
Убытки от аварийных ситуаций	Затраты, связанные с ДТП из-за недостаточного сцепления	$Z_{ав}$	руб.
Затраты на реализацию системы диагностики	Стоимость внедрения и эксплуатации диагностической системы	$Z_{диаг}$	руб.
Оптимизация затрат	Целевая функция – минимизация суммарных затрат	$Z_{сум}$	руб.

Эксплуатационные факторы (скорость движения, состояние дорожного покрытия, количество осадков, температура воздуха, перепады температур, нагрузка на колесо) формируют внешние условия функционирования системы и напрямую влияют на износ шин, потерю шипов и изменение их характеристик.

Конструктивные параметры шин (тип шины, номинальное количество шипов, давление воздуха, остаточная глубина протектора, состояние и количество сохранившихся шипов) определяют исходные сцепные свойства и динамику их изменения в процессе эксплуатации.

Эти параметры в совокупности отражаются на характеристиках

безопасности движения – тормозном пути и времени разгона. Негативное изменение указанных показателей при недостаточной ошиповке увеличивает вероятность аварийных ситуаций и, как следствие, формирует дополнительные затраты.

На завершающем уровне учитываются экономические показатели: затраты на восстановление или замену шин, убытки от аварий и стоимость внедрения диагностической системы. Оптимизация сводится к минимизации суммарных затрат при сохранении требуемого уровня безопасности движения.

Таким образом, исследуемая система представляет собой многоуровневую совокупность эксплуатационных и конструктивных факторов, динамических характеристик автомобиля и связанных с ними затрат. Структурирование параметров позволяет формализовать взаимосвязи между остаточной ошиповкой шин и безопасностью движения.

2.5. Модель влияния остаточной степени ошиповки шин на время разгона автомобиля

Разработка математической модели, описывающей влияние остаточной степени ошиповки зимних шин на динамические характеристики автомобиля, базируется на физико-механических особенностях взаимодействия шины с зимним дорожным покрытием.

Шипы противоскользжения обеспечивают локальное разрушение ледяной корки, увеличение микроконтактов между шиной и дорогой, а также повышение коэффициента сцепления при продольных и поперечных нагрузках. Снижение их количества приводит к значительному ухудшению сцепных свойств, особенно при движении на низкотемпературных и скользких покрытиях. Исходя из этого, можно утверждать, что степень остаточной ошиповки непосредственно влияет на способность автомобиля реализовывать тяговое усилие, а значит – и на показатель времени разгона до заданной скорости.

При формировании модели необходимо учитывать следующие

общетехнические положения:

- при номинальном количестве шипов (100%) обеспечивается максимальное сцепление на скользких покрытиях, и время разгона минимально для данных условий;
- с уменьшением количества шипов снижается эффективность тягового взаимодействия шины с поверхностью, что приводит к увеличению времени разгона;
- уменьшение остаточной степени ошиповки ниже определённого предельного уровня может вызывать резкое снижение сцепления, особенно при наличии льда, что сопровождается ростом пробуксовки;
- воздействие количества шипов на динамику автомобиля носит нелинейный характер, поскольку ухудшение сцепления ускоряется при приближении остаточного количества шипов к нулю;
- степень ошиповки $n \in [0;1]$ может быть введена как безразмерный нормализованный параметр, где $n = 1$ соответствует новой шине, а $n = 0$ – полной утрате шипов.

Исходя из этих предпосылок, возможны различные гипотезы о виде зависимости времени разгона t_a от степени ошиповки n (рисунок 2.3).

- Линейная модель:

$$t_a = a_0 + a_1 n.$$

Может быть использована как приближение в ограниченном диапазоне, но не отражает физически обоснованного ускоренного ухудшения сцепления при критическом снижении числа шипов.

- Экспоненциальная модель:

$$t_a = a_0 e^{a_1 n}.$$

Может использоваться для моделирования резкого возрастания времени разгона при снижении количества шипов, однако менее удобна для интерпретации и совмещения в многофакторных уравнениях.

- Квадратичная модель:

$$t_a = a_0 + a_1 n + a_2 n^2.$$

Является более гибкой и позволяет описать как замедленный, так и ускоренный характер изменения времени разгона в зависимости от степени ошиповки. Учитывает тот факт, что при $n \approx 1$ изменения несущественны, а при $n \rightarrow 0$ происходит лавинообразное ухудшение сцепления.

С учётом физической природы процесса и возможности последующего включения в многофакторную модель, наиболее рациональной формой зависимости между временем разгона и степенью остаточной ошиповки представляется квадратичная:

$$t_a = a_0 + a_1 n + a_2 n^2,$$

где t_a – время разгона до заданной скорости, с;

n – степень ошиповки, безразмерная величина от 0 до 1;

a_0, a_1, a_2 – эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам эксперимента.

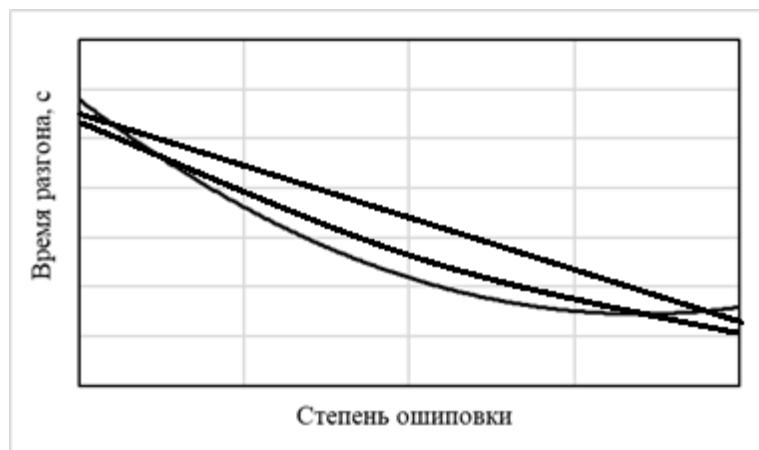


Рисунок 2.4 – Гипотеза о виде математической модели влияния степени ошиповки на время разгона

Предложенная модель будет в дальнейшем проверена на предмет адекватности реальным условиям эксплуатации, а также использована в составе многофакторной зависимости, описывающей поведение автомобиля в условиях зимней эксплуатации.

2.6. Модель зависимости тормозного пути от степени остаточной ошиповки шин

В условиях зимней эксплуатации автомобиля одним из наиболее важных показателей безопасности является тормозной путь. Существенное влияние на тормозные характеристики оказывает наличие или отсутствие шипов противоскольжения, обеспечивающих разрушение тонкой водяной или ледяной плёнки, проникновение в неровности дорожного покрытия и стабилизацию сцепных свойств.

Разработка математической модели зависимости тормозного пути от степени ошиповки требует учёта следующих физико-механических предпосылок:

- при полной ошиповке (100%) 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 30–50%) 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 чрезмерное количество шипов может не улучшать, а иногда даже ухудшать торможение из-за уменьшенной площади контакта и увеличения жёсткости протектора.

На основании изложенного можно выдвинуть ряд гипотез о виде математической зависимости тормозного пути S_t от степени ошиповки n (рисунок 2.4).

- Линейная модель:

$$S_t = d_0 + d_1 n.$$

Применима в ограниченном диапазоне и не отражает резкого роста тормозного пути при низких значениях n .

– Экспоненциальная модель:

$$S_t = d_0 e^{d_1 n}.$$

Может использоваться для моделирования резкого увеличения тормозного пути при снижении количества шипов, однако менее удобна для интерпретации и совмещения в многофакторных уравнениях.

– Квадратичная модель:

$$S_t = d_0 + d_1 n + d_2 n^2.$$

Позволяет описать характер зависимости с точкой минимума при $n = 1$ и резким ростом S_t при $n \rightarrow 0$. Это наиболее рациональный вид для аппроксимации экспериментальных данных, поддающийся последующему расширению до многофакторной модели.

С учётом требований к модели – адекватности, интерпретируемости и простоты включения в многофакторную структуру, наиболее обоснованной представляется квадратичная модель:

$$S_t = d_0 + d_1 n + d_2 n^2,$$

где S_t – тормозной путь, м;

n – степень остаточной ошиповки, безразмерная величина $[0 \dots 1]$;

d_0, d_1, d_2 – эмпирические коэффициенты, определяемые на основе обработки экспериментальных данных.

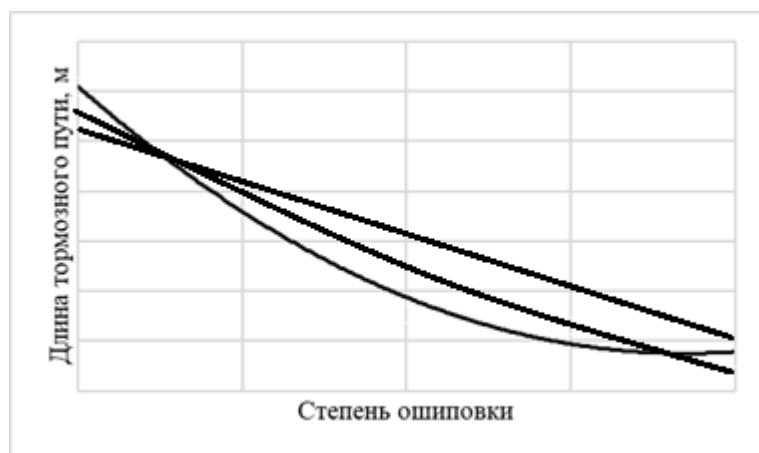


Рисунок 2.5 – Гипотеза о виде математической модели влияния степени ошиповки на длину тормозного пути

Выдвинутые гипотезы подлежат проверке на основе экспериментальных данных. Полученная модель будет использоваться как компонент в структуре многофакторной зависимости, включающей также коэффициент сцепления и другие эксплуатационные параметры.

2.7. Модель влияния коэффициента сцепления на тормозной путь автомобиля

Тип дорожного покрытия является одним из основных факторов, определяющих условия взаимодействия шин с дорогой и, следовательно, уровень безопасности движения в зимний период. В зависимости от состояния покрытия (сухой асфальт, укатанный или рыхлый снег, лёд) существенно изменяется коэффициент сцепления, который напрямую влияет на эффективность торможения и разгона автомобиля. Именно дорожное покрытие формирует базовые условия, в которых проявляется влияние других эксплуатационных факторов, таких как степень ошиповки шин или нагрузка на колесо.

Вместе с тем в рамках данной работы для удобства интерпретации результатов влияние типа дорожного покрытия заменено на количественный показатель – коэффициент сцепления. Такой подход позволяет исключить неоднозначность качественного описания дорожных условий и перейти к формализованной характеристике, отражающей их сущность. Каждому характерному типу покрытия ставится в соответствие определённый диапазон значений коэффициента сцепления, что обеспечивает возможность построения математической модели зависимости тормозного пути и времени разгона от технического состояния шин и условий эксплуатации.

При построении модели необходимо учитывать следующие общие инженерные принципы:

– 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.

Таким образом, зависимость тормозного пути от коэффициента сцепления обладает нелинейным характером, особенно выраженным в диапазоне низких значений K_c . Это обуславливает необходимость использования моделей, способных адекватно описывать резкое увеличение тормозного пути при снижении сцепных свойств.

Выдвинем следующие гипотезы о виде зависимости тормозного пути S_t от коэффициента сцепления K_c .

- Линейная модель:

$$S_t = c_0 + c_1 K_c.$$

Данная модель отражает физический смысл процесса и используется в базовых уравнениях торможения, но не учитывает предельное поведение на участках с высоким сцеплением.

- Экспоненциальная модель:

$$S_t = c_0 e^{c_1 K_c}.$$

Применяется для описания насыщения эффекта при увеличении сцепления, но менее интуитивна с точки зрения интерпретации параметров и может быть ограничена в области применения.

- Квадратичная модель:

$$S_t = c_0 + c_1 K_c + c_2 K_c^2.$$

Позволяет аппроксимировать данные в ограниченном диапазоне и может быть полезной для последующей многофакторной модели.

В соответствии с требованиями к модели – адекватность физическому смыслу, возможность практического применения, совместимость с многофакторными уравнениями – наиболее обоснованной является

квадратичная модель модель, либо модель с гиперболическим типом зависимости, отражающая резкое увеличение тормозного пути при снижении K_c , а также насыщение при его высоких значениях:

$$S_t = c_0 + c_1 K_c + c_2 K_c^2,$$

где S_t – тормозной путь, м;

K_c – коэффициент сцепления;

c_0, c_1, c_2 – эмпирические коэффициенты, подбираемые по результатам натурных испытаний.

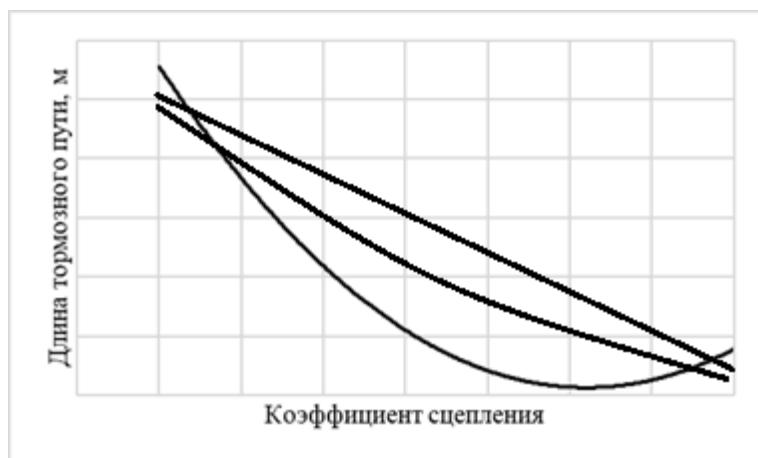


Рисунок 2.6 – Гипотеза о виде математической модели влияния коэффициента сцепления на длину тормозного пути

Полученная модель подлежит последующей проверке и уточнению на основе экспериментальных данных, а также будет использоваться в составе многофакторной зависимости, учитывающей одновременно коэффициент сцепления и степень остаточной ошибки.

2.8. Модель зависимости времени разгона автомобиля от коэффициента сцепления шин с дорогой

Формирование математической зависимости времени разгона автомобиля от коэффициента сцепления должно учитывать следующие физически обоснованные положения:

- при высоких значениях K_c (например, $K_c \geq 0,8$) тяговое усилие реализуется почти полностью, пробуксовка минимальна, и время разгона достигает наименьших значений;
- 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.

На основании этих положений возможно выдвижение следующих гипотез о виде зависимости времени разгона t_a от коэффициента сцепления K_c (рисунок 2.6).

- Линейная модель:

$$t_a = b_0 + b_1 K_c.$$

Соответствует основам динамики поступательного движения и используется как упрощённая теоретическая модель. Однако она не отражает насыщения эффекта при высоких значениях K_c .

- Экспоненциальная модель:

$$t_a = b_0 e^{b_1 K_c}.$$

Применяется для описания насыщения эффекта при увеличении сцепления, но менее интуитивна с точки зрения интерпретации параметров и может быть ограничена в области применения.

- Квадратичная модель:

$$t_a = b_0 + b_1 K_c + b_2 K_c^2.$$

Применима для аппроксимации экспериментальных данных, особенно при их регулярной структуре. Однако не отражает теоретической нелинейной природы зависимости и может быть лишь приближённой.

С учётом требований к интерпретируемости, адекватности и совместимости с многофакторными моделями, наиболее целесообразным видом функциональной зависимости представляется квадратичная модель:

$$t_a = b_0 + b_1 K_c + b_2 K_c^2,$$

где t_a – время разгона до заданной скорости (например, 60 км/ч), с;

K_c – коэффициент сцепления шины с дорогой, безразмерный;

a_0, a_1, a_2 – эмпирические параметры, определяемые по результатам экспериментов.

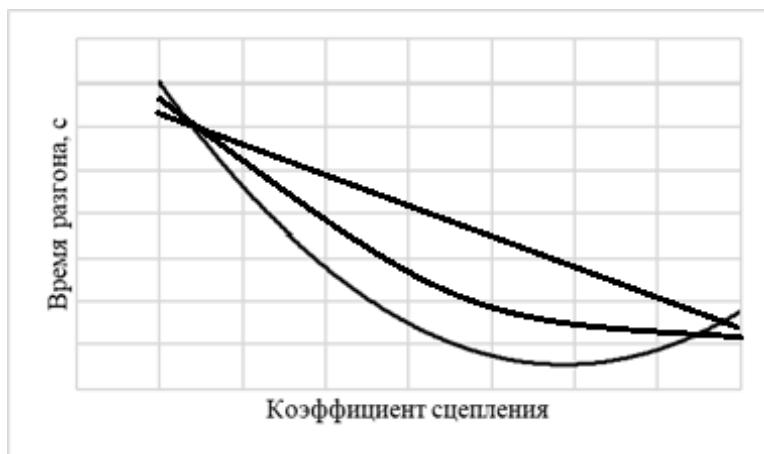


Рисунок 2.7 – Гипотеза о виде математической модели влияния коэффициента сцепления на время разгона

Выдвинутые гипотезы подлежат проверке на основе экспериментальных данных, полученных при испытаниях автомобиля на полигонах с различными типами дорожного покрытия. По результатам аппроксимации будет выбрана модель, обеспечивающая наилучшее соответствие фактическим данным и удовлетворяющая критериям адекватности.

2.9. Многофакторная модель влияния коэффициента сцепления и степени ошибки шин на тормозной путь автомобиля

На основе теоретических положений, изложенных в предыдущих разделах, а также эмпирических закономерностей, полученных в результате

анализа однофакторных зависимостей, выдвигается гипотеза о виде математической модели, описывающей совместное влияние коэффициента сцепления шин с дорогой K_c и степени ошиповки шин n на тормозной путь автомобиля S_t .

Известно, что при уменьшении коэффициента сцепления тормозной путь существенно возрастает, особенно при значениях $K_c < 0,3$ характерных для обледенелых и снежных поверхностей. Аналогично, снижение количества шипов приводит к ухудшению сцепных свойств и увеличению тормозного пути. При этом существует взаимное влияние этих факторов: эффективность шипов проявляется в условиях низкого сцепления, и наоборот – на асфальте их вклад минимален. Это указывает на необходимость включения в модель смешанных членов, отражающих взаимодействие факторов.

На основе анализа вариантов однофакторных моделей (см. подразделы 2.5–2.8), а также с учётом требований к системности и интерпретируемости, сформулировано четыре варианта многофакторных математических моделей.

Вариант 1. Линейная структура с перекрёстным взаимодействием.

Исходные однофакторные модели:

$$S_t = d_0 + d_1 n;$$

$$S_t = c_0 + c_1 K_c.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$S_t = d_0 c_0 + d_1 c_0 n + d_0 c_1 K_c + d_1 c_1 n K_c.$$

Обозначим:

$$A_0 = d_0 c_0;$$

$$A_1 = d_1 c_0;$$

$$A_2 = d_0 c_1;$$

$$A_3 = d_1 c_1.$$

Получим:

$$S_t = A_0 + A_1 n + A_2 K_c + A_3 n K_c,$$

где S_t – тормозной путь, м;

n – степень ошибки (от 0 до 1);

A_0, A_1, A_2, A_3 – эмпирические коэффициенты;

K_c – коэффициент сцепления.

Вариант 2. Квадратичная модель с отдельными нелинейными членами.

Исходные однофакторные модели:

$$S_t = d_0 e^{d_1 n};$$

$$S_t = c_0 e^{c_1 K_c}.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$S_t = d_0 c_0 e^{d_1 n} e^{c_1 K_c}.$$

Обозначим:

$$A_0 = d_0 c_0;$$

$$A_1 = d_1;$$

$$A_2 = c_1.$$

Получим:

$$S_t = A_0 c_0 e^{A_1 n} e^{c_1 K_c},$$

где A_0, A_1, A_2 – эмпирические коэффициенты.

Вариант 3. Полиномиальная модель 2-го порядка со смешанными членами.

Исходные однофакторные модели:

$$S_t = d_0 + d_1 n + d_2 n^2;$$

$$S_t = c_0 + c_1 K_c + c_2 K_c^2.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$S_t = d_0 c_0 + d_0 c_1 K_c + c_0 d_1 n + d_1 c_1 K_c n + d_0 c_2 K_c^2 + c_0 d_2 n^2 + d_1 c_2 n K_c^2 + c_1 d_2 K_c n^2 + d_2 c_2 n^2 K_c^2.$$

Обозначим:

$$A_0 = d_0 c_0;$$

$$A_1 = d_0 c_1;$$

$$A_2 = c_0 d_1;$$

$$A_3 = c_1 d_1;$$

$$A_4 = d_0 c_2;$$

$$A_5 = c_0 d_2;$$

$$A_6 = d_1 c_2;$$

$$A_7 = c_1 d_2;$$

$$A_8 = d_2 c_2.$$

Получим:

$$S_t = A_0 + A_1 K_c + A_2 n + A_3 K_c n + A_4 K_c^2 + A_5 n^2 + A_6 n K_c^2 + A_7 K_c n^2 + A_8 n^2 K_c^2,$$

где $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$ – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, разработанные гипотезы многофакторных моделей позволяют описывать совместное влияние степени ошиповки шин и коэффициента сцепления с дорожным покрытием на тормозной путь автомобиля. Графическое представление зависимости тормозного пути от параметров эксплуатации приведено на рисунке 2.7.

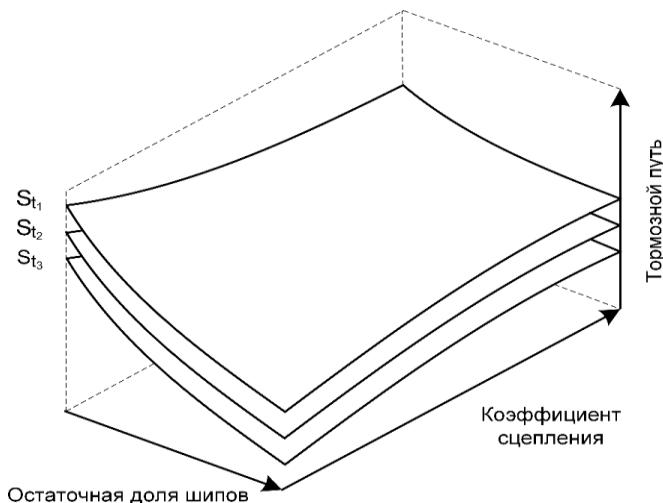


Рисунок 2.8 – Гипотеза о виде многофакторной математической модели влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки на тормозной путь автомобиля

Каждая из моделей может быть адаптирована и уточнена на основании последующего экспериментального исследования и статистической оценки качества аппроксимации. Наиболее подходящий вид модели будет выбран на основе критериев адекватности, достоверности, интерпретируемости и

практической применимости.

2.10. Многофакторная модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля

В соответствии с результатами аналитических и экспериментальных исследований, время разгона автомобиля до заданной скорости в зимних условиях зависит от сцепных свойств шин с дорожным покрытием, определяемых коэффициентом сцепления K_c , а также от степени сохранности шипов, характеризуемой относительной степенью ошиповки шин n .

Коэффициент сцепления значительно варьируется в зависимости от типа дорожного покрытия, в то время как степень ошиповки снижается в процессе эксплуатации. При этом наблюдается взаимное влияние указанных факторов: эффективность шипов в формировании сцепного свойства существенно выше на обледенелом и снежном покрытии, чем на сухом асфальте. Это указывает на необходимость разработки многофакторной модели с учётом перекрёстных и нелинейных взаимодействий.

Вариант 1. Линейная модель с взаимодействием факторов.

Если принять гипотезу о приблизительно линейной зависимости времени разгона от каждого из факторов, а также учесть возможное взаимодействие между ними, модель может быть представлена в следующем виде:

Исходные однофакторные модели:

$$t_a = a_0 + a_1 n;$$

$$t_a = b_0 + b_1 K_c.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$t_a = a_0 b_0 + a_1 b_0 n + a_0 b_1 K_c + a_1 b_1 n K_c.$$

Обозначим:

$$A_0 = a_0 b_0;$$

$$A_1 = a_1 b_0;$$

$$A_2 = a_0 b_1;$$

$$A_3 = a_1 b_1.$$

Получим:

$$S_t = A_0 + A_1 + A_2 n + A_3 K_c + A_4 n K_c.$$

Вариант 2. Квадратичная модель.

Исходные однофакторные модели:

$$t_a = a_0 e^{a_1 n};$$

$$t_a = b_0 e^{b_1 K_c}.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$S_t = a_0 b_0 e^{a_1 n} e^{b_1 K_c}.$$

Обозначим:

$$A_0 = a_0 b_0;$$

$$A_1 = a_1;$$

$$A_2 = b_1.$$

Получим:

$$S_t = A_0 c_0 e^{A_1 n} e^{c_1 K_c}.$$

где A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 – эмпирические коэффициенты.

Вариант 3. Полиномиальная модель второго порядка со смешанными членами.

Исходные однофакторные модели:

$$t_a = a_0 + a_1 n + a_2 n^2;$$

$$t_a = b_0 + b_1 K_c + b_2 K_c^2.$$

Компоновка многофакторной модели:

$$S_t = a_0 b_0 + a_0 b_1 K_c + b_0 a_1 n + a_1 b_1 K_c n + a_0 b_2 K_c^2 + b_0 a_2 n^2 + a_1 b_2 n K_c^2 + \\ + b_1 a_2 K_c n^2 + a_2 b_2 n^2 K_c^2.$$

Обозначим:

$$A_0 = a_0 b_0;$$

$$A_1 = a_0 b_1;$$

$$A_2 = b_0 a_1;$$

$$A_3 = a_1 b_1;$$

$$A_4 = a_0 b_2;$$

$$A_5 = b_0 a_2;$$

$$A_6 = a_1 b_2;$$

$$A_7 = b_1 a_2;$$

$$A_8 = a_2 b_2.$$

Получим:

$$S_t = A_0 + A_1 K_c + A_2 n + A_3 K_c n + A_4 K_c^2 + A_5 n^2 + A_6 n K_c^2 + A_7 K_c n^2 + A_8 n^2 K_c^2,$$

где $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$ – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, для описания взаимного влияния коэффициента сцепления и остаточной ошиповки шин на время разгона автомобиля сформулированы четыре варианта математических моделей. Графическое представление поверхности приведено на рисунке 2.8.

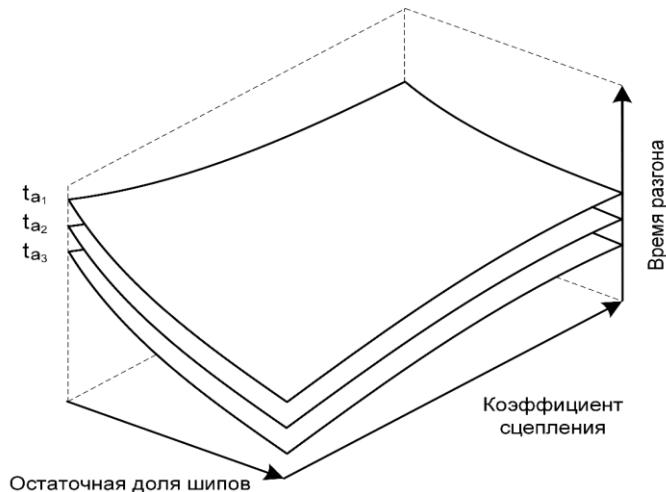


Рисунок 2.9 – Гипотеза о виде многофакторной модели влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки на время разгона автомобиля.

Каждый из предложенных вариантов подлежит проверке на соответствие экспериментальным данным. Выбор наилучшей модели производится на основании значений коэффициента детерминации, коэффициента корреляции, дисперсионного отношения Фишера, средней ошибки аппроксимации и статистической значимости коэффициентов.

2.11. Выводы по разделу 2

На основе аналитических исследований обоснована цель работы и сформирована целевая функция, ориентированная на повышение безопасности и эффективности зимней эксплуатации за счёт улучшения сцепных свойств шин.

По результатам анализа ранее выполненных исследований и априорного экспертного ранжирования выполнен предварительный отбор факторов, влияющих на динамику автомобиля в зимних условиях. К ключевым отнесены: остаточная степень ошиповки шин, тип и состояние дорожного покрытия (сухой асфальт, укатанный снег, рыхлый снег, лёд).

Сформирована структура изучаемой системы и выявлены базовые закономерности взаимодействия её элементов, включая влияние степени ошиповки и типа покрытия на время разгона и тормозной путь.

Разработаны гипотезы о виде однофакторных моделей влияния остаточной степени ошиповки на время разгона и тормозной путь, коэффициента сцепления (как функции типа и состояния покрытия) на время разгона и тормозной путь.

В качестве базового класса аппроксимаций приняты полиномиальные модели невысокого порядка с физически корректными ограничениями (не отрицательность тормозного пути, монотонность на релевантных интервалах и др.).

Разработана гипотеза о виде многофакторной модели, описывающей совместное влияние остаточной степени ошиповки и коэффициента сцепления (тип/состояние покрытия) на время разгона и тормозной путь; предусмотрены перекрёстные члены, отражающие взаимодействие факторов.

Для проверки гипотез и идентификации численных параметров моделей запланированы эксперименты исследования: измерение времени разгона и тормозного пути на заданных покрытиях при разных уровнях остаточной ошиповки, с последующей оценкой статистической значимости и областей применимости моделей.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Цель и задачи экспериментальных исследований

Цель экспериментальных исследований – проверка гипотез, сформулированных в аналитической части работы, а также определение численных значений параметров математических моделей, описывающих влияние степени ошиповки шин и дорожных условий на динамические характеристики автомобиля.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проверка гипотезы о влиянии степени ошиповки шин на время разгона автомобиля до 60 км/ч на различных типах дорожного покрытия;
- проверка гипотезы о влиянии степени ошиповки на тормозной путь при экстренном торможении со скорости 60 км/ч;
- определение зависимости времени разгона и тормозного пути от типа дорожного покрытия при фиксированной степени ошиповки;
- проверка гипотез о виде однофакторных математических моделей, описывающих влияние степени ошиповки на динамические характеристики автомобиля;
- проверка гипотез о виде многофакторной математической модели, учитывающей степень ошиповки и коэффициент сцепления;
- определение численных значений параметров математических моделей для последующего использования при разработке рекомендаций по эксплуатации шин.

Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе выполнялись активные эксперименты в лабораторно-полигонных условиях с последовательным изменением степени ошиповки шин и регистрацией динамических характеристик автомобиля при различных типах дорожного покрытия и режимах привода. На втором этапе проводились анализ и обработка экспериментальных данных, построение и верификация однофакторных и многофакторных математических моделей, а также

сопоставление полученных результатов с гипотезами, выдвинутыми на аналитическом этапе исследований.

3.2. План эксперимента

План экспериментального исследования разработан с учётом целей и задач, поставленных в работе, а также требований к достоверности и воспроизводимости результатов. Эксперимент направлен на выявление количественного влияния степени ошиповки шин на динамические характеристики автомобиля при различных условиях зимней эксплуатации.

Основные управляемые факторы эксперимента: степень ошиповки шин, тип дорожного покрытия и режим привода автомобиля. Степень ошиповки варьировалась поэтапно с шагом 25 % от номинального количества шипов. Это позволило исследовать изменения динамических характеристик автомобиля при наиболее характерных уровнях износа шин: 100 %, 75 %, 50 %, 25 % и 0 %.

Тип дорожного покрытия включал четыре варианта, соответствующих реальным условиям зимней эксплуатации транспортных средств: лёд, уплотнённый снег, рыхлый снег и сухой асфальт. Такие покрытия выбраны исходя из их наибольшей распространённости в условиях эксплуатации в северных регионах и соответствуют классификации, приведённой в нормативных документах (ГОСТ 33181-2014, ГОСТ Р 50597-2017 [29,31]).

