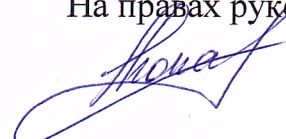


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Российской Федерации
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых» (ФГБОУ ВО ВлГУ)

На правах рукописи



КОКАРЕВ ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ М1 ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕСУРСА ЕЕ
ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

к.т.н., доцент,

Кириллов А.Г.

Владимир – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1 Обзор безопасности дорожного движения в России и за рубежом	11
1.2 Влияние социально-экономической обстановки на техническое состояние автотранспортных средств	17
1.3 Сущность физико-технических процессов и их влияние на техническое состояние тормозной системы	19
1.4 Причины возникновения отказов элементов тормозной системы.....	24
Выводы по главе.....	28
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	30
2.1 Методы диагностирования тормозной системы автомобиля	30
2.2 Взаимодействие систем активной безопасности автомобиля	35
2.3 Анализ элементов тормозных механизмов, реализующих рабочие процессы тормозной системы	38
2.4 Тормозная динамика автомобиля.....	50
2.5 Энергетический анализ работы тормозного механизма	57
2.6 Статистический метод оценки надежности тормозной системы.....	62
Выводы по главе.....	67
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	70
3.1 Анализ условий эксплуатации легковых автомобилей.....	70
3.2 Анализ интенсивности работы ТопС	75
3.3 Разработка программно-технического комплекса сбора данных	87
3.4 Интеграция программно-технического КСД на автомобиль	100
Выводы по третьей главе.....	106
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРС	108

4.1 Оценка параметров при торможении и их зависимость	108
4.2 Влияние работы трения на техническое состояние элементов ТМ	111
4.3 Экономический эффект от результатов исследования.....	127
Выводы по главе.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЕ А	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ В	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	170
ПРИЛОЖЕНИЕ И	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На сегодняшний день процесс модернизации автомобилей происходит непрерывно. Автомобиль становится комфортнее, динамичнее, экономичнее, мощнее. Объем парка транспортных средств и плотность транспортного потока на дорогах постоянно увеличиваются, что сказывается на безопасности дорожного движения. По анализу данных ГИБДД в 2024 г. наблюдается увеличение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими. В 2025 г. количество ДТП осталось на таком же уровне. В среднем ежегодно в них погибает более 600 человек из-за потери работоспособности тормозной системы (ТорС) легковых автомобилей, в связи с чем вопрос обеспечения безотказной работы ТорС имеет актуальный характер. Анализ статистической информации утраты работоспособности ТорС показал, что более 80% приходится на отказы штатных колесных тормозных механизмов (ТМ), а основная доля причин связана с отказами тормозных колодок (ТК) – 49,2% и тормозных дисков (ТД) – 16,4%. На долю отказов поршней ТМ приходится 9,6%, направляющих – 6,8%, тормозных трубок и шлангов – 2,7%. Справедливо отметить, что лимитирующими надежностью ТорС можно считать ТК и ТД. Из-за отсутствия в нормативно технической документации (НТД) фирм-производителей регламента по периодичности замены ТК, ТД и прогнозированию их остаточного ресурса, вопрос обеспечения безотказной работы ТорС при реализации ресурса ее элементов имеет актуальный характер.

Сложившаяся за последние годы экономическая ситуация в РФ, негативно отражается на изменении стоимости запасных частей. Как показал анализ конъюнктуры рынка запасных частей легковых автомобилей, наибольший прирост стоимости (+50%) для запасных частей автомобилей марки *Kia* приходится на ТК и ТД. Значительное увеличение финансового обеспечения технической эксплуатации автомобилей, косвенно провоцирует частных автовладельцев экономить на техническом обслуживании, снижая эффективность технической эксплуатации автомобилей в целом и уровень безопасности дорожного движения.

Согласно стратегии безопасности дорожного движения Российской Федерации, утверждённой распоряжением правительства РФ от 08.01.2018 № 1-р и рассчитанной до 2024г., обеспечение эффективности эксплуатации подвижного состава является одним из приоритетных направлений. Утвержденная Стратегия безопасности дорожного движения в РФ на 2018-2024 гг. стала фундаментом для новой стратегии Правительства РФ, целью которой является снижение смертности на дорогах в 1,5 раза к 2030 г. Проект новой стратегии рассматривался на заседании комиссии по безопасности дорожного движения правительства РФ и был одобрен 18 апреля 2025г. Основными нормативно-правовыми актами, регламентирующими развитие данного направления, являются ФЗ от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения», постановление Правительства РФ от 05.12.2011 № 1008 «О проведении технического осмотра транспортных средств», ГОСТ 33997-2016 «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки», технический регламент таможенного союза. ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств».

Степень разработанности исследования. Обеспечению надежности ТопС и повышению эффективности эксплуатации автомобилей были посвящены работы: А. И. Швеева, Г.В. Осипова, А.А. Ревина, В.Г. Дыгало, Р. В. Нуждина, Д. А. Соцкова, И.А. Успенского, И.А. Юхина, Г.Д. Кокорева, В. И. Клименко, А.В. Бойко, А.Н. Доморозова, А. А. Смолина, А.Н. Степанова, Д. А. Болдырева, В.А. Юдина, С.М. Мороза, В.И. Васильева, А.В. Шарыпова, С.А. Гребенникова, М.Г. Корчажкина, *A. Grkić, S. Muždeka, C. Dvbboka* и других ученых. Работы исследователей направлены на совершенствование методов диагностирования тормозной системы в основном на стенде с беговыми барабанами, пневматических систем грузовых автомобилей и автобусов.

В трудах рассматривались вопросы общей эффективности тормозной системы по нормативным показателя, но не исследовались вопросы, посвященные оценке эксплуатационной надежности отдельных конструктивных элементов ТопС, прогнозированию их остаточного ресурса, в частности исполнительных элементов штатных колесных тормозных механизмов. Результаты проведенных

ранее исследований существенно улучшили методы диагностирования TopC на стендах с беговыми барабанами и обозначили дальнейшие основные направления исследований в области эксплуатационной надежности TopC.

Целью исследования является обеспечение требуемого уровня безотказной работы TopC при реализации ресурса элементов колесного тормозного механизма с учетом регламентных работ.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ безопасности дорожного движения с учетом фактора технического состояния легковых автомобилей.
2. Исследовать интенсивность работы тормозной системы в реальных условиях эксплуатации автомобиля.
3. Определить критерий интенсивности работы тормозной системы и его значения.
4. Выполнить анализ экспериментальных данных параметров тормозной системы в процессе торможения и провести их статистическую обработку.
5. Разработать математическую модель рабочего процесса в тормозном механизме с применением метода энергетического анализа процесса торможения.
6. Разработать методику прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы и провести оценку ее эффективности.

Объектом исследования – является тормозная система легкового автомобиля.

Предметом исследования – являются параметры процессов в тормозных механизмах при торможении.

Гипотезой исследования стало предположение о возможности прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и дисков автомобилей М1 на основе энергетического анализа процесса торможения с учетом режимов ТО и интенсивности работы TopC.

Допущения и ограничения. Возможность применения методики прогнозирования остаточного ресурса допускается для транспортных средств категорий М1 с комплектацией TopC гидравлическим приводом,

антиблокировочной системой, задними дисковыми ТМ и наличием механической коробки передач в трансмиссии.

Научная новизна работы заключается:

1. установлена зависимость интенсивности работы тормозной системы автомобиля от условий движения «Город» и «Трасса», количественная оценка соотношения которых легла в основу дополнительной классификации условий движения;
2. предложены методический подход, алгоритм и программно-инструментальная среда для получения статистических данных энергонагруженности тормозного механизма при торможении в реальных условиях;
3. определены зависимости времени и пути торможения от действующих факторов в процессе торможения на основании регрессионного анализа статистических данных энергонагруженности тормозного механизма;
4. установлено соответствие экспоненциальному закону распределения циклового значения работы трения в тормозном механизме при торможении;
5. получены математические модели для оценки удельной работы трения в тормозном механизме с учетом значений структурных параметров тормозных колодок и дисков, периодичности ТО и интенсивности работы тормозной системы;
6. предложена методика прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы на основе разработанных математических моделей, обеспечивающая требуемый уровень безотказности системы.

Положения, выносимые на защиту:

1. зависимость интенсивности работы тормозной системы от условий эксплуатации, характеризуемых предложенным критерием - коэффициентом условий движения;
2. программно-инструментальная среда для получения статистических данных энергонагруженности тормозного механизма при торможении в реальных условиях эксплуатации, базирующаяся на предложенных методическом подходе и алгоритме;

3. математические модели, описывающие зависимости времени и пути торможения от действующих факторов в процессе торможения;
4. экспоненциальное распределение величины работы трения за рабочий цикл тормозной системы;
5. математические модели для оценки удельной работы трения в тормозном механизме с учетом значений структурных параметров тормозных колодок, тормозных дисков, периодичности ТО и условий движения;
6. методика прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозного механизма на основе метода энергетического анализа процесса торможения с учетом характеристик элементов тормозной системы, условий движения по дополнительной классификации условий движения.

Теоретическая значимость заключается в разработке научно-обоснованных подхода и методики прогнозирования ресурса тормозных колодок и дисков автомобилей М1 на основе энергетического анализа процесса торможения с учетом условий движения по дополнительной классификации условий движения (ДКУД) и технических характеристик этих элементов.

Практическая значимость работы заключается в использовании разработанной методики прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозного механизма и программы ЭВМ для обеспечения требуемого уровня безотказности TopC в системе технического обслуживания автомобиля с учетом условий движения по ДКУД и технических характеристик его элементов.

Методология и методы исследования. Проведенные научные исследования опирались на положения теории надежности машин, положения энергетической теории изнашивания материалов, методы электрического измерения неэлектрических величин, математический анализ, статистическую обработку данных с помощью программного продукта *Statistika*, на основы программирования на языке *Python 3.10*.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: п.11

«Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем», п.12 «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации», п. 13 «Жизненный цикл автотранспортных средств, рациональные сроки службы автомобилей и их элементов, технологии их утилизации, инфраструктура по утилизации АТС и отходов их эксплуатации (изношенных шин, отработанных аккумуляторов, нефтепродуктов, спецжидкостей)».

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования применяются в учебном процессе кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управления качеством» ВлГУ и в ООО «АВТО-МОТОРС» (официальный дилер по реализации, сервисному и гарантийному обслуживанию автомобилей марки КИА в г. Владимир).

Степень достоверности научных положений и результатов обеспечиваются использованием апробированных методов теории надежности машин, наличием большого объема данных, полученных в реальных условиях с помощью сертифицированных средств измерений, позволяющие получить обоснованные, достоверные и соответствующие теме диссертации и общим выводам результаты.

Личный вклад соискателя заключается в выдвижении гипотезы, базирующейся на применении метода энергетического анализа в исследовании показателей надежности и ресурса элементов колесного тормозного механизма, в определении направления и проведении экспериментальных исследований, разработке программно-технического комплекса сбора данных, написании программного кода, разработке математических моделей, обработке результатов эксперимента и написании научных трудов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на: II Международной научной конференции молодых ученых «Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения», г.