В эксперименте рассматривались два режима работы автомобиля: задний привод и полный привод. Это позволило оценить влияние распределения тягового усилия на динамические характеристики при различных сочетаниях степени ошиповки и дорожных условий.

Каждая серия испытаний включала измерение двух основных параметров: времени разгона автомобиля до скорости 60 км/ч и тормозного пути при экстренном торможении с этой скорости до полной остановки. Выбор данного скоростного режима обусловлен его соответствием условиям движения автомобилей в населённых пунктах и на загородных дорогах в

зимний период.

Для обеспечения необходимой точности и достоверности результатов в каждой комбинации условий (уровень ошибки, тип покрытия, режим привода) выполнялась серия испытаний.

Алгоритм проведения эксперимента предусматривал следующую последовательность действий: подготовка шин (удаление старых шипов, установка новых, обкатка после дошиповки), проведение серии заездов с регистрацией параметров разгона и торможения, смена уровня ошибки, повторение цикла испытаний на каждом из типов дорожного покрытия.

Все полученные данные фиксировались в протоколах испытаний и в электронных таблицах для последующей обработки и построения математических моделей.

Для обеспечения необходимой точности и достоверности результатов исследования рассчитано минимальное количество заездов в одной точке плана эксперимента.

Расчёт выполнялся по зависимости [42]:

$$N = \frac{t_p^2 V_q^2}{\Delta^2},$$

где t_p – значение статистики Стьюдента для заданной доверительной вероятности Р;

V_q – коэффициент вариации измеряемого параметра;

Δ – допустимая относительная ошибка.

По результатам предварительного эксперимента коэффициент вариации составил $V_q = 0,07$ для времени разгона и $V_q = 0,08$ для тормозного пути.

Также получены выборки значений тормозного пути и времени ускорения, распределённых по нормальному закону [42], в графическом виде представлены на рисунке 3.1 и рисунке 3.2.

$$f(q) = \frac{1}{0,17\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(1,27-q)^2}{0,058}}.$$

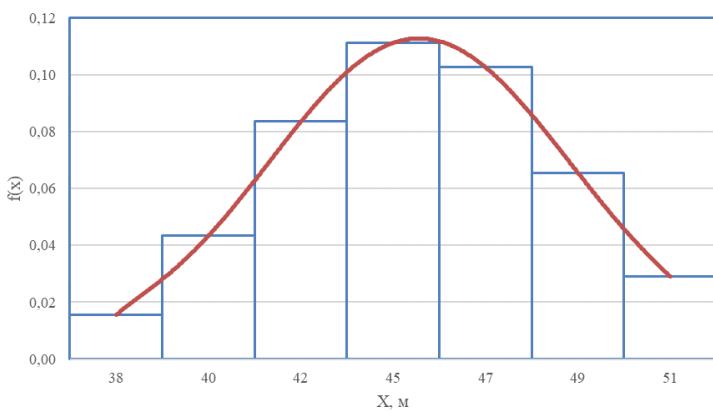


Рисунок 3.1 – Распределение тормозного пути при однородных условиях

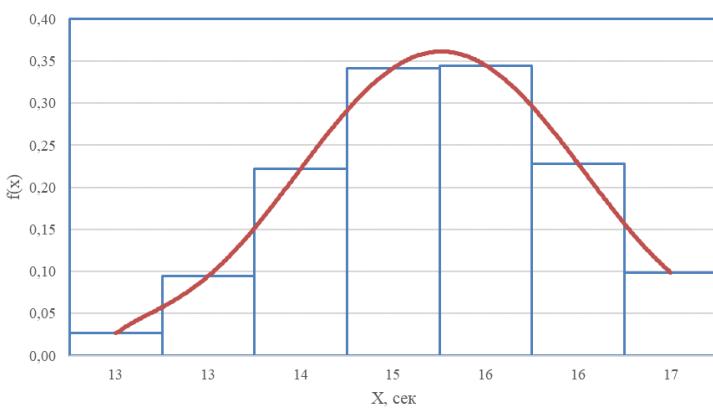


Рисунок 3.2 – Распределение времени разгона при однородных условиях

Для доверительной вероятности $P = 0,95$ и относительной ошибки $\Delta = 0,10$ минимальное количество заездов составило 4 для времени разгона и 5 для тормозного пути.

Подобные расчёты выполнены для различных уровней доверительной вероятности и относительной ошибки. Результаты приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Минимальное количество заездов для оценки времени разгона
($V_q = 0,07$)

Относительная ошибка Δ	Количество измерений, ед				
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
0,10	2	3	4	6	7
0,05	7	11	16	23	28

Таблица 3.2 – Минимальное количество заездов для оценки тормозного пути
($V_q = 0,08$)

Относительная ошибка Δ	Количество измерений, ед				
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
0,10	2	3	5	6	12
0,05	6	12	19	26	47

Из данных таблиц следует, что для обеспечения относительной ошибки измерений не более 10 % при доверительной вероятности 0,95, в соответствии с расчётами на основе коэффициента вариации и критерия Стьюдента, необходимо выполнять не менее четырёх заездов для регистрации времени разгона и не менее пяти заездов для измерения тормозного пути в каждой экспериментальной точке.

С учётом вышеуказанных требований сформирована матрица плана эксперимента по оценке времени разгона, приведённая в таблице 3.3, включающая все комбинации условий с соответствующим числом повторных испытаний. Эта матрица легла в основу последующей аппроксимации экспериментальных данных и построения многофакторных регрессионных моделей.

Таблица 3.3 – Матрица плана полного факторного эксперимента времени разгона заднеприводного и полноприводного автомобиля $2 \times 4 \times 5 \times 4$

Номер точки плана	Вид эксперимента	Тип дорожного покрытия, K_c	Степень ошиповки, n	Время разгона t_a
1	<i>Разгон до 60 км/ч на заднем приводе</i>	Сухой асфальт	0,00	t_{a1}
2				t_{a2}
3				t_{a3}
4				t_{a4}
5			0,25	t_{a5}
6				t_{a6}
7				t_{a7}
8				t_{a8}

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5
9				t_{a9}
10				t_{a10}
11				t_{a11}
12				t_{a12}
13				t_{a13}
14				t_{a14}
15				t_{a15}
16				t_{a16}
17				t_{a17}
18				t_{a18}
19				t_{a19}
20				t_{a20}
...
141				t_{a141}
142				t_{a142}
143				t_{a143}
144				t_{a144}
145				t_{a145}
146				t_{a146}
147				t_{a147}
148				t_{a148}
149				t_{a149}
150				t_{a150}
151				t_{a151}
152				t_{a152}
153				t_{a153}
154				t_{a154}
155				t_{a155}
156				t_{a156}
157				t_{a157}
158				t_{a158}
159				t_{a159}
160				t_{a160}

*Разгон до 60
км/ч на
полном
приводе*

Лёд

Погрешность измерений складывается из систематической составляющей, связанной с характеристиками применённых измерительных комплексов, и случайной, связанной с внешними факторами (состояние покрытия, погодные условия, особенности исполнения манёвров водителем). Для контроля случайной погрешности выполнены предварительные заезды с

определенiem выборочного среднеквадратического отклонения и доверительных интервалов. Матрица плана эксперимента тормозного пути представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица плана полного факторного эксперимента тормозного пути $4 \times 5 \times 5$

Номер точки плана	Тип дорожного покрытия, K_c	Степень ошиповки, n	Длина тормозного пути S_t
1	2	3	4
1	<i>Сухой асфальт</i>	0,00	S_{t1}
2			S_{t2}
3			S_{t3}
4			S_{t4}
5			S_{t5}
6		0,25	S_{t6}
7			S_{t7}
8			S_{t8}
9			S_{t9}
10			S_{t10}
11	<i>Лёд</i>	0,75	S_{t11}
12			S_{t12}
13			S_{t13}
14			S_{t14}
15			S_{t15}
16		1,00	S_{t16}
17			S_{t17}
18			S_{t18}
19			S_{t19}
20			S_{t20}
...
61	<i>Лёд</i>	0,00	S_{t61}
62			S_{t62}
63			S_{t63}
64			S_{t64}
65			S_{t65}
66		0,25	S_{t66}
67			S_{t67}
68			S_{t68}
69			S_{t69}
70			S_{t70}

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4
71		0,75	S_{t71}
72			S_{t72}
73			S_{t73}
74			S_{t74}
75			S_{t75}
76		1,00	S_{t76}
77			S_{t77}
78			S_{t78}
79			S_{t79}
80			S_{t80}

3.3. Обоснование выбора автомобиля для проведения исследований

В качестве объекта экспериментальных исследований использован автомобиль Toyota Hilux с подключаемым полным приводом, оборудованный трансмиссией с раздаточной коробкой, обеспечивающей распределение крутящего момента между осями, антиблокировочной системой (АБС) и системой стабилизации курсовой устойчивости (ESP), показан на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Общий вид автомобиля Toyota Hilux

Конструктивные особенности автомобиля, включая тип трансмиссии, массу снаряжённого состояния и компоновку ходовой части, соответствуют требованиям к транспортным средствам, эксплуатируемым в зимних условиях северных регионов.

Выбор автомобиля обоснован его техническими параметрами, которые позволяют реализовать запланированные режимы движения (ускорение, торможение) на различных типах зимних покрытий и исследовать влияние степени ошиповки шин на динамические характеристики. Конструкция позволяет фиксировать параметры движения как в режиме заднего привода, так и при подключённом полном приводе, что обеспечивает воспроизводимость данных для транспортных средств аналогичного класса.

Автомобиль был оборудован зимними шинами Gislaved Nord Frost типоразмера 265/60 R18, которые показаны на рисунке 3.4, с пробегом 40-45 тыс. км. Остаток шипов составлял 20% (26 шипов из 130). Остаточная глубина протектора 7 мм свидетельствует о хорошем состоянии шины, позволяющей дошиповывать её ремонтными шипами. Выбранный тип шин относится к классу зимних шипованных шин с асимметричным рисунком протектора и допускает проведение ремонтной ошиповки, что делает его технически и экспериментально пригодным для исследований, направленных на оценку влияния остаточной ошиповки на характеристики сцепления. Это позволяет получить корректные данные о зависимости динамических характеристик автомобиля от количества шипов. Техническое состояние автомобиля соответствовало требованиям нормативно-технической документации. Перед проведением испытаний выполнено регламентное обслуживание двигателя, трансмиссии и тормозной системы. Давление в шинах поддерживалось на уровне 222,1 кПа с контролем перед каждым заездом.



Рисунок 3.4 – Шины Gislaved Nord Frost 200 до проведения исследования

Для регистрации данных с автомобиля использовался беспроводной сканер ELM327, подключенный к штатному OBD-II разъёму, и смартфон с приложением Car Scanner, интерфейс представлен на рисунке 3.5. Выбор Car Scanner обусловлен его доступностью, простотой использования, широким функционалом, включающим высокую частоту обновления данных о скорости, необходимую для точного определения времени разгона и тормозного пути. Приложение позволяет записывать данные в удобном для обработки формате CSV и настраивать параметры записи под специфику эксперимента. Его интуитивно понятный интерфейс обеспечивает воспроизводимость эксперимента и снижает вероятность ошибок.



Рисунок 3.5 – Интерфейс приложения Car Scanner

Car Scanner относится к категории портативных диагностических устройств, которые используются для мониторинга и анализа состояния автомобиля. Оно классифицируется как программное обеспечение для диагностики, совместимое с адаптерами OBD2.

К основным аналогам приложения можно отнести:

- Torque Pro – популярное приложение с похожим функционалом, включая диагностику, мониторинг и настройку приборной панели.
- OpenDiag Mobile – бесплатное приложение с открытым исходным кодом, поддерживающее широкий спектр автомобилей.
- Carista OBD2 – приложение с акцентом на простоту использования и поддержку европейских автомобилей.
- ScanTool OBD ELM327 – инструмент для диагностики с возможностью записи данных и анализа.

Выбор Car Scanner обусловлен высокой точностью получения данных с ЭБУ автомобиля, достаточной частоте обновления параметров скорости, стабильной работе через OBD-II интерфейс и возможности записи результатов в формате CSV. Приложение отличается удобным интерфейсом, гибкими настройками под специфику эксперимента и надёжной фиксацией всех необходимых параметров без потери данных.

Для повышения точности измерений в салон автомобиля дополнительно устанавливался GPS-трекер. Установка включала выбор места с приёмом сигнала – приборная панель под лобовым стеклом, подключение к бортовой сети автомобиля через прикуриватель, надёжное крепление при помощи вакуумной присоски и настройку параметров записи, таких как частота и формат. Эксперименты проводились после проверки корректности работы трекера.

GPS-трекер обеспечивал независимую регистрацию времени и расстояния, компенсируя возможные погрешности данных OBD-II. Точное время, полученное от GPS, критически важно для определения времени разгона и торможения, а измерение пройденного пути с помощью GPS

позволяет рассчитать тормозной путь с большей точностью. Использование GPS-трекера значительно повышает точность данных и делает выводы исследования более весомыми

Испытания проводились на полигоне с участками дорожного покрытия, включающими лёд, уплотнённый снег, рыхлый снег и сухой асфальт. Каждое покрытие соответствовало классификации, приведённой в ГОСТ 33181-2014 и ГОСТ Р 50597-2017 [29,31], и контролировалось на соответствие требованиям эксперимента с использованием данных метеостанции и визуального осмотра.

В процессе подготовки шин был осуществлён комплексный технологический цикл, включающий демонтаж ранее установленных шипов с последующей очисткой посадочных мест, монтаж ремонтных шипов типоразмера 12-8-2TP (рисунок 3.6) согласно техническим требованиям производителя и регламентированную обкатку на дистанции 90–100 километров при соблюдении скоростного режима до 70 км/ч. Данная технологическая последовательность обеспечила формирование оптимальной посадки шипов в протектор. Проведённый комплекс подготовительных мероприятий создал условия для достоверного определения эксплуатационных характеристик шин в рамках экспериментальных исследований.



Рисунок 3.6 – Процесс дошиповки колеса

Степень ошиповки изменялась поэтапно с шагом 25 % от номинального количества шипов (100 %, 75 %, 50 %, 25 %, 0 %). Пневматический пистолет РП-12 обеспечивал точное и контролируемое погружение шипов, предотвращая повреждение полимерной втулки. При установке соблюдались критерии: глубина погружения 7-8 мм относительно поверхности протектора, постоянная сила нажатия на пистолет и перпендикулярность установки шипа.

Каждая комбинация условий (тип покрытия, степень ошиповки, режим привода) исследовалась с выполнением не менее четырёх заездов для ускорения и пяти заездов для торможения. Измерения выполнялись с использованием двух независимых систем регистрации данных: OBD-II сканера ELM327, подключённого к бортовой сети автомобиля с использованием программы Car Scanner, и GPS-трекера с высокой частотой опроса. Это обеспечивало контроль точности измерений.

Режимы испытаний включали ускорение с места до скорости 60 км/ч и экстренное торможение с этой скорости до полной остановки. Средняя температура окружающего воздуха во время испытаний находилась в диапазоне от –22 °С до –24 °С. Контроль метеоусловий, состояния шин и дорожного покрытия выполнялся перед началом и в ходе каждой серии заездов.

Результаты измерений времени разгона представлены в приложении 1. Измерения длины тормозного пути для разной степени ошиповки представлены в приложении 2.

3.4. Результаты экспериментальных исследований

В результате обработки экспериментальных данных и отобраны 160 циклов ускорения и 80 испытаний торможения, в которых оценивалось влияние количества шипов и тип дорожного покрытия на качество сцепления шин с дорогой.

По этим данным рассчитаны:

- среднее время разгона для различных типов дорожного покрытия;

- среднее время разгона для разной степени ошиповки;
- среднее расстояние тормозного пути для различных типов дорожного покрытия;
- среднее расстояние тормозного пути для разной степени ошиповки.

Анализ полученных экспериментальных данных показал следующее.

1. На основе экспериментальных данных построены графики зависимости времени разгона автомобиля до скорости 60 км/ч от степени ошиповки шин при заднем приводе. Каждый график отражает характер изменения динамических свойств автомобиля на различных типах дорожного покрытия. Пара экспериментальных значений, отражающих зависимость между степенью ошиповки шин и временем разгона автомобиля на сухом асфальте, аппроксимирована квадратичной моделью (рисунок 3.7). Математическая модель позволила количественно описать характер изменения динамики автомобиля при снижении количества шипов на покрытии с высоким коэффициентом сцепления.

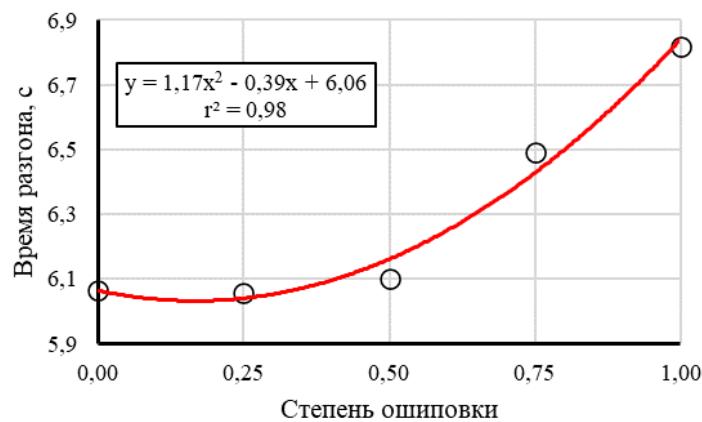


Рисунок 3.7 – Влияние степени ошиповки на время разгона на сухом асфальте после

Для оценки значимости влияния этого фактора рассчитаны коэффициенты детерминации и корреляции, характеризующие степень объяснённой изменчивости зависимой переменной, а также выполнен расчёт t-статистики Стьюдента, отражающей статистическую значимость

установленной связи при заданной доверительной вероятности. Расчёт проводился с использованием стандартной формулы для малых выборок, с учётом количества степеней свободы. Итоговые значения коэффициентов и статистических критериев приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на сухом асфальте

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,98
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	12,90
$t_{0,95}$	2,57

Анализ полученных результатов показывает, что при уровне доверительной вероятности 0,95 расчётное значение t-статистики Стьюдента составляет 12,90 и существенно превышает табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Расчётное значение t-статистики превышает критическое, что подтверждает статистически значимую взаимосвязь между переменными. Таким образом, гипотеза о влиянии степени ошиповки шин на время разгона на сухом асфальте подтверждается.

Результаты измерений, характеризующие зависимость времени разгона автомобиля от степени ошиповки шин на укатанном снежном покрытии, аппроксимированы полиномиальной моделью второго порядка (рисунок 3.8). Указанный тип покрытия отличается пониженным коэффициентом сцепления, вследствие чего влияние состояния шипов на динамику автомобиля проявляется более выражено.

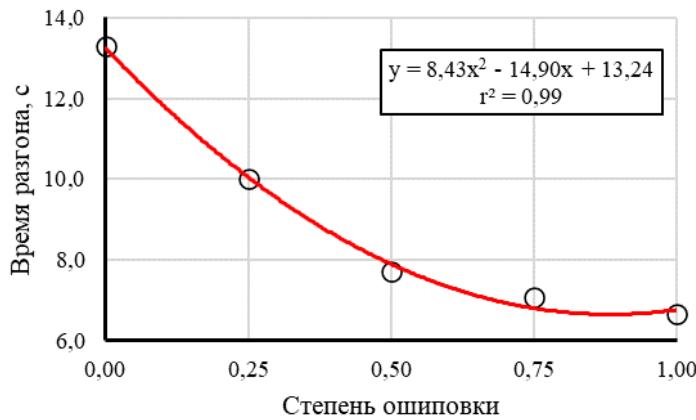


Рисунок 3.8 – Влияние степени ошиповки на время разгона на уплотнённом снегу

Для количественной оценки статистической значимости выявленной зависимости проведён расчёт коэффициентов корреляции, детерминации, а также t-статистики Стьюдента. Итоговые значения представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на укатанном снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	27,33
$t_{0,95}$	2,57

Анализ полученных результатов показывает, что при доверительной вероятности 0,95 расчётное значение t-статистики составляет 27,33 и значительно превышает критическое табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Полученные результаты подтверждают о высокой статистической значимости зависимости между степенью ошиповки и временем разгона.

Времена разгона автомобиля при различной степени ошиповки на рыхлом снежном покрытии аппроксимированы квадратичной моделью

(рисунок 3.9). Этот тип покрытия характеризуется низкой плотностью и нестабильной структурой, что влияет на реализацию тягового усилия и чувствительность динамики автомобиля к состоянию шин.

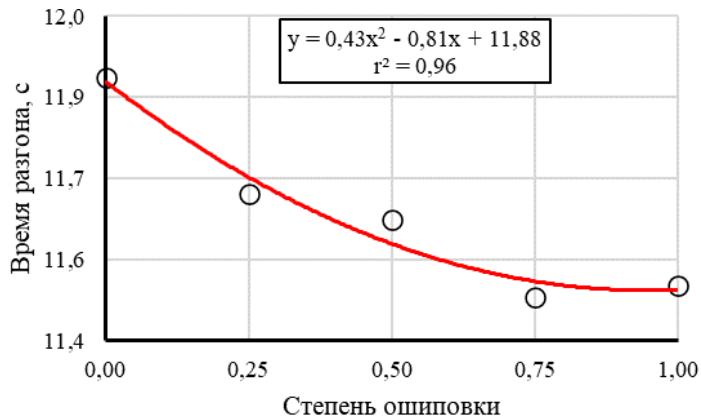


Рисунок 3.9 – Влияние степени ошиповки на время разгона на рыхлом снегу

Для количественной оценки статистической значимости зависимости рассчитаны коэффициенты корреляции и детерминации, а также выполнен расчёт t-статистики Стьюдента. Сводные значения представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на рыхлом снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,98
t-статистика Стьюдента	8,98
$t_{0,95}$	2,57

Полученные значения подтверждают высокую степень статистической значимости зависимости между временем разгона и степенью ошиповки. Расчётное значение t-статистики (8,98) существенно превышает критическое значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее 4 степеням свободы. Следовательно, гипотеза о наличии влияния степени ошиповки шин на динамические

характеристики автомобиля на рыхлом снегу подтверждается.

Экспериментальные значения времени разгона автомобиля в зависимости от степени ошиповки шин на ледяном покрытии аппроксимированы полиномиальной моделью второй степени (рисунок 3.10). Указанный тип покрытия характеризуется крайне низким коэффициентом сцепления, вследствие чего влияние количества шипов на динамические свойства транспортного средства становится максимально выраженным.



Рисунок 3.10 – Влияние степени ошиповки на время разгона на ледяном покрытии

Для подтверждения статистической значимости и надёжности полученной регрессионной модели был проведён комплексный анализ с использованием ключевых метрик: коэффициента корреляции, коэффициента детерминации и критерия Стьюдента. Сводные данные расчётов представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на ледяном покрытии

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	29,22
$t_{0,95}$	2,57

Анализ полученных результатов показывает, что при уровне доверительной вероятности 0,95 расчётное значение t-статистики Стьюдента составляет 29,22 и значительно превышает критическое табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Это указывает на высокую статистическую значимость зависимости между степенью ошиповки и временем разгона на льду.

Общая тенденция на всех типах покрытий заключается в увеличении времени разгона при снижении степени ошиповки. На поверхностях с пониженным коэффициентом сцепления это увеличение носит ярко выраженный нелинейный характер. При переходе от 100 % к 0 % ошиповки прирост времени разгона составляет от 1 до 2,5 секунд, в зависимости от покрытия. На рыхлом снегу зависимость сохраняет общий тренд, однако менее ярко выражено.

2. На основе экспериментальных данных построены графики зависимости времени разгона автомобиля до скорости 60 км/ч от степени ошиповки шин при подключённом полном приводе. Каждый график отражает характер изменения динамических свойств автомобиля на различных типах дорожного покрытия. Время разгона автомобиля в зависимости от степени ошиповки шин при использовании полного привода на сухом асфальте аппроксимированы полиномиальной моделью второй степени (рисунок 3.11).

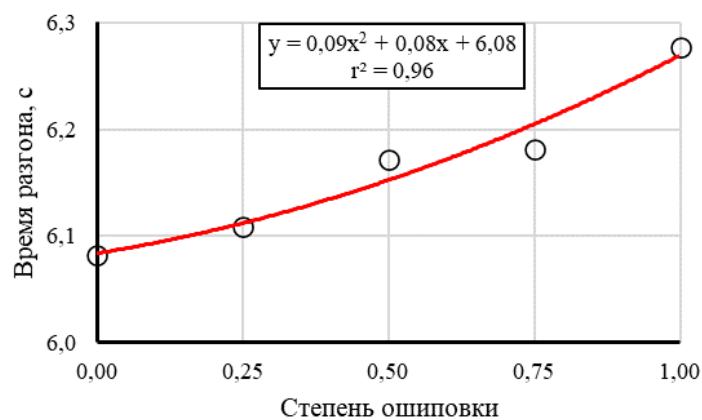


Рисунок 3.11 – Влияние степени ошиповки на время разгона на сухом асфальте для полного привода

Условия сухого твёрдого покрытия с высоким коэффициентом сцепления ограничивают эффективность шипов. Для проверки статистической значимости выявленной зависимости выполнены расчёты коэффициента корреляции, детерминации, а также t-статистики Стьюдента. Сводные значения представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на сухом асфальте

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,95
Коэффициент корреляции	0,97
t-статистика Стьюдента	8,12
$t_{0,95}$	2,57

Результаты анализа демонстрируют, что расчётное значение t-статистики (8,12) значительно превышает табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы, что указывает на статистически значимую связь между степенью ошиповки и временем разгона.

Зависимость времени разгона транспортного средства от степени ошиповки шин на укатанном снежном покрытии аппроксимирована с использованием полиномиальной модели второго порядка (рисунок 3.12).

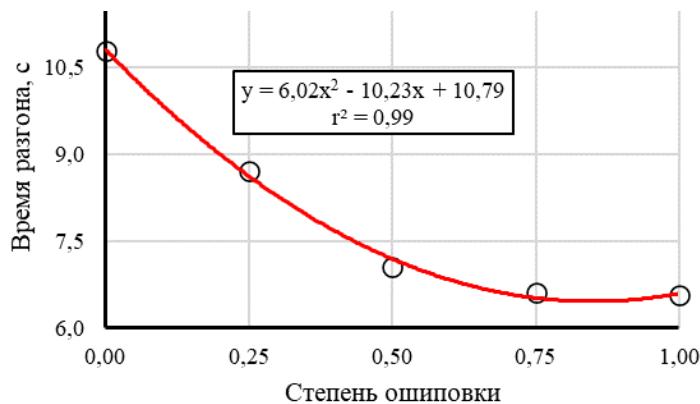


Рисунок 3.12 – Влияние степени ошиповки на время разгона на уплотнённом снегу

Данный тип дорожного покрытия, характеризующийся пониженным коэффициентом сцепления, обусловливает более выраженное влияние количества шипов на динамические характеристики автомобиля. С целью количественной оценки статистической значимости установленной зависимости рассчитаны коэффициенты корреляции и детерминации, а также t-статистика Стьюдента. Результаты расчётов представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на укатанном снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	32,68
$t_{0,95}$	2,57

Наблюдаемая при доверительной вероятности 0,95 существенная разница между расчётным значением t-статистики (32,68) и критическим табличным значением $t_{0,95} = 2,57$, соответствующим четырём степеням свободы, свидетельствует о высокой статистической значимости проведённого исследования и подтверждает значимое влияние степени ошиповки на время разгона.

Зависимость параметров времени разгона транспортного средства от степени ошиповки шин на рыхлом снежном покрытии аппроксимирована с использованием квадратичной модели (рисунок 3.13). Данный тип дорожного покрытия характеризуется низкой плотностью и нестабильностью структуры, что влияет на эффективность реализации тягового усилия и на чувствительность динамических характеристик автомобиля к состоянию шин.

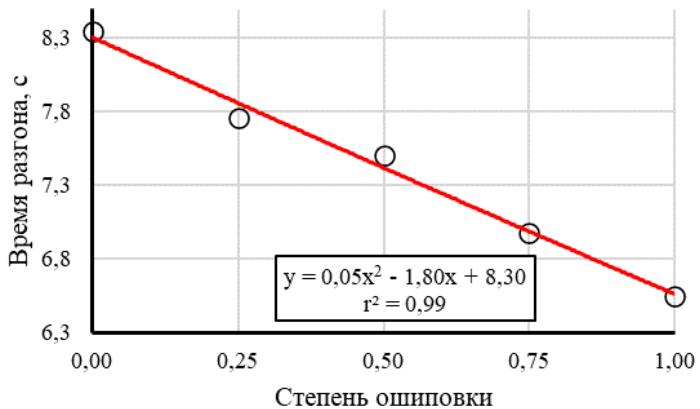


Рисунок 3.13 – Влияние степени ошиповки на время разгона на рыхлом снегу

Для эмпирической проверки статистической значимости зависимости между параметрами времени разгона и степенью ошиповки рассчитаны коэффициенты корреляции и детерминации, а также t-статистика Стьюдента. Результаты представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на время разгона на рыхлом снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,97
Коэффициент корреляции	0,98
t-статистика Стьюдента	11,36
$t_{0,95}$	2,57

Значительное превышение расчётного значения t-статистики (11,36) над критическим значением $t_{0,95} = 2,57$ ($f = 4$) указывает на высокую статистическую значимость зависимости между временем разгона и степенью ошиповки, что, в свою очередь, подтверждает практическую значимость регулирования степени ошиповки для улучшения динамических характеристик автомобиля на рыхлом снегу.

В условиях ледяного покрытия, где коэффициент сцепления крайне низок, степень ошиповки шин становится ключевым фактором, определяющим время разгона автомобиля. Экспериментальные данные,

отражающие эту зависимость, аппроксимированы полиномиальной моделью второй степени (рисунок 3.14).

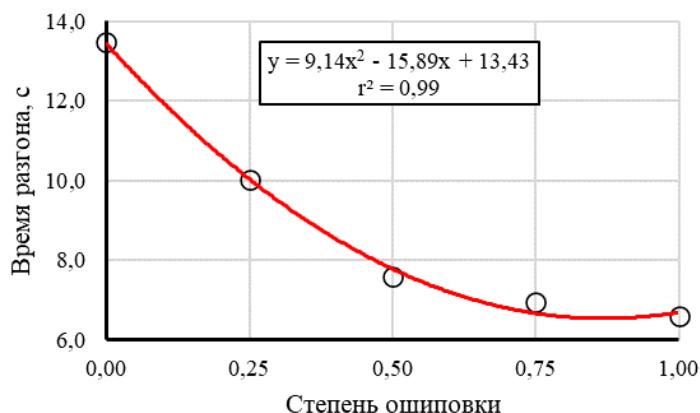


Рисунок 3.14 – Влияние степени ошибки на время разгона на ледяном покрытии

Количественная оценка значимости установленной зависимости произведена посредством расчёта коэффициентов корреляции, детерминации и t-статистики Стьюдента (табл. 3.12).

Таблица 3.12 – Оценка статистической значимости влияния степени ошибки на время разгона на ледяном покрытии

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	28,04
$t_{0,95}$	2,57

При анализе результатов выявлено, что для ледяного покрытия при уровне доверительной вероятности 0,95 расчётное значение t-статистики Стьюдента (28,04) значительно превосходит критическое табличное значение ($t_{0,95} = 2,57$, $f = 4$), что указывает на высокую статистическую значимость влияния степени ошибки на время разгона.

Общей закономерностью заключается в увеличении времени разгона с

уменьшением степени ошиповки на всех типах покрытий. При этом на поверхностях с низким коэффициентом сцепления (лёд и уплотнённый снег) эта зависимость проявляется как ярко выраженная нелинейная функция. Снижение ошиповки от 100 % до 0 % приводит к увеличению времени разгона на 4-6 секунды, в зависимости от типа покрытия. На рыхлом снегу эта зависимость сохраняется, хотя и имеет меньший градиент. Влияние ошиповки на асфальте минимально, что объясняется высоким коэффициентом сцепления.