Гродно, р. Беларусь, 25 мая 2018 г., XX международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств», г. Владимир. 22-23 ноября 2018 г., LXXVIII студенческой международной научно-практической конференции. №6(77), г. Новосибирск, июнь 2019 г., XXIII международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств», г. Владимир. 18-19 ноября 2021 г., международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования современных проблем развития России: междисциплинарные исследования как драйвер трансформации науки», г. Санкт-Петербург, 17 февраля 2022 г., IX-ой международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», г. Орел, 18 мая 2023 г., XXV международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств», г. Владимир. 23 ноября 2023 г., X-ой международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», г. Орел, 22-24 мая 2024 г., 83 международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, г. Москва, 27 января – 31 января 2025 года, XI-ой международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», г. Орел, 22-24 мая 2025 г.,

В опубликованных работах автору принадлежат основные научные идеи, теоретические и расчетно-прикладные разработки, заключения и выводы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор безопасности дорожного движения в России и за рубежом

Вопрос о безопасности дорожного движения обращает на себя особенное внимание, связанное с тяжелыми последствиями при ДТП. На количество ДТП оказывает влияние увеличение парка автомобилей и изменение условий эксплуатации. В последние десятилетия качество автомобильных дорог значительно улучшилось. Появляются все больше платных дорог, движение на которых устанавливается с повышенным скоростным режимом. Развиваются наземные транспортные пути сообщения между регионами, находящиеся на больших расстояниях друг от друга. Улучшенная дорожная инфраструктура позволяет эксплуатировать автомобили на более высоких нагрузках (высокий скоростной режим, высокое значение количества оборотов двигателя), которые приводят к торможению в высоких энергонагруженных режимах работы TopC. Увеличение транспортных узлов со светофорным регулированием, пешеходных переходов влияет на скоростную динамику автомобиля и, в частности на TopC от технического состояния которой во многом зависит безопасность дорожного движения.

Как сообщает источник [1], смертность на Европейской территории из-за ДТП с каждым годом уменьшается, но остается на высоком уровне. Одной из самой распространенной причиной гибели населения в возрасте от 5 до 30 лет является ДТП. Анализ безопасности дорожного движения показывает, что в нашей стране принимаются соответствующие меры по снижению смертности в ДТП, но этот показатель находится все еще на высоком уровне (рис. 1.1)

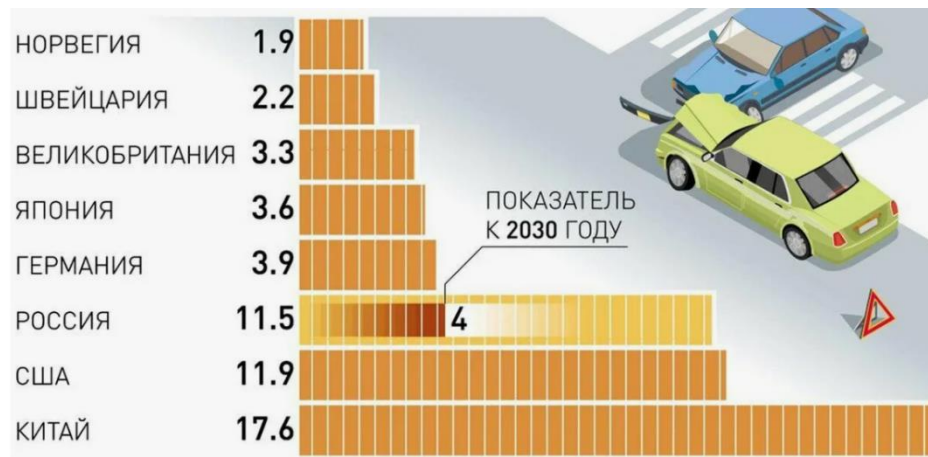


Рисунок 1.1 – Смертность от ДТП в странах мира на 100 тыс. населения

Категории граждан, которые больше всего гибнут в дорожных происшествиях, согласно статистическим данным, отражены на рисунке 1.2.

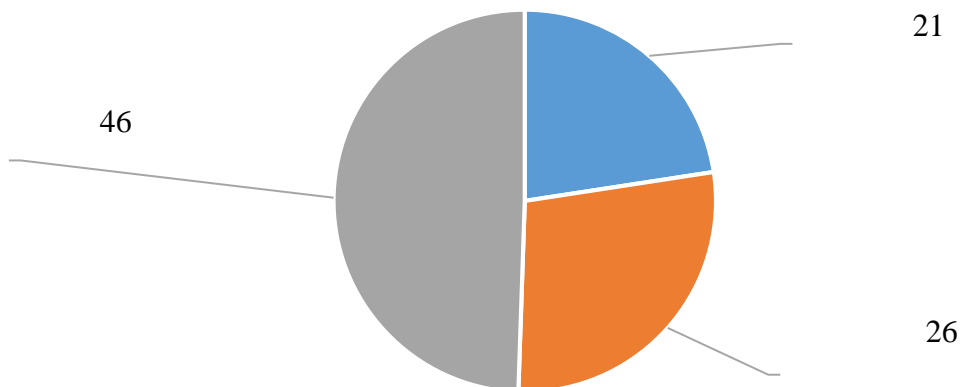


Рисунок 1.2 - Распределение погибших лиц в ДТП в Европе

Еще 10 лет назад в России в ДТП было зафиксировано погибших 23167 человек. За 2024 году количество смертельных исходов уменьшилось почти в полтора раза и составляет 14412 человек. Более 83 % погибших являются мужчины. Статистические данные свидетельствуют, что вина в ДТП лежит на водителях: 17 % водителей со стажем более 15 лет; 15% со стажем от 10 до 15 лет; 14% со стажем от 5 до 10 лет; 13 % со стажем от 15 до 20 лет; по 11% со стажем от 20 до 25 лет и от 2 до 5 лет; по 9,5% со стажем от 25 до 30 лет и от 0 до 2 лет.

Наибольшее количество погибших в ДТП зафиксировано за 2025 г в следующих регионах Российской Федерации:

Краснодарский край – 789 человек;

Московская область – 649 человек;

Ростовская область – 500 человек.

Одна из главных причин такой статистики по смертности граждан в ДТП, является повышенный скоростной режим, который связан с процессом торможения.

Превышение скорости является доминирующей причиной нарушения правил дорожного движения. По статистическим данным 17% от всех автомобильных аварий происходит по причине несоблюдения водителями скоростного режима на дорогах. Чем выше скорость, тем динамичнее необходимо остановиться, чтобы обеспечить безопасность. Процесс торможения зависит от технического состояния ТС, которая состоит из множества элементов. С точки зрения системного анализа безотказность каждого элемента ТС формирует безотказность всей системы. Нарушение скоростного режима дорожного движения стоит на первом месте причин ДТП, в которых имеются погибшие граждане [2].

В российской федерации преобладающую часть всех ДТП происходит по вине легковых автомобилей (рисунок 1.3). Доля погибших граждан в ДТП по вине легковых автомобилей составляет 84%, что является беспрецедентным показателем.

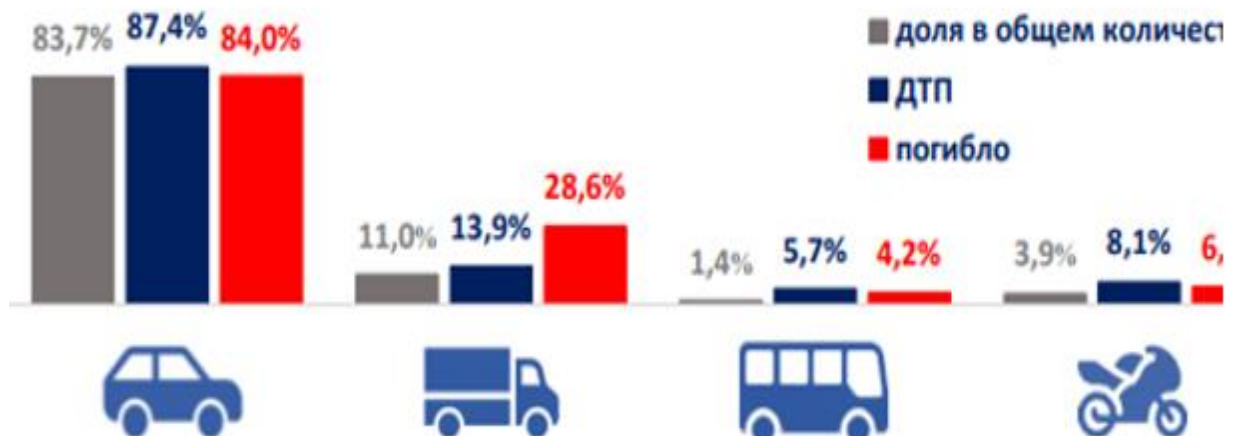


Рисунок 1.3 – Удельный вес количества транспортных средств по видам и удельный вес ДТП и погибших

Информационно-аналитический обзор дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации за последние 5 лет показывает, что среди основных причин ДТП с погибшими гражданами, всегда присутствует техническая неисправность транспортных средств. На долю ДТП из-за технической неисправности приходится от 4 до 5,5 % от общего количества. Утрата работоспособности тормозной системы легкового автомобиля является причиной 40-45% ДТП из-за технической неисправности и 15% погибших в таких происшествиях (рисунок 1.4).

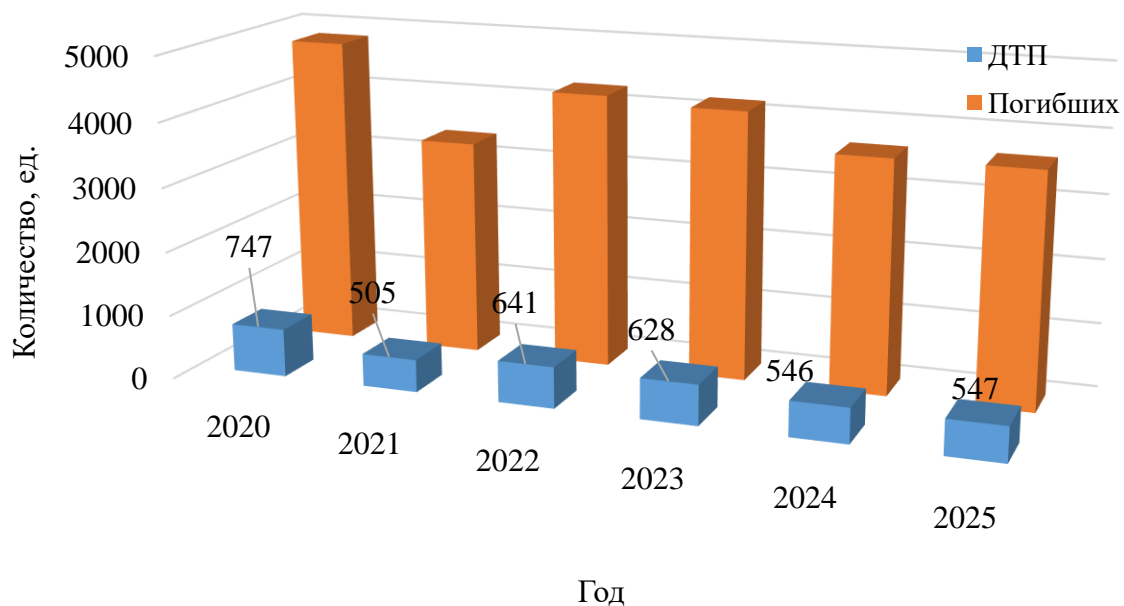


Рисунок 1.4 –Смертность в ДТП из-за утраты работоспособности ТормС легковых автомобилей

Количество погибших людей (рисунок 1.4) в ДТП из-за утраты безотказности ТормС легковых автомобилей в год в среднем значении составляет 602 человека, что является достаточно высоким показателем.

Для повышения безопасности дорожного движения со стороны государства РФ применяются различные способы, средства и программы [3, 4, 5]. Выполнение поставленных задач нормативно-правовых программ, направленных на повышение безопасности дорожного движения, снизили показатели ДТП, которые отражены на рисунке 1.5.

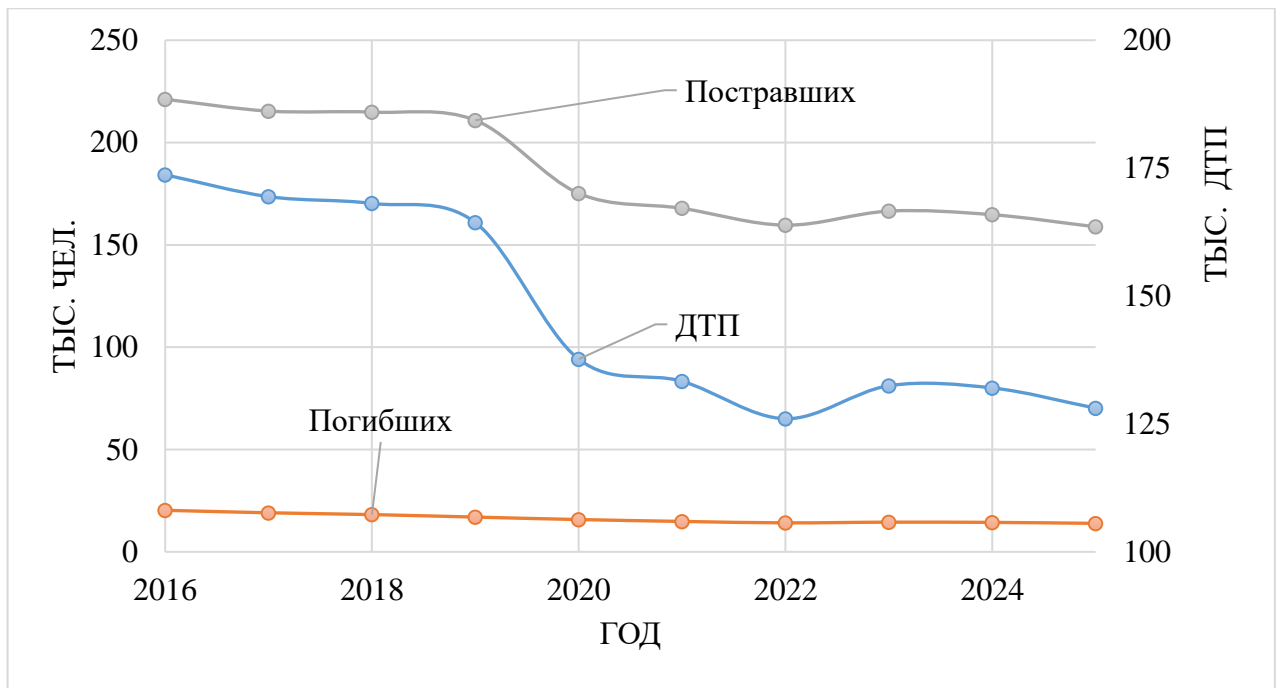


Рисунок 1.5 – Обзор безопасности дорожного движения в России

По данным аналитического агентства безопасности дорожного движения в России количество ДТП ежегодно снижается. При проведении более глубокого анализа рисунка 1.5 и статистических данных, установлено, что тяжесть ДТП не имеет схожей динамики изменения с их количеством. Результаты анализа представлены на рисунке 1.6.

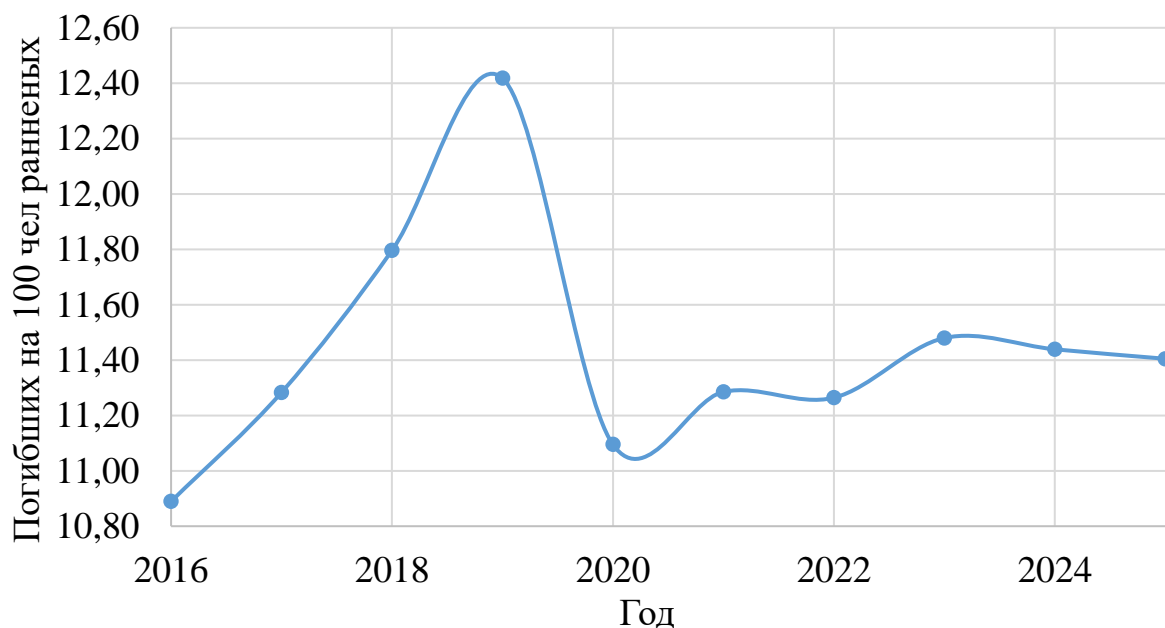


Рисунок 1.6 – Тяжесть ДТП в России

Изменение тяжести последствий ДТП имеет колебательный характер. Характер изменения тяжести ДТП в сравнении с динамикой снижения количества ДТП предполагает более глубокую проработку вопроса обеспечения безопасности дорожного движения. Безопасность дорожного движения в значительной мере зависит от корректной оценки технического состояния элементов ТопС с возможностью прогнозирования их остаточного ресурса.

Изменение тяжести ДТП оказывает влияние на экономический аспект деятельности автовладельцев. В соответствии с законодательством РФ о обязательном страховании транспортных средств [6, 7], стоимость страхования регулярно увеличивается, в том числе из-за утраты коэффициента бонус-малус (КБМ). По данным страховых компаний основная часть страховых премий приходится на легковые автомобили физических лиц (рисунок 1.7).

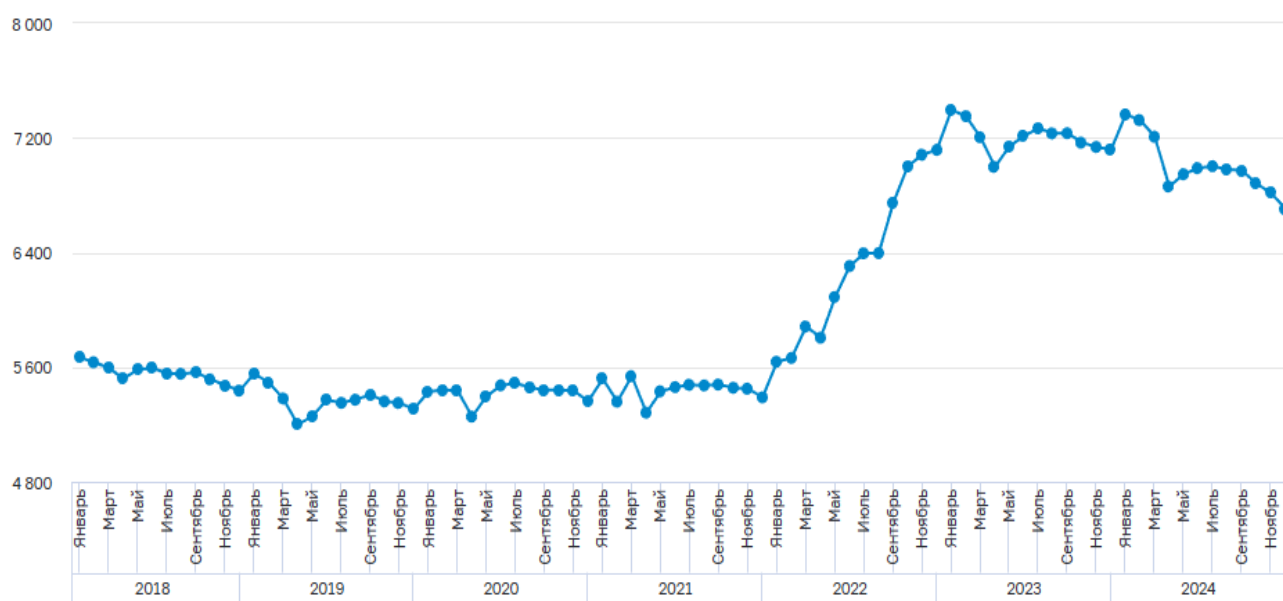


Рисунок 1.7 - Средняя премия по легковым автомобилям физических лиц, руб.

В соответствии с рисунком 1.7, показатели стоимости страхования транспортного средства с 2022 году резко возрастают, что влечет за собой дополнительную финансовую нагрузку на автовладельцев, которые также несут ответственность за техническое состояние эксплуатируемых транспортных средств.

1.2 Влияние социально-экономической обстановки на техническое состояние автотранспортных средств

Сложившаяся кризисная ситуация еще в 2022 году в России и в мире в целом отражается на экономических показателях жизнедеятельности населения. Все собственники, эксплуатирующие автомобили, обязаны выполнять требования законодательных актов, предъявляемых к техническому состоянию автомобилей и нести ответственность по расходам, связанных с обеспечением автомобилей в работоспособном состоянии [8, 9].

По анализу структуры парка легковых автомобилей определено, что на 01 января 2026 года 67,7 % парка составляют автомобили зарубежных марок. Производство автокомпонентов и запасных частей для таких автомобилей осуществляется за пределами границ Российской Федерации. С учетом усложнения логистических маршрутов, стоимость доставки увеличилась, что повлекло за собой увеличение итоговой стоимости запасных частей. Предпосылки по увеличению покупательской способности автовладельцев в кризисных условиях практически отсутствуют. Следовательно, уровень затрат на техническое обслуживание повышается. Динамика изменения стоимости запасных частей представлена в таблице 1.1 [10, 11, 12].

Таблица 1.1 – Изменения стоимости запасных частей

№ п/п	Наименование запчастей	Цена в январе 2022 года, руб.	Цена в январе 2026 года, руб.	Увеличение цен, %
<i>Hyundai, Kia</i>				
1.	Фильтр воздушный <i>LYNXauto</i>	634	800	126
2.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	590	1970	334
3.	Фильтр салона угольный <i>LYNXauto</i>	716	1485	207
4.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	525	999	190
5.	Фильтр масляный <i>LYNXauto</i>	534	701	131
6.	Колодки тормозные передние <i>KIA/ Hyundai</i>	2633	7911	300
7.	Колодки тормозные задние <i>KIA/ Hyundai</i>	1848	4520	245

Продолжение таблицы 1.1

8.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>PROFI SN/CF NGN</i> , 1 л	874	1222	140
<i>BMW</i>				
9.	Фильтр воздушный <i>Mann</i>	2324	2032	87
10.	Фильтр воздушный <i>LYNXauto</i>	1142	824	72
11.	Фильтр салона угольный <i>LYNXauto</i>	1289	1184	92
12.	Вставка фильтра масляного <i>LYNXauto</i>	1716	1305	76
13.	Колодки тормозные дисковые, задние, <i>LYNXauto</i>	1944	2521	130
14.	Колодки тормозные дисковые, передние, <i>LYNXauto</i>	3278	5337	163
15.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>EMERALD C3</i> 1л (<i>Volkswagen, Audi, Seat</i>)	1342	1878	140
16.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>EXCELLENCE DXS SN/CF</i> 1л <i>NGN</i>	1413	1584	112
Услуги				
17.	Замена масла	690	1000	145
18.	Замена колодок	1036,48	2900	280
19.	Замена воздушного фильтра	229,98	600	261
20.	Фильтр салона - замена	491,45	650	132

Анализ данных таблицы показывает, что для запасных частей корейских автомобилей наибольшее увеличение стоимости пришлось на элементы тормозной системы, которая в технической эксплуатации автомобилей является одной из главной составляющей безопасности дорожного движения.