3. По результатам измерения тормозного пути получены графики для различных типов дорожного покрытия. Экспериментальные данные, отражающие изменение тормозного пути в зависимости от степени ошиповки шин на сухом асфальте, аппроксимированы квадратичной моделью (рисунок 3.15). Для данного типа покрытия характерен высокий коэффициент сцепления, поэтому вклад шипов в процесс торможения минимален, однако при изменении степени ошиповки фиксируются устойчивые изменения тормозного пути, отражающие структурное поведение шин и особенности контакта с жёсткой поверхностью.

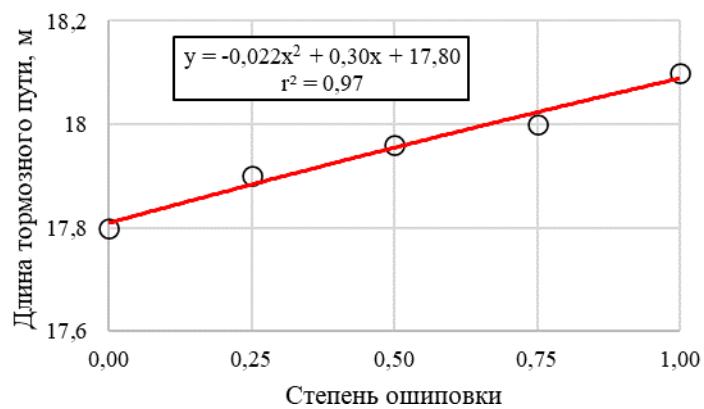


Рисунок 3.15 – Влияние степени ошиповки на тормозной путь на сухом асфальте

Оценка статистической значимости модели проведена на основе расчёта коэффициентов корреляции, детерминации и t-статистики Стьюдента. Результаты сведены в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на тормозной путь на сухом асфальте

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,97
Коэффициент корреляции	0,98
t-статистика Стьюдента	11,82
$t_{0,95}$	2,57

Расчётное значение t-статистики Стьюдента составляет 11,82 и значительно превышает табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Полученные результаты подтверждают высокую статистическую значимость зависимости между степенью ошиповки и длиной тормозного пути даже на твёрдом покрытии.

Зависимость тормозного пути от степени ошиповки шин на укатанном снежном покрытии аппроксимирована квадратичной моделью (рисунок 3.16). Данный тип покрытия обладает низким коэффициентом сцепления, что усиливает значимость шипов в процессе замедления автомобиля. Повышение степени ошиповки обеспечивает заметное сокращение тормозного пути, особенно в диапазоне от 0 % до 50 %.

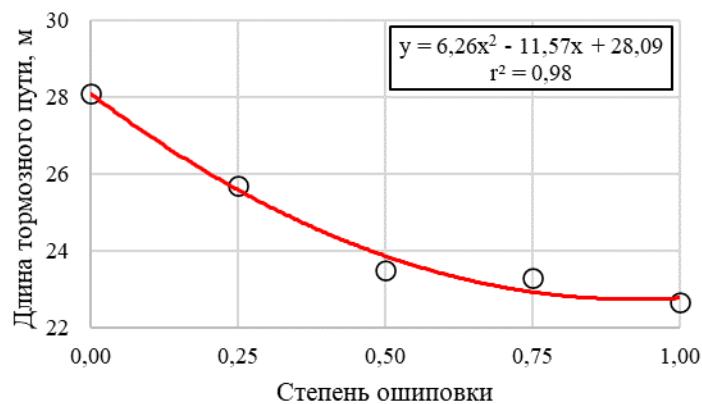


Рисунок 3.16 – Влияние степени ошиповки на тормозной путь на уплотнённом снегу

Для обоснования статистической значимости полученной зависимости выполнены расчёты коэффициента корреляции, отражающего тесноту связи между переменными, коэффициента детерминации, характеризующего долю объяснённой дисперсии, а также t-статистики Стьюдента, применяемой для проверки гипотезы о значимости коэффициента корреляции при заданном уровне доверия. Расчёты проводились с учётом объёма выборки и числа степеней свободы.

Полученные значения позволяют оценить достоверность выявленных закономерностей и подтвердить наличие статистически значимого влияния степени ошиповки шин на исследуемый параметр. Результаты расчётов представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на тормозной путь на укатанном снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,98
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	14,48
$t_{0,95}$	2,57

Анализ статистических показателей показывает, что значение t-статистики Стьюдента (14,48) значительно превышает табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Это указывает на высокую степень статистической значимости полученной зависимости.

Зависимость тормозного пути от степени ошиповки шин на рыхлом снежном покрытии представлена аппроксимирующей кривой второго порядка (рисунок 3.17). Данный тип покрытия характеризуется низкой плотностью, вследствие чего состояние шипов в меньшей степени влияет на реализацию тормозного усилия.

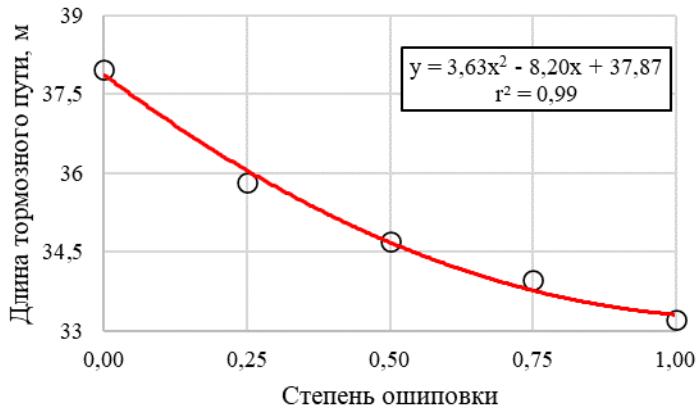


Рисунок 3.17 – Влияние степени ошиповки на тормозной путь на рыхлом снегу

Оценка значимости полученной зависимости выполнена с применением стандартных статистических методов. Рассчитаны коэффициенты корреляции и детерминации, а также значение t-статистики Стьюдента. Сводные результаты приведены в таблице 3.15. Анализ показывает, что расчётное значение t-статистики Стьюдента (19,04) значительно превышает критическое табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Это однозначно указывает на наличие статистически значимой зависимости между степенью ошиповки и длиной тормозного пути.

Таблица 3.15 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на тормозной путь на рыхлом снегу

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	19,04
$t_{0,95}$	2,57

Зависимость длины тормозного пути от степени ошиповки шин на обледенелом покрытии аппроксимирована полиномиальной моделью второго порядка (рисунок 3.18). Для ледяной поверхности характерен крайне низкий коэффициент сцепления, при котором функционирование шипов становится критически важным для обеспечения эффективного замедления транспортного средства. Полученные данные фиксируют отчётливую зависимость тормозного пути от количества сохранившихся шипов.

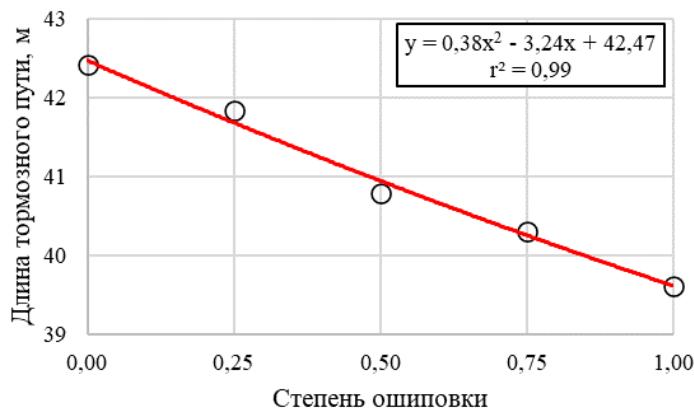


Рисунок 3.18 – Влияние степени ошиповки на тормозной путь на ледяном покрытии

Оценка статистической значимости зависимости выполнена на основе расчётов коэффициентов корреляции, детерминации и t-статистики Стьюдента. Результаты сведены в таблицу 3.16.

Таблица 3.16 – Оценка статистической значимости влияния степени ошиповки на тормозной путь на ледяном покрытии

Наименование показателей	Значения
Количество уровней факторов, ед.	5,00
Коэффициент детерминации	0,99
Коэффициент корреляции	0,99
t-статистика Стьюдента	17,51
$t_{0,95}$	2,57

Результаты расчётов подтверждают высокую степень статистической значимости зависимости: значение t-статистики Стьюдента составляет 17,51 и существенно превышает табличное значение $t_{0,95} = 2,57$, соответствующее четырём степеням свободы. Выявлена достоверная связь между степенью ошиповки и длиной тормозного пути.

На основании приведённых данных можно сделать вывод, что полученные однофакторные зависимости длины тормозного пути от степени ошиповки шин для различных типов дорожного покрытия подтвердили высокую чувствительность исследуемого параметра к состоянию шипов. На покрытиях с пониженным коэффициентом сцепления (уплотнённый и рыхлый снег, лёд) влияние степени ошиповки проявляется наиболее выражено и носит нелинейный характер: при снижении количества шипов ниже 50 % наблюдается резкое увеличение тормозного пути.

Высокие значения коэффициентов детерминации ($r^2 > 0$) и превышение значений t-статистики критических табличных значений на всех типах покрытия свидетельствуют о высокой достоверности выявленных зависимостей. Представленные модели могут быть использованы для предварительной оценки остаточного ресурса шипованных шин и принятия решений о необходимости восстановительной ошиповки или замены шин в зависимости от дорожных условий эксплуатации.

4. Анализ зависимости времени разгона от коэффициента сцепления при различных степенях ошиповки позволил выявить устойчивые закономерности, характеризующие влияние сцепных свойств дорожного покрытия на динамику автомобиля. На данном этапе эксперимента автомобиль производил разгон до 60 км/ч на 4 типах дорожного покрытия с различной степенью ошиповки. На рисунке 3.19 представлены аппроксимации экспериментальных данных для каждой из исследуемых конфигураций ошиповки.

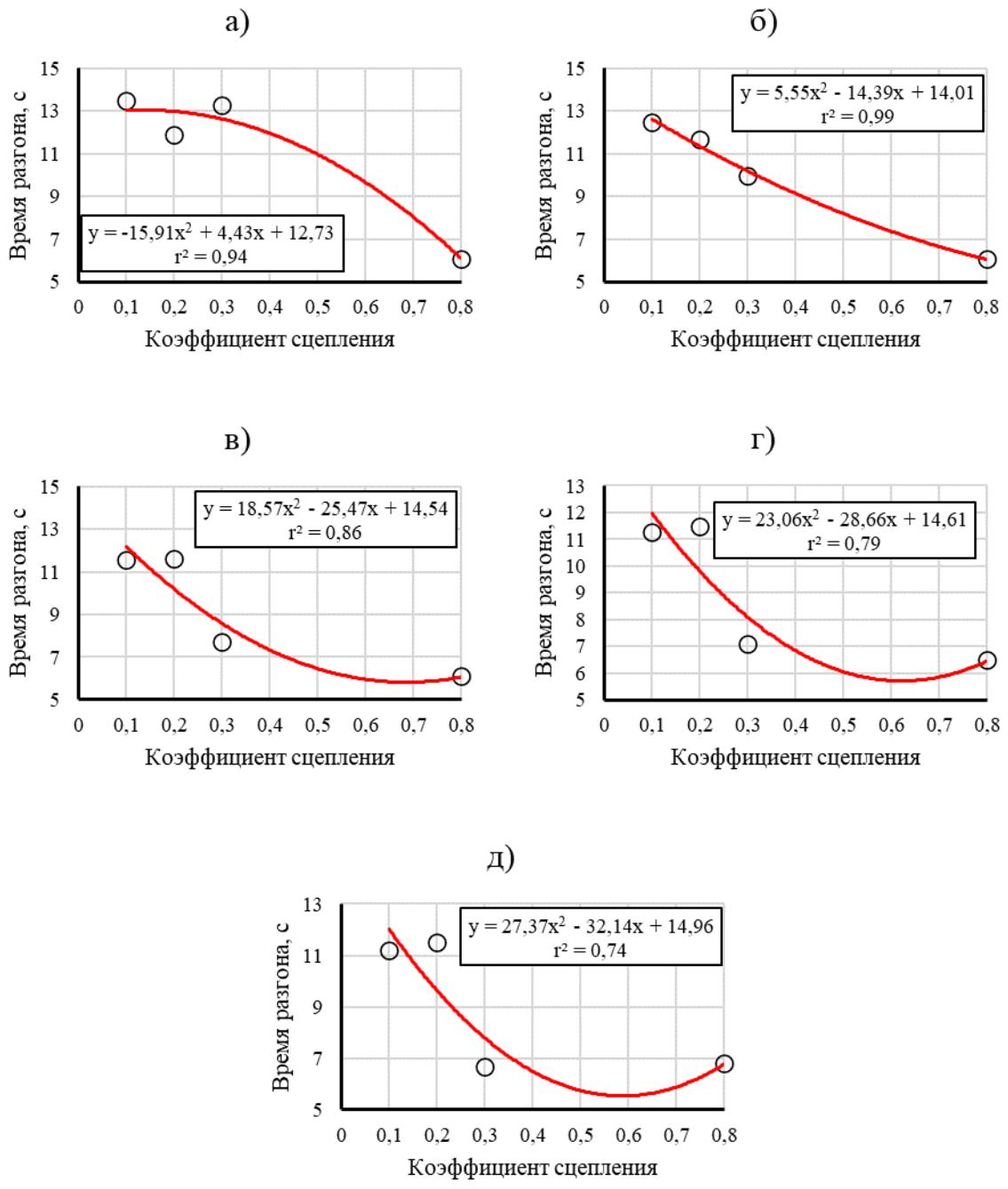


Рисунок 3.19 – Влияние коэффициента сцепления на время разгона на заднем приводе: а – степень ошибовки $n = 0,00$; б – степень ошибовки $= 0,25$; в – степень ошибовки $= 0,50$; г – степень ошибовки $= 0,75$; д – степень ошибовки $= 1,00$

Кривые имеют ярко выраженный нелинейный характер, при этом наиболее крутой спад наблюдается в интервале изменения коэффициента сцепления от 0,1 до 0,4. По мере повышения сцепления прирост динамических

характеристик постепенно замедляется, что соответствует известной зависимости тягового усилия от условий взаимодействия шины с дорогой. Оценка статистической значимости приведена на таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Оценка статистической значимости зависимости времени разгона от коэффициента сцепления при различных степенях ошиповки
(задний привод)

Наименование показателей	Значения при степени ошиповки				
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Количество уровней факторов, ед.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Коэффициент детерминации	0,94	0,99	0,86	0,79	0,86
Коэффициент корреляции	0,97	0,99	0,92	0,88	0,91
t-статистика Стьюдента	7,46	17,23	4,29	3,35	3,57
$t_{0,95}$	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77

Статистическая обработка показала, что на всех этапах t-статистика Стьюдента превышает критическое значение $t_{0,95}=2,77$, что указывает на наличие статистически значимой зависимости между временем разгона и коэффициентом сцепления. Наиболее высокая достоверность зависимости наблюдается при степени ошиповки 25 %, где достигаются значения $r^2=0,99$ и $t=17,23$. При этом и при нулевой и полной ошиповке коэффициенты корреляции и детерминации сохраняются на высоком уровне, несмотря на менее выраженную чувствительность.

Таким образом, полученные зависимости подтверждают, что при любой степени ошиповки коэффициент сцепления также оказывает значимое влияние на динамику автомобиля. Однако степень этого влияния варьируется, достигая максимума в зонах средней ошиповки.

5. В рамках экспериментального исследования проанализирована зависимость времени разгона заднеприводного автомобиля от коэффициента сцепления при разных степенях ошиповки шин. На рисунке 3.20 представлены графики, иллюстрирующие поведение автомобиля при нулевой, частичной и

полной ошиповке шин. Аппроксимация выполнена с использованием полинома второй степени, отражающего нелинейную форму зависимости.

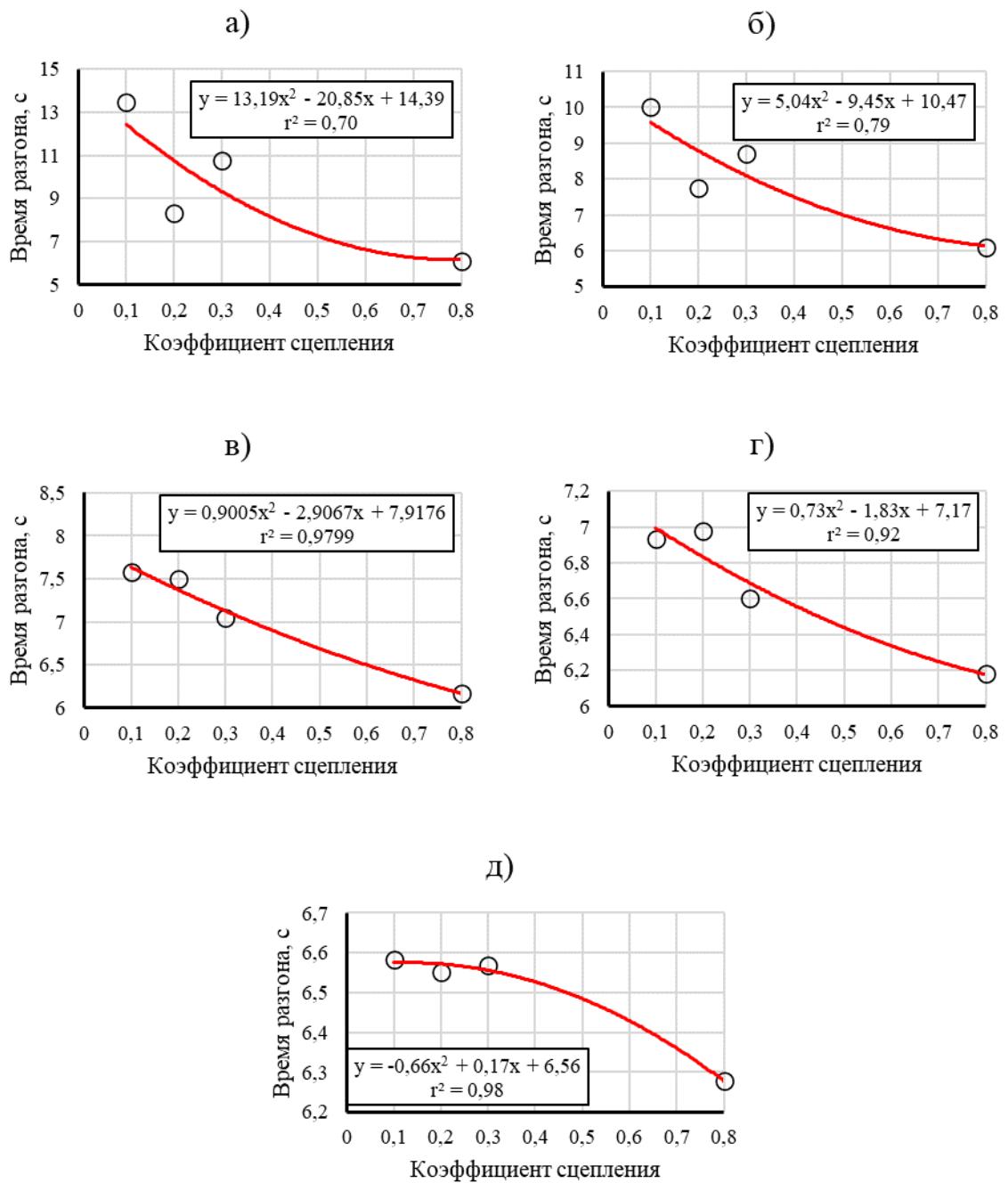


Рисунок 3.20 – Влияние коэффициента сцепления на время разгона на полном приводе: а – степень ошиповки = 0; б – степень ошиповки = 0,25; в – степень ошиповки = 0,50; г – степень ошиповки = 0,75; д – степень ошиповки = 1,00

По мере увеличения коэффициента сцепления наблюдается закономерное снижение времени разгона, однако характер этой зависимости варьируется в зависимости от степени сохранности шипов. При этом наиболее равномерное и предсказуемое поведение наблюдается при высокой степени ошиповки (75–100 %), в то время как при нулевой ошиповке зависимость выражена слабее и менее устойчива.

Для оценки статистической достоверности результатов рассчитаны коэффициенты детерминации, корреляции и t-статистика Стьюдента. Итоговые значения сведены в таблицу 3.18 и позволяют судить о значимости выявленных закономерностей.

Таблица 3.18 – Оценка статистической значимости зависимости времени разгона от коэффициента сцепления при различных степенях ошиповки
(полный привод)

Наименование показателей	Значения при степени ошиповки				
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Количество уровней факторов, ед.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Коэффициент детерминации	0,70	0,79	0,97	0,92	0,98
Коэффициент корреляции	0,83	0,88	0,98	0,95	0,989
t-статистика Стьюдента	2,64	3,35	9,84	5,87	12,12
$t_{0,95}$	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77

Полученные зависимости подтверждают влияние коэффициента сцепления на динамические характеристики автомобиля при различных степенях ошиповки. При сохранении 50 % и более шипов связь носит устойчивый и статистически значимый характер. В случае полной утраты шипов достоверность зависимости снижается, что отражает менее предсказуемое поведение автомобиля при разгоне. Результаты подчёркивают важность сохранения шипов для обеспечения надёжного и прогнозируемого взаимодействия шин с дорогой, особенно на покрытиях с низким сцеплением.

6. Экспериментальные данные, представленные на рисунке 3.21, иллюстрируют зависимость тормозного пути полноприводного автомобиля от

коэффициента сцепления при различных степенях ошиповки шин. Все зависимости аппроксимированы квадратичными моделями, отражающими характерную нелинейную тенденцию сокращения тормозного пути при улучшении сцепных свойств покрытия.

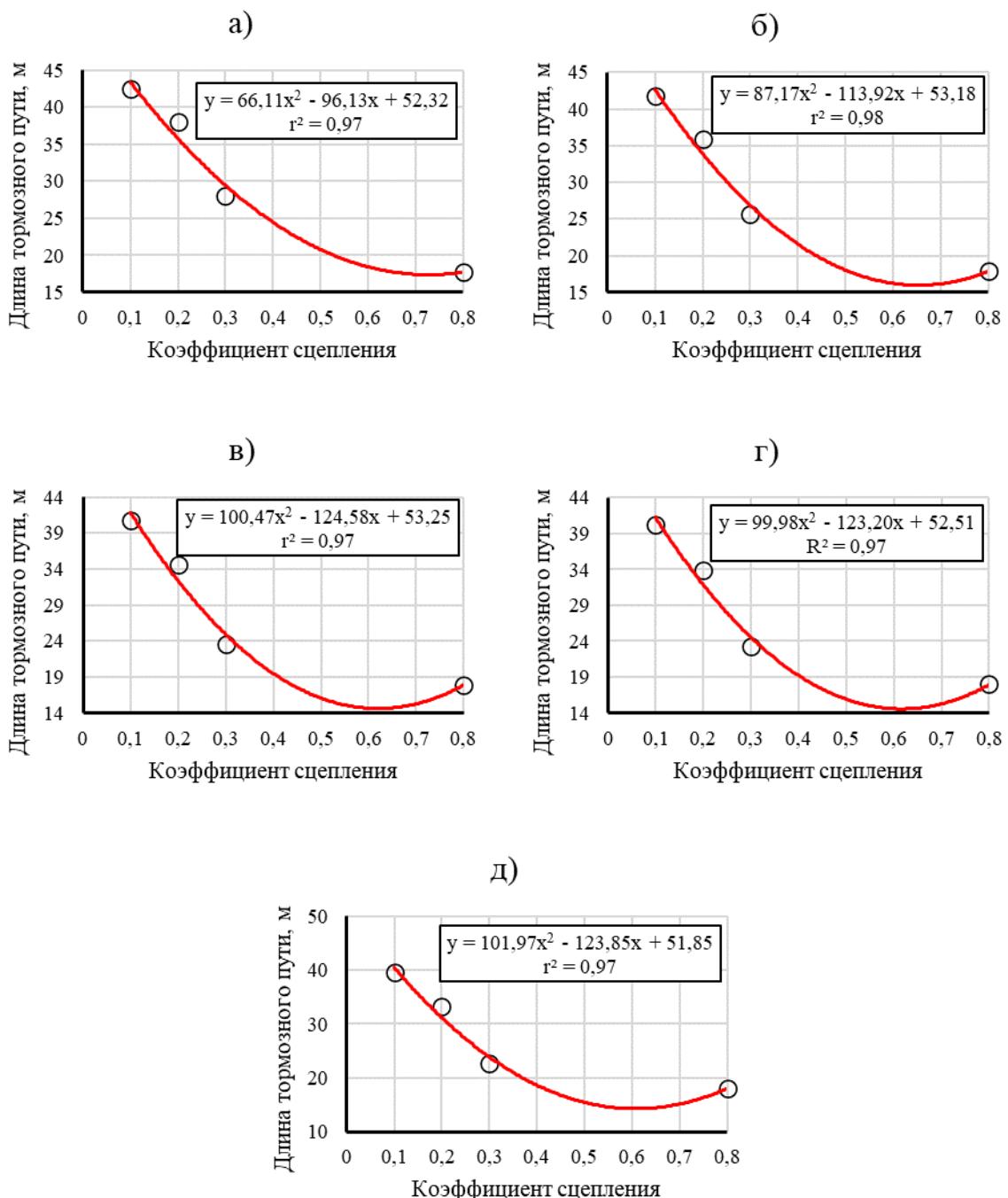


Рисунок 3.21 – Влияние коэффициента сцепления на тормозной путь: а – степень ошиповки = 0,00; б – степень ошиповки = 0,25; в – степень ошиповки = 0,50; г – степень ошиповки = 0,75; д – степень ошиповки = 1,00

Наблюдается высокая степень устойчивости формы кривых и достоверности моделей во всех случаях. Результаты расчётов, приведённые в таблице 3.19, показывают, что во всех точках плана t-статистика существенно превышает табличное значение $t_{0,95}=2,77$, что указывает на статистическую значимость зависимости. При этом значения коэффициента детерминации (r^2) варьируются в диапазоне от 0,97 до 0,98, что свидетельствует о высокой степени значимости модели.

Таблица 3.19 – Оценка статистической значимости зависимости тормозного пути от коэффициента сцепления при различных степенях ошибовки

Наименование показателей	Значения при степени ошибовки				
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Количество уровней факторов, ед.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Коэффициент детерминации	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98
Коэффициент корреляции	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
t-статистика Стьюдента	9,84	12,12	9,84	12,12	12,12
$t_{0,95}$	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77

Коэффициенты корреляции также остаются на высоком уровне ($r \approx 0,98$), подтверждая наличие устойчивой связи между сцепными характеристиками и длиной тормозного пути при любых степенях ошибовки.

Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность длины тормозного пути к изменению коэффициента сцепления во всём диапазоне степеней ошибовки. Независимо от количества установленных шипов, наблюдается устойчивое и предсказуемое снижение тормозного пути при увеличении коэффициента сцепления дорожного покрытия. Высокая статистическая достоверность зависимостей делает возможным использование полученных моделей для расчёта прогнозных тормозных характеристик автомобиля в зависимости от состояния шин и дорожных условий.

3.5. Определение численных значений параметров многофакторных математических моделей

После выполнения однофакторного анализа и оценки влияния степени ошиповки на поведение автомобиля при ускорении и торможении, проведён многофакторный анализ. Его целью стало построение обобщённых моделей, позволяющих учесть одновременно несколько факторов, влияющих на эффективность взаимодействия шины с дорожным покрытием. В качестве переменных рассматривались:

- коэффициент сцепления дорожного покрытия (обозначен как K_c);
- остаточная доля шипов вшине (обозначена как n).

На основе полученных экспериментальных данных построена многофакторная математическая модель тормозного пути S в виде полинома второй степени с взаимодействующими членами:

$$S = A_0 + A_1 K_c + A_2 n + A_3 K_c n + A_4 K_c^2 + A_5 n^2 + A_6 n K_c^2 + A_7 K_c n^2 + A_8 n^2 K_c^2,$$

где n – нормализованное значение остаточной ошиповки шины (от 0 до 1);

f – коэффициент сцепления дорожного покрытия (в диапазоне от 0,1 до 1,0).

На рисунке 3.22 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.

Численные значения параметров многофакторной математической модели определялись методом наименьших квадратов. Результаты представлены в таблице 3.20.

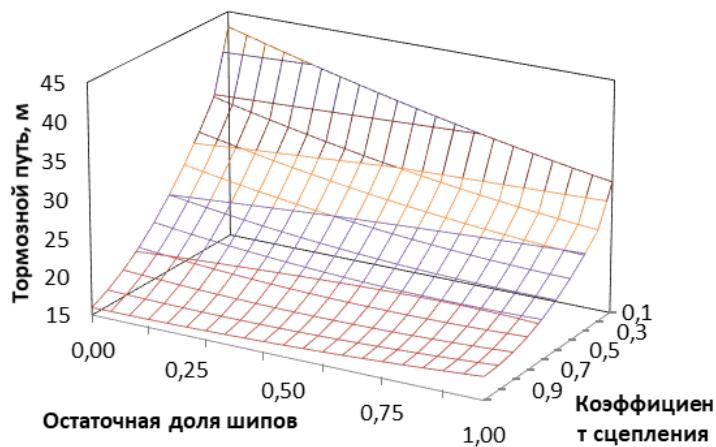


Рисунок 3.22 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на тормозной путь

Таблица 3.20 – Численные значения параметров многофакторной математической модели тормозного пути

Наименование параметра, м	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
Численные значения	43	-14	-45	12	3	18	5	2	-6

Такая модель позволяет:

- количественно оценивать влияние каждого фактора на величину тормозного пути;
- проводить прогнозирование эксплуатационных характеристик шин в различных условиях;
- использовать полученные зависимости для оптимизации конструкции шин или планирования технического обслуживания в зависимости от остаточной степени ошиповки.

Ниже приведено описание второй аппроксимирующей поверхности (рисунок 3.23), которая выражает зависимость времени ускорения автомобиля с задним приводом от коэффициента сцепления и степени ошиповки шин. Эта поверхность построена на основе экспериментальных данных и описана многофакторной нелинейной регрессионной моделью.

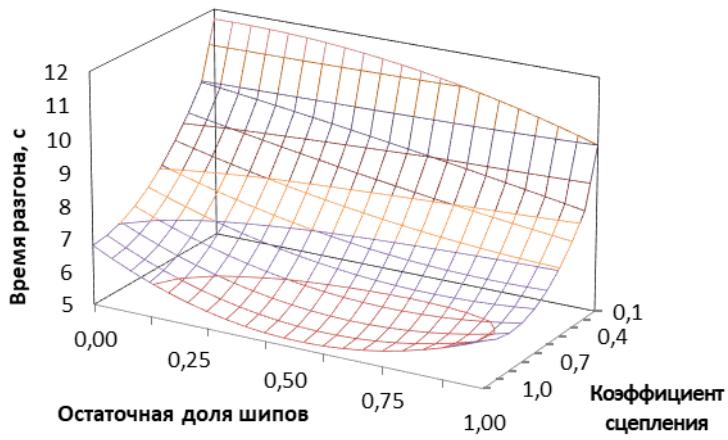


Рисунок 3.23 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля с задним приводом

Численные значения параметров многофакторной математической модели определялись методом наименьших квадратов. Результаты представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Численные значения параметров многофакторной математической модели времени разгона заднеприводного автомобиля

Наименование параметра, с	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
Численные значения	11,7	0,2	-9,6	-8,4	-1,9	4,7	8,1	2,3	-0,7

Нелинейный характер зависимости времени разгона от обоих факторов хорошо отражает сложность физического процесса взаимодействия шины с дорогой.