По данным аналитического агентства Автостат, ежегодный рост стоимости запасных частей легковых автомобилей составляет от 10 до 15%, что отражается на итоговой стоимости обеспечения работоспособного состояния автомобиля.

Увеличение стоимости технического обслуживания автомобилей заставляет автовладельцев искать способы экономить финансовые средства на запасных частях и технических воздействиях. По данным предприятий автосервиса

автовладельцы все чаще пользуются услугами автосервиса только когда уже произошёл отказ элемента какой-либо системы, стараясь сэкономить на техническом обслуживании. Состояние элементов ТормС в эксплуатации при экономии на техническом обслуживании в соответствии с регламентом и предупредительном ремонте показаны на рисунке 1.8



Рисунок 1.8 – элементы ТормС в эксплуатации с неправильной оценкой остаточного ресурса

Представленные на рисунке 1.8 элементы ТормС, свидетельствуют, что их эксплуатация продолжалась после достижения предельного значения остаточной толщины, установленного заводом изготовителем, что не допустимо. В связи с чем объективная оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса элементов ТормС является актуальной задачей.

1.3 Сущность физико-технических процессов и их влияние на техническое состояние тормозной системы

Тормозная система является одной из главных систем активной безопасности автомобиля. Работа ТормС заключается в реализации искусственно созданной силы трения пары колодка-диск при движении автомобиля. Основным физическим процессом при взаимодействии тормозных колодок с тормозным диском является

изнашивание. Изнашиванием называют процесс разрушения и отделения материала поверхности элементов при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров.

Физическая сущность изнашивания элементов ТопС заключается в том, что при относительном перемещении поверхностей тормозных колодок и дисков в области их контакта возникают механические и молекулярные связи, сопровождающиеся тепловыми, окислительными и другими эффектами. Возникшие связи и их разрыв приводят к изменению микрообъемов поверхностного слоя фрикционного материала, т.е. молекулярно-механическому изнашиванию.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при схватывании) проявляется в результате молекулярного взаимодействия поверхностей элементов ТопС. Характерными признаками его проявления являются схватывания, перенос частичек металла с одной из сопряженных поверхностей на другую.

В процессе изнашивания исходный (технологический) рельеф поверхности тормозных колодок и тормозных дисков преобразуется в эксплуатационный (рис. 1.9 а). При реализации процесса разрушения поверхностных слоев ТК и ТД при торможении устанавливается соответствующая этому процессу шероховатость. Во время взаимодействия тормозных колодок и дисков при торможении происходит ряд физико-химических процессов:

- снятие тончайших слоев взаимодействующих поверхностей (микрорезание);
- смятие отдельных микронеровностей (пластическая и упругопластическая деформация);
- усталостное выкрашивание микронеровностей в результате многократного упругого их деформирования;
- изменение структуры металла, повышение его хрупкости при нагрузках, вызывающих высокие локальные температуры;

– молекулярное взаимодействие поверхностей, заключающееся в сращивании отдельных участков контакта микронеровностей и в переносе частичек металла с одной поверхности на другую, и др.

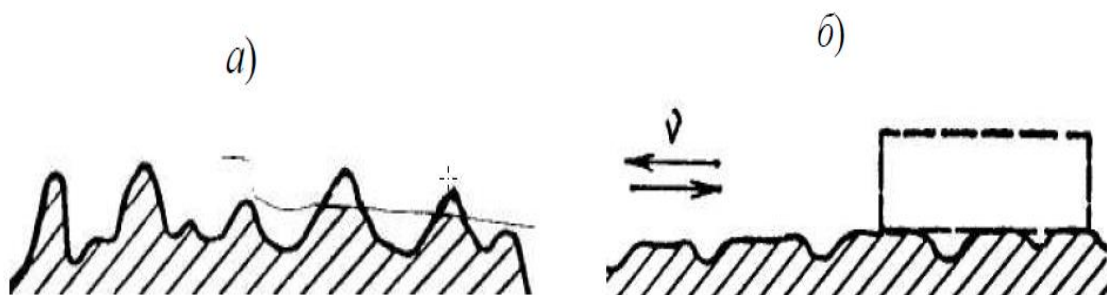


Рисунок 1.9 – Преобразование исходного рельефа в эксплуатационный

Изнашивание рабочих тел элементов ТМ является стадийным процессом, который может быть подразделен на три периода (рис. 1.10).

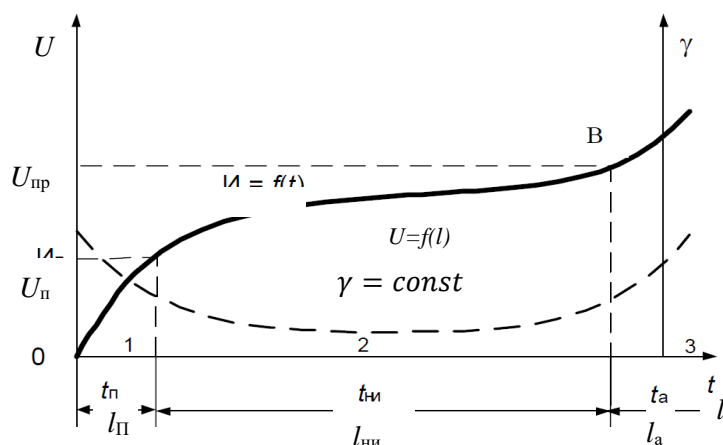


Рисунок 1.10 - Кривая изнашивания поверхностей тормозных колодок и тормозных дисков:

$l_{\text{П}}$ – период приработки; $l_{\text{НН}}$ – период нормального изнашивания; $l_{\text{а}}$ – аварийное изнашивание; $U_{\text{П}}$ – износ за период приработки; $U_{\text{пр}}$ – предельный износ; $U = f(l)$ – кривая износа; $\gamma = f(t)$ – скорость изнашивания.

В первый период ($l_{\text{П}}$) осуществляется микро- и макрогеометрическая приработка поверхности трения деталей и в некоторой степени стабилизируются показатели их технического состояния. Происходит разрушение микронеровностей поверхностей трения деталей. В этот период скорость изнашивания монотонно убывает до значения $\gamma = \text{const}$, характерного для периода $l_{\text{НН}}$ установившегося (нормального) изнашивания. Если нет причин, изменяющих параметры

установившегося процесса изнашивания, то он протекает стационарно, и возможные отклонения от средней скорости процесса за счет его стадийности не влияют на общую линейную зависимость износа от наработки.

Третий период характеризует наступление аварийного изнашивания, когда резко возрастает интенсивность процесса. Его наступление связано, как правило, с изменением вида изнашивания в результате активизации факторов, влияющих на процесс и зависящих от степени износа. Происходит рост микронеровностей, возникают условия для схватывания и молекулярно-механического изнашивания. Интенсивность отказов резко возрастает, а вероятность безотказной работы снижается до минимума. Эксплуатация машин в этот период становится опасной из-за недостаточной прочности деталей.

Линейная зависимость между износом элементов TopC и наработкой для установившегося режима, типичного для нормальных условий эксплуатации и имеет вид:

$$U = \gamma l, \quad (1.1)$$

где U – линейный износ, т.е. изменение размера детали, измеренное в направлении, перпендикулярном к поверхности трения;

γ – скорость изнашивания, мм/км;

l – наработка, км.

С учетом приработки эта зависимость выглядит следующим образом:

$$U = U_{\text{п}} + \gamma l, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{п}}$ – износ за период приработки, мм.

Трение в технических системах имеет как положительное, так и отрицательное значение. Положительную роль оно играет в таких элементах конструкций, как тормозные механизмы, принцип действия которых основан на использовании трения. Отрицательное влияние трения проявляется в виде сопротивления движению, приводящее к бесполезному рассеиванию энергии и

нагреву узлов трения и в виде технологического процесса изнашивание деталей, влияющих на способность выполнения требуемых функций автомобиля.

Виды трения:

- по наличию относительного движения (трение движения, трение покоя);
- характеру относительного движения (трение скольжения, трение качения);
- наличию смазочного материала (трение без смазки, трение со смазкой).

Трение представляет собой сложный физико-химический процесс, зависящий от силы воздействия на поверхность деталей при взаимодействии, свойств материала, из которого изготовлены сопряженные элементы, наличия и вида смазки, состояния поверхностей трущихся тел и т.п.

В момент взаимодействия пары трения тормозная колодка-тормозной диск образуется трение движения без применения смазки – сухое трение скольжения. Сухое трение скольжения влияет на геометрические параметры элементов тормозного механизма, а именно на толщину рабочих тел – структурный параметр тормозных колодок и тормозных дисков. В соответствии с теорией надежности технических систем структурный параметр имеет номинальное, допустимое и предельное значения [13, 14, 15, 16].

Предельное значение структурного параметра соответствует предельному состоянию, которое характеризует выход изделия из области работоспособности. Для тормозных колодок и тормозных дисков предельные значения структурного параметра устанавливаются нормативно-технической документацией завода изготовителя и оцениваются с учетом результата изнашивания - износа.

Для элементов ТормС износ является количественной характеристикой, значение которой необходимо контролировать в соответствии с рекомендациями автопроизводителей с целью обеспечения требуемого уровня безотказности тормозной системы.

1.4 Причины возникновения отказов элементов тормозной системы

При эксплуатации автомобиля возникают физические и химические процессы. Указанные процессы оказывают особое влияние на техническое состояние элементов тормозной системы (изнашивание тормозных колодок и дисков, загрязнение, старение, коррозионное разрушение направляющих пальцев тормозного суппорта, тормозных поршней, контактов датчиков АБС), являющейся составляющей активной безопасности автомобиля. Все перечисленные процессы, оказывающие влияние на безотказность тормозной системы, можно разделить группы: механические, тепловые, химические и электрические.

Механические процессы возникают в результате преобразования потребляемых источников энергии и воздействуют на сопряженные детали тормозной системы в виде силовых нагрузок. При относительном перемещении таких деталей в местах их контакта возникают механические и молекулярные связи, разрыв которых приводит к разрушению и удалению микрообъемов материала поверхностных слоев деталей, т.е. изнашиванию. Изнашиванию подвергаются практически все исполнительные элементы тормозной системы: тормозные колодки и диски, направляющие пальцы суппорта, тормозные цилиндры и т.д.

Тепловые процессы возникают в конструктивных элементах автомобиля, работающих в условиях возникновения температурных нагрузок. В автотранспортной технике такие условия возникают и в тормозной системе, основной системы обеспечения активной безопасности автомобиля. В процессе торможения современные тормозные механизмы нагреваются до температуры от 100 до 150 °С, а при экстренных торможениях и выше. Тепловая энергия выделяется за счет трения тормозных колодок с дисками или барабанами.

Тепловому воздействию подвержены практически все конструктивные элементы тормозного механизма (колодки, диски, барабаны, суппорт, направляющие пальцы суппорта, пыльники направляющих пальцев и тормозных поршней и т.д.), так как они являются сопряженными деталями или

устанавливаются непосредственно на конструктивные элементы, подверженные температурным нагрузкам.

Химические процессы наблюдаются при взаимодействии материалов конструктивных элементов технических систем с агрессивными компонентами внешней среды (влажностью, температурой окружающего воздуха, химически активными компонентами и др.). Такое взаимодействие вызывает коррозионное разрушение, характерное для большого количества металлических деталей автомобиля [17, 18, 19]. Наибольшему влиянию химических процессов подвержены следующие элементы тормозной системы: тормозная колодка, диск, барабан, пыльники направляющих пальцев – тормозной механизм.