Увеличение степени ошиповки при постоянном коэффициенте сцепления приводит к уменьшению времени разгона, особенно на поверхностях с низким сцеплением (низкие значения K_c).

При высоком коэффициенте сцепления (асфальт) вклад шипов становится менее выраженным, что также подтверждается выравниванием поверхности модели в соответствующих зонах.

Многофакторная модель зависимости времени разгона полноприводного автомобиля до 60 км/ч наиболее наглядно отражает влияние остаточной доли шипов. Также наблюдается нелинейная зависимость, как показано на рисунке 3.24.

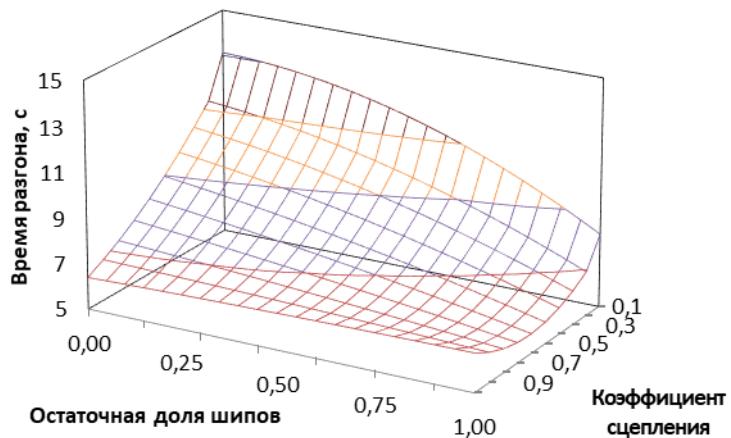


Рисунок 3.24 – Двухфакторная математическая модель влияния коэффициента сцепления и степени ошиповки шин на время разгона автомобиля с полным приводом

Численные значения параметров многофакторной математической модели определялись методом наименьших квадратов. Результаты представлены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Численные значения параметров многофакторной математической модели времени ускорения полноприводного автомобиля

Наименование параметра, с	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
Численные значения	13,1	-0,4	-9,8	-7,2	-4,5	3,1	9,5	8,1	-5,2

Результаты расчётов подтверждают, что степень ошиповки оказывает значительное влияние на динамические характеристики автомобиля, особенно на покрытиях с низким коэффициентом сцепления. Выявлена выраженная нелинейность зависимости, которая проявляется в заметном увеличении

времени разгона при снижении доли шипов на скользких покрытиях. Поверхность модели демонстрирует высокую чувствительность параметра S к обоим факторам, что подтверждает обоснованность применения многофакторного подхода.

Полученные модели служат основой для прогнозирования поведения автомобиля в зимних условиях, применяются в задачах диагностики технического состояния шин, обоснования сроков восстановления ошиповки, а также в моделировании транспортных потоков с учётом сезонных факторов.

3.6. Техническое задание на разработку MVP системы автоматизированной диагностики шипованных шин

Разработка минимального жизнеспособного продукта (MVP) автоматизированного стенда для диагностики шипованных шин направлена на подтверждение принципиальной реализуемости автоматизированного подсчёта и классификации шипов с заданной точностью. Создаваемый прототип должен обеспечить воспроизводимость процесса съёмки, корректность обработки изображений и стабильность алгоритмов распознавания, а также предоставить базовые функции интерфейса пользователя. MVP рассматривается как технологическая платформа, масштабируемая для последующих этапов развития и интеграции в производственную среду.

Функциональная концепция MVP включает три ключевых подсистемы: модуль съёмки, модуль обработки изображений и модуль отображения и сохранения результатов. Подсистема съёмки должна обеспечивать получение изображения протектора шины с разрешением не ниже 5 Мп, стабильной частотой кадров и равномерным освещением, что необходимо для корректной работы алгоритмов детекции. Конструкция узла предполагает возможность калибровки камеры для устранения оптических искажений, а также регулировку положения камеры и источников света с учётом различий в размерах шин в диапазоне от 13 до 21 дюйма по диаметру и от 155 до 285 мм

по ширине протектора. Время получения одного изображения не должно превышать полсекунды, а запуск процесса съёмки должен поддерживать как автоматический, так и ручной формат.

Алгоритмы компьютерного зрения, реализуемые в MVP, должны основываться на современных свёрточных нейронных сетях, сопоставимых по производительности с архитектурами YOLOv5 или EfficientDet. Модель должна обеспечивать обнаружение шипов и их классификацию по четырём состояниям: целые, повреждённые, сломанные и отсутствующие. Критерием соответствия является достижение точности классификации не ниже 90% по всем категориям и точности подсчёта целых шипов на уровне не менее 98%. Детекция должна сопровождаться определением координат каждого шипа с погрешностью не более 1 мм. Результаты вычислений отображаются в табличной форме и сопровождаются визуализацией, содержащей маски распознанных шипов.

Система должна обеспечивать возможность сохранения результатов анализа в форматах CSV или JSON, при этом структура данных предусматривает включение идентификатора шины, координат шипов, их классификационного статуса и времени сканирования. Для графической фиксации результатов предусматривается сохранение изображений в форматах PNG или JPG, а также возможность интеграции с промышленными СУБД уровня PostgreSQL или MySQL. Предусматривается возможность последующего экспорта данных.

Интерфейс MVP должен предоставлять оператору изображение шины в реальном времени с возможностью масштабирования, отображать результаты классификации, а также позволять корректировать ошибки распознавания вручную. Интерфейс должен адаптироваться под экраны различной ширины (не менее 1024 пикселей) и обеспечивать индикацию ошибок системы и прогресса выполнения операций. Также предусматривается регулирование параметров освещения и качества изображения непосредственно из интерфейса.

Технические требования к аппаратной части заключаются в использовании монохромной цифровой камеры с глобальным затвором, CMOS-матрицей не менее 1/2.5", объективом с фокусным расстоянием 8–12 мм и углом обзора не менее 50°. Освещение должно осуществляться посредством регулируемой светодиодной кольцевой подсветки с цветовой температурой 5500 К. В программной части предполагается использование Python, библиотек OpenCV, TensorFlow или PyTorch, а также оптимизация алгоритмов для достижения времени обработки одного изображения не более 0,5 секунды.

Важной особенностью MVP является обеспечение надёжности и устойчивости функционирования. Среднее время наработки на отказ должно составлять не менее 1000 часов, а система должна включать механизмы обнаружения ошибок и информирования оператора. Электропитание осуществляется от бытовой сети 220 В, при этом суммарная потребляемая мощность системы не должна превышать 300 Вт. Конструкция стенда должна соответствовать требованиям безопасности, исключая риски травмирования оператора, и обеспечивать защиту от короткого замыкания и перегрузок. Массогабаритные параметры устройства ограничиваются размерами 600×800×400 мм и массой не более 20 кг.

На этапе разработки предполагается выполнение анализа требований, проектирование аппаратной конфигурации, реализация алгоритмов обработки изображений, написание программного обеспечения, интеграция всех компонентов и комплексное тестирование. Проверка работоспособности включает модульные и интеграционные тесты, оценку точности классификации, испытания на производительность, надёжность и удобство взаимодействия с интерфейсом. Итоговый пакет документации должен включать руководство пользователя, техническое описание решения, электрическую принципиальную схему и спецификацию покупных комплектующих.

3.7. Проектирование аппаратного решения для автоматического подсчёта шипов на автомобильной шипованнойшине

Проектирование аппаратного решения для автоматизированного подсчёта шипов основывалось на совокупности требований, сформулированных в техническом задании, включая универсальность, мобильность, надёжность и удобство эксплуатации. На раннем этапе анализа конструктивных вариантов было установлено, что разработка стационарной установки значительно ограничивает возможность её применения в условиях действующего автосервиса. Поэтому был выбран концепт мобильного подкатного стенда, позволяющего проводить диагностику непосредственно на автомобиле без демонтажа колёс. Такой подход упрощает эксплуатацию оборудования и значительно сокращает время диагностики, что соответствует требованиям по производительности и удобству работы оператора.

Создаваемая конструкция должна обеспечивать устойчивое положение колеса, контролируемое вращение и надёжную фиксацию в процессе сканирования протектора. На основе сравнительного анализа вариантов были сформированы ключевые принципы проектирования: минимизация количества внешних коммуникаций, модульность механических узлов, возможность точной калибровки исполнительных механизмов и обеспечение безопасной работы пользователя.

Одним из ключевых элементов стенда является зажимной механизм, обеспечивающий надёжную фиксацию колеса в рабочем положении. Рассматривались три основных варианта привода: механический ручной зажим, пневматическая система и электрический привод. Анализ показал, что ручной зажим, несмотря на простоту и низкую стоимость, не обеспечивает стабильного прижимного усилия и требует значительных физических усилий со стороны оператора, что существенно снижает уровень автоматизации процесса. Пневматическая система обеспечивает высокую точность и равномерность прижима, однако наличие внешнего компрессора снижает

мобильность установки и увеличивает техническую сложность.

Оптимальным вариантом для MVP признан электрический зажимной механизм с червячным редуктором типа ZD12405, работающий от напряжения 12 В. Такой редуктор обеспечивает плавный и контролируемый ход рычагов, стабильное усилие зажима и высокую точность регулировки. Кроме того, отсутствие необходимости в подключении к пневмосети значительно повышает мобильность и автономность стенда. Элементы конструкции выполнены из фанеры толщиной 8 мм, что обеспечивает достаточную жёсткость при минимальной массе (рисунок 3.25).



Рисунок 3.25 – Общий вид зажимного механизма

Для улучшения сцепления с шиной приводные ролики изготовлены из бука и покрыты резиновым слоем, повышающим адгезию и предотвращающим проскальзывание. Геометрия механизма предусматривает возможность регулировки положения рычагов с шагом 5 мм, что обеспечивает совместимость с колёсами диаметром от 13 до 21 дюйма. Конструкция дополнена защитными элементами, исключающими возможность контакта оператора с подвижными частями механизма.

Для обеспечения равномерного вращения колеса в процессе

сканирования был проведён анализ трёх вариантов привода:

- ручной механизм;
- электродвигатель постоянного тока;
- мотор-редуктор.

Ручной привод, несмотря на конструктивную простоту, не обеспечивает стабильной скорости вращения и требует участия оператора, что не соответствует принципам автоматизации. Электродвигатель постоянного тока обеспечивает базовое вращение, однако его возможности по точному контролю скорости ограничены, а отсутствие обратной связи затрудняет синхронизацию с системой компьютерного зрения.

В качестве оптимального решения выбран мотор-редуктор JGA25-370 мощностью 10 Вт, обеспечивающий плавную регулировку скорости вращения и достаточный крутящий момент для вращения колеса легкового автомобиля. Передача вращения на приводной ролик осуществляется через шестерёнчатую передачу. Система управления обеспечивает регулировку скорости в широком диапазоне (0–1000 об/мин), что даёт возможность оптимизировать параметры вращения под требования алгоритмов компьютерного зрения (рисунок 3.26).

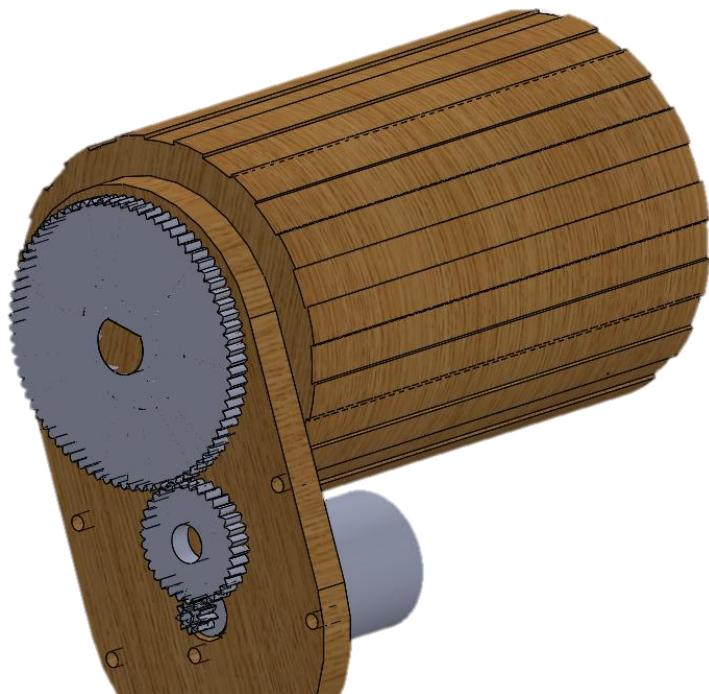


Рисунок 3.26 – Общий вид приводного механизма

Для точной синхронизации вращения используется инкрементный энкодер Autonics E50S8-100-3-T-24, характеризующийся разрешением 100 импульсов на оборот и погрешностью не более $\pm 0,1^\circ$. Это обеспечивает выполнение требований к точности позиционирования при последующем определении координат шипов.

При разработке корпуса стенда рассматривались различные материалы: сталь, алюминий, пластик и фанера. Наиболее оптимальным решением для MVP оказалась многослойная фанера толщиной 4–8 мм. Она обеспечивает необходимую жёсткость конструкции, лёгкость обработки и низкую стоимость. Эти свойства особенно важны для стадии прототипирования, когда требуется возможность быстрой доработки и изготовления дополнительных элементов.

Для деталей, обладающих сложной геометрией или требующих точного сопряжения с механическими узлами, использовалась аддитивная технология 3D-печати. Комбинация фанерных элементов и печатных компонентов позволяет снизить массу конструкции и повысить адаптивность архитектуры стенда. Корпус обеспечивает защиту внутренних элементов от механических повреждений, пыли и влаги, соответствуя требованиям по безопасности и надёжности (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 – Общий вид корпуса стенда

На верхней панели корпуса расположены элементы управления, включая кнопки, тумблеры и индикаторы с защитой от пыли и влаги. Для транспортировки стенд оснащён поворотными колёсами диаметром 100 мм и боковыми ручками. Габариты конструкции ($600 \times 800 \times 400$ мм) соответствуют требованиям мобильности, обеспечивая удобство перемещения в условиях автосервиса.

Собранный стенд представляет собой компактную и мобильную платформу, включающую приводной и зажимной механизмы, систему вращения, модуль фиксации камеры, элементы управления и защитный корпус. Все конструктивные решения согласованы между собой и обеспечивают выполнение требований технического задания по точности, стабильности работы, безопасности и универсальности. Комбинация деревянных, металлических и 3D-печатных элементов позволила снизить стоимость разработки, упростить сборку и обеспечить высокую ремонтопригодность (рисунок 3.28).

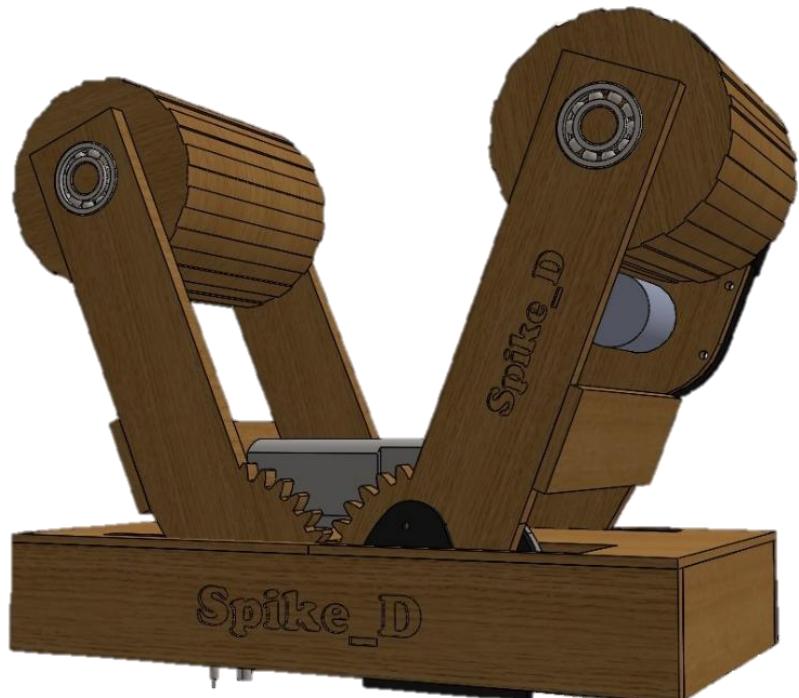


Рисунок 3.28 – Общий вид стенда

3.8. Изготовление элементов стенда и сборка

Для деталей, обладающих сложной геометрией или требующих высокой точности сопряжения, применялась технология 3D-печати. Она позволила создать элементы, которые трудно изготовить традиционными технологиями, включая крепления рычагов, держатели камеры, корпуса двигателей и декоративные или защитные элементы. Использовались термостойкие композиционные пластики, обладающие достаточной механической прочностью, стойкостью к вибрациям и стабильностью размеров. Применение 3D-печати значительно ускорило стадии прототипирования и внесения конструктивных изменений (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Элементы, изготовленные на 3D принтере

Для изготовления панелей корпуса, цилиндрических роликов и других элементов, требующих идеальной точности и качества поверхности обработки, использовалось фрезерование на четырёхосевом станке с ЧПУ.

Ролики и корпусные панели изготавливались с высокой точностью, что обеспечило корректное сопряжение элементов при сборке. Использование ЧПУ-фрезерования позволило получить более стабильные и надёжные структурные компоненты, чем при ручной обработке (рисунок 3.42).



Рисунок 3.30 – Элементы, изготовленные на фрезере с ЧПУ

После изготовления всех компонентов была выполнена сборка стенда согласно разработанным чертежам и схемам. Особое внимание уделялось правильной регулировке взаимного положения приводного и зажимного механизмов, обеспечению соосности роликов и точности установки камеры. После полной сборки была проведена калибровка всех механических узлов: регулировка прижимного усилия, настройка скорости вращения, калибровка энкодера и калибровка положения камеры относительно протектора.

Применение комбинированного подхода, включающего 3D-печать и высокоточное фрезерование, позволило создать конструкцию с оптимальным балансом цены, точности и надёжности, обеспечив высокое соответствие MVP

параметрам, изложенным в техническом задании.

3.9. Проектирование программного обеспечения автоматизированной системы подсчёта шипов

Проектирование программного обеспечения (ПО) является ключевым этапом разработки автоматизированного стенда для подсчёта шипов автомобильных шин. На данном этапе формируется архитектура системы, определяются её функциональные модули, разрабатываются алгоритмы обработки изображений и механизмы взаимодействия между аппаратными узлами. ПО должно обеспечивать выполнение всех требований технического задания, интегрироваться со структурой аппаратной части стенда и функционировать в условиях, требующих высокой точности анализа изображений, устойчивости работы и удобства эксплуатации. Все программные компоненты создаются на языке Python версии 3.9.

Программное обеспечение стенда выполняет несколько взаимосвязанных функций. Оно обеспечивает управление системой видеосъёмки, обработку изображений с последующим распознаванием шипов, управление приводом вращения колеса и связью с интерфейсом оператора, а также сохранение результатов анализа. Управление камерой требуется для поддержания стабильного видеопотока, корректного фокусного расстояния и оптимальных параметров экспозиции. Используемая камера ASUS Webcam C3 Full HD должна поддерживать съёмку в разрешении 1920×1080 при частоте не менее 30 кадров в секунду. Программное обеспечение обеспечивает как автоматическую, так и ручную регулировку экспозиции, баланса белого и фокуса, а также взаимодействие с микроконтроллером подсветки, регулирующим параметры светодиодной ленты. Все эти функции позволяют получать качественные изображения, на основе которых выполняется анализ состояния шипов.

Наиболее важным компонентом является модуль обработки изображений и распознавания шипов. Перед подачей изображения в

нейросетевой детектор производится его предварительная обработка, включающая шумоподавление, коррекцию освещённости и повышение локального контраста. В качестве основного инструмента детектирования применяется нейронная сеть семейства YOLOv5, обученная на специализированном наборе изображений шин.

Классификация шипов осуществляется по четырём основным состояниям, отражающим их эксплуатационную пригодность. К категории «целый» относятся шипы, имеющие нормативную геометрию, характерную форму сердечника и высоту выступания над поверхностью протектора, достаточную для обеспечения механического зацепления с дорожным покрытием. Такие шипы считаются полностью работоспособными и учитываются при оценке остаточной степени ошиповки.

К категории «изношенный» относятся шипы, у которых зафиксировано уменьшение высоты выступания, сглаживание рабочей поверхности или частичная потеря геометрии сердечника, приводящие к снижению эффективности взаимодействия с обледенелым покрытием. Несмотря на наличие шипа в посадочном месте, его вклад в формирование сцепных свойств шины считается ограниченным и учитывается с понижающим коэффициентом при расчётах.

Категория «разрушенный» включает шипы с выраженным дефектами, такими как излом сердечника, деформация корпуса или значительное смещение относительно оси посадочного отверстия. Подобные шипы не обеспечивают требуемых сцепных характеристик и в ряде случаев могут ускорять изнашивание протектора, поэтому при оценке технического состояния шины они рассматриваются как функционально непригодные.

К категории «отсутствующий» относятся посадочные места, в которых шип полностью утрачен. Такие зоны идентифицируются по характерным признакам пустого гнезда или остаточных деформаций резины протектора. Отсутствующие шипы напрямую снижают степень остаточной ошиповки и существенно влияют на сцепные и динамические характеристики автомобиля.

Пример классификации шипов представлен на рисунке 3.31.

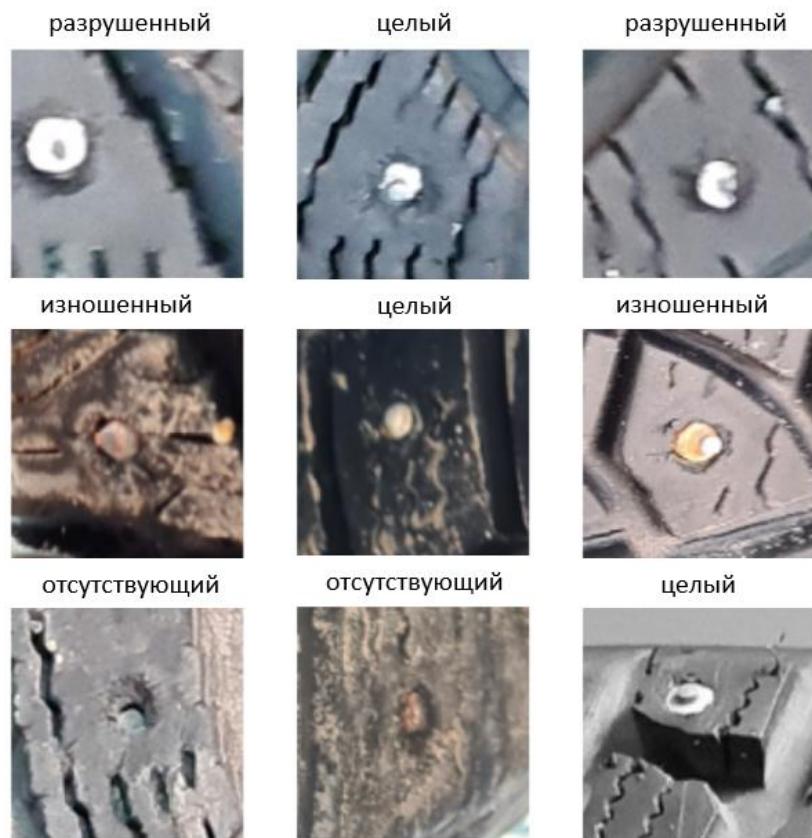


Рисунок 3.31 – Классификация шипов по состоянию

Нейронная сеть обеспечивает высокую точность пространственной локализации каждого шипа с определением его координат на развёрнутом изображении протектора. Это позволяет не только подсчитывать общее количество шипов по категориям состояния, но и анализировать их распределение по поверхности шины, выявлять зоны наименьшей глубины протектора и неравномерности ошиповки.

Время обработки одного изображения не должно превышать 0,5 секунды, что гарантирует возможность быстрого сканирования всей шины в реальном времени без потери синхронности с вращением. Полученные результаты в виде координат и представления состояния каждого элемента выводятся в интерфейс оператора и сохраняются для последующего анализа.

Управление приводным механизмом вращения шины осуществляется

посредством ШИМ-сигнала. ПО регулирует скорость вращения колеса в пределах, требуемых для корректного сканирования, обеспечивает управление зажимным механизмом и синхронизирует работу камеры с сигналами энкодера Autonics E50S8-100-3-T-24. Корректная синхронизация видеосъёмки и вращения обеспечивает отсутствие фазового смещения, что критично для корректного построения карты расположения шипов.

Интерфейс оператора позволяет наблюдать изображение с камеры в реальном времени, отслеживать результаты классификации, управлять параметрами сканирования и сохранять результаты. Он должен обеспечивать удобство работы в условиях автосервиса, учитывать требования эргономики и содержать элементы управления, позволяющие оператору выполнять настройку стенда, запускать и останавливать процесс сканирования, а также просматривать полученные данные. Интерфейс предоставляет результаты как в текстовой форме, так и в виде графической схемы распределения шипов по поверхности шины. Все результаты сохраняются в формате CSV, включающем идентификатор шины, координаты каждого шипа, его состояние, временные метки и параметры съёмки; изображения фиксируются в формате JPG. Система должна обеспечивать возможность интеграции с чат-ботом через общую базу данных, что позволяет передавать полученные параметры для формирования персонализированных рекомендаций пользователю.

Для обеспечения надёжной работы к системе предъявляются определённые нефункциональные требования. ПО должно обеспечивать время обработки кадра не более 0,5 секунды, а время полного сканирования одной шины – не более одной минуты. Среднее время наработки на отказ (MTBF) для стенда должно составлять не менее 1000 часов. Архитектура должна быть масштабируемой, позволяя расширять её функционал и подключать дополнительные алгоритмы анализа. Особое внимание уделяется защите данных и предотвращению вмешательства в работу системы.

Вторым компонентом программного комплекса является чат-бот,

выполняющий функции клиентского интерфейса экспертной системы по подбору зимних шин и анализу их состояния. Его программное обеспечение обеспечивает интерактивное взаимодействие с пользователем, позволяя формировать персонализированные рекомендации исходя из данных, полученных со стенда, а также исходя из вводимых пользователем параметров автомобиля, условий эксплуатации и бюджета. Время отклика бота должно составлять не более двух секунд, а интерфейс – корректно воспринимать запросы на естественном русском языке. Чат-бот предоставляет данные о характеристиках различных моделей зимних шин, анализирует фактическое состояние шин пользователя и формирует рекомендации по их эксплуатации, доснащению или замене. Он использует общую с основным стендом базу данных, что позволяет учитывать историю сканирований и автоматически подбирать оптимальные варианты.

Помимо своей основной функции чат-бот выполняет справочную роль, предоставляя пользователю информацию об особенностях зимних шин, правилах эксплуатации, а также контактные данные сервисного центра. Для обеспечения надёжности и продолжительного функционирования система должна обладать временем наработки на отказ не менее 500 часов, защищать персональные данные и поддерживать возможность расширения базы данных по мере появления новых моделей шин и накопления статистики.

Разработка логики интерфейса и визуальных макетов проводилась с использованием инструментов Visio и Figma. В Visio была создана блок-схема диалоговой модели чат-бота, отражающая структуру взаимодействия, порядок обработки входных данных и формирование рекомендаций. В Figma сформированы визуальные макеты интерфейса как чат-бота, так и оператора стенда. При разработке учитывались принципы удобства восприятия, минимизации количества действий пользователя, структурности и визуальной последовательности. Интерфейс чат-бота включает экран приветствия, окно ввода параметров, страницу рекомендаций и окно обратной связи, а интерфейс оператора содержит рабочее поле видеопотока, блок отображения результатов

анализа и панель управления оборудованием. Все элементы выдержаны в едином стиле и обеспечивают интуитивно понятное взаимодействие. На разработанное программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618609 [90].

3.10. Диаграмма состояний

Диаграмма состояний служит инструментом для визуализации поведения системы, позволяя отразить ключевые этапы взаимодействия пользователя как с чат-ботом, так и с интерфейсом оператора стенда. Она представляет логику функционирования подсистем, демонстрируя, каким образом система реагирует на действия пользователя, обрабатывает вводимые данные, формирует результаты и завершает процесс работы. Такой подход обеспечивает формирование целостного представления о функционировании программных компонентов и позволяет выявить потенциальные узкие места в логике работы.

В контексте чат-бота диаграмма состояний (рисунок 3.44) отображает последовательность его работы от момента инициализации до завершения диалога. Система начинает функционирование с состояния приветствия, в котором она подготавливается к взаимодействию с пользователем и ожидает ввода данных. После появления пользовательского запроса чат-бот переходит в режим ожидания данных, фиксируя введённые параметры автомобиля, условия эксплуатации или запросы на изменение ранее введённой информации. На следующем этапе осуществляется анализ данных, включающий проверку их корректности и полноты. Успешная обработка приводит к переходу в состояние генерации рекомендаций, где система формирует подборку зимних шин, основываясь на базе характеристик. После формирования рекомендаций чат-бот переходит к выводу результатов, предоставляя пользователю перечень подходящих моделей, их ключевые характеристики и дополнительную справочную информацию. Диалог

завершается переходом в состояние завершения, если пользователь не инициирует новый запрос. В случае некорректного ввода данных или невозможности сформировать рекомендации система переходит в состояние ошибки, предлагая пользователю скорректировать параметры и повторить попытку.

Аналогичная логика применяется для описания работы интерфейса оператора. Диаграмма его состояний отображает переходы между фазами подготовки оборудования, выполнения сканирования и анализа результатов. Первоначально система находится в состоянии готовности, в котором оператор может наблюдать потоковое изображение с камеры и инициировать запуск процесса. После начала сканирования стенд переходит в состояние активной работы, в ходе которой камера фиксирует изображения протектора, а приводной механизм вращает колесо. По завершении съёмки система входит в состояние ожидания результатов, обеспечивая синхронизацию между процессами обработки и визуализации. Следующим этапом является анализ изображений: выполняется обнаружение и классификация шипов, формируется карта их расположения и состояния. После вычислительных процедур система отображает результаты operatorу – визуализирует детектированные шипы, публикует количество найденных элементов и предоставляет инструменты для сохранения данных или повторного запуска анализа. Возврат к исходному состоянию готовности осуществляется после сохранения результатов либо при инициировании нового цикла сканирования.

На рисунке 3.32 представлена интегрированная диаграмма состояний экспертной системы, объединяющая логику работы чат-бота и интерфейса оператора и позволяющая проследить взаимосвязь между пользовательским вводом, обработкой данных и последующим формированием рекомендаций.