Электрические процессы возникают в деталях электрооборудования автомобилей и электронных системах управления работой их агрегатов и узлов. Появляющиеся в результате действия электрической энергии повреждения связаны, прежде всего, с электроэрозионным изнашиванием различного рода электрических контактов (датчики и реле антиблокировочной системы и пр.0-ш).

В реальных условиях эксплуатации, вследствие постоянных изменений нагрузок, скоростей, температурных колебаний, степень воздействия окружающей среды на конструктивные элементы ТопС сопровождается одновременно несколькими процессами, оказывающие влияние на снижение ее безотказности. Типичным примером может служить искривление тормозного диска в процессе торможения при резком охлаждении в момент нагрева, заедание направляющих пальцев и поршней из-за появления коррозии на трущихся поверхностях и т.д.

Функционирование тормозной системы сопровождается механическими и электрическими процессами. В элементах тормозной системы протекают процессы отвода тепла, изменение размеров и неупругих деформаций и т.д. Эти процессы бывают обратимыми и необратимыми.

В случае обратимых процессов, вызывающих сбой или неустойчивую работу, параметры изделий восстанавливаются до первоначальных значений. К необратимым относятся процессы изнашивания деталей или их старения. При

изнашивании происходит процесс необратимых изменений параметров из-за трущихся между собой конструктивных элементов ТопС в процессе эксплуатации.

На рисунке 1.11 показаны основные причины возникновения эксплуатационных отказов элементов ТопС.

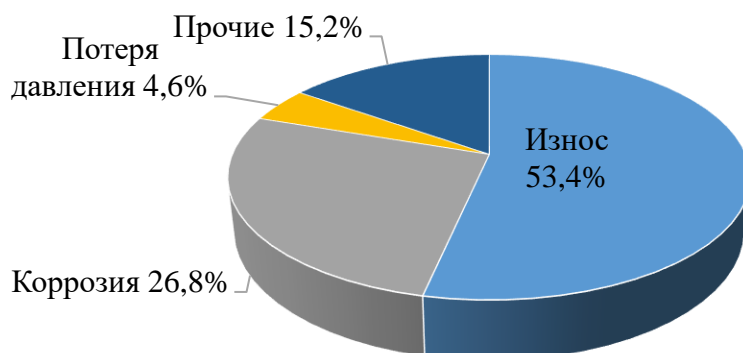


Рисунок 1.11 – Диаграмма распределения основных причин эксплуатационных отказов элементов тормозной системы

Воздействие перечисленных процессов приводит к возникновению в конструктивных элементах ТопС различного рода повреждений и неисправностей (табл. 1.2). При проведении научного исследования работы ТопС автором предлагается разделить ТопС на три подсистемы: подсистема 1 «Орган управления»; подсистема 2 «Гидравлический привод» и подсистема 3 «Исполнительный орган».

Таблица 1.2 – Основные отказы элементов подсистем ТопС

№ п/п	Элемент ТопС	Причины возникновения отказа элемента	Характер отказа
1	2	3	
Подсистема 1 «Орган управления»			
1.	Педаль тормоза	Разрушение	
Подсистема 2 «Гидравлический привод»			
2.	Гидроблок АБС	Износ клапанов, старение контактов клапанов.	Потеря герметичности
3.	Датчик АБС	Окисление контактов, деформации при монтаже, загрязнение чувствительного элемента датчика.	Потеря сигнала

Продолжение таблицы 1.2

4.	Главный тормозной цилиндр	Износ золотника	Потеря герметичности
5.	Вакуумный усилитель	Разрыв диафрагмы, отсутствие соединения с впускным коллектором, погнутый шток.	Превышение нормативного значения усилия на педаль
6.	Тормозные трубки	Деформации при ТО системы, коррозия штуцеров, старение.	Потеря герметичности
7.	Тормозные шланги	Обрыв, коррозия штуцеров, старение.	Потеря герметичности
8.	Бачок тормозной жидкости	Трещины, старение	Потеря герметичности
Подсистема 3 «Исполнительный орган»			
9.	Тормозная колодка	Износ, заедание в посадочных местах, отсоединение фрикционного рабочего слоя.	Потеря безотказности
10.	Тормозной диск	Износ, трещины, сколы, биение.	Потеря безотказности
11.	Тормозной барабан	Износ, загрязнение рабочей поверхности, эллипсность, трещины, сколы.	Потеря безотказности
12.	Направляющие пальцы суппорта	Коррозия, отсутствие смазки, перегрев, износ, загрязнение, заедание в канале скобы, облом при ТО.	Снижение прижимной силы ТК
13.	Плавающая скоба суппорта	Износ в каналах направляющих пальцев, перегрев, трещины сколы, заедание направляющих пальцев суппорта.	Снижение прижимной силы ТК
14.	Тормозной поршень рабочего цилиндра	Износ и коррозия боковых наружных стенок, заедание.	Снижение прижимной силы ТК
15.	Пыльник направляющего пальца суппорта	Износ, температурные нагрузки, чрезмерное количество смазки, установка не в посадочные места.	Попадание частиц агрессивной среды
16.	Пыльник тормозного поршня рабочего цилиндра	Износ, неправильная установка в посадочные места	Попадание частиц агрессивной среды

Из таблицы 1.2 следует, что основными причинами отказов элементов тормозной системы являются износ и коррозия элементов третьей подсистемы (тормозного механизма).

Для 2 подсистемы ТопС (тормозные трубки, шланги и пр.) характер отказа заключается в потере герметичности. В соответствии с требованиями нормативно-правовых документов [20, 21] при обнаружении запотевания, микротрещин, течей

тормозной жидкости назначается замена элементов. Техническое состояние элементов гидравлического привода ТопС не оцениваются структурными параметрами. Работоспособность элементов гидравлического привода ТопС обеспечивается заменой элемента при отказе (запотевания, микротрещины, течи тормозной жидкости) в процессе технического обслуживания. Результаты проведенного анализа неисправностей ТопС отражены на рисунке 1.12.

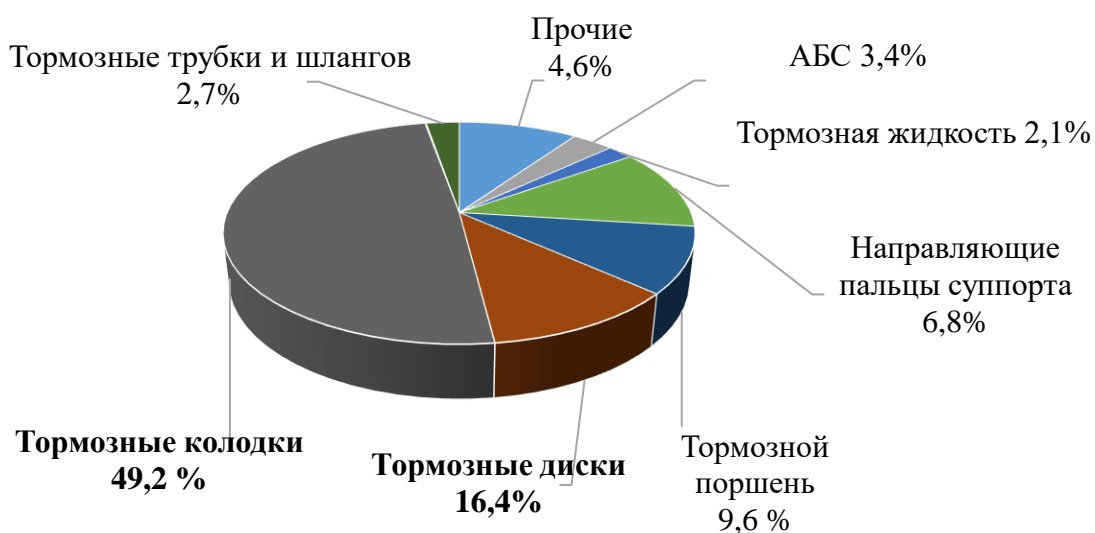


Рисунок 1.12 – Неисправности элементов ТопС

Рисунок 1.12 позволяет сделать вывод, что лимитирующими надежность ТопС являются ТК и ТД.

Выводы по главе

В данной главе рассмотрено состояние безопасности дорожного движения в России и за рубежом. Анализ безопасности дорожного движения позволил сделать вывод, что с каждым годом количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях в России уменьшается, но тяжесть последствий не имеет такой тенденции к снижению как ДТП. За 2025 год не изменилось количество ДТП со смертельным исходом из-за потери работоспособности ТопС. В некоторые периоды значение показателя тяжести последствий ДТП имеет рост, что требует более детально прорабатывать вопрос безопасности дорожного движения.

Сложившаяся мировая экономическая ситуация, в том числе и в Российской Федерации в области автомобильной индустрии оказывает дополнительное финансовое давление на автовладельцев. Из-за повышения стоимости автомобильных запчастей и услуги автомобильного комплекса, отсутствия регулярного периодического государственного технического осмотра обеспечение безотказности автомобиля не контролируется в строгом соответствии с нормативными актами.

Тормозная система является основной составляющей в обеспечении безопасности дорожного движения. От технического состояния элементов ТопС зависит безотказность и эффективность всей системы, а, следовательно, и безопасность дорожного движения. Главным физическим процессом, оказывающим влияние на техническое состояние элементов ТопС, является изнашивание. Изнашивание происходит вследствие трения, которое носит положительный характер при выполнении работы тормозной системой. Изнашивание рабочих тел элементов ТопС при трении осуществляется за определенной ресурс (пробег). В связи с вышеизложенным вопрос исследования ресурса элементов активного износа (тормозные колодки, тормозные диски) является актуальным.

В ходе проведение анализа причин возникновения неисправностей элементов ТопС определено, что основными причинами утраты безотказности являются износ и коррозия. Установлено, что более 80% отказов приходится на штатные колесные ТМ. Основная доля причин связана с отказами ТК и ТД. Для элементов гидравлического привода, доля причин утраты работоспособности которых составляет менее 3 %, в соответствии с требованиями НТД применяется стратегия обеспечения безотказности путем его замены при появлении микротрещин, запотеваний и течи. Техническое состояние элементов ТМ имеет решающее значение в оценке эффективности работы всей ТопС. Рассмотренные причины и неисправности оказывают преобладающее влияние на изменение технического состояния элементов ТМ, оценка которого рассматривается в главе 2.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

2.1 Методы диагностирования тормозной системы автомобиля

Активное внедрение электронных компонентов в технические системы автомобилей, в том числе в TopC позволяют более оперативно выполнять комплекс мероприятий, направленных на выявление неисправностей при эксплуатации транспортных средств, тем самым обеспечивая требуемый уровень безотказности. Наличие встроенных средств диагностики значительно сокращает трудоемкость диагностирования при выполнении технического обслуживания, что отражается на повышении технической эксплуатации автомобилей. Для тормозных колодок, такими средствами являются встроенные индикаторы (датчики) износа фрикционного материала [22, 23, 24, 25, 26]. В большинстве случаев на тормозные колодки устанавливают датчики износа механического типа (рисунок 2.1). Такой диагностический элемент представляет собой металлическую пластину, определенной длины, установленной на уровне минимально допустимого износа накладки тормозной колодки.