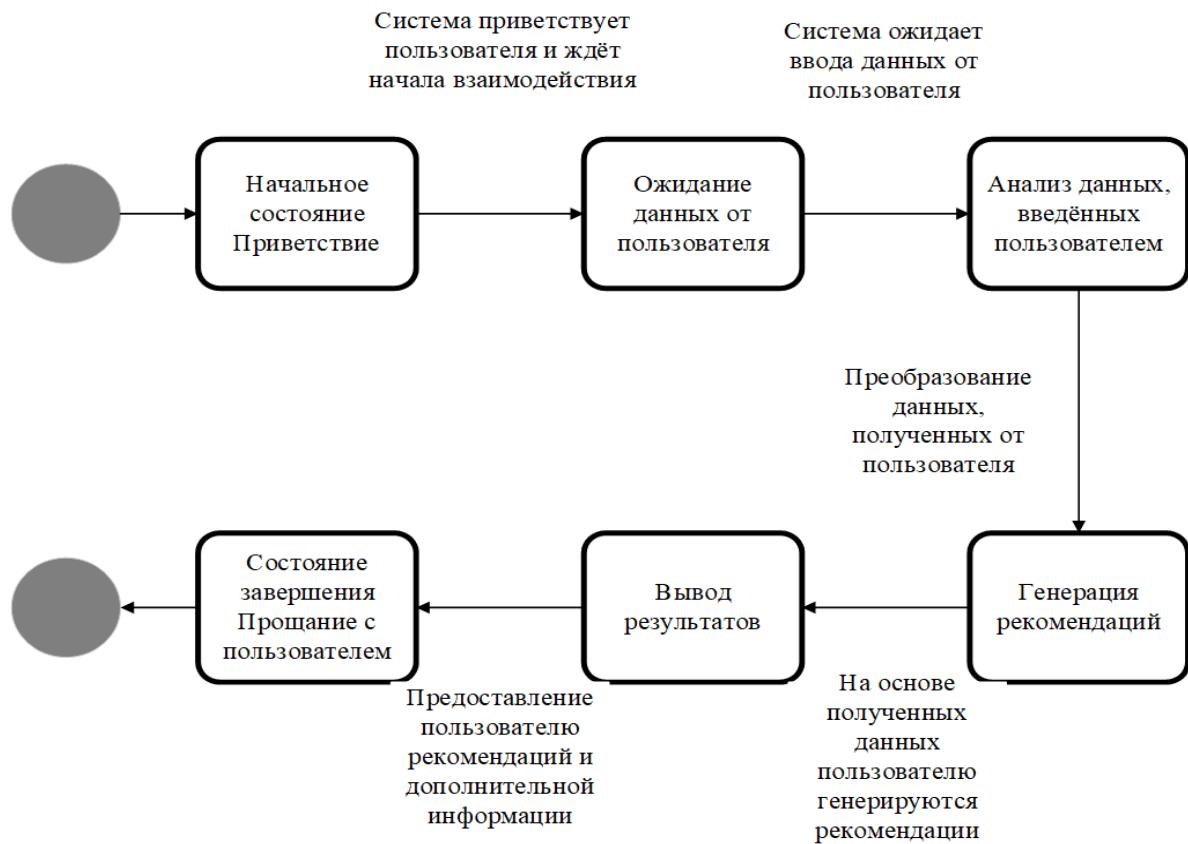


Рисунок 3.32 – Диаграмма состояний экспертной системы для подбора зимних шин

Продолжая рассмотрение архитектуры и логики функционирования экспертной системы, диаграмма взаимодействий, представленная на рисунке 3.45, позволяет более детально проследить, каким образом отдельные компоненты обмениваются данными в процессе работы. В отличие от диаграммы состояний (рисунок 3.33), которая демонстрирует смену внутренних режимов системы, диаграмма взаимодействий акцентирует внимание на последовательности сообщений между пользователем, чат-ботом, базой данных и внешними сервисами. Такой подход обеспечивает комплексное понимание работы экспертной системы, позволяя анализировать как динамику обмена данными, так и структуру вызовов, формирующих итоговые рекомендации.

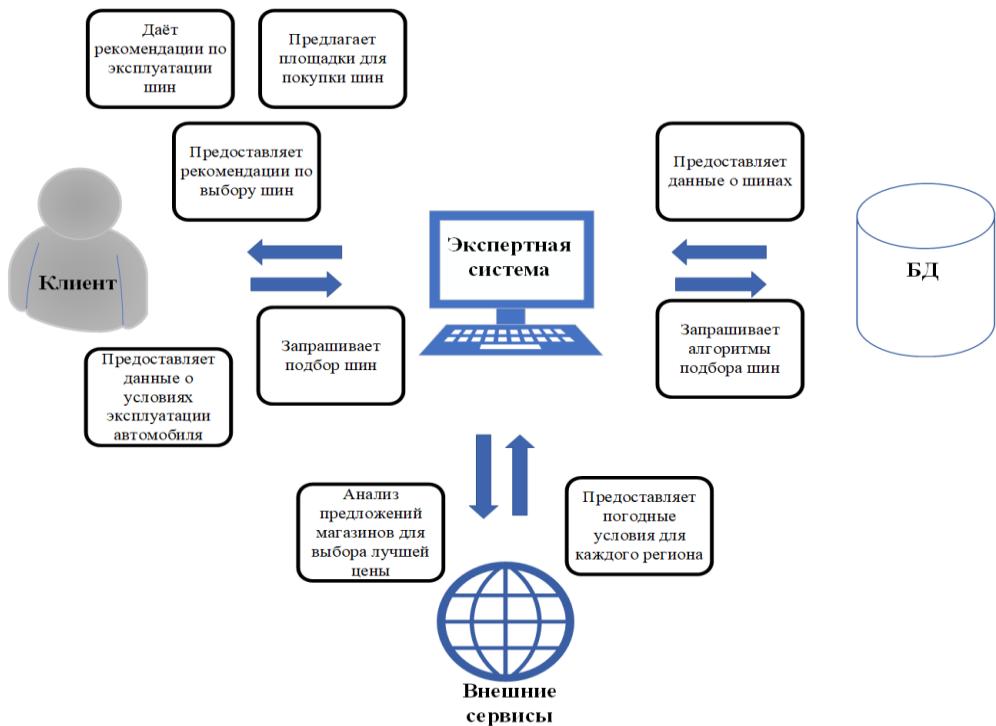


Рисунок 3.33 – Диаграмма взаимодействий экспертной системы для подбора зимних шин

В сценарии подбора зимних шин пользователь инициирует процесс, направляя в чат-бот текстовый запрос, после чего система переходит к активному сбору входных параметров. На данном этапе чат-бот формирует уточняющие запросы, позволяющие получить информацию об условиях эксплуатации автомобиля, особенностях покрытия дорог или конкретных технических параметрах транспортного средства. Эти данные пользователь предоставляет посредством текстового ввода или выбора значений из подготовленных интерфейсных элементов. После накопления необходимой информации система обращается к базе данных, извлекая сведения о доступных моделях шин и их характеристиках, и параллельно взаимодействует с внешними сервисами, получая климатические параметры региона эксплуатации. Объединённые данные проходят обработку с использованием алгоритмов ранжирования, после чего формируются итоговые рекомендации, включающие перечень подходящих моделей шин, их ключевые характеристики и сопутствующую справочную информацию. В завершение чат-бот предлагает пользователю рекомендации по эксплуатации,

а также предоставляет ссылки на внешние ресурсы, что позволяет завершить цикл взаимодействия.

Сценарий работы подсистемы сканирования шин демонстрирует принципиально иной характер взаимодействия, поскольку в этом случае основное участие принимает не пользователь, а оператор стенда, взаимодействующий с аппаратным обеспечением. Диаграмма взаимодействий отображает передачу управляющих команд от интерфейса оператора микроконтроллеру, который обеспечивает настройку параметров сканирования, управление работой камеры и получение изображений протектора. После завершения съёмки полученные изображения направляются в модуль обработки данных, где проводится анализ состояния шипов, выявляются их координаты и степень изношенности. Визуализация результатов возвращается в интерфейс оператора, который завершает цикл, позволяя сохранить данные или инициировать новый процесс.

Для структурного анализа процессов, связанных с функционированием экспертной системы, используется также диаграмма деятельности, представленная на рисунке 3.34. Она отражает последовательность действий, выполняемых системой в ходе подбора шин, и демонстрирует логику переходов между этапами обработки информации. В отличие от диаграммы взаимодействий, акцент здесь смешён с обмена сообщениями на порядок выполнения операций и принятие решений внутри программных модулей. Процесс начинается с инициации запроса, после чего система переходит к сбору данных о транспортном средстве. На следующем этапе проводится проверка корректности введённой информации, что позволяет исключить ошибки, возникающие при вводе параметров. Далее экспертная система выполняет обращение к базе данных, извлекает подходящие модели шин и анализирует их в соответствии с заданными критериями. На основании результатов сравнения формируется итоговый список рекомендуемых моделей, который дополняется сопутствующей информацией и предоставляется пользователю в удобном и структурированном виде.

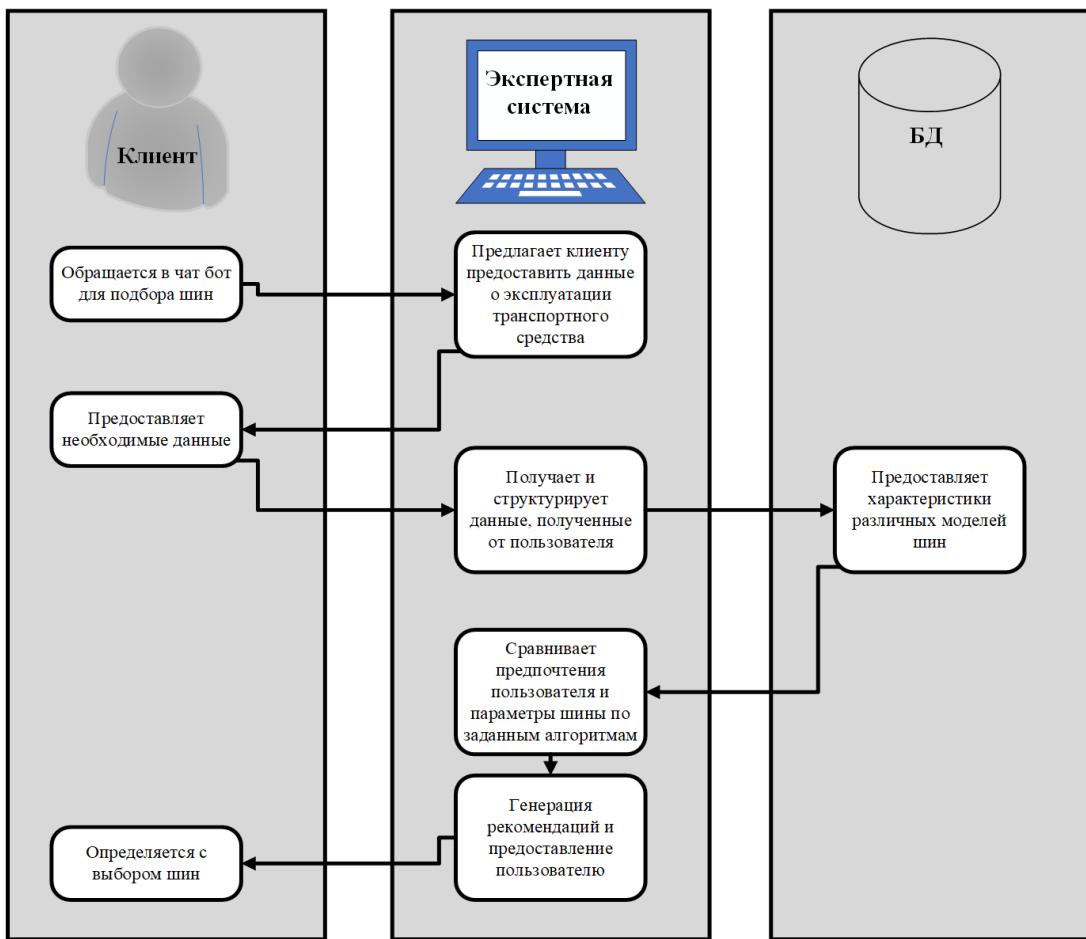


Рисунок 3.34 – Диаграмма деятельности экспертной системы для подбора зимних шин

Таким образом, приведённые диаграммы – состояний, взаимодействий и деятельности – дают комплексное представление о логике работы программного комплекса. Они позволяют проследить как внутренние переходы между состояниями, так и внешние коммуникации между компонентами, а также визуализируют последовательность действий при выполнении ключевых сценариев. Такое многоплановое описание обеспечивает целостное понимание функционирования разработанной системы и подтверждает корректность выбранных решений при проектировании её архитектуры.

3.11. Диаграмма классов

Диаграмма классов (рисунок 3.35) отражает структуру разрабатываемой экспертной системы для подбора зимних шин, представляя её ключевые

компоненты, их функциональные роли и логические связи между ними. Она служит концептуальной моделью, демонстрирующей организацию программной логики, взаимозависимость элементов и распределение ответственности между основными сущностями системы.

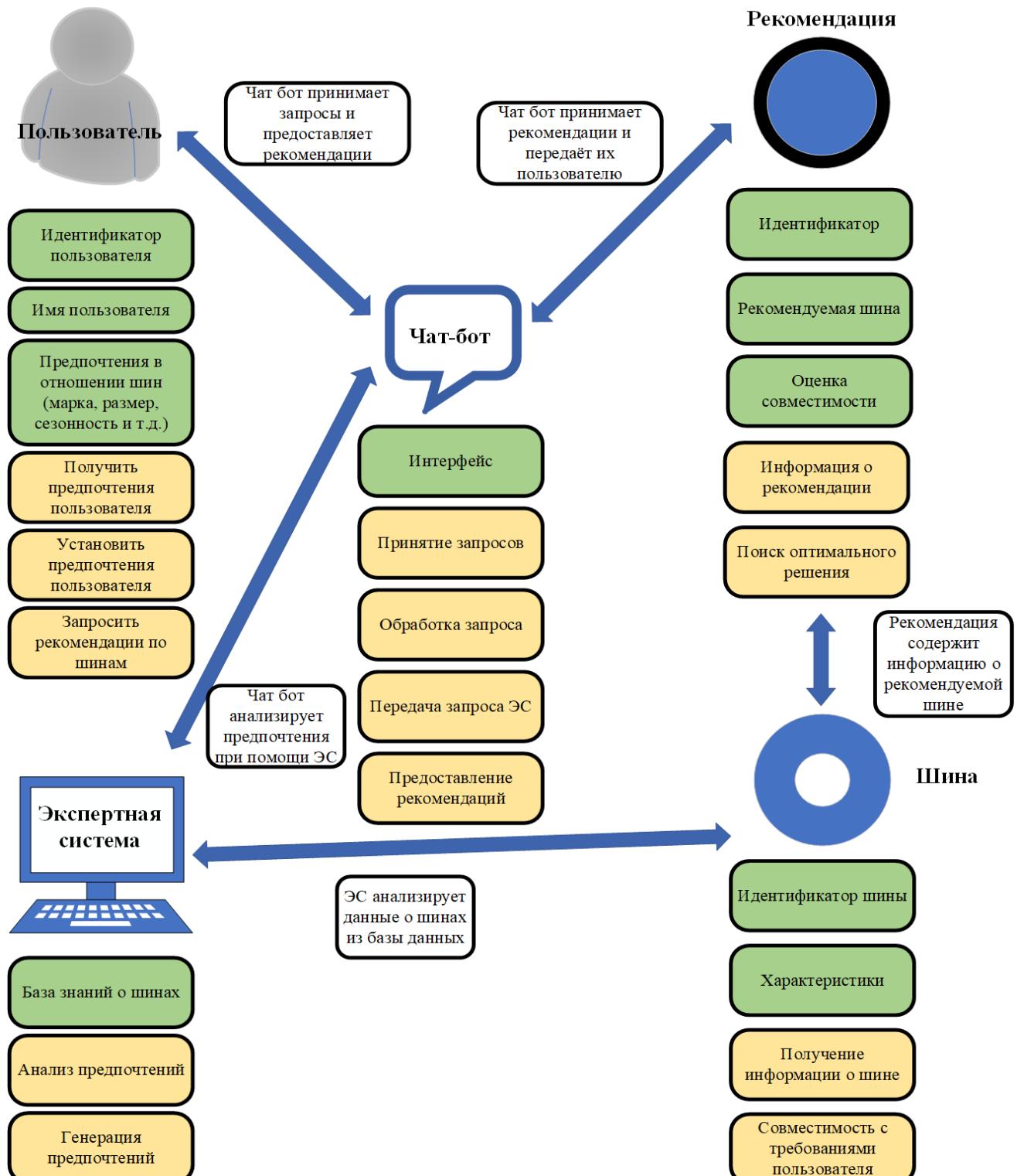


Рисунок 3.35 – Диаграмма классов экспертной системы для подбора зимних шин

Такой подход позволяет формализовать внутреннюю архитектуру и обеспечивает основу для реализации модульной структуры, что повышает гибкость системы и упрощает её дальнейшее масштабирование.

В центре архитектуры находится пользователь, выступающий источником входных данных. Его представление в системе реализовано через класс, содержащий сведения об автомобиле, эксплуатационных предпочтениях и индивидуальных ограничениях, влияющих на подбор шин. Этот класс фиксирует параметры, передаваемые на последующих этапах обработки, и обеспечивает механизмы их изменения и передачи в другие компоненты. Взаимодействие пользователя с системой осуществляется через чат-бот, который выполняет роль посредника: он принимает сообщения, интерпретирует вводимые параметры, формирует структурированные запросы и обеспечивает обратную связь в виде рекомендаций. Чат-бот инкапсулирует логику взаимодействия с пользователем и содержит ссылки на интерфейс визуализации и экспертную систему.

Экспертная система выполняет роль вычислительного ядра и отвечает за анализ вводимых параметров и формирование итоговых рекомендаций. Она использует базу данных шин, содержащую полный перечень моделей и их технических характеристик, и осуществляет поиск наиболее подходящих вариантов на основе показателей сцепления, цены, размера, типа и других характеристик. Механизм анализа предпочтений реализован через методы, обеспечивающие фильтрацию и ранжирование шин, а также генерацию результатов, структурированных в виде объектов рекомендаций. Каждый такой объект содержит сведения о конкретной модели шины, оценку её соответствия параметрам пользователя и дополнительную пояснительную информацию.

Класс, представляющий шину, выступает структурным элементом базы данных и содержит полный набор атрибутов конкретной модели – размер, марку, тип, цену и технические свойства. Он может включать методы, оценивающие совместимость модели с критериями пользователя, что

позволяет частично распределить вычислительную нагрузку между объектами. База данных шин организует хранение всей совокупности моделей, их загрузку из файла и предоставление экспертной системе списка шин, удовлетворяющих введённым условиям.

Связи между классами формируют законченный цикл функционирования системы: пользователь инициирует запрос, чат-бот интерпретирует его параметры, экспертная система анализирует их и обращается к базе данных за подходящими моделями; затем формируются рекомендации, которые возвращаются чат-боту и отображаются через интерфейс. Благодаря такой структуре система обладает чётким распределением задач между компонентами, что обеспечивает устойчивость логики, возможность расширения функционала и удобство интеграции с внешними модулями.

3.12. Описание программы

Разработанная программа представляет собой интегрированную экспертную систему, предназначенную для подбора зимних шин на основе предпочтений пользователя, параметров региона эксплуатации, особенностей температурных условий и характеристик шин, хранящихся в базе данных. Система реализована в виде чат-бота, работающего в среде мессенджера Telegram, а также включает операторский интерфейс, обеспечивающий управление стендом сканирования шин и последующую обработку диагностических изображений. Программный комплекс функционирует как совокупность взаимосвязанных модулей, каждый из которых выполняет строго определённую задачу и взаимодействует с другими компонентами через формализованные интерфейсы.

Ключевым компонентом системы является модуль загрузки базы данных шин, обеспечивающий импорт исходных данных из внешнего файла формата CSV и их подготовку к дальнейшему использованию. Для работы с табличными данными применяется библиотека Pandas, что позволяет

выполнять приведение типов, структуризацию записей и формирование объектов класса Tire. После загрузки информация хранится в оперативной памяти в виде коллекции, где каждому идентификатору соответствует объект со всеми характеристиками конкретной модели шины. Этот модуль реализует интерфейс TireDatabaseInterface, предоставляя доступ к функциям поиска и выборки записей, а также к методам получения характеристик шин. Представление базы данных показано на рисунке 3.36.

	Модель	Тип шины	Ширина (мм)	Высота (мм)	Диаметр (дюймы)	Количество шипов	Стоимость (рубли)
0	Nokian Hakkapeliitta R3	Скандинавская	205	55	15	120	7000
1	Continental VikingContact 7	Скандинавская	195	60	16	140	8000
2	Michelin X-Ice Snow	Европейская	185	65	17	160	9000
3	Bridgestone Blizzak WS80	Скандинавская	215	50	18	100	6000
4	Pirelli Winter Sottozero 3	Европейская	225	55	19	120	7000
5	Goodyear UltraGrip Ice 2	Европейская	205	60	20	140	8000
6	Hankook Winter i*cept iz2	Скандинавская	195	65	15	160	9000
7	Dunlop Winter Maxx 2	Скандинавская	215	50	16	100	6000
8	Toyo Observe GSi-6 HP	Европейская	195	55	17	120	7000
9	Yokohama iceGUARD ig53	Европейская	205	60	18	140	8000
10	Falken Espia EPZ II	Европейская	195	65	19	160	9000
11	Gislaved Nord*Frost 200	Скандинавская	215	50	20	100	6000
12	General Altimax Arctic 12	Скандинавская	195	55	15	120	7000
13	Kumho WinterCraft WP71	Европейская	205	60	16	140	8000
14	Vredestein Wintrac Pro	Европейская	195	65	17	160	9000
15	Nitto NT90W	Скандинавская	215	50	18	100	6000
16	Firestone Winterforce 2	Скандинавская	225	55	19	120	7000
17	Cooper Discoverer M+S	Европейская	205	60	20	140	8000
18	Uniroyal Tiger Paw Ice & Snow 3	Европейская	195	65	15	160	9000
19	BFGoodrich Winter T/A KSI	Европейская	215	50	16	100	6000
20	Nexen Winguard Ice Plus 2	Скандинавская	225	55	17	120	7000
21	Bridgestone Blizak LM001	Скандинавская	205	60	18	140	8000
22	Continental WinterContact TS 860	Европейская	195	65	19	160	9000
23	Michelin Pilot Alpin 5	Европейская	215	50	20	100	6000
24	Pirelli Winter Sottozero Serie II	Европейская	225	55	15	120	7000
25	Goodyear UltraGrip Performance+	Скандинавская	205	60	16	140	8000
26	Hankook Winter i*cept evo3	Скандинавская	195	65	17	160	9000
27	Dunlop Winter Sport 5	Европейская	215	50	18	100	6000
28	Toyo Observe G3-Ice	Европейская	225	55	19	120	7000
29	Yokohama iceGUARD G075	Европейская	205	60	20	140	8000
30	Falken Eurowinter HS01	Европейская	195	65	15	160	9000
31	Gislaved Euro Frost 6	Скандинавская	215	50	16	100	6000
32	General Altimax Winter 3	Скандинавская	225	55	17	120	7000
33	Kumho WinterCraft WP51	Европейская	205	60	18	140	8000
34	Vredestein Snowtrac 5	Европейская	195	65	19	160	9000
35	Nitto NT-SN2 Winter	Скандинавская	215	50	20	100	6000
36	Firestone Winterforce UV	Скандинавская	225	55	15	120	7000
37	Cooper Weather-Master WSC	Европейская	205	60	16	140	8000
38	Uniroyal Ice & Snow 3	Европейская	195	65	17	160	9000
39	BFGoodrich Winter Slalom KSI	Европейская	215	50	18	100	6000

Рисунок 3.36 – База данных шин в табличном формате

Следующим важным элементом системы является модуль чат-бота, обеспечивающий взаимодействие с пользователями через Telegram. Он осуществляет приём входящих сообщений, извлечение ключевых параметров (тип региона, температурный режим, характеристики автомобиля) и передачу их в экспертную систему. Модуль использует механизм состояний, позволяющий реализовать последовательный диалог, а также функции формирования и отображения ответов, включая элементы интерфейса Telegram. На основе полученных рекомендаций бот генерирует

удобочитаемые сообщения и направляет их пользователю. Работа модуля показана на примере на рисунке 3.37.

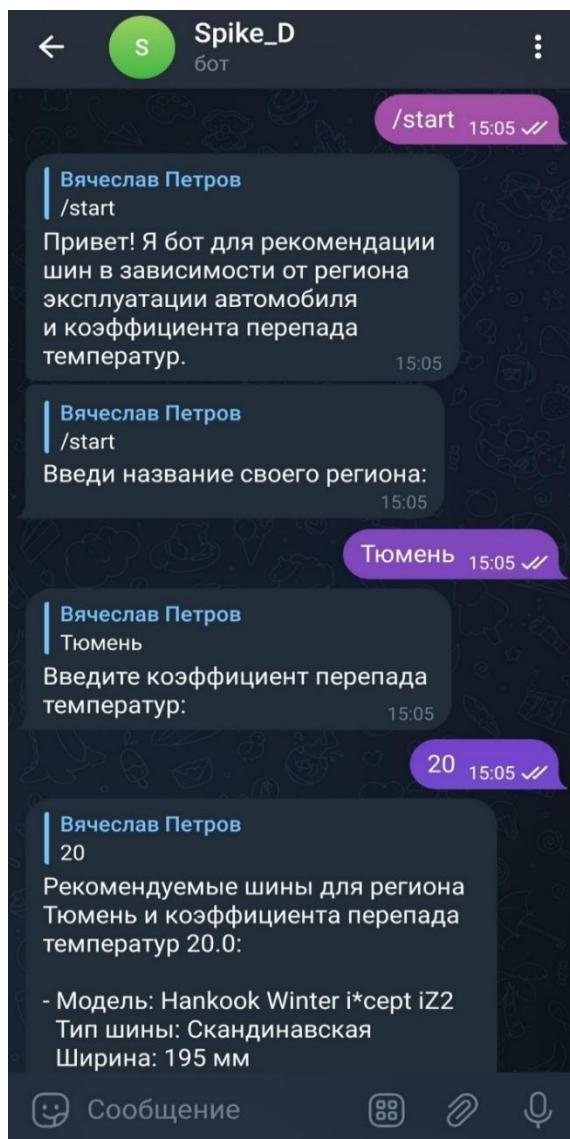


Рисунок 3.37 – Результат взаимодействия с чат-ботом

Основу интеллектуальной части программы составляет модуль экспертной системы, который реализует механизм логического вывода рекомендаций. Он анализирует данные, введённые пользователем, сопоставляет их с характеристиками регионов и температурных условий, выбирает подходящие модели шин из базы данных и формирует их ранжированный список. В зависимости от условий могут применяться различные правила отбора, учитывающие тип дорожного покрытия,

количество шипов, температурный диапазон и конструктивные особенности протектора. В типовом сценарии экспертная система формирует набор из 3–5 моделей, наиболее соответствующих заданным критериям. Взаимодействие с другими компонентами осуществляется через интерфейс ExpertSystemInterface.

Также в структуру программы включены модули обработки команд и текстовых сообщений. Модуль StartCommandHandler отвечает за инициализацию диалога, отправку приветствия и запрос первичных данных. Модуль TextMessageHandler обеспечивает дальнейшее сопровождение диалога, интерпретацию пользовательского ввода и передачу извлечённой информации в экспертную систему. После получения рекомендаций он формирует финальное сообщение для пользователя и направляет его через чат-бот.

Помимо взаимодействия с пользователем, программа имеет блок, обслуживающий операторский интерфейс для работы со стендом сканирования шин. Этот компонент позволяет передавать управляющие команды модулю ScannerController, осуществляющему контроль работы стенда. Полученные изображения передаются на обработку в модуль ImageProcessor, который выделяет диагностически значимые элементы – прежде всего состояние шипов – и возвращает результаты в операторский интерфейс. Таким образом, система объединяет функции рекомендаций и технической диагностики.

Функционирование программы основано на последовательной передаче данных между модулями. Загрузка и предварительная обработка шин осуществляется модулем TireDatabaseLoader, после чего данные становятся доступны экспертной системе. Чат-бот обеспечивает получение пользовательского ввода и передаёт его соответствующим обработчикам, определяя направление дальнейшей работы в зависимости от типа сообщения. На основе информации, поступившей от пользователя, экспертная система формирует рекомендации и возвращает их модулю чат-бота, который

обеспечивает их отображение в среде Telegram. Параллельно операторский интерфейс взаимодействует со стендом сканирования через модуль управления, получая изображения и отправляя их на обработку модулю анализа изображений. Эта последовательность обеспечивает целостность работы программы и логическое разделение функций между модулями.

Вся система построена на модульной архитектуре, позволяющей чётко разграничить функциональные области и облегчить модернизацию отдельных компонентов. Взаимодействие осуществляется по принципу вызова методов через соответствующие интерфейсы, что обеспечивает гибкость, расширяемость и адаптируемость программы. Логика работы комплекса представляет собой последовательное ожидание пользовательского ввода, его обработку, выполнение вычислительных процедур экспертной системой и передачу результатов пользователю или оператору в зависимости от сценария.

3.13. Руководство пользователя

Настоящее руководство предназначено для обеспечения правильного и эффективного использования разработанного чат-бота и подсистемы сканирования шин. Чат-бот служит удобным инструментом для получения рекомендаций по подбору зимних шин с учётом региона эксплуатации и климатических условий, а также взаимодействует с операторским интерфейсом, обеспечивающим управление стендом сканирования шин.

Работа пользователя начинается с установки приложения Telegram. В случае отсутствия мессенджера на мобильном устройстве или персональном компьютере его необходимо скачать из официальных источников: App Store для устройств Apple, OpenAI Play для устройств на базе Android, либо с официального сайта Telegram для систем Windows, macOS и Linux. После установки необходимо запустить приложение и выполнить регистрацию, введя номер телефона, на который будет отправлен код подтверждения (рисунок 3.38). Далее происходит авторизация в личном аккаунте.

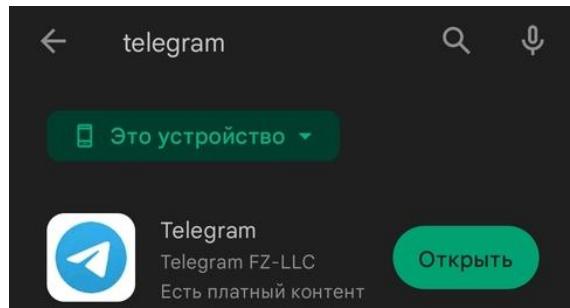


Рисунок 3.38 – Установка мессенджера Telegram

Для начала взаимодействия с чат-ботом требуется найти его в Telegram. После запуска приложения пользователь открывает строку поиска и вводит имя чат-бота, предоставленное разработчиком (например, WinterTireBot). Система автоматически предложит подходящие варианты, среди которых необходимо выбрать нужного бота (рисунок 3.39). После открытия диалогового окна начинается взаимодействие с системой.

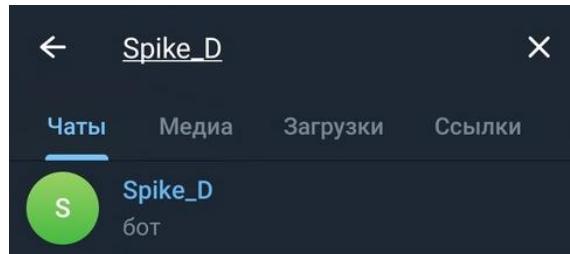


Рисунок 3.39 – Поиск чат бота в мессенджере

Запуск чат-бота выполняется посредством отправки команды /start либо нажатием доступной кнопки «СТАРТ». После инициализации чат-бот выводит приветственное сообщение и предлагает пользователю ввести регион эксплуатации автомобиля (рисунок 3.40).

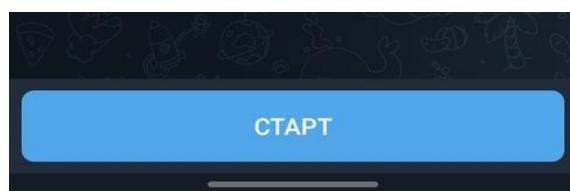


Рисунок 3.40 – Начало работы с чат-ботом

В тексте приветствия кратко обозначается назначение системы и необходимость корректного ввода данных. После перехода в режим ожидания пользовательского ввода необходимо указать регион в текстовой форме. Поддерживаются названия большинства городов и административных территорий, включая варианты сокращений (рисунок 3.41). При необходимости бот может запросить подтверждение введённого региона для исключения ошибок.