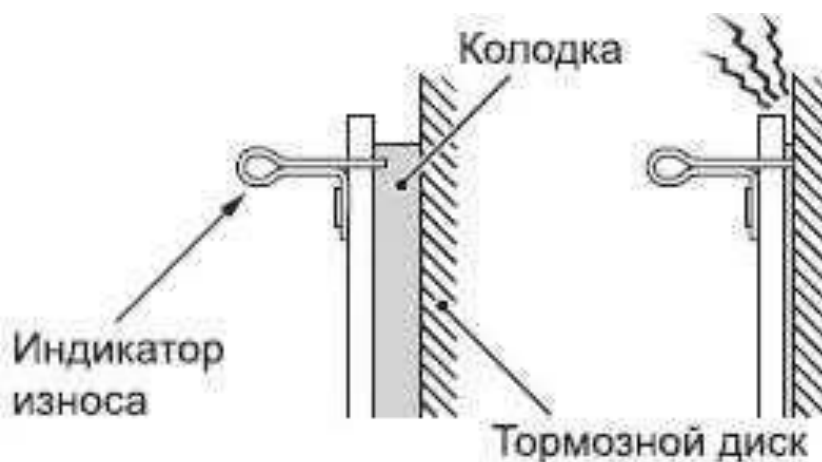


Рисунок 2.1 Устройство и принцип работы датчика износа фрикционной накладки тормозной колодки с механическим индикатором

При достижении предельного значения остаточной толщины рабочего тела тормозной колодки, индикатор износа соприкасается с тормозным диском и происходит трение металлического индикатора с металлическим тормозным

диском, при котором проявляется характерный звук, указывающий на необходимость замены такой тормозной колодки. Главным преимуществом механического датчика является простота конструкции. Недостатками служат: а) возможность повреждения механического индикатора при транспортировании и установке в тормозной механизм; б) воздействие агрессивной среды между концом индикатора и диском, которое может способствовать подаче ложного сигнала; в) контактирование механического индикатора с тормозным диском оказывает отрицательное влияние на техническое состояние тормозного диска.

Более редкие датчики износа – с электрической сетью (рисунок 2.2). Определение предельного износа фрикционного материала накладке происходит за счет подачи сигнала электронным датчиком в момент его соприкосновения с тормозным диском, когда электрическая цепь замыкается. Датчик подключен к электрической цепи автомобиля 12 В. Ток в цепи постоянный. Цепь разомкнута, предельный износ накладки еще не достигнут и датчик находится на расстоянии от тормозного диска.

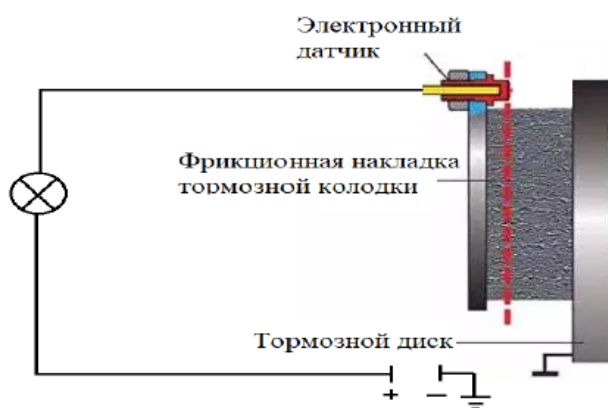


Рисунок 2.2 Устройство и принцип работы тормозной колодки с электронным датчиком износа

При предельном износе накладки цепь замыкается, подается сигнал от датчика на контрольную лампу на панели приборов в салоне автомобиля, и она загорается. Преимуществом использования такого датчика является отсутствие звукового эффекта в момент соприкосновения сердечника датчика с диском, информативность о наступлении предельного износа.

Для таких элементов тормозного механизма, как тормозные диски, конструктивным параметром, определяющим его безотказность, является толщина рабочего тела. Для тормозного диска заводами изготовителями установлено предельно-допустимое значение остаточной толщины. Дополнительным параметром, от которого зависит безотказность тормозного диска, является биение. При нагреве до высокой температуры, а потом резком охлаждении прямолинейность площади тормозного диска может значительно нарушаться. В случае, когда значение биения тормозного диска превышает значение, установленное автопроизводителем, эксплуатация такого элемента тормозной системы запрещена. Для определения значения биения применяют специальный прибор – индикатор (рисунок 2.3).

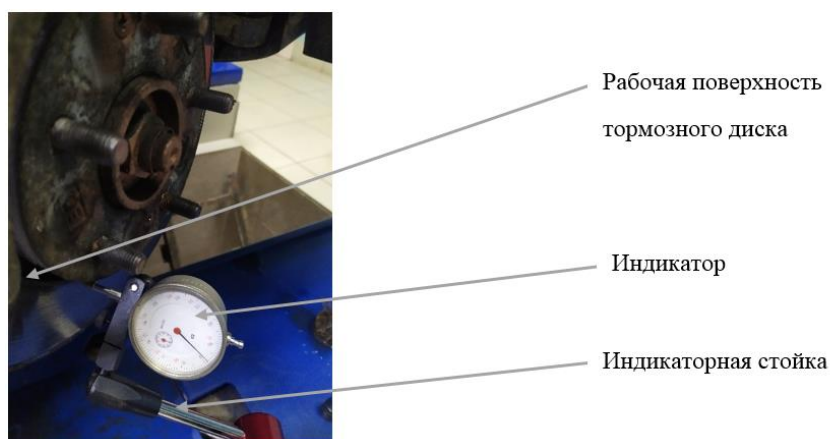


Рисунок 2.3 – Измерение биения тормозного диска индикатором

Индикатор позволяет оценить прямолинейность рабочей поверхности тормозного диска, от которой также зависит способность тормозного диска выполнять свои функции.

Техническое состояние других элементов ТормС влияет на эффективность работы тормозной системы при торможении. Эффективность торможения – это свойство, характеризующее способность тормозной системы создавать необходимое искусственное сопротивление движению в продольном направлении автомобиля. Для оценки эффективности торможения разработаны специальные роликовые тормозные стенды (рисунок 2.4) [20, 27, 28, 29, 30, 31].



Рисунок 2.4 – Роликовый тормозной стенд

Роликовые тормозные стенды позволяют оценить эффективность взаимодействия всех элементов тормозной системы. В соответствии с нормативно-технической документацией [20, 32] рабочая тормозная система должна обеспечивать значения основных параметров в установленных пределах, определяемые следующими выражениями:

- I) удельная тормозная сила:

$$\gamma_T = \frac{\sum_{i=1}^{2N} P_{Ti}}{\sum_{i=1}^{2N} G_i}, \quad (2.1)$$

где P_{Ti} — тормозная сила i -го колеса, Н;

G_i — вертикальная реакция опорной поверхности на i -е колесо в момент регистрации i -й тормозной силы для стендов, оборудованных весоизмерительными средствами, или зарегистрированная при неподвижных колесах для стендов, не оборудованных весоизмерительными средствами;

N — число осей автомобиля.

Удельная тормозная сила – это отношение суммы тормозных сил на колесах колесных транспортных средств (КТС) к весу КТС.

Суммарная вертикальная реакция G_Σ на опорной поверхности колеса в снаряженном состоянии m_c автомобиля по справочным данным определяется как:

$$G_\Sigma = g m_c, \quad (2.2)$$

где g — ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

- II) Относительная разность F , %, тормозных сил колес оси рассчитывают для каждой оси по результатам измерения тормозных сил P_T на колесах в момент достижения порога проскальзывания опережающим колесом оси:

$$F = \frac{P_{T.\text{пр.}} - P_{T.\text{лев.}}}{P_{T.\text{max}}} 100, \quad (2.3)$$

где $P_{T.\text{пр.}}$ — тормозная сила правого колеса проверяемой оси, Н;

$P_{T.\text{лев.}}$ — тормозная сила левого колеса проверяемой оси, Н;

$P_{T.\text{max}}$ — наибольшая из указанных тормозных сил, Н.

Еще одним требованием является усилие на педаль тормоза водителем в момент торможения. При испытаниях тормозной системы на роликовом стенде применяется датчик усилия на органе управления – педаметр. Для легковых автомобилей категории М1 удельная тормозная сила не должна иметь значение меньше 0,50, относительная разность тормозных сил колёс оси с дисковыми тормозными механизмами (ТМ) не более 20% и с барабанными ТМ не более 25 %, а значение усилия на педали тормоза не должно превышать 490Н [20, 32]. Ввиду высокой стоимости и больших габаритных размеров роликовые стенды применяются в основном на крупных станциях технического обслуживания или при отсутствии возможности проведения дорожного испытания тормозной системы в соответствии с нормативными требованиями. Для оценки эффективности работы ТопС применяются мобильные экспресс средства диагностирования: «Эффект» и другие [33, 34, 35, 36, 37]. Общие положения методики проведения измерений мобильными устройствами описаны в работах [38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45].

Исследованные в обзоре методы диагностирования ТС, нормативные требования к испытаниям, возможности оборудования и приборов позволяют оценить параметры эффективности работы ТопС на момент испытаний. В эксплуатации автотранспортных средств (АТС) актуально оценивать техническое состояние элементов ТопС и в тоже время вписываться в установленные режимы технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР) [46, 47, 48, 49, 50].

Обеспечение надежности ТопС в эксплуатации возможно при оперативном контроле технического состояния ее конструктивных элементов.

2.2 Взаимодействие систем активной безопасности автомобиля

Современная тормозная система является неотъемлемым элементом в конструкции каждого автомобиля. Схема основных элементов ТопС автомобиля с антиблокировочной системой представлена на рисунке 2.5.

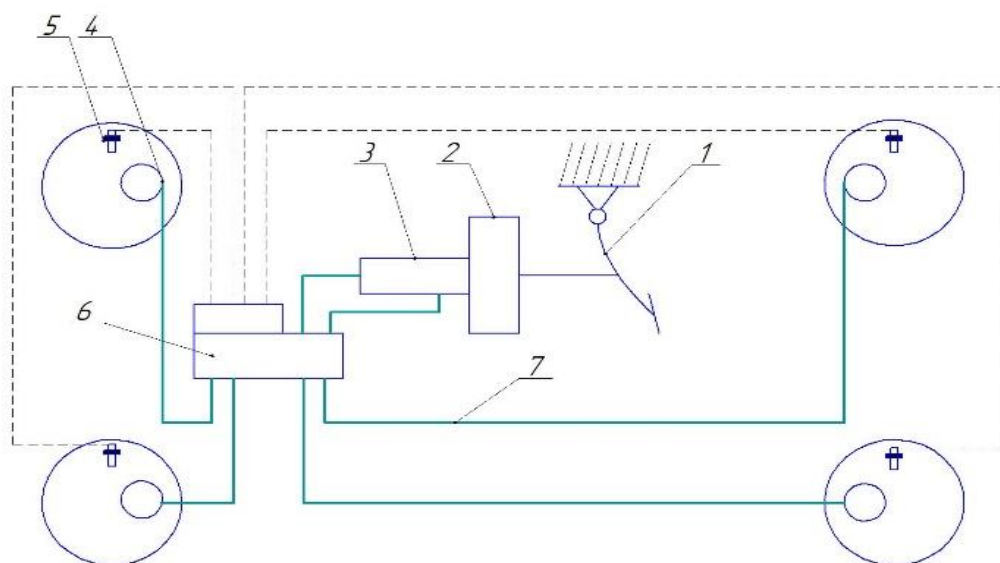


Рисунок 2.5 Схема тормозной системы с АБС автомобиля

- 1 – педаль тормоза; 2 – вакуумный усилитель; 3 – главный тормозной цилиндр; 4 – тормозной механизм; 5 – датчик АБС; 6 – блоки управления;
7 – тормозные трубки.

Тормозная система автомобиля обеспечивает процесс торможения. Торможением называют процесс искусственной диссипации кинетической и потенциальной энергии автомобиля [51, 52, 53, 54].

При нажатии водителем на педаль тормоза (орган управления), создается давление тормозной жидкости в приводе ТопС и усилие передается к тормозным механизмам (исполнительный орган). Тормозные механизмы обеспечивают трение между тормозными колодками и дисками. Таким образом энергия преобразуется в тепловую.

Кроме основной TopC, существуют системы повышающие возможности активной безопасности (*ESP, ASR, BAS, EBD, EDS, PDS*). Развитие этих систем началось в 1980-х годов. Одной из первых компаний, занимающихся вопросом разработки автомобильных антиблокировочных систем, стала компания *Mercedes-Benz* совместно с *Bosch* [55, 56].