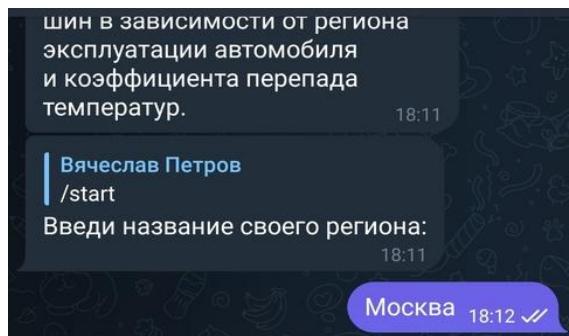


Рисунок 3.41 – Ввод региона

После приёма корректного значения чат-бот переходит к следующему этапу и запрашивает коэффициент перепада температур, характеризующий разницу между минимальной и максимальной зимней температурой в данном регионе. Значение вводится в числовом формате, допускаются дробные числа с использованием десятичной точки (рисунок 3.42). Как и в предыдущем шаге, бот может запросить подтверждение корректности ввода.

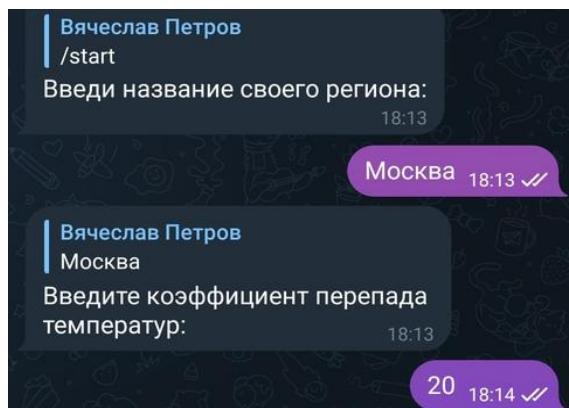


Рисунок 3.42 – Ввод коэффициента температур

Получив два базовых параметра – регион и коэффициент температурного перепада – чат-бот запускает процедуру формирования рекомендаций. Экспертная система анализирует введённые данные, сопоставляет их с характеристиками моделей шин и формирует индивидуальный список рекомендуемых вариантов. В сообщении выводятся основные параметры шин: модель, тип, размеры, количество шипов, ориентировочная стоимость и другие важные характеристики (рисунок 3.43). Эти данные позволяют пользователю оценить предлагаемые варианты и принять обоснованное решение.

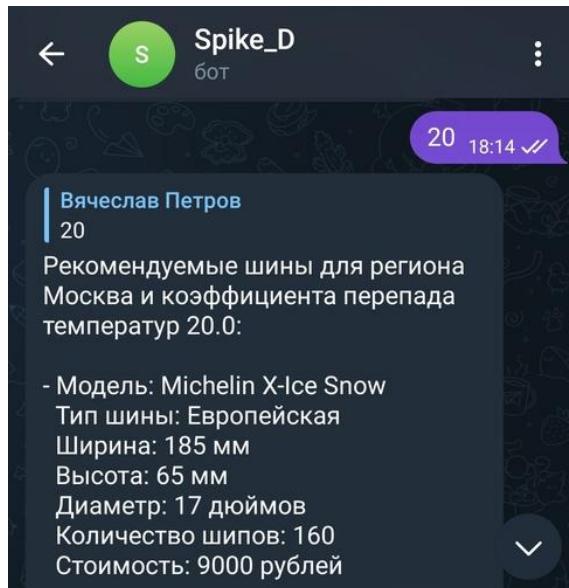


Рисунок 3.43 – Вывод рекомендаций чат-бота

При необходимости пользователь может повторить процедуру подбора, например, для другого региона или изменённых климатических условий. Для этого достаточно повторно отправить команду /start, после чего чат-бот сбрасывает текущее состояние и инициирует новый цикл взаимодействия (рисунок 3.44). Повторный подбор проводится аналогично первоначальному сценарию.

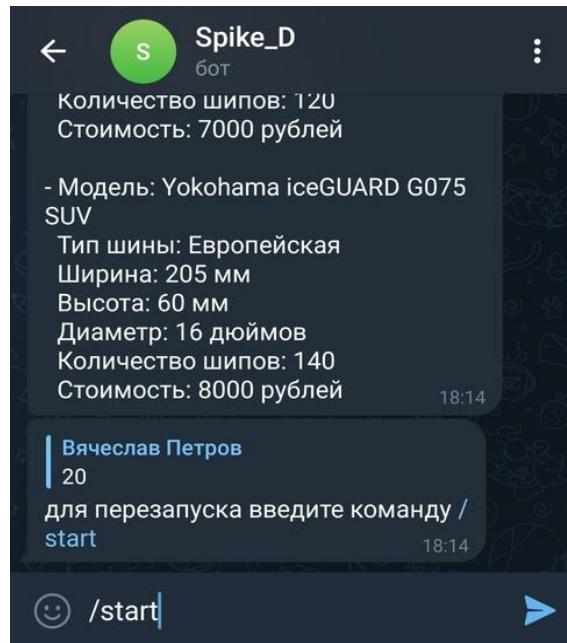


Рисунок 3.44 – Повторный запуск чат-бота

Завершение работы с чат-ботом не требует выполнения специальных команд. Достаточно закрыть окно диалога в Telegram. При необходимости пользователь может в любой момент вернуться к взаимодействию, отправив любое сообщение – чат-бот автоматически активируется и предложит продолжить работу.

3.14. Испытания устройства для автоматического подсчёта шипов

В дополнение к описанным выше экспериментальным исследованиям была проведена серия прикладных испытаний разработанного устройства автоматического подсчёта и классификации шипов, выполняемых в условиях, приближенных к реальной эксплуатации. Целью данных испытаний являлась проверка работоспособности и точностных характеристик системы при взаимодействии с полноразмерным колесом автомобиля, установленным на штатной ступице, а также оценка стабильности процесса сканирования в условиях поста технического осмотра или приёмки транспортных средств. Выбор такой площадки обусловлен удобством доступа к колёсам автомобиля, наличием необходимого пространства для установки стенда и возможностью

проведения работ без демонтажа колеса с автомобиля, что повышает практическую значимость разработанного решения.

Испытания проводились по следующей методике.

На первом этапе выполнялась подготовка автомобиля, включающая его подъём с использованием гидравлического домкрата. Высота подъёма подбиралась таким образом, чтобы обеспечить свободный доступ к нижней части колеса и возможность корректной установки стенда без риска его смещения. Данный этап является критически важным, поскольку корректность позиционирования стенда относительно колеса напрямую влияет на качество последующей съёмки и стабильность вращения.

Следующим этапом являлась установка разработанного стенда под исследуемое колесо. Требовалось обеспечить плотный и равномерный контакт поверхности шины со сканирующим модулем, а также фиксацию стенда в устойчивом положении. Конструкция стенда предусматривает возможность быстрой установки без необходимости применения дополнительных инструментов, что повышает удобство эксплуатации. Внешний вид системы при работе с колесом автомобиля представлен на рисунке 3.45.



Рисунок 3.45 – Фотография автомобиля, поднятого на подъёмнике, с установленным стендом сканирования под колесом

После завершения установки запускался процесс сканирования. Приводной механизм стенда обеспечивал равномерное вращение колеса на угол 360° , что позволяло получить полный цикл изображения протектора. В процессе вращения встроенная камера осуществляла непрерывную фиксацию изображения, формируя развёрнутое изображение окружности шины. На рисунке 3.46 приведён пример сегмента полученного изображения, демонстрирующий возможность выделения отдельных зон и секторов протектора для последующей детальной обработки.



Рисунок 3.46 – Пример изображения шины, полученного в процессе сканирования. Возможно выделение отдельных зон/секторов шины.

Обработанное изображение передавалось в специализированное программное обеспечение, которое выполняло автоматическую сегментацию, распознавание и классификацию шипов. Алгоритм классификации предусматривал разделение шипов на четыре категории: целые (без видимых повреждений), разрушенные (имеющие структурный перелом или выраженный изгиб), изношенные (с выраженным дефектом или деформацией корпуса) и отсутствующие (полностью выпавшие из посадочного места). Такое разделение позволяет дать объективную оценку технического состояния зимних шин и определить необходимость дошиповки или замены.

По результатам испытаний установлено, что длительность полного цикла сканирования одного колеса не превышала 2 минут, а общее время,

включая установку и позиционирование стенда, составляло порядка 4 минут. Это подтверждает высокую оперативность разработанного решения и возможность применения его в условиях сервисных центров или диагностических пунктов.

Для проверки точности работы системы после выполнения автоматического подсчёта колёса были демонтированы, после чего проводился ручной подсчёт шипов каждой категории специалистом. Результаты сопоставления автоматического и ручного подсчёта сведены в таблицу 3.23. Номинальное количество шипов на всех исследуемых колёсах составляло 130 штук.

Таблица 3.23 – Результаты автоматического и ручного подсчёта количества шипов, ед.

Колесо	Категория шипов	Автоматический подсчёт	Ручной подсчёт	Разница
1	Целые	86	85	1
1	Разрушенные	22	23	-1
1	Изношенные	4	4	0
1	Отсутствующие	18	18	0
1	Общее количество	130	130	0
2	Целые	90	89	1
2	Разрушенные	15	16	-1
2	Изношенные	7	7	0
2	Отсутствующие	18	18	0
2	Общее количество	130	130	0
3	Целые	70	71	-1
3	Разрушенные	35	34	1
3	Изношенные	5	5	0
3	Отсутствующие	20	20	0
3	Общее количество	130	130	0
4	Целые	95	94	1
4	Разрушенные	10	11	-1
4	Изношенные	7	7	0
4	Отсутствующие	18	18	0
4	Общее количество	130	130	0

Сравнительный анализ данных демонстрирует, что расхождение между автоматическим и ручным подсчётом минимально и в большинстве случаев составляет не более одного элемента на категорию, что соответствует

точности порядка 98%. Точность определялась как отношение количества корректно классифицированных шипов к их общему числу. Полученный показатель подтверждает высокую эффективность разработанного метода и его пригодность для эксплуатации в реальных условиях.

Таким образом, проведённые испытания показывают, что разработанное устройство обеспечивает оперативное и достоверное определение состояния шипов зимних шин, исключая необходимость их демонтажа и сокращая временные затраты на диагностику. Достигнутый уровень точности свидетельствует о корректности выбранных технических и алгоритмических решений.

3.15. Выводы по разделу 3

Подтверждена статистическая значимость влияния остаточной степени ошиповки и коэффициента сцепления на динамику транспортного средства. Испытания выполнялись в условиях полигона с контролируемыми параметрами поверхности, на автомобиле Toyota Hilux, оснащённом зимними шипованными шинами типоразмера 265/70 R16.

Эксперимент заключался в последовательном увеличении степени ошиповки с шагом 25 %, что позволило зафиксировать отклик автомобиля на систематически изменяемые параметры шин. Испытания охватывали четыре типа дорожного покрытия: сухой асфальт, укатанный снег, рыхлый снег и лёд. По каждому сценарию фиксировались параметры разгона и торможения автомобиля.

На основе анализа экспериментальных данных построены три многофакторные математические модели, описывающие:

- изменение времени разгона автомобиля с задним приводом в зависимости от степени ошиповки и коэффициента сцепления;
- аналогичную зависимость для автомобиля с полным приводом;
- изменение длины тормозного пути при варьировании указанных факторов.

Все модели имеют параболическую форму, что позволило учесть нелинейный характер влияния исследуемых параметров. Расчёт параметров моделей выполнен методом наименьших квадратов, а проверка их адекватности и значимости проведена на основе коэффициентов детерминации, дисперсионного отношения Фишера и средней ошибки аппроксимации.

Проведённый регрессионный анализ показал, что все три модели обладают высокой степенью соответствия экспериментальным данным ($R^2 > 0,97$, ошибка аппроксимации $< 1\%$). Это свидетельствует о достоверности выявленных закономерностей и возможности применения полученных моделей для практических задач диагностики и прогнозирования остаточного ресурса шин.

Отдельным направлением работы стала разработка устройства для автоматизированного подсчёта количества шипов на поверхности протектора, ориентированного на повышение объективности и оперативности контроля остаточной степени ошиповки шин. В рамках технического задания были сформулированы требования к устройству, включающие обеспечение точного считывания параметров поверхности, устойчивость работы при различных степенях загрязнённости протектора, возможность интеграции с программным обеспечением для последующей обработки данных и достаточную автономность при эксплуатации в условиях сервисного предприятия. Созданный макет устройства прошёл экспериментальные испытания, результаты которых подтвердили его работоспособность и соответствие поставленным требованиям. Внедрение такого решения позволяет стандартизировать процедуру оценки сохранности ошиповки, снизить субъективные ошибки персонала и повысить точность последующего моделирования эксплуатационных характеристик шин.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Методика оценки и контроля технического состояния шипованных шин

Разработанная методика представляет собой комплексный подход к оценке эксплуатационных свойств зимних шипованных шин, основанный на совмещении инструментальной диагностики, математического моделирования и экспертного анализа. Методика создавалась с учётом задач автотранспортных предприятий, сервисных центров и владельцев транспортных средств, нуждающихся в объективной, воспроизводимой и оперативной оценке состояния шипованных шин. Она обеспечивает высокую точность определения остаточной степени ошиповки, позволяет количественно оценивать влияние снижения количества шипов на динамические характеристики автомобиля, а также формировать рекомендации по ремонту, дошиповке или замене шин.

Методика включает пять взаимосвязанных этапов, каждый из которых опирается на результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также на разработанное автоматизированное диагностическое устройство.

1. Первичная диагностика состояния шины представляет собой фундаментальный этап предложенной методики, направленный на определение общей пригодности шины к дальнейшей эксплуатации и возможности проведения более углублённого анализа. Этот этап включает последовательную оценку внешнего состояния шины, её физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик. Особое внимание уделяется совокупности факторов, определяющих работоспособность зимних шипованных шин, поскольку даже при достаточном количестве шипов шина может оказаться непригодной для последующего использования из-за скрытых или внешне очевидных дефектов.

На первом этапе производится детальный визуальный осмотр протектора и боковых поверхностей шины. Основной задачей является

выявление повреждений, которые могут представлять угрозу безопасности или отрицательно повлиять на способность шины сохранять сцепление с дорогой. Оцениваются состояние протектора, его остаточная глубина, наличие проколов, порезов, разрывов, расслоений, деформаций и других дефектов, указывающих на разрушение каркаса. Глубина остаточного протектора контролируется с использованием измерительных приборов, что позволяет определить степень его изношенности и сопоставить полученные значения с нормативными ограничениями для зимних шин. Недостаточная глубина протектора в зимних условиях неизбежно приводит к снижению сцепных свойств и ухудшению управляемости, поэтому этот критерий имеет принципиальное значение.

Следующим важным аспектом первичной диагностики является оценка состояния резиновой смеси. Для зимних шин способность сохранять эластичность при низких температурах является критически важным параметром. В процессе эксплуатации резина подвергается старению, и на её поверхности могут появляться микротрешины, свидетельствующие о потере эластичности. Такие изменения приводят к ухудшению контакта шины с дорогой и повышенной вероятности разрушения посадочных мест шипов. Диагностика состояния резиновой смеси осуществляется как визуально, так и инструментально путём измерения твёрдости резины, что позволяет объективно определить степень её старения и пригодность для дальнейшей эксплуатации, включая операции по дошиповке.

Важным элементом первичной диагностики является также оценка равномерности остаточной глубины рисунка протектора. Равномерная изношенность указывает на то, что шина эксплуатировалась в нормальных условиях, без существенных нарушений в геометрии колёс, балансировке или давлении. Неравномерный износ, напротив, может свидетельствовать о нарушениях в подвеске или систематической эксплуатации с некорректным давлением, что приводит к перераспределению нагрузок на шипы и ускоренной их потере на отдельных участках протектора. При наличии

выраженной асимметрии требуется установить её причины, поскольку даже при последующем восстановлении ошиповки локальные зоны перегрузки будут продолжать приводить к ускоренной потере шипов.

Эластичность и механическая прочность каркаса также оцениваются на данном этапе. В случае выявления деформаций или нарушений структуры корда шина автоматически считается непригодной для дальнейшего использования, поскольку такие дефекты не подлежат восстановлению и создают серьёзную угрозу безопасности. Оценка этих факторов позволяет исключить из дальнейшего анализа шины, у которых имеются конструктивные повреждения, не позволяющие выполнять дошиповку или эксплуатировать шину даже при удовлетворительных показателях количества шипов.

По завершении первичной диагностики принимается решение о возможности проведения дальнейших инструментальных измерений. Шина допускается к следующему этапу, только если отсутствуют критические повреждения, обеспечена достаточная глубина протектора, сохранена эластичность резины и нет признаков, указывающих на снижение прочности каркаса. В противном случае дальнейшие процедуры не выполняются, а шина подлежит обязательной замене. Таким образом, первичная диагностика обеспечивает фильтрацию шин по критическим признакам и формирует основу для объективной и последовательно выстроенной оценки их состояния.

2. Автоматизированное сканирование шины является ключевым элементом разработанной методики, обеспечивающим получение объективной, воспроизводимой и детализированной информации о состоянии протектора и расположении шипов по всей окружности колеса. На данном этапе используется разработанный в рамках исследования диагностический стенд, позволяющий проводить процедуру без демонтажа шины с автомобиля, что значительно повышает удобство и сокращает время проведения диагностики, сохраняя при этом высокую точность и сопоставимость результатов.

Принцип работы стенда основан на сочетании механизированного привода и системы компьютерного зрения. После установки устройства под колесом автомобиля создаются условия для контролируемого вращения колеса вокруг своей оси. Приводной механизм обеспечивает равномерное, плавное вращение на полный оборот, исключающее рывки и проскальзывания, которые могли бы исказить получаемые изображения или привести к потере отдельных фрагментов протектора. Скорость вращения подбирается таким образом, чтобы камера высокого разрешения, входящая в состав комплекса, успевала фиксировать непрерывный поток изображений без разрывов и смазанности.

В процессе вращения колеса оптическая система осуществляет последовательную съёмку полос протектора, которые затем автоматически объединяются в единое развёрнутое изображение. Такой подход позволяет получить полное, непрерывное изображение поверхности протектора вне зависимости от особенностей рисунка, количества рядов шипов или степени их повреждений. Разработанный алгоритм объединения кадров компенсирует перспективные искажения и обеспечивает высокую точность совмещения границ изображений, что особенно важно при анализе шипов, имеющих небольшие размеры и часто находящихся в непосредственной близости друг к другу.

На этапе формирования цифрового изображения выполняется первичная обработка данных, включающая коррекцию освещённости, устранение оптических искажений, подавление шумов и повышение резкости. Благодаря этому удается получить изображение, пригодное для последующего автоматизированного анализа без необходимости дополнительной ручной обработки. Особое внимание уделяется сохранению детализации отображения зон вокруг посадочных гнёзд шипов, так как именно эти области являются ключевыми при определении наличия шипов и степени их повреждения.

Полученное цифровое изображение представляет собой развёрнутую картину состояния протектора, позволяющую фиксировать наличие каждого

шипа, его ориентацию, положение, глубину посадки и общую сохранность. Дополнительно формируется структурированная карта протектора, где каждой позиции шипа соответствует точка с координатами, что обеспечивает возможность количественного анализа распределения изношенности по ширине и длине беговой дорожки. Это особенно важно для выявления локальных зон повышенного износа, связанных с особенностями эксплуатации, нарушением давления или ошибками в балансировке колеса.

В отличие от традиционного ручного осмотра, который требует значительных временных затрат и сопровождается высокой субъективностью, автоматизированное сканирование позволяет проводить диагностику в течение нескольких минут, сохраняя при этом высокую точность и исключая влияние человеческого фактора. Кроме того, цифровое изображение является архивируемым материалом, что позволяет сравнивать состояние шины в динамике, отслеживать скорость потери шипов и оценивать эффективность проведённого ремонта, включая результаты дошиповки.

Таким образом, этап автоматизированного сканирования формирует основу объективного контроля состояния шипованных шин, обеспечивая получение достоверных данных о состоянии протектора и всех его элементов, необходимых для дальнейшего автоматизированного анализа и построения моделей оценки эксплуатационных свойств.

3. Автоматизированный подсчёт и классификация шипов представляет собой центральный элемент методики, обеспечивающий объективную количественную оценку состояния шипованных шин. На данном этапе применяется совокупность алгоритмов компьютерного зрения и обученных нейронных сетей, предназначенных для точного выявления местоположения каждого шипа, определения его состояния и формирование итоговой структуры данных, необходимой для последующего анализа эксплуатационных свойств.

После получения развёрнутого цифрового изображения шины проводится его программная обработка, направленная на выделение

ключевых элементов рисунка протектора и посадочных мест шипов. Исходя из требований точности, алгоритмы были оптимизированы для работы с изображениями высокого разрешения, что позволяет уверенно различать даже частично разрушенные или смещённые шипы. Первым этапом является сегментация изображения, при которой выделяются области, потенциально содержащие элементы шипов. Для повышения устойчивости алгоритма к вариациям геометрии и освещения применяется адаптивная фильтрация, компенсирующая неравномерность контраста и повышающая различимость мельчайших деталей.

После предварительного выделения зон интереса используются нейросетевые классификаторы, обученные на большом наборе изображений различных типов шипов и их состояний. Нейросеть определяет категорию каждого шипа: 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. При этом учитываются особенности отражения света от металлической поверхности, форма корпуса шипа, структура резины вокруг посадочного места и наличие деформаций. Использование нейронной сети позволило существенно повысить точность распознавания по сравнению с классическими алгоритмами компьютерного зрения, особенно в сложных случаях, когда шип частично разрушен или глубоко утоплен в протекторе.

Дополнительно осуществляется построение карты распределения шипов по протектору (рис. 4.1), что позволяет выявлять неравномерность износа, которая может свидетельствовать о нарушении условий эксплуатации, неподходящем давлении в шинах или ошибках в регулировке развала-схождения.



Рисунок 4.1 – Карта распределения шипов по протектору

Сформированный результат представляет собой массив данных о количестве шипов, степени их сохранности и распределении по площади протектора. Этот результат является основой для оценки остаточной степени ошиповки и используется в дальнейшем для построения динамических характеристик автомобиля и формирования рекомендаций по ремонту или замене шины. Точность автоматического подсчёта превышает 98 %, что подтверждено сравнением с ручным подсчётом, а невозможность человеческой ошибки делает метод объективным и воспроизводимым независимо от квалификации оператора.

Таким образом, автоматизированная система распознавания обеспечивает достоверную оценку фактического состояния шипов, позволяя перейти от субъективной диагностики к количественному, математически обоснованному анализу эксплуатационных свойств шипованных шин.

4. На данном этапе методики осуществляется интеграция всех полученных сведений – визуальной диагностики, автоматизированного подсчёта шипов, оценки геометрических параметров и анализа условий эксплуатации – в единую экспертную систему, формирующую рекомендации по дальнейшему использованию, ремонту или замене шины. Этот этап объединяет результаты математического моделирования динамических свойств с фактическими данными о состоянии шины, обеспечивая комплексную оценку работоспособности и остаточного ресурса.

Экспертная система использует структурированную базу правил и

математические зависимости, разработанные в ходе исследования, чтобы определить, насколько фактическое состояние шины соответствует требованиям безопасности и функциональности. В основе работы системы лежат многофакторные модели времени разгона и тормозного пути, которые учитывают остаточную степень дошиповки и коэффициент сцепления дорожного покрытия. На основании этих моделей система оценивает, как потеря шипов влияет на тормозной путь и время разгона автомобиля, определяет, достигаются ли нормативные показатели для условий эксплуатации, характерных для зимнего сезона.

При выявлении недостаточного количества шипов экспертная система анализирует, возможно ли восстановление сцепных свойств за счёт проведения дошиповки. Если посадочные гнёзда не разрушены, а состояние протектора соответствует нормативам, система формирует рекомендацию о возможности безопасного проведения дошиповки и прогнозирует ожидаемое улучшение сцепления после восстановления шипов. Такой подход позволяет избежать преждевременной замены дорогостоящих шин и снижает эксплуатационные затраты.

В случаях, когда шина имеет значительные структурные повреждения, выраженные признаки старения резины (микротрешины, потеря эластичности), критический износ протектора или разрушенные посадочные гнезда, система рекомендует замену шины независимо от количества оставшихся шипов. Критерии такого выбора основаны на оценке рисков, связанных с потерей управляемости и увеличением тормозного пути, что особенно важно при эксплуатации на скользких покрытиях. В общем виде алгоритм работы методики представлена на рисунке 4.2.

Таким образом, принимаемое решение является обоснованным, количественным и учитывающим как технические, так и экономические аспекты, что повышает эффективность эксплуатации автомобиля и уровень безопасности дорожного движения.

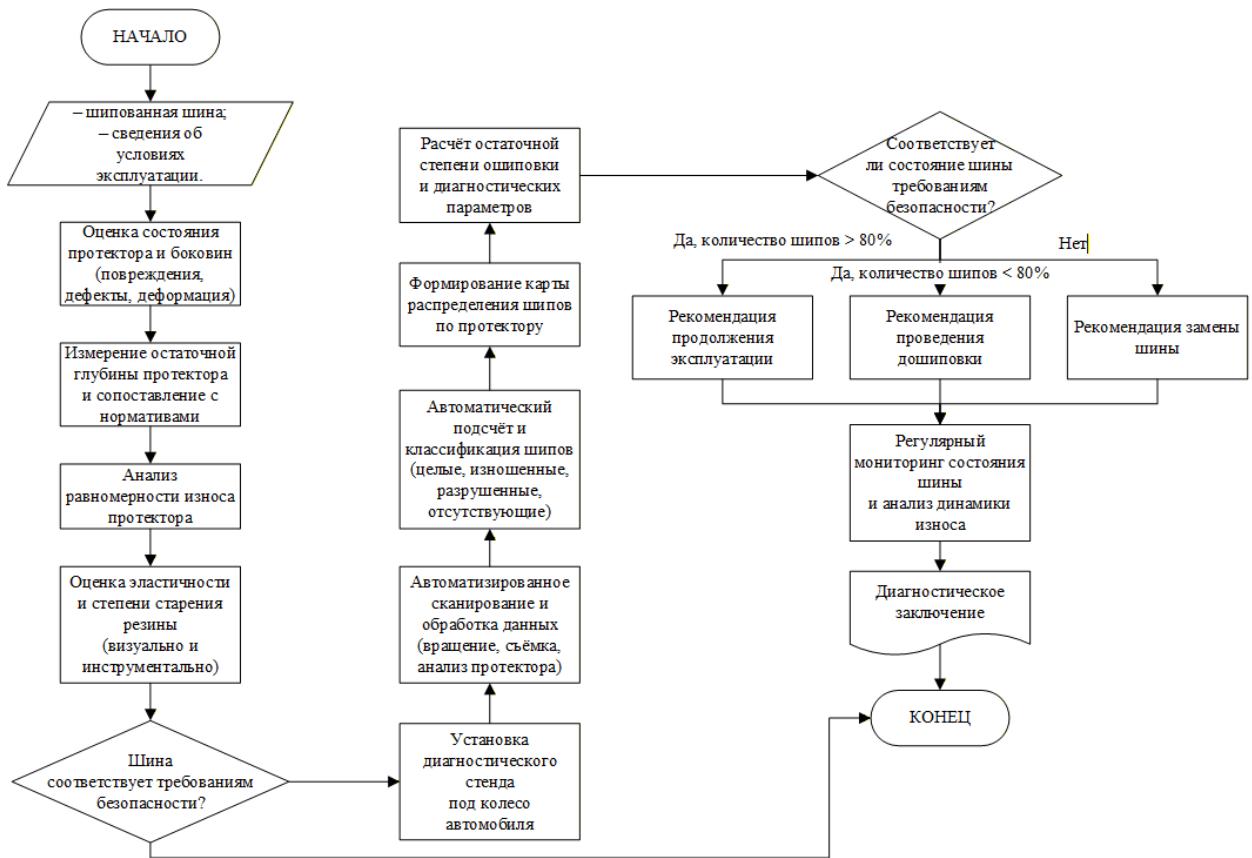


Рисунок 4.2 – Алгоритм работы методики оценки и контроля технического состояния шипованной шины

5. Регулярный мониторинг состояния шин является завершающим и поддерживающим элементом методики, обеспечивающим непрерывный контроль эксплуатационных свойств шипованных шин и своевременное выявление изменений, влияющих на безопасность и эффективность эксплуатации. После проведения первичной диагностики и принятия решения о необходимости ремонта или замены шин формируется индивидуальная карта состояния, включающая результаты сканирования, данные о количестве шипов, их распределение по категориям и рекомендации экспертной системы.

Процесс мониторинга основан на периодическом повторении диагностических процедур с использованием автоматизированного стенда. Частота проведения мониторинга может определяться как сезонными требованиями, так и интенсивностью эксплуатации автомобиля. При каждом повторном сканировании система сопоставляет новые данные с предыдущими

измерениями, что позволяет выявлять тенденции снижения количества шипов, прогрессирование износа или появление дефектов, которые ранее отсутствовали. Это обеспечивает возможность оценивать скорость деградации шины и прогнозировать момент достижения критического уровня её работоспособности.

Особое значение имеет мониторинг для автопарков и автотранспортных предприятий, где большое количество транспортных средств эксплуатируется в разнообразных условиях, а оперативное выявление изношенных шин позволяет снизить риск аварий и уменьшить незапланированные простои. Анализ динамики изменения состояния шин также позволяет выявлять эксплуатационные отклонения, связанные с неправильным давлением, агрессивным стилем вождения или нарушениями регулировки ходовой части.

Регулярный мониторинг дополняет разработанную методику, формируя замкнутый цикл диагностики и обеспечения безопасной эксплуатации. Он позволяет поддерживать высокий уровень точности оценок, минимизировать влияние случайных факторов и обеспечивать долгосрочную эффективность применения шипованных шин в зимних условиях.

4.2. Практическое применение методики

Проведённые экспериментальные исследования и их анализ позволили получить ряд практически значимых результатов, применимых в диагностике, эксплуатации и восстановлении зимних шипованных шин.

Экспериментально подтверждено значительное превосходство шипованных шин с номинальным количеством шипов над шинами с малой степенью ошиповки при движении по скользким покрытиям (лёд, укатанный снег). Наличие исправных шипов позволяет сокращать время разгона до двух раз и уменьшать тормозной путь на несколько метров, что подчёркивает необходимость их применения для обеспечения безопасности движения в зимний период.

Установлено критическое значение остаточного количества шипов: при

снижении работоспособных шипов до 35–40 % происходит резкое ухудшение тягово-цепных свойств даже при сохранённом ресурсе протектора. Это подтверждает необходимость регулярного контроля степени ошиповки, своевременной дошиповки и применения специализированных технологических операций по установке ремонтных шипов.

На основе экспериментальных данных разработан алгоритм количественной оценки эффективности шипованных шин в зависимости от остаточной степени ошиповки и типа дорожного покрытия. Алгоритм позволяет объективно оценивать влияние потери шипов на динамические характеристики автомобиля и может быть интегрирован в диагностическое программное обеспечение.

Важным результатом работы является разработка автоматизированного устройства для диагностики состояния шипованных шин, позволяющего определять количество шипов непосредственно на установленном колесе без его демонтажа. Устройство включает привод для вращения колеса, систему высокоточного оптического сканирования и модуль компьютерного анализа изображений, обеспечивающие автоматический подсчёт и классификацию состояния шипов. Испытания стенда подтвердили высокую точность работы (до 98 %) и низкую трудоёмкость процедуры, что делает его пригодным для применения на постах технического обслуживания и в автотранспортных предприятиях.

Полученные результаты обладают высокой практической значимостью. Автотранспортные предприятия могут использовать разработанные модели и диагностическое устройство для оперативного контроля состояния зимних шин, повышения обоснованности рекомендаций по их замене или восстановлению, увеличения качества сервиса и привлечения новых клиентов. Диагностика может проводиться в рамках технического обслуживания или сезонной смены колёс, обеспечивая повышение безопасности и надёжности эксплуатации автомобилей.

Экономический анализ подтвердил, что своевременная диагностика и

обслуживание шипованных шин позволяют снижать эксплуатационные расходы: уменьшать пробуксовку, улучшать топливную экономичность и продлевать срок службы шин. Дошиповка в большинстве случаев является более экономически целесообразной альтернативой полной замене, поскольку к моменту утраты шипов протектор обычно сохраняет значительную остаточную работоспособность.

Совокупность полученных результатов подтверждает актуальность разработки автоматизированных методов диагностики состояния шипованных шин и демонстрирует значимый вклад в повышение безопасности дорожного движения и эффективности эксплуатации автомобильного транспорта.

4.3. Экономическая эффективность дошиповки шин

Оценка экономической эффективности дошиповки автомобильных шин является важным этапом обоснования целесообразности применения разработанной методики технического диагностирования и восстановления остаточной ошиповки. Экономический эффект от дошиповки проявляется в снижении совокупных затрат на эксплуатацию автомобиля по сравнению с приобретением нового комплекта зимних шин. Для получения объективных результатов требуется сопоставить стоимость ремонта шин с затратами на покупку новых изделий и оценить влияние этих решений на годовые расходы автовладельца.

Для анализа выбраны два автомобиля различных ценовых категорий – Toyota Hilux (пикап) и BMW 1 series (бюджетный легковой автомобиль), обслуживаемые в дилерских центрах группы компаний «Автоград», акт внедрения представлен в приложении 3. Такой подход позволяет оценить экономическую целесообразность восстановления шин как для массового, так и для более дорогостоящего транспортного сегмента. Исходные данные, использованные для расчётов, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчёта себестоимости

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	Среднемесячное количество рабочих часов	час	45	45	45	45
2	Срок эксплуатации автомобиля	лет	7	7	7	7
3	Стоимость автомобиля	руб.	700000	2000000	700000	2000000
4	Годовая норма затрат на ремонт и техобслуживание	%	10	10	10	10
5	Годовой пробег автомобиля	км.	35000	35000	35000	35000
6	Стоимость 1 шины	руб.	5750	10280	6870	11460
7	Норма расхода топлива на 100 км	л.	6	9	6	9
8	Стоимость 1 литра топлива	руб.	63	70	63	70
9	Средняя стоимость 1 литра смазочных материалов	руб.	800	800	800	800
10	Стоимость 1 литра охлаждающей жидкости	руб.	150	150	150	150

Для определения экономической выгоды необходимо рассчитать величину затрат на техническое обслуживание, ремонт и эксплуатацию как при покупке новых шин, так и при проведении восстановительных работ (дошиповки). Экономический расчёт базируется на определении стоимости машино-часа, отражающей интегральные затраты на эксплуатацию автомобиля.

В рамках исследования анализируются:

- годовые и часовые затраты на техническое обслуживание, ремонт и диагностику;
- стоимость восстановления и замены шин;
- топливные затраты;
- расходы на смазочные материалы и охлаждающую жидкость.

Таким образом, итоговая стоимость машино-часа является суммарным показателем, интегрирующим влияние всех важнейших статей затрат.

Расчёт часовых затрат на ремонт и техническое обслуживание производится согласно методическим указаниям по разработке сметных норм на эксплуатацию автотранспортных средств [67]. Формула (4.1) позволяет определить ежемесячные и часовые затраты на обслуживание:

$$Z_{TO,TR,D} = \frac{C_6 \cdot H_3 / 100}{12 \cdot t_{мес}},$$

где, H_3 – годовая норма на затраты по ТО, ТР, Д;

Результаты сведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и ТО

№ п/п	Наименование статьи затрат	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	Годовая норма	%	10,00	10,00	10,00	10,00
2	Годовые затраты	руб.	70 000,00	200 000,00	70 000,00	200 000,00
3	Месячные затраты	руб.	5 833,33	16 666,67	5 833,33	16 666,67
4	Часовые затраты	руб.	129,63	370,37	129,63	370,37

Затраты на эксплуатацию шин включают в себя совокупность расходов, связанных с обеспечением их ресурса в течение установленного периода использования. К таким расходам относятся стоимость комплекта шин, нормативный пробег до износа и коэффициент использования шин за год, определяющий долю фактически использованного ресурса, относительно установленного нормативом. В соответствии с требованиями РД 3112199-1085-02 [86], расчёт эксплуатационного пробега выполняется на основе среднестатистического пробега шины и поправочных коэффициентов, отражающих особенности условий эксплуатации. Пробег до износа определяется по формуле [86]:

$$L_{\text{изн}} = L_{\text{ср}} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где $L_{\text{ср}}$ – среднестатистический пробег шины, км;

K_1, K_2 – поправочные коэффициенты;

Часовые затраты на замену шин рассчитываются по формуле [86]:

$$Z_{\text{з.ш.}} = Z_g \cdot \frac{K_{\text{исп}}}{12},$$

где Z_g – годовые затраты на шины, руб;

$K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования шин за год.

Коэффициент использования шин рассчитывается по формуле [86]:

$$K_{ucn} = \frac{L_e}{L_{cp}},$$

где, L_e – годовой пробег, км;

L_{cp} – средний пробег за год, км.

Результаты расчёта стоимости восстановления шин представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Затраты на шины

№ п/п	Наименование статьи затрат	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	2	3	4	5	6	7
1	Годовой пробег	км	17 500,00	17 500,00	17 500,00	17 500,00
2	Количество шин, без запаски	шт.	4,00	4,00	4,00	4,00
3	Стоимость 1 шины	руб.	5 750,00	10 280,00	6 870,00	11 460,00
4	Стоимость комплекта шин	руб.	23 000,00	41 120,00	27 480,00	45 840,00
5	Пробег шин до износа (РД 3112199-1085)	руб.	95 000,00	95 000,00	171 000,00	171 000,00
6	Среднестатистический пробег шины	км.	100 000,00	100 000,00	180 000,00	180 000,00
7	Поправочный коэффициент (k_1)		1,00	1,00	1,00	1,00
8	Поправочный коэффициент (k_2)		0,95	0,95	0,95	0,95

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7
9	Коэффициент использования комплекта шин за год		0,18	0,18	0,10	0,10
10	Годовые затраты	руб.	4 025,00	7 196,00	2 671,67	4 456,67
11	Месячные затраты	руб.	335,42	599,67	222,64	371,39
12	Часовые затраты	руб.	7,45	13,33	4,95	8,25

Часовой расход топлива определяется по формуле [86]:

$$P_{\text{т.ч.}} = \frac{(L_T \cdot P_T)/100}{12 \cdot t_{\text{мес}}},$$

где, P_T – расход топлива на 100км.

Сводные данные по расходам топлива приведены в таблице 4.4, а данные по расходу смазочных материалов и охлаждающей жидкости – в таблице 4.5.

Таблица 4.4 – Затраты на топливо

№ п/п	Наименование статьи затрат	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	Годовой пробег	км.	17 500,00	17 500,00	17 500,00	17 500,00
2	Норма расхода топлива на 100 км	л.	6,00	8,50	6,00	8,50
3	Годовой расход	л.	1 050,00	1 487,50	1 050,00	1 487,50
4	Месячный расход	л.	87,50	123,96	87,50	123,96
5	Часовой расход	л.	1,94	2,75	1,94	2,75
6	Стоимость 1 литра	руб.	63,00	70,00	63,00	70,00
7	Часовая стоимость топлива	руб.	122,50	192,82	122,50	192,82

Таблица 4.5 – Затраты на смазочные материалы и охлаждающую жидкость

№ п/п	Наименование статьи затрат	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	2	3	4	5	6	7
1	Норма расхода масла на 100 л расхода топлива	л.	0,45	0,68	0,45	0,68

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7
2	Моторные масла		0,37	0,37	0,37	0,37
3	Трансмиссионные и гидравлические масла		0,05	0,10	0,05	0,10
4	Пластичные смазки		0,03	0,10	0,03	0,10
5	Поправочный коэффициент, для авто в эксплуатации >5 лет		1,00	1,20	1,00	1,20
6	Годовой расход	л.	4,73	10,17	4,73	10,17
7	Месячный расход	л.	0,39	0,85	0,39	0,85
8	Часовой расход	л.	0,01	0,02	0,01	0,02
9	Стоимость 1 литра	руб.	800,00	800,00	800,00	800,00
10	Часовые затраты на СМ	руб.	7,00	15,07	7,00	15,07
Затраты на охлаждающую жидкость (тосол, антифриз)						
11	Месячный расход	л.	1,00	1,50	1,00	1,50
12	Часовой расход	л.	0,02	0,03	0,02	0,03
13	Стоимость 1 литра ОЖ	руб.	150,00	150,00	150,00	150,00
14	Часовая стоимость ОЖ	руб.	3,33	5,00	3,33	5,00

На основе рассчитанных часовых затрат по каждому направлению (ТО/TP, шины, топливо, смазочные материалы и охлаждающая жидкость) определена итоговая стоимость машино-часа (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Стоимость машино-чasa

№ п/п	Наименование статей	Ед. изм.	Покупка новых шин		Ремонт шин	
			BMW 1 series	Toyota Hilux	BMW 1 series	Toyota Hilux
1	Ремонт, диагностирование и обслуживание	руб.	130	370	130	370
2	Затраты на восстановление шин	руб.	7,45	13,33	4,95	8,25
3	Топливо	руб.	123	193	123	193
4	Смазочные материалы и охлаждающая жидкость	руб.	10	20	10	20
5	Цена машино-чasa	руб.	270	597	267	592

Итоговые данные приведены на диаграмме (рисунок 4.3).

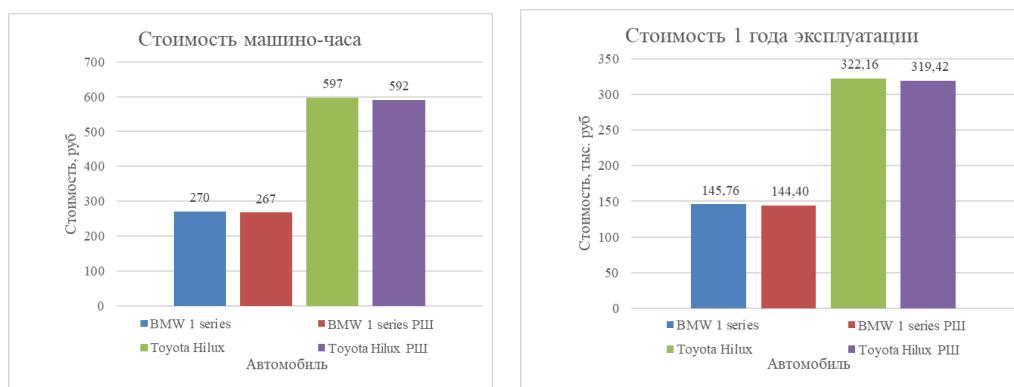


Рисунок 4.3 – Стоимость машино-часа и годовой эксплуатации автомобилей с ремонтом и без ремонта шин: РШ – автомобиль с ремонтными шипами

Проведённый анализ выявил, что внедрение разработанной методики диагностирования шин с последующей их дошиповкой или ремонтом на базе ГК «Автоград» обеспечивает экономию, варьирующуюся в зависимости от класса транспортного средства и стоимости используемых шин. Результаты исследования показывают, что экономическая выгода от применения предложенной методики, выраженная в процентном отношении к общим годовым затратам на содержание автомобиля, составляет приблизительно 1%.

Для автомобиля Toyota Hilux, относящегося к более дорогому сегменту, экономическая выгода от внедрения предложенной методики составляет около 1% от совокупных годовых затрат на эксплуатацию. В абсолютном выражении, данная экономия достигает 2739 рублей в год.

Для автомобиля BMW 1 series, представляющего бюджетный сегмент, экономия также составляет порядка 1% от общих годовых расходов на содержание автомобиля. Однако, ввиду меньшей стоимости шин и более низких эксплуатационных расходов, абсолютная выгода от применения предложенной методики составляет 1353 рубля в год.

Наблюдаемая дифференциация в абсолютных значениях экономической выгоды обусловлена, главным образом, различиями в стоимости используемых шин. Для автомобилей более дорогого сегмента, таких как

Toyota Hilux, с высокой стоимостью шин, даже небольшое процентное снижение затрат приводит к существенной экономии в денежном выражении. В то время как для бюджетных автомобилей, таких как BMW 1 series, с меньшей стоимостью шин, аналогичное процентное снижение затрат даёт меньшую абсолютную выгоду.

4.4. Визуализация затрат на ремонт

Для более наглядного представления экономической структуры затрат, на рисунке 4.4 представлена диаграмма, демонстрирующая стоимость ремонта шин как отдельный компонент общих затрат.

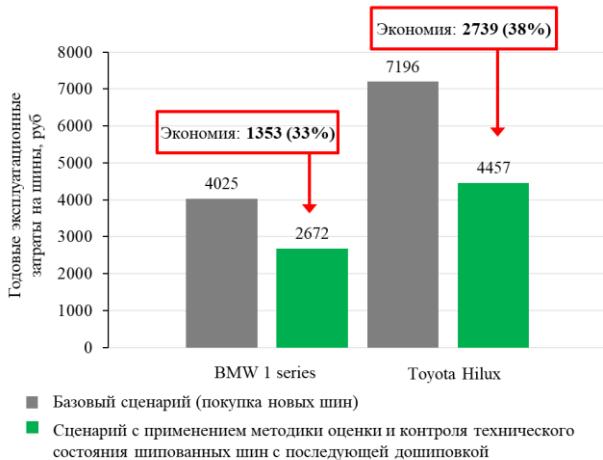


Рисунок 4.4 – Стоимость восстановления шин в год с ремонтом и без ремонта: РШ – автомобиль с ремонтными шипами

Проведённый анализ результатов применения разработанной методики диагностирования шин с использованием автоматизированного подсчета шипов и экспертной системы оценки эффективности их эксплуатации позволяет сделать ряд выводов о существенном влиянии данной методики на снижение затрат, связанных с эксплуатацией зимних шин.

Результаты исследования демонстрируют, что применение разработанной методики диагностики позволяет достичь значительной экономии средств, достигающей 40%, при восстановлении шин, находящихся

в удовлетворительном состоянии с точки зрения износа протектора, но имеющих дефицит шипов (менее 40% от исходного количества). Данная экономия обусловлена возможностью принятия обоснованного решения о целесообразности дошиповки или ремонта, вместо полной замены шин.

В результате применения разработанной методики было установлено снижение затрат на 1 машино-час в пределах 1-2%. При исключении из расчётов расходов на топливо, данное снижение достигает 4%. Это свидетельствует о повышении эффективности использования транспортного средства и снижении эксплуатационных расходов.

Следует отметить, что эффективность ремонта шин, относящихся к среднему и низкому ценовым сегментам, имеет более низкие показатели. При использовании шин из данных сегментов, экономическая целесообразность ремонта снижается, и в некоторых случаях приобретение нового комплекта шин является более выгодным решением.

Таким образом, внедрение автоматизированного подсчёта шипов и экспертной оценки их эффективности способствует принятию обоснованных решений относительно ремонта или замены шин. При этом обеспечивается снижение затрат и рациональное использование ресурсов, что повышает экономическую эффективность эксплуатации транспортных средств и является, экономически обоснованным решением.

4.5. Методология исследования зависимости стоимости шин от геометрических параметров

Данный раздел посвящён комплексному анализу влияния геометрических параметров автомобильных шин на их стоимость. В исследовании применена многоэтапная методика обработки данных, включающая структурирование исходной базы, построение одномерных и двумерных зависимостей, применение полиномиальных моделей второго порядка и последующую интерпретацию полученных результатов. Основное внимание уделено трём ключевым геометрическим характеристикам шин:

ширине протектора, посадочному диаметру и высоте профиля, каждая из которых оказывает существенное влияние на формирование рыночной цены.

На первом этапе исследования рассматривалось влияние ширины протектора на стоимость при фиксированном значении диаметра. Для каждого стандартного диаметра (от 14 до 22 дюймов) были построены зависимости цены от ширины, что позволило визуализировать и количественно оценить характер изменения стоимости. Пример такой зависимости для диаметра 16 дюймов приведён на рисунке 4.5.

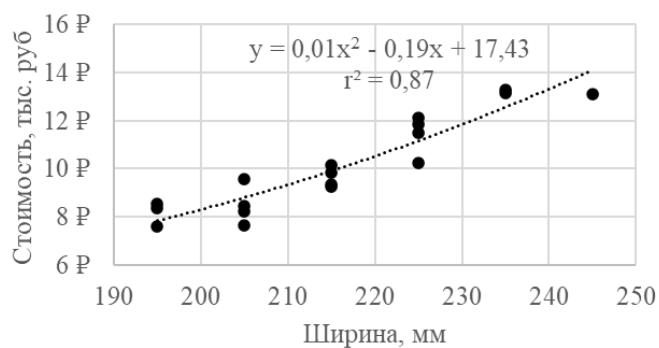


Рисунок 4.5 – Влияние ширины на стоимость шин диаметра 16 дюймов

Далее был выполнен обратный анализ – исследование влияния диаметра шины при фиксированной ширине. Такая двухсторонняя оценка позволила выявить вклад каждого параметра в итоговую цену, а также подтвердить, что увеличение обоих параметров приводит к росту стоимости, однако скорость роста для ширины и диаметра различна.

Для интегрального анализа была построена полиномиальная модель второго порядка, учитывающая совместное влияние ширины и диаметра. Результатом стала матрица прогнозных значений (таблица 5.1), отражающая тенденции изменения стоимости во всём диапазоне типоразмеров.

Таблица 4.7 – Параметры модели изменения стоимости шины в зависимости от диаметра и ширины

Ширина, мм	Диаметр, д								
	14	15	16	17	18	19	20	21	22
175	5,34	6,78	8,39	10,17	12,14	14,28	16,59	19,09	21,75
185	5,55	7,00	8,66	10,51	12,57	14,83	17,30	19,96	22,83
195	5,92	7,37	9,06	10,97	13,10	15,46	18,05	20,87	23,91
205	6,45	7,90	9,59	11,53	13,72	16,17	18,86	21,80	24,99
215	7,16	8,57	10,25	12,21	14,44	16,94	19,71	22,76	26,08
225	8,02	9,39	11,04	12,99	15,24	17,78	20,62	23,75	27,18
235	9,06	10,35	11,96	13,89	16,14	18,70	21,57	24,77	28,28
245	10,26	11,47	13,02	14,90	17,13	19,68	22,58	25,81	29,38
255	11,62	12,73	14,20	16,02	18,21	20,74	23,64	26,89	30,50
265	13,15	14,14	15,51	17,26	19,38	21,87	24,74	27,99	31,61
275	14,85	15,70	16,96	18,60	20,64	23,08	25,90	29,12	32,74
285	16,71	17,41	18,53	20,06	22,00	24,35	27,11	30,28	33,87
295	18,73	19,27	20,23	21,63	23,45	25,69	28,37	31,47	35,00
305	20,93	21,28	22,07	23,31	24,99	27,11	29,68	32,69	36,14
315	23,28	23,43	24,03	25,10	26,62	28,60	31,04	33,93	37,29
325	25,81	25,73	26,13	27,00	28,34	30,16	32,44	35,21	38,44

Проведённая аппроксимация показала, что модель обладает высокой степенью согласованности с фактическими данными и может использоваться для прогнозирования стоимости шин по заданным геометрическим параметрам.

На основе полученных данных была разработана двумерная математическая модель, описывающая зависимость стоимости шины от ширины и диаметра протектора. Применённая полиномиальная аппроксимация второго порядка обеспечила высокую точность описания, что подтверждено значениями коэффициентов детерминации.

Модель позволяет:

- количественно оценивать вклад каждого параметра в формирование стоимости;
- прогнозировать цену шин при введении новых типоразмеров;
- применять результаты в задачах экономического анализа, оптимизации ремонта и выбора шин.

Трёхмерная визуализация модели приведена на рисунке 4.6.

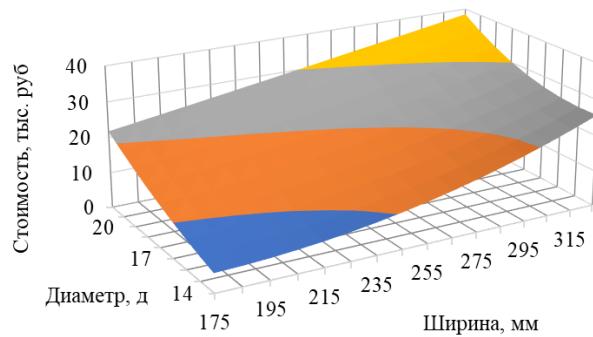


Рисунок 4.6 – Визуализация модели изменения стоимости шины от диаметра и ширины

В рамках исследования дополнительно изучено влияние высоты профиля шины на её стоимость в сочетании с посадочным диаметром. Для каждого фиксированного диаметра выполнена полиномиальная аппроксимация второго порядка, что позволило выявить закономерность плавного роста стоимости при увеличении высоты профиля.

Построенная поверхностная модель отражает восходящий характер зависимости и демонстрирует более выраженную ценовую чувствительность к диаметру по сравнению с высотой профиля. Визуальное представление результатов показано на рисунке 4.7.

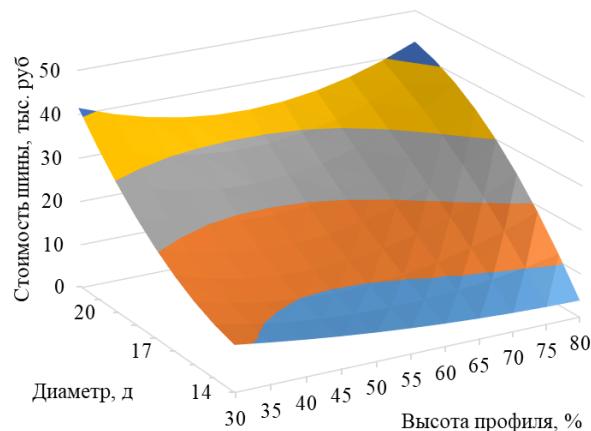


Рисунок 4.7 – Визуализация модели изменения стоимости шины от диаметра и высоты профиля

На основе проведённого анализа геометрических параметров и их влияния на стоимость разработаны практические рекомендации по целесообразности ремонта или замены шин.

Для шин диаметром 18 дюймов и более, а также шириной от 245 мм экономически оправдано проведение ремонтных операций: восстановление шипов, устранение проколов и локальных повреждений. Высокая стоимость шин данного класса обеспечивает окупаемость ремонтных мероприятий, а сохранение их ресурса позволяет существенно снизить эксплуатационные издержки.

Для шин малого диаметра и ширины стоимость ремонта зачастую сопоставима с ценой новой шины. Поэтому при достижении критического износа рационально выполнять замену. Экономическая нецелесообразность восстановления, особенно при наличии структурных повреждений, делает замену предпочтительным вариантом.

Предложенные рекомендации могут использоваться автотранспортными предприятиями, сервисными организациями и владельцами автомобилей при принятии решений о восстановлении или замене шин, обеспечивая оптимизацию затрат и повышение эксплуатационной надёжности.

4.6. Практическая значимость и перспективы дальнейших исследований

Полученные в работе результаты обладают существенной практической ценностью и могут быть использованы в различных сферах, связанных с эксплуатацией, техническим обслуживанием и контролем состояния зимних шипованных шин. Практическая значимость исследования заключается в том, что разработанные методики и модели позволяют повысить безопасность дорожного движения, сократить эксплуатационные расходы и обеспечить обоснованность принимаемых решений при обслуживании автомобильных

шин.

Разработанные рекомендации позволяют обоснованно оценивать техническое состояние шипованных шин, своевременно выявлять критический уровень потери шипов и принимать решение о ремонте или замене шин. Использование предложенной методики способствует сокращению тормозного пути на скользких покрытиях, снижению вероятности дорожно-транспортных происшествий и уменьшению стоимости эксплуатации транспортного средства вследствие повышения топливной экономичности и снижения износа трансмиссии за счёт уменьшения пробуксовок.

Предложенный автоматизированный стенд позволяет существенно сократить время диагностики состояния шипов – до 1,5–2 минут на колесо – и обеспечить точность подсчёта до 98 %. Это создаёт предпосылки для расширения спектра услуг шиномонтажных предприятий, повышения качества обслуживания и увеличения пропускной способности постов ТО. Методика автоматизированного контроля позволяет снизить влияние человеческого фактора и повысить объективность диагностических процедур, что особенно важно при гарантийных спорах и претензионной работе.

Полученные результаты могут быть интегрированы в системы управления техническим состоянием автопарков. На их основе возможно формирование регламентов обслуживания зимних шин, планирование заказов на закупку и ремонт, а также прогнозирование эксплуатационных затрат. Проведённый экономический анализ показал, что применение методики позволяет снизить расходы автопарков на содержание шин до 30–40 %, особенно в случае использования дорогостоящих шин для коммерческого транспорта среднего и высокого ценового сегмента.

Установленные зависимости изменения динамических характеристик автомобиля от степени ошиповки и типа покрытия могут служить основой для корректировки нормативов и требований к конструкции зимних шин. Полученные данные могут использоваться при разработке новых технологий

ошиповки, выборе оптимальных материалов шипов и оценке эффективности различных схем расположения шипов.

Перспективы дальнейших исследований

Проведённое исследование заложило основу для дальнейшего развития научно-методической базы в области анализа эксплуатационных свойств зимних шипованных шин. Наиболее значимыми направлениями будущей работы являются:

1. Расширение базы данных и уточнение математических моделей.

Необходим сбор дополнительных экспериментальных данных по различным типоразмерам шин, схемам ошиповки, материалам шипов и условиям эксплуатации. Увеличение выборки позволит повысить точность и универсальность разработанных моделей, а также учесть региональные особенности эксплуатации автомобильного транспорта.

2. Учёт дополнительных факторов эксплуатации.

Перспективным является включение в модели таких факторов, как:

- сезонная температура и динамика её изменения;
- режимы эксплуатации автомобиля (город/трасса);
- стиль вождения и уровень агрессивности разгона/торможения;
- возраст резиновой смеси, её остаточная эластичность и степень старения;
- механические воздействия, влияющие на выпадение шипов.

Это позволит перейти от статических моделей к более точным адаптивным моделям реальной эксплуатации.

Планируется создание прогнозных моделей, учитывающих постепенную потерю шипов и ухудшение сцепления во времени. Это позволит формировать предсказания ресурса шин и оптимальные стратегии их обслуживания.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на:

- повышение точности классификации шипов с использованием машинного зрения;

- создание портативной версии стенда для применения в дорожных условиях;
- интеграцию системы в мобильные приложения для дистанционного контроля;
- разработку встроенных в колесо датчиков шума/вибрации для оценки количества шипов по акустическим параметрам.

На основании выявленных критических значений остаточной ошиповки (60–65 %) возможно обоснование предложений по внесению изменений в ГОСТы и ТР ТС 018/2011 в части оценки пригодности зимних шипованных шин. Это позволит создать более строгие и объективные стандарты безопасности дорожного движения.

Полученные зависимости стоимости шин от ширины, диаметра и высоты профиля формируют основу для будущего применения методов машинного обучения с целью прогнозирования стоимости шин и оптимизации процессов закупки в автопарках.

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, обработки 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. A Mathematical-physical 3D Tire Model for Handling/ F. Mancosu [and others] // Comfort Optimization on a Vehicle: Comparison with Experimental Results. Tire Science and Technology. October 2000. № 28 (4). pp. 210-232.
2. Anderson L.U., Colgan W., Marshal H.P. Physical, thermal, and mechanical properties of snow, ice, and permafrost // Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters. January 2021. pp. 35-71.
3. Ivanov, R. Tire wear modeling / R. Ivanov // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, No. 3. – P. 111-120. – EDN XVRJTF.
4. J. Lundberg Calibration of the Swedish studded tyre abrasion wear prediction model with implication for the NORTRIP road dust emission model / J. Lundberg, M. Gustafsson, S. Erlingsson, S. Janhäll // International Journal of Pavement Engineering, May 2019 – 22(4):1-1, DOI:10.1080/10298436.2019.1614585
5. Makarova A.N., Zakharov N.S. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. 2019. – pp. 032040.
6. Nokian Tyres: официальный сайт компании. – URL: <https://company.nokiantyres.com/about-us/history/stories-from-history/studs-grip-the-road/> (дата обращения: 15.03.2023).
7. Pacejka H. B. The Magic Formula Tire Model, Proceedings 1st International Colloquium on Tire Models for Vehicle Dynamics Analysis / H. B. Pacejka, E. Bakker ; Swets & Zeitlinger B.V. - Amsterdam/Lisse, 1993.
8. Zakharov N.S., Makarova A.N., Buzin V.A. Basic Simulation Models of Car Failure Flows // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. 2020. – pp. 042084.
9. Авторское свидетельство № 260243 А1 СССР, МПК G01M 17/02. Динамометрический прицеп для испытания пневматических шин в дорожных

условиях : № 1156957/27-11 : заявл. 16.05.1967 : опубл. 22.12.1969 / Ф. К. Аверин, В. Д. Балакин, Э. Н. Голубев [и др.] ; заявитель Омский шинный завод, Сибирский автомобильно-дорожный институт им. Куйбышева. – EDN PNNGPJ.

10. Аксельрод, Д. В. Детектирование трещин дорожного полотна с использованием технологий компьютерного зрения в реальном времени / Д. В. Аксельрод, В. С. Александров, П. Ф. Юрчик // Цифровые решения в отраслях транспортно-дорожного комплекса: от теории к практике : Материалы 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 29 января – 02 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр", 2024. – С. 6-13. – EDN DRHDOG.

11. Алаэддин, А. М. Разработка системы оперативного управления ресурсом шин в автотранспортных предприятиях (на примере автобуса ЛиАЗ-677) : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алаэддин Али Мустафа. – Москва, 1984. – 205 с. – EDN NPLOOH.

12. Алексеев, В. А. Взаимодействие эластичного колеса с дорожной поверхностью / В. А. Алексеев, А. А. Васильев, В. С. Галов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 4(22). – С. 27-29. – EDN VVXUQX.

13. Анализ направлений восстановления автомобильных шин / В. В. Сорокин, А. В. Гуляев, А. А. Пилюгин, В. А. Спиридовон // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XVIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15–17 ноября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 426-431. – EDN YBFBVK.

14. Андреев, В.В. Выбор и формирование результативной технологии производства шипов противоскольжения на основе аддитивной квалиметрической модели : 01.02.2008 : дис. Канд. Техн. Наук / В.В. Андреев; Магнитогорск, 2008. – 140 с. – Текст : непосредственный.

15. Андреев, В.В. Исследование процесса высадки двухфланцевых шипов противоскольжения с использованием компьютерного моделирования / В.В. Андреев, Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, А.Г. Ульянов. – Текст : непосредственный // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2008. - С. 45–49.
16. Аринин, И. Н. Система оперативного управления ресурсом шин / И. Н. Аринин, А. Г. Кириллов, А. А. Харьков // Автомобильная промышленность. – 2009. – № 3. – С. 26-28. – EDN OOKIZN.
17. Балабин, И. В. Разработка концептуальной модели зимней всепогодной безопасной автомобильной шины / И. В. Балабин, О. И. Балабин, И. С. Чабунин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 6(711). – С. 3-11. – DOI 10.18698/0536-1044-2019-6-3-11. – EDN NRCUNS.
18. Балабин, О. И. Исследование влияния комплексной силовой нагрузки на жесткостные характеристики шины неподвижного колеса автомобиля / О. И. Балабин // Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки : Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25 августа 2023 года. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2023. – С. 130-136. – EDN LCMTUQ.
19. Васильев, В. И. Управление ресурсосбережением и производством при технической эксплуатации автомобилей / В. И. Васильев, А. В. Глазырин, И. И. Дик ; Курган : Курганский машиностроительный институт, 1992. – 109 с. – EDN SVUZLM.
20. Васильев, Ю.Э. Взаимодействие шипованных шин с дорожным покрытием / Ю.Э. Васильев, Г.А. Понарин. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. - 2016. - №12. - С. 60-63.
21. Влияние структуры бутадиен-стирольных каучуков на упруго-гистерезисные свойства протекторных резин / Н. А. Охотина, С. И. Вольфсон,

О. А. Кузнецова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 19. – С. 183-185. – EDN RDTCWB.