Самая главная и основная из вспомогательных систем – это антиблокировочная система *ABS* (нем. *Antiblockiersystem*, англ. *Anti-lock braking system*). Главное предназначение этой системы – предотвращение блокировки колес в момент торможения, что значительно сокращает тормозной путь. Также появляется возможность управления автомобилем в процессе торможения. Данные возможности оказали революционный положительный эффект на активную безопасность дорожного движения.

ESP (Electronic Stability Program) – система курсовой устойчивости автомобиля. Задача такой системы заключается в сохранении траектории автомобиля и предотвращении заноса автомобиля на поворотах или при потере сцепления с дорогой. *ESP* состоит из электронного блока управления. Данный блок считывает от датчиков информацию: угол поворота рулевого колеса, угловую скорость всех колес, угол открытия дроссельной заслонки, давление тормозной жидкости в приводе, угловую скорость относительно вертикальной оси, поперечное ускорение. Анализируя информацию, блок *ESP* посылает сигнал на насос АБС и тем самым включает в работу тормозной механизм конкретного колеса или колес [56, 57].

ASR (Antriebschlupfregelung) – антипробуксовочная система. Система предназначена для предотвращения пробуксовывания ведущих колес в момент троганья с разным коэффициентом сцепления φ с дорогой.

BAS (Brake assist system) – помощник при торможении. Функционирование данной системы основано на увеличении усилия вакуумного усилителя (ВУ) при торможении. Элементы этой системы устанавливаются непосредственно в ВУ. *BAS* усиливает коэффициент полезного действия (КПД) ВУ в момент экстренного торможения.

EBD (Electronic brake-force distribution) – система распределения тормозных усилий. В физическом смысле это специальное программное обеспечение в дополнение к антиблокировочной системе тормозов. Принцип работы *EBD* заключается в анализе угловой скорости колес и вычислении коэффициента сцепления их с дорогой при торможении. После чего подается сигнал на насос АБС и клапаны сброса давления. Таким образом регулируется давление в приводе тормозного механизма каждого колеса, что способствует торможению автомобиля без заноса и увода с различным коэффициентом сцепления колес.

EDS (Electronisch Differentialsperre) – косвенная электронная блокировка дифференциала. *EDS* существует в виде программного обеспечения, предназначенного для равномерного распределения крутящего момента на ведущие колеса. В сложных дорожных условиях ведущие колеса могут вращаться с разной скоростью. Колесо, у которого φ с дорогой больше будет заблокировано, а у которого φ меньше будет пробуксовывать. *EDS* сравнивает скорости колес и передает сигнал включения в работу тормозного механизма колеса, вращающегося с большей угловой скоростью, до момента выравнивания скорости вращения.

PDS (Park Distance Control). *PDS* – дистанционное управление остановкой. В данной системе применяются специальные радары и видеокамеры для обнаружения пешеходов, особенно в темное время суток. Принцип работы системы основан на получении информации от радара или видеокамеры, что служит сигналом для включения в работу тормозной системы. *PDS* включает в работу систему *BAS*. Также данная система может иметь обозначение как *APDS*, *Eyesight*, в зависимости от производителя.

Рассмотренные системы направлены на повышение безопасности дорожного движения и различаются программными алгоритмами действий с контролирующими устройствами (датчиками), но исполнительным механизмом у всех систем является – штатный ТМ колеса. От работоспособности тормозных механизмов будет зависеть реализация заданных функций при эксплуатации автомобиля систем, повышающих возможности активной безопасности.

2.3 Анализ элементов тормозных механизмов, реализующих рабочие процессы тормозной системы

На сегодняшний день в гражданском автомобилестроении применяется всего два вида тормозных механизмов: колодочные дисковые и колодочные барабанные. Последние с каждым годом становятся менее востребованы из-за меньшей эффективности по сравнению с дисковыми, поэтому актуальными для исследования будут тормозные дисковые механизмы. Динамика продаж автомобилей корейской марки *KIA* и соплатформенных *Hyundai* с разными видами тормозных механизмов по годам представлен на рисунке 2.6.

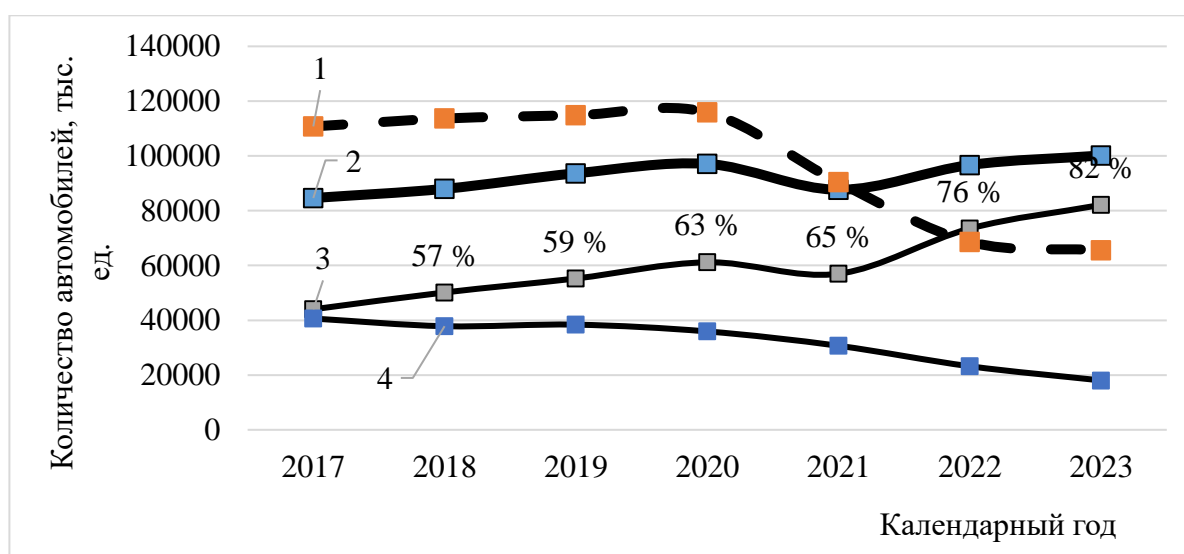


Рисунок 2.6 – Динамика продаж автомобилей с дисковыми тормозными механизмами

1 – количество проданных *KIA* без эксплуатации с задними барабанными ТМ 2 – количество проданных *KIA* без эксплуатации с задними дисковыми ТМ; 3 – количество проданных *Hyundai* без эксплуатации с задними дисковыми ТМ; 4 – количество проданных *Hyundai* без эксплуатации с задними барабанными тормозными механизмами.

Современные дисковые тормозные механизмы имеют широкий спектр конструктивного исполнения. Наиболее часто встречаются ТМ с плавающей и фиксированной скобой (рисунок 2.7).

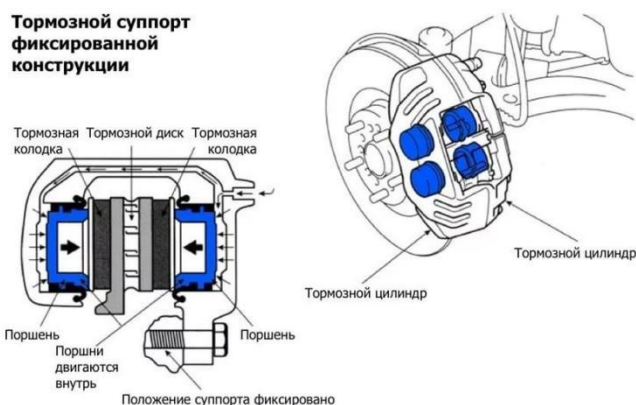


Рисунок 2.7 – Тормозной механизм с фиксированной скобой

Конструктивной особенностью ТМ с фиксированной скобой является жесткое крепление суппорта к поворотному кулаку. Тормозные колодки прижимаются тормозными поршнями с обеих сторон тормозного диска.

Самым распространенным в эксплуатации является однопоршневой тормозной механизм с плавающей скобой (рисунок 2.8), который устанавливается заводом-изготовителем на большинство автомобилей категории М1.

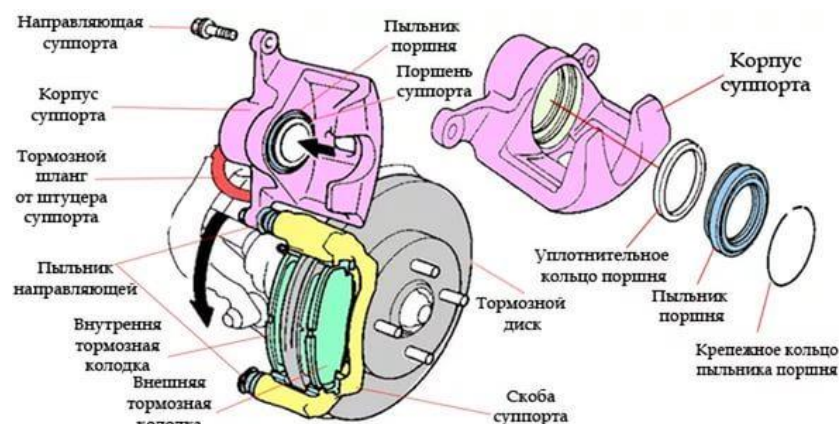


Рисунок 2.8 – Однопоршневой тормозной механизм с плавающей скобой

Тормозной суппорт (рисунок 2.9) представляет собой корпус из алюминиевого сплава или чугуна, который выполняет роль тормозного цилиндра, соединяющегося со скобой суппорта и передвигающегося по специальным направляющим в перпендикулярной плоскости относительно плоскости тормозного диска.



Рисунок 2.9 – Тормозной суппорт тормозного механизма с плавающей скобой

К тормозному суппорту подводится гибкий шланг с тормозной жидкостью. В тормозном суппорте имеется технологическое отверстие с резьбой для прокачки тормозной системы через специальный штуцер.

Скоба (рисунок 2.10) жестко крепится к поворотному кулаку. В скобе размещены направляющие пластины в пазах которой устанавливаются тормозные колодки.

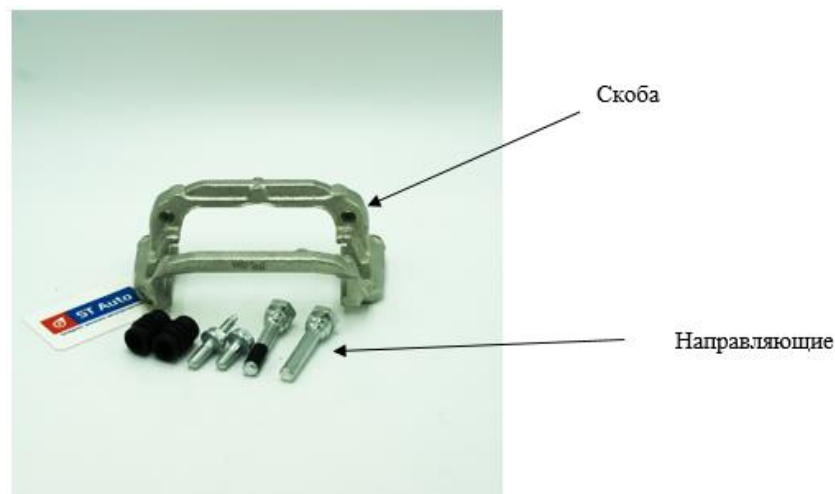


Рисунок 2.10 – Скоба суппорта и направляющие пальцы тормозного механизма

Направляющий палец суппорта представляет собой металлический болт с уплотняющими манжетами и внутренней резьбой. Направляющие пальцы прикручиваются к скобе дополнительным болтом.