22. Влияние условий эксплуатации на закономерности распределения ресурсов шин / Н. С. Захаров, Р. Б. Бакеев, А. Н. Битюкова, В. И. Савчугов // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин : Межвузовский сборник научных трудов. Том Выпуск 1. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2003. – С. 83-88. – EDN TRDDHZ.

23. Гаврилов, В. Сколько шипов должно оставаться в шиповке, чтобы на ней безопасно ездить? / В. Гаврилов // АиФ.ru. – 2019. – 28 ноября.

24. 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. – DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-142-146. – EDN LQRHAP.

25. Гобralев, Н. Н. Автомобильная шина - фактор безопасности работы транспорта в зимних условиях / Н. Н. Гобralев // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог : Материалы международной научно-технической конференции, Могилев, 18–19 февраля 2010 года. – Могилев: Государственное учреждение высшего профессионального образования "Белорусско-Российский университет", 2010. – С. 25. – EDN GPQOLI.

26. Горшков, Ю. Г. Условие сцепления пневматических шин при движении автотранспортных средств по твёрдым и скользким поверхностям / Ю. Г. Горшков, А. А. Калугин, С. А. Барышников // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(53). – С. 77-80. – EDN SBHPMU.

27. Горшков, Ю.Г. Улучшение условий труда водителя модернизацией пневматической шины с шипами противоскольжения / Ю.Г. Горшков, А.А.

Калугин, С.А. Барышников, Е.А. Колганов. — Текст : непосредственный // Наука, техника и образование. - 2016. - С. 64–71.

28. ГОСТ 33078-2014 “Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием.” - Введ. 2014-12-01. - Москва : Стандартинформ, 2014. - 9 с.

29. ГОСТ 33181-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию. - Введ. 2015-12-01. - Москва : Стандартинформ, 2014. - 15 с.

30. ГОСТ 9128-2013. Материалы асфальтобетонные. Технические условия. - Введ. 2014-07-01. - Москва : Стандартинформ, 2013. - [количество страниц].

31. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. - Введ. 2018-06-01. - Москва : Стандартинформ, 2017. - 20 с.

32. ГОСТ Р 54095-2023 «Ресурсосбережение. Требования к сбору, накоплению, транспортированию, обработке и утилизации отходов шин, покрышек, камер». - Введ. 2024-01-01. - Москва : Стандартинформ, 2024. - 26 с.

33. ГОСТ Р 59434-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Критерии оценки и методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2021. – 20 с.

34. Гулин В.В. Оптимизация технических и технологических параметров ошиповки автомобильных шин : 01.02.2006 : дис. Канд. Тхн. Наук / В.В. Гулин; Вологда, 2002. – 178 с. – Текст : непосредственный.

35. Дик, А. Б. Математические модели пневматической шины : монография / А. Б. Дик ; под общ. ред. А. И. Федотова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. - 232 с. – ISBN 978-5-9729-2507-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2225713>

36. Дубровских, Д. С. Способ повышения ресурса автомобильных шин / Д. С. Дубровских, С. Э. Дмитриев, Г. М. Гончаренко // Современное состояние и пути развития системы подготовки специалистов силовых структур. – Пермь : Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский военный институт внутренних войск Министерства внутренних дел Российской Федерации», 2016. – С. 83-87. – EDN VPYLM.

37. 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 партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 113-118. – EDN KVOPWZ.

38. Жила, А. С. Описание предлагаемой конструкции шинного тестера для испытания автомобильных грузовых шин / А. С. Жила, Н. В. Сергеев // Наука и образование 2024 : сборник материалов X-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 25 сентября 2024 года. – Москва: НИЦ «Издание», 2024. – С. 44-48. – EDN HAXJTX.

39. Зависимость коэффициента сцепления от шероховатости дорожного покрытия / А. А. Васильев, Л. Н. Горин, Д. Н. Игошин, М. М. Ильин // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 10(41). – С. 32-37. – EDN RDIYZE.

40. Захаров, Н. С. Корректирование нормативов ресурса автомобильных шин с учетом условий эксплуатации: : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Н. С. Захаров. – Москва, 1989. – 21 с. – EDN SBFRCL.

41. 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.

42. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.
43. Иванов, В. Оценка контактных свойств шины с помощью неразрушающего анализа. Часть 2. Экспериментальное определение и фаззий-модель площади пятна контакта в статическом состоянии / В. Иванов, К. Аугсбург, Б. Н. Широков // Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 6. – С. 613-620. – EDN KYUPTL.
44. Исследование адгезивов резина-металл для восстановления шипов противоскольжения шин / О.Р. Ключников [и др.] // Материалы IX Международной научно-технической конференции. (Казань, 05-07 декабря 2018 г.). – Казань, 2018. – С 314–316.
45. Исследование влияния погодных условий на величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием / Н. Ю. Ботвинева, И. С. Буракова, Т. Н. Стрельцова, А. В. Нестерчук // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11-3. – С. 407-411. – EDN RTMIVR.
46. Исследование особенностей износа отверстий под шипы противоскольжения в протекторе ошипованной автомобильной шины / А.Д. Шаратинов [и др.] // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – №3. – С. 40–44.
47. Исследование статистических взаимодействий в системе шина - шип- дорога / А. С. Степанов, А. А. Фролов, Р. В. Гулин, С. А. Шлыков // Вузовская наука - региону : Третья региональная межвузовская научно-техническая конференция, Вологда, 27–28 февраля 2002 года. – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 2002. – С. 37-39. – EDN UNUOAD.
48. Исследование усилия прокола шипа, установленного в протекторе шины / А. С. Степанов, С. А. Фролов, А. А. Фролов, П. А. Курганов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : Материалы XII Международной научно-технической

конференции, Вологда, 21 марта 2017 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2017. – С. 212-216. – EDN YJRFTZ.

49. Исследование шума от взаимодействия шипов с дорожным покрытием / А. С. Степанов, С. А. Фролов, А. А. Фролов, П. А. Курганов // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – С. 357-359. – EDN GOHSNW.

50. Как износ влияет на сцепление шипованных и фрикционных шин / Colesa.ru – Текст : электронный// [сайт]. – URL: <http://colesa.ru/news/45370> (дата обращения: 06.04.2021).

51. Кашарников, Д. А. Анализ видов и классификаций протекторов зимних шин / Д. А. Кашарников, Д. М. Ведин, И. А. Косяков // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего : сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 28 ноября 2018 года. Том 2. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2018. – С. 278-281. – EDN VVOCSU.

52. Ключников, О. Р. Исследование адгезивов для ремонта Шипов шин / О. Р. Ключников, Н. А. Храмов, Х. Й. Истамов // Актуальные проблемы науки о полимерах-2018 : Сборник трудов Всероссийской научной конференции, посвященной 60-летнему юбилею кафедры Технологии пластических масс, Казань, 19–20 ноября 2018 года / Ответственный редактор О.Ю. Емелина. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. – С. 50. – EDN VSMLTE.

53. Ковригин, В.А.. Повышение безопасности автомобилей в условиях эксплуатации на основе анализа характеристик сцепления их шин со льдом : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Ковригин

Владимир Александрович; [Место защиты: Иркут. гос. техн. ун-т]. — Омск, 2014. — 23 с..

54. Корнев, А. С. Целесообразность повторной ошиповки шин с точки зрения безопасности и экономики / А. С. Корнев, Д. Ю. Медведев // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Воронеж, 20 февраля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 96-101. – EDN ELNCFX.

55. Корнеева А.С. Оценка эффективности эксплуатации зимних шин / А.С. Корнеева. – Текст : непосредственный // Автомобиль, дорога, инфраструктура. - 2015. - №1 (3). - С. 2-8.

56. Косолапов, А. В. Влияние сочетания смежных дорожных покрытий с разными коэффициентами сцепления на уровень безопасности движения / А. В. Косолапов, С. В. Гришин // Россия молодая : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 52705.1-52705.6. – EDN JFIDZI.

57. Кошелев, А. В. Анализ конструкции зимних шин / А. В. Кошелев, Н. В. Хольшев // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием имени В.В. Михайлова, Саратов, 15–16 мая 2020 года. Том Выпуск 33. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2020. – С. 68-73. – EDN KLNFUF.

58. Кристальныи, С. Р. Эффективность действия АБС на автомобиле, оснащённом шипованными шинами, и её экспериментальное определение / С. Р. Кристальныи, В. А. Фомичев, Н. В. Попов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 4(106). – С. 149-156. – EDN TFSLNX. Купреянов, А. А. Разработка методов улучшения тягово-сцепных свойств автомобиля за счет

использования динамического фрикционного потенциала шин на поверхностях, покрытых слоем льда / А. А. Купреянов, Е. О. Румянцев, Р. Ш. Загидуллин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 5(674). – С. 9-22. – EDN VVADAT.nzu

59. Кристальныи, С.Р. Шинный тестер для исследования характеристик шипованных шин / С.Р. Кристальныи, В.Н. Задворнов, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв, А.А. Шляхтин. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) – Москва, 2013. – С. 11–18.

60. Лазарев, Д. А. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием / Д. А. Лазарев, И. А. Новиков // Информационные технологии и инновации на транспорте : материалы 2-ой Международной научно-практической конференции, Орел, 17–18 мая 2016 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2016. – С. 124-129. – EDN WDLUCV.

61. Ле, В. Л. Диагностика тормозных систем АТС на основе измерения сил в пятнах контакта колес с беговыми барабанами стенда : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ле Ван Луан, 2015. – 248 с. – EDN QSXCTP.

62. Лотникова, Д. Ю. Эффективность шипованных и фрикционных зимних шин / Д. Ю. Лотникова, В. В. Нагорный // Электронный сетевой полitemатический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2021. – № 2. – С. 79-85. – EDN VFUIDH.

63. Лямзин, А. М. Оценка приспособленности шин к низкотемпературным условиям эксплуатации : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лямзин Александр Михайлович. – Тюмень, 2009. – 22 с. – EDN NLCFTT.

64. Малюгин, П. Н. Расчет температуры покрытия барабана изо льда при испытаниях шин / П. Н. Малюгин, В. А. Ковригин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 2(24). – С. 23-26. – EDN РВЕНJD.

65. Манаенков, М. Г. Разновидности, особенности зимних автомобильных шин / М. Г. Манаенков // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей 11-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 29 октября 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 197-200. – EDN АСВОП.

66. Масленников, В. Г. Характеристика состояния покрытия мерзлый асфальт / В. Г. Масленников // Молодёжная научная весна - 2015 : материалы XLII Научно-практической конференции молодых исследователей Забайкальского государственного университета: в 2 частях, Чита, 23–28 марта 2015 года / Под редакцией: Т. Б. Бердниковой, А. В. Шапиевой. Том Часть 1. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2015. – С. 276-280. – EDN UCYLCR.

67. МДС 81-3.99 «Методические указания по разработке сметных норм и расценок на эксплуатацию строительных машин и автотранспортных средств» - Введ. 2000-01-01. - Москва : Госстрой России, 1999. - 26 с.

68. Методика определения износа шин транспортных средств / М. А. Рязанов, Д. Ю. Голубев, В. И. Никорчук, К. Г. Панченко // Наука и военная безопасность. – 2020. – № 1(20). – С. 129-134. – EDN NECHDX.

69. Моделирование боковых реакций при расчете параметров движения автомобильного колеса / Е. В. Балакина, Н. М. Зотов, Ю. Н. Козлов [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2007. – Т. 2, № 8(34). – С. 18-21. – EDN KWEHND.

70. Назарова, К. Ю. Влияние шипованной резины на асфальтобетонное покрытие / К. Ю. Назарова // Потенциал устойчивого инновационного

развития: концепции, модели и практическое приложение : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ижевск, 28 апреля 2025 года. – Уфа: ООО "Аэтерна", 2025. – С. 46-49. – EDN GFABBS.

71. Неволин, Д. Г. Практика использования ремонтных шипов при эксплуатации зимней резины на транспортных предприятиях / Д. Г. Неволин, А. А. Цариков // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 28–29 апреля 2023 года. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2023. – С. 409-413. – EDN ABPBVE.

72. Никулин, А. В. Сравнительная характеристика зимних шипованных и фрикционных шин / А. В. Никулин, В. Б. Никулина, Л. Б. Антропова // Наука и молодежь в XXI веке : материалы III Всероссийской студенческой научно-технической конференции, Омск, 30 ноября 2017 года. – Омск: Омскбланкиздат, 2017. – С. 142-143. – EDN YPSDRN.

73. Одинцов, О. А. Разработка метода решения нелинейных контактных задач стационарного качения автомобильной шины : специальность 01.02.06 "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры", 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Одинцов Олег Александрович. – Москва, 2008. – 208 с. – EDN NQFTDX.

74. Озорнин, С. П. Математические модели определения коэффициента сцепления шин автотранспортных средств категории М1 при торможении на мерзлом асфальте / С. П. Озорнин, В. Г. Масленников, Н. С. Замешаев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 4(123). – С. 188-197. – DOI 10.21285/1814-3520-2017-4-188-197. – EDN YLJJLP.

75. Озорнин, С. П. Математические модели определения коэффициента сцепления шин автотранспортных средств категории М1 при торможении на

мерзлом асфальте / С. П. Озорнин, В. Г. Масленников, Н. С. Замешаев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 4(123). – С. 188-197. – DOI 10.21285/1814-3520-2017-4-188-197. – EDN YLJJLP.

76. Особенности диагностики шин легковых автомобилей по величине внутренних напряжений при технической эксплуатации и проведении сервисного обслуживания / А. И. Гончарук, В. Н. Ковалевский, Е. Е. Кузнецов, В. В. Самуйло // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах, Благовещенск, 20–21 апреля 2022 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 61-68. – DOI 10.22450/9785964205470_2_8. – EDN MOJYIS.

77. Особенности поведения протекторных резин фрикционных шин при пониженных температурах эксплуатации / С. А. Шмелева, Е. Г. Мохнаткина, А. А. Махотин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 12. – С. 146-149. – EDN QCWPGX.

78. Патент № 2545141 С1 Российская Федерация, МПК E01F 11/00, G08G 1/00, G01M 17/02. устройство для определения наличия шипованных шин на автомобиле : № 2013153170/11 : заявл. 02.12.2013 : опубл. 27.03.2015 / В. М. Приходько, Ю. Э. Васильев, А. Б. Беляков [и др.] ; заявитель МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)". – EDN DZPWHG.

79. Патент на полезную модель № 181512 У1 Российская Федерация, МПК G01N 3/56, G01N 19/02. Шинный тестер для определения коэффициента поперечного сцепления эластичной шины автомобильного колеса : № 2018100511 : заявл. 09.01.2018 : опубл. 17.07.2018 / С. М. Гергенов, А. И. Федотов, Ж. В. Дарханов ; заявитель Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления". – EDN ННКНВВ.

80. 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.

81. Повышение тягово-цепных свойств колёсных машин в тяжёлых дорожных условиях / Ю. Г. Горшков, И. Н. Старунова, А. А. Калугин, М. А. Белоусов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3(47). – С. 70-73. – EDN SJDSGP.

82. Положение Банка России от 04 марта 2021 г. № 755-П "О единой методике определения размера расходов на восстановительный ремонт в отношении повреждённого транспортного средства" (Зарегистрировано в Минюсте России 10.06.2021 № 63845).

83. Попов, Н. В. Методика оценки эффективности действия антиблокировочных систем на автомобилях, оснащённых шипованными шинами : специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попов Николай Викторович. – Москва, 2013. – 178 с. – EDN SUWXQF.

84. Приймак, Е. В. Сравнение норм технического законодательства РФ и зарубежных стран в области обеспечения безопасности и качества шинной продукции / Е. В. Приймак, О. В. Табаева // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 13. – С. 171-175. – EDN UHNBIL.

85. Разработка адаптивного шипа противоскольжения для шин транспортных средств / И. П. Войку, Т. В. Сергеева, П. Н. Мальцев, А. В.

Стрикунов // Вестник современных технологий. – 2019. – № 4(16). – С. 9-14. – EDN EYJNWN.

86. РД 3112199-1085-02. «Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств» (утв. Минтрансом РФ 04.04.2002) (вместе с «Классификацией автотранспортных средств») (с изм. от 07.12.2006) - 24 л. [Электронный ресурс] // URL: www.consultant.ru (дата обращения: 08.09.2020).

87. Решение Таможенного союза от 09.12.2011 N 877 (ред. от 02.12.2014) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».

88. 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.

89. Сахиев, А. А. Разработка модели зимних всепогодных шин повышенной безопасности / А.А. Сахиев, А. Даахам/ Наука и техника Казахстана. 2021. №2.

90. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618609 Российская Федерация. 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.

91. Сергеев, Н. В. Мобильная установка "шинный тестер" для проведения экспериментальных исследований пневматических шин / Н. В. Сергеев // Евразийское Научное Объединение. – 2017. – Т. 1, № 2(24). – С. 33-37. – EDN YFOIFD.

92. Сиротин, П. В. Стенд для диагностики неоднородности окружной жесткости автомобильной шины / П. В. Сиротин, С. С. Хромов // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 1-2(22). – С. 129-133. – EDN XDEBLH.

93. Соглашение о принятии согласованных технических правил Организации Объединенных Наций для колесных транспортных средств,

предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены и/или использованы на колесных транспортных средствах, и об условиях взаимного признания официальных утверждений, выдаваемых на основе этих правил Организации Объединенных Наций (Пересмотр 3, включая поправки, вступившие в силу 14 сентября 2017 года). Добавление 116 – Правила № 117 ООН. Пересмотр 4 – Поправка 6. Дополнение 14 к поправкам серии 02 – Дата вступления в силу: 8 октября 2022 года. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин в отношении звука, издаваемого ими при качении, и/или их сцепления на мокрых поверхностях и/или сопротивления качению.

94. Стариakov, А. Н. Механика протектора шин / А. Н. Стариakov // Механика и машиностроение. Наука и практика : Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: ИП Жукова Е.В., 2024. – С. 109-114. – EDN YYZZRL.

95. Старостин, А.В. Методика оценки и прогнозирования эксплуатационной надёжности ошипованных шин : 05.22.2010 : дис. Канд. Техн. Наук / А.В. Старостин; Вологда, 2007. – 170 с. – Текст : непосредственный.

96. Степанов, А. С. Влияние массы шипа на износ дорожного полотна и пылеобразование при использовании шипованных шин / А. С. Степанов, С. М. Щекин, А. А. Фролов, Р. В. Гулин // Менеджмент экологии: сборник докладов регион. науч.-практ.конф. / ВоГТУ. - Вологда, 1999. - С. 21-25.

97. Степанов, А. С. Исследование влияния технологии установки шипов противоскольжения на эксплуатационные свойства ошипованной шины / А. С. Степанов, А. Д. Шаратинов, А. В. Старостин // Конструкции из композиционных материалов. – 2007. – № 4. – С. 104-107. – EDN KAQGZR.

98. Степанов, А.С. Исследование эксплуатационных свойств системы «Автомобильная шина – шип противоскольжения» / А.С. Степанов, А.Д. Шаратинов, А.В. Старостин – Текст : непосредственный // Конструкции из композитных материалов. - 2007. - С. 97–103.

99. Степанов, А.С. Шины и шипы/ А.С. Степанов, С.М. Щекин – Текст : непосредственный// Сборник статей 7-й международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию Госавтоинспекции МВД России : Вологда: ВоСИ, 1996г. - С. 168. – Текст : непосредственный.

100. Стратий, И. В. О влиянии конструктивных параметров установки шипа в протекторе шины на долговечность ошиповки / И. В. Стратий, А. С. Степанов // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – С. 368-371. – EDN SJIWXI.

101. Стратий, И.В. Разработка программы по оптимизации расстановки шипов противоскольжения на протекторе шины / И.В. Стратий, С.А. Фролов, А.С. Степанов – Текст : непосредственный // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : XII международная науч.-практич. Конф. 19–20 марта. 2015 г. - Вологда, 2015. - С. 90–95. – Текст непосредственный.

102. Сцепные характеристики шипованных шин с уводом / А. М. Иванов, В. Б. Борисевич, С. Р. Кристальныи [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 10. – С. 34-39. – EDN VQWJQU.

103. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» [Электронный ресурс] : принят Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 877 : дата актуализации 21.04.2023. – URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 15.08.2024).

104. Троицкий, В. И. Снижение износа шин управляемых колес обеспечением рационального соотношения углов их поворота при эксплуатации легкового автомобиля в условиях города (на примере автомобиля ГАЗ-24 "Волга") : специальность 05.22.10 "Эксплуатация

автомобильного транспорта", 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Троицкий Виктор Игоревич. – Москва, 1984. – 200 с. – EDN NPOZCZ.

105. Устаров, Р. М. Прогнозирование пробега автомобильных шин эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Устаров Рамазан Магомедярагиевич. – Махачкала, 2012. – 188 с. – EDN QFWWWR.

106. Федотов, А. И. О повторяемости измерений параметров процесса торможения автомобиля на стенде с беговыми барабанами / А. И. Федотов, А. В. Бойко, А. С. Потапов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2008. – № 1(33). – С. 63-71. – EDN IQFPCX.

107. Фролов, А. А. Исследование долговечности удержания шипов противоскольжения в протекторе автомобильной шины / А. А. Фролов, А. С. Степанов, С. А. Фролов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3(13). – С. 70-73. – EDN RMHTCV.

108. Фролов, А. А. Совершенствование технологии и оборудования для ошиповки автомобильных шин шипами противоскольжения: 01.02.2006 : дис. Канд. Техн. Наук/ А.А. Фролов ВоСИ - Вологда, 2001. - 195 с. – Текст : непосредственный

109. Хвалев, П. В. Анализ факторов, влияющих на состав и концентрации выбросов вредных веществ в продуктах изнашивания автомобильных шин / П. В. Хвалев // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 4-2. – С. 171-175. – EDN ZEZLWR.

110. Чудакова, Н. В. Экспериментальное исследование установившегося замедления автомобиля при эксплуатации зимних шин / Н. В. Чудакова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2(55). – С. 246-251. – EDN WEZJZT.

111. Чукин, М. В. Развитие теории качества металлопродукции / М. В. Чукин // Качество в обработке материалов. – 2015. – № 1(3). – С. 5-10. – EDN УНМЕВЗ.

112. Чулин М.Д. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ // Мировая наука. 2017. №5 (5). (дата обращения: 29.06.2023).

113. Шаратинов, А.Д. Исследование особенностей износа отверстий под шипы противоскольжения в протекторе ошипованной автомобильной шины / А.Д. Шаратинов, А.С. Степанов, С.А. Фролов, А.В. Старостин – Текст : непосредственный // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. - №3. - С. 40–44.

114. Шаратинов, А.Д. Методика расчёта величин предельных диагностических нормативов для ошипованных зимних легковых: 05.22.2010 : дис. Канд. Техн. Наук/ А.Д. Шаратинов ВоСИ – Вологда, 2010 – Текст : непосредственный.

115. Шутов, А. И. О коэффициенте сцепления колес с дорожным покрытием / А. И. Шутов, А. Н. Котухов, Н. А. Загородний // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2006. – № 6. – С. 119-122. – EDN УСММQH.

116. Янчевский, В. А. Экономический аспект в ресурсосбережении автомобильных шин / В. А. Янчевский, И. В. Тельбухов // Актуальные вопросы подготовки специалистов по направлению "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" в условиях рыночной экономики : сборник научных статей международной научно-практической конференции, Орел, 19–21 сентября 2006 года / под ред. А.Н. Новикова; сост. А.В. Севостьянихина. – Орел: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс", 2006. – С. 104-110. – EDN UURWBJ.

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 Российская Федерация. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Результаты экспериментальных исследований зависимости времени разгона от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия.

Таблица П1.1 – Зависимость времени разгона от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия

Номер точки плана	Вид эксперимента	Тип дорожного покрытия, K_c	Степень ошиповки, n	Время разгона t_a
1	2	3	4	5
1	Разгон до 60 км/ч на заднем приводе	Сухой асфальт	0,00	6,06
2				6,12
3				6,05
4				6,03
5			0,25	5,98
6				6,08
7				6,16
8				6,05
9			0,50	6,12
10				6,15
11				6,09
12				6,07
13			0,75	6,63
14				6,35
15				6,42
16				6,38
17	Разгон до 60 км/ч на переднем приводе	Уплотнённый снег	1,00	7,06
18				6,58
19				6,95
20				6,52
21			0,00	13,10
22				12,95
23				13,56
24				13,25
25			0,25	9,59
26				9,78
27				10,12
28				10,56
29			0,50	7,56
30				7,69
31				7,95
32				7,56
33	Разгон до 60 км/ч на переднем приводе на сухом асфальте	Сухой асфальт	0,75	7,12
34				7,14
35				6,79
36			1,00	7,54
37				6,35

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3	4	5
38	<i>Разгон до 60 км/ч на заднем приводе</i>	Уплотнённый снег	1,00	6,25
39				6,95
40				6,85
41				12,84
42		Рыхлый снег	0,00	12,16
43				11,99
44				11,64
45				11,50
46				11,61
47	<i>Разгон до 60 км/ч на заднем приводе</i>	Рыхлый снег	0,25	11,34
48				12,46
49				11,27
50				11,79
51				11,32
52		Лёд	0,50	11,92
53				11,58
54				11,25
55				11,35
56				12,21
57	<i>Разгон до 60 км/ч на полном приводе</i>	Лёд	1,00	11,12
58				11,71
59				11,30
60				11,10
61				12,79
62		Сухой асфальт	0,00	13,19
63				13,60
64				14,17
65				12,59
66				12,78
67	<i>Разгон до 60 км/ч на полном приводе</i>	Лёд	0,50	11,12
68				12,36
69				10,79
70				10,85
71				12,68
72		Сухой асфальт	0,75	9,89
73				10,59
74				10,38
75				11,96
76				12,35
77	<i>Разгон до 60 км/ч на полном приводе</i>	Сухой асфальт	1,00	12,25
78				11,33
79				10,34
80				11,75
81				6,05
82		Сухой асфальт	0,00	6,08
83				6,09
84				6,07
85				6,12

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3	4	5
86	<i>Разгон до 60 км/ч на полном приводе</i>	Сухой асфальт	0,25	6,08
87				6,09
88				6,08
89				6,28
90			0,50	6,15
91				6,09
92				6,14
93				6,15
94			0,75	6,09
95				6,19
96				6,17
97				6,26
98	<i>Укатанный снег</i>	1,00	0,00	6,28
99				6,35
100				6,19
101				10,56
102			0,25	10,86
103				10,79
104				10,58
105				8,56
106	<i>Рыхлый снег</i>	0,50	0,75	8,36
107				8,23
108				9,02
109				7,15
110			1,00	7,03
111				7,09
112				7,05
113				6,49
114	<i>Песок</i>	0,00	0,25	6,78
115				6,65
116				6,53
117				6,57
118			0,50	6,58
119				6,53
120				6,45
121				8,59
122	<i>Грунт</i>	0,00	0,25	8,24
123				8,24
124				8,14
125				8,14
126			0,50	7,23
127				8,12
128				8,13
129				7,14
130	<i>Лед</i>	0,75	0,50	7,14
131				7,14
132				7,08
133				7,02

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3	4	5	
134	<i>Разгон до 60 км/ч на полном приводе</i>	<i>Рыхлый снег</i>	0,75	7,12	
135				6,92	
136				7,45	
137				6,51	
138				6,47	
139			1,00	6,62	
140				6,59	
141				13,17	
142				13,70	
143				13,76	
144		<i>Лёд</i>	0,00	14,12	
145				10,05	
146				9,56	
147				9,95	
148				10,56	
149			0,50	7,78	
150				7,61	
151				7,94	
152				7,95	
153				6,52	
154		0,75	0,75	6,95	
155				7,54	
156				6,89	
157				6,85	
158				5,66	
159		1,00		6,10	
160				7,00	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Результаты экспериментальных исследований зависимости тормозного пути от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия.

Таблица П2.1 – Зависимость тормозного пути от степени остаточной ошиповки и типа дорожного покрытия

Номер точки плана	Тип дорожного покрытия, K_c	Степень ошиповки, п	Длина тормозного пути S_t
1	2	3	4
1	Сухой асфальт	0,00	17,50
2			17,80
3			18,00
4			17,90
5			17,80
6		0,25	17,40
7			18,10
8			17,80
9			18,00
10			18,20
11	Уплотнённый снег	0,50	18,00
12			17,80
13			18,10
14			18,20
15			17,70
16		0,75	18,50
17			18,90
18			17,20
19			17,40
20			18,00
21		1,00	17,00
22			18,50
23			18,30
24			18,40
25			18,30
26		0,00	27,50
27			28,60
28			28,00
29			28,50
30			27,90
31		0,25	25,50
32			26,00
33			25,60
34		0,50	25,40
35			26,00
36			23,00
37			23,50

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4
38	Уплотнённый снег	0,50	23,30
39			24,00
40			23,80
41			23,30
42			24,20
43		0,75	23,20
44			22,80
45			23,00
46			23,00
47			22,50
48	Рыхлый снег	1,00	22,80
49			22,00
50			23,00
51			41,90
52			37,20
53		0,00	33,90
54			37,00
55			39,90
56			37,00
57			35,60
58	Лёд	0,25	36,00
59			35,50
60			35,00
61			34,40
62			35,60
63		0,50	34,60
64			34,70
65			34,20
66			34,60
67			34,50
68	Лёд	0,75	34,00
69			33,70
70			33,00
71			36,60
72			31,20
73		1,00	31,00
74			34,50
75			32,70
76			39,50
77			43,90
78	Лёд	0,00	43,20
79			42,40
80			43,10
81			40,00
82			40,50
83		0,25	42,30
84			43,00
85			43,40

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4
86			39,80
87			39,60
88		0,50	40,50
89			42,50
90			41,60
91			39,00
92			41,20
93	Лёд	0,75	40,50
94			39,90
95			40,90
96			39,40
97			40,90
98		1,00	39,30
99			39,50
100			39,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ



АКТ

о внедрении диссертационной работы Петрова В.С. на тему «Методика оценки и контроля технического состояния автомобильных шипованных шин в эксплуатации» в группе компаний «Автоград».

Мы, нижеподписавшиеся: технический директор дилерского центра «Джили» Д.В. Дзигун, сервис-менеджер брендов «Москвич», «Пежо» А.Н. Решетников, технолог дилерского центра «Рено, Омода, Джейку, Джетур» П.М. Худышкин и аспирант В.С. Петров составили настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Гарант», ООО «Автоград Маркет», ООО «Автоград Капитал» принята к использованию методика оценки и контроля технического состояния автомобильных шипованных шин.

Указанный методика разработана на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Петрова В.С. на тему «Методика оценки и контроля технического состояния автомобильных шипованных шин в эксплуатации».

Эффект от использования методики оценки и контроля технического состояния автомобильных шипованных шин в эксплуатации образуется за счёт применения разработанных математических моделей, позволяющих количественно оценивать влияние степени остаточной ошиновки на тормозной путь и разгон автомобиля, а также за счёт автоматизированной диагностики состояния шипов. Методика повышает объективность и скорость оценки шин при обслуживании легковых автомобилей, позволяет обоснованно рекомендовать их дальнейшую эксплуатацию, дошиновку или замену и способствует повышению качества оказываемых услуг.

Технический директор дилерского центра
«Джили»
Д.В. Дзигун

Аспирант

В.С. Петров

Сервис-менеджер брендов «Москвич»,
«Пежо»
А.Н. Решетников

Технолог дилерского центра «Рено, Омода,
Джейку, Джетур»
П.М. Худышкин