Принцип функционирования тормозного суппорта (рисунок 2.11) освоен на перемещении тормозного поршня, при создании давления жидкости в приводе

тормозной системы. Тормозной поршень плотно прилегает к тормозной колодке, которая прижимается к тормозному диску, за счет движения поршня. При сопряжении тормозной колодки с диском, по направляющим пальцам начинает движение суппорт в сторону противоположную движению поршня от диска. Тем самым прижимается тормозная колодка с другой стороны диска. За счет движения поршня и обратного движения суппорта, происходит прижатие колодок к диску и пара трения диск-колодка начинает взаимодействие. При снижении давления в гидравлическом приводе уплотнительные манжеты тормозного поршня возвращают его в исходное положение. Суппорт возвращается в исходное положение за счет упругости уплотнительных манжет направляющих пальцев [58, 59, 60].

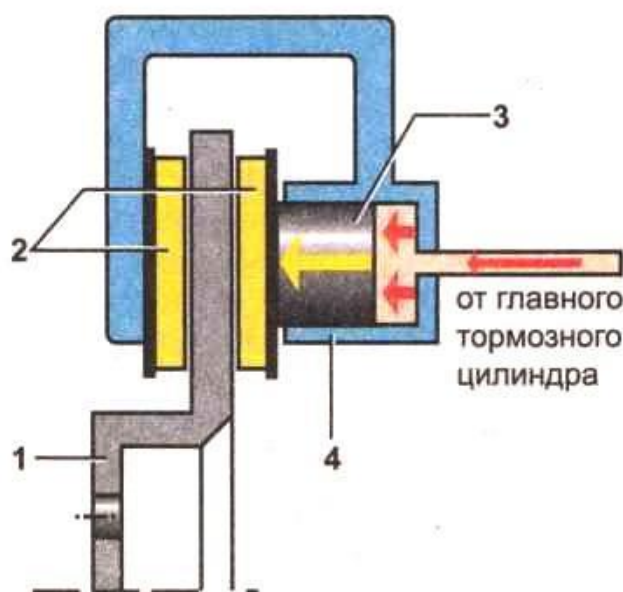


Рисунок 2.11 – Принцип работы тормозного механизма с плавающей скобой 1 – тормозной диск; 2 – тормозные колодки; 3 – поршень; 4 – рабочий тормозной цилиндр (суппорт)

Одним из составных элементов тормозного механизма является тормозной диск. В настоящее время тормозные диски изготавливают из разных материалов, в зависимости от потребительских свойств. Основными материалами из которых выполняют тормозные диски являются: чугун; карбон; керамика (рисунок 2.12).

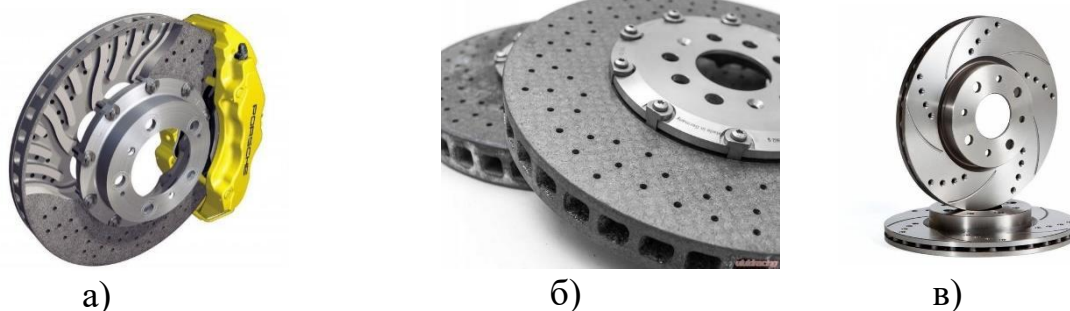


Рисунок 2.12 – а) керамический диск, б) карбоновый тормозной диск, в) чугунный диск

Более дорогими и с улучшенными техническими характеристиками являются керамические и карбоновые тормозные диски (рисунок 2.12 а) и б)). Такие тормозные диски, из-за своих улучшенных свойств, применяются в сфере, где к эффективности тормозной системы предъявляются повышенные требования – в основном это спортивные автомобили.

В обыденной гражданской эксплуатации тормозные диски из чугуна полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям нормативных актов международным требованием *SAE J431*, поэтому производство ТД из чугуна получило широкое распространение (рисунок 2.12 в)). Чугунные тормозные диски дешевле в производстве и имеют высокие фрикционные свойства, но при очень длительном торможении сильно нагреваются, что может привести к потере его геометрических параметров (коробление). При попадании влаги на нагретый чугунный диск, он может потрескаться. Также чугун имеет большую массу и при отсутствии эксплуатации покрывается ржавчиной. В целом, по экономическим критериям, чугунные ТД нашли широкое применение в производстве.

Наряду с ТД взаимосвязанным элементом ТМ являются тормозные колодки. Взаимодействие тормозных колодок и ТД обеспечивает создание необходимого тормозного момента и реализацию в целом функции ТопС. Классификация тормозных колодок отличается от классификации тормозных дисков. В настоящее время тормозные колодки можно разделить на: металлические, органические (безасбестовые), керамические в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50507-93 «Изделия фрикционные тормозные. Общие технические требования».

В металлических ТК (рисунок 2.13), в зависимости от их модели в составе металла может быть от 10 до 30% меди. Допускается добавление органических материалов для повышения трения и улучшения эксплуатационных характеристик изделий.



Рисунок 2.13 – Металлические тормозные колодки

Тормозные колодки, показанные на рисунке 2.13, в настоящее время применяются редко. Многие производители автокомпонентов тормозных систем прекратили выпуск металлических ТК. Главными недостатками рассматриваемых колодок является наличие повышенного шума, образования большого количества угольной пыли и небольшого эксплуатационного ресурса. На сегодняшний день металлическими тормозными колодками комплектуются автомобили недорогого потребительского сегмента (например, АвтоВАЗ и старые автомобили импортного производства.)

Органические (бесасбестовые) тормозные колодки (рисунок 2.14) изготавливаются с использованием углерода, смол, стекла, а также кевларовых волокон. Применение данных материалов отражается на процессе торможения, которое происходит с комфортными условиями (реализуется плавность и мягкость торможения). При торможении воздействие на тормозные диски снижается, что оказывает влияние на значение эксплуатационного ресурса ТД.



Рисунок 2.14 – Органические (безасбестовые) тормозные колодки

Главными недостатками безасбестовых колодок является наличие повышенного шума, образования большого количества угольной пыли и небольшого эксплуатационного ресурса

В составе полуметаллических (рисунок 2.15) тормозных колодок используется от 30 до 65 % стали и меди. При этом могут применяться черные, цветные и комбинированные металлы. Для улучшения характеристик полуметаллических ТК в состав добавляют графит, неорганические материалы и дополнительные связующие компоненты.



Рисунок 2.15 – Полуметаллические тормозные колодки

Многокомпонентная структура из недорогих материалов повышает такие технические характеристики, как: эксплуатационной ресурс, теплопроводность. Применение недорогих материалов отражается на конкурентоспособную цену для

потребителей. Единственная ухудшающая характеристика, по сравнению с органическими – уровень шума.

Самыми дорогими тормозными колодками являются – керамические (рисунок 2.16). Первоначально они использовались только в сфере автомобильного спорта, но позже их начали устанавливать на автомобили гражданского назначения. По прочностным характеристикам керамика не уступает стали.



Рисунок 2.16 – Керамические тормозные колодки

Керамические тормозные колодки имеют более высокую термостойкость и способны сохранять безотказность в сильно нагруженных температурных режимах. Работа тормозных колодок осуществляется с меньшим уровнем шума.

По рекомендациям, установленных сообществом автомобильных инженеров *SAE* тормозные колодки классифицируют по коэффициенту трения [61, 62]. Значение коэффициента трения (μ) имеет обозначение в виде 2 букв (*GF*, *CS* и прочие). Первый индекс обозначает, определенный коэффициент трения как среднее значение при температурах трения: 90, 122, 149 и 205 градусов. Второй буквенный индекс указывает на значение коэффициента трения тормозных колодок, которые восстановились после термонагруженных испытаний. Расшифровка буквенных индексов представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расшифровка буквенных индексов ТК по стандарту *SAE J661*

Буквенный индекс	Диапазон значений коэффициента трения	
C	-	0,15
D	0,15	0,25
E	0,25	0,35
F	0,35	0,45
G	0,45	0,55
H	0,55	0,8

Каждый производитель тормозных колодок соответствующим образом маркирует свою продукцию индивидуально. На каждом комплекте тормозных колодок присутствует маркировка, что свидетельствует о пройденной проверке на соответствие качества продукции. На рисунке 2.17 представлен пример маркировки тормозных колодок.



Рисунок 2.17 – Маркировка коэффициента трения сертифицированных в РФ тормозных колодок

Кроме буквенных индексов, характеризующих тормозные колодки по коэффициенту трения, применяется еще дополнительная. Наличие маркировки стандарта *ECE R-90* свидетельствует о соответствии высоким требованиям испытаний на качество, которые прошли тормозные колодки. Присутствие только маркировки *R-90* также свидетельствует о наличии сертификата соответствия продукции высоким требованиям качества. Только наличие выше рассмотренных

маркировок позволяют сделать вывод, что элементы тормозной системы выполнены в соответствии с определенными требованиями. После маркировки *R-90* должен быть указан номер самого сертификата соответствия (например, *R-01146\015*), номер запчасти по каталогу (например, *D3027*).

Тормозные колодки, которые не имеют маркировок, свидетельствуют о нелегитимном способе производства и возможном несоответствии требованиям качества по стандарту *ECE R-90*.

Чаще всего соответствие стандарту *ECE R-90* обозначают *R-90* или *90-R*. Подобная маркировка наносится на упаковку тормозных колодок и непосредственно на металлические пластины самих тормозных колодок (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Пример маркировки соответствия стандарту *ECE R-90*

Перед маркировкой *R-90* может наноситься буквенный индекс *E* в кружочке. Наличие буквы *E* с индексами указывает на страну, в которой данная продукция производилась и трактуется следующим образом: *E₁* – это Германия, *E₂* – Франция, *E₃* – Италия, *E₁₁* – Великобритания.

Дополнительные характеристики тормозных колодок представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Дополнительные характеристики тормозных колодок

Описание характеристики	Температурный режим	Эксплуатация автомобиля	Примечание
Черный цвет металлической пластины	До 400 °С	Повседневная, гражданская	
Зеленый цвет металлической пластины	До 600 °С	Динамическая, со спортивным уклоном	
Красный	До 750 °С	Гоночные и трековые автомобили	Благодаря высоким характеристикам, колодки не истираются при частом и резком торможении на высокой скорости
Желтый, голубой или синий	До 900 °С	В тяжелых условиях, стритрейсеры	Наибольшую эффективность колодки демонстрирую после 100-200 °С. Соответственно им необходим предварительный нагрев
Оранжевый	До 1000 °С	Только на трековых автомобилях	

При самостоятельном выборе тормозных колодок владельцам автомобилей стоит принимать во внимание следующие факторы:

- на качественных ТК всегда указывается сертифицированный знак;
- на поверхности изделий не должно быть никаких инородных тел, допускается наличие только микроскопических смол;
- маркировка на упаковке должна полностью соответствовать тому, что указано на пластинах ТК. Если отличается хотя бы одна цифра, то это является четким свидетельством того, что это подделка.

- если колодки выпущены производителем, то в упаковке с запчастями также присутствует сертификат, паспорт соответствия, гарантийный талон и инструкция по самостоятельной установке запчасти.

В соответствии с действующим законом Российской Федерации на колодках всегда указывается уникальный код товара. Его можно сверить на сайте производителя [62].

Тормозные колодки для корейских автомобилей категории М1 на розничном рынке представлены 18 брендами, среди которых не только корейские производители, но и европейские, а также российские бренды (рисунок 2.19).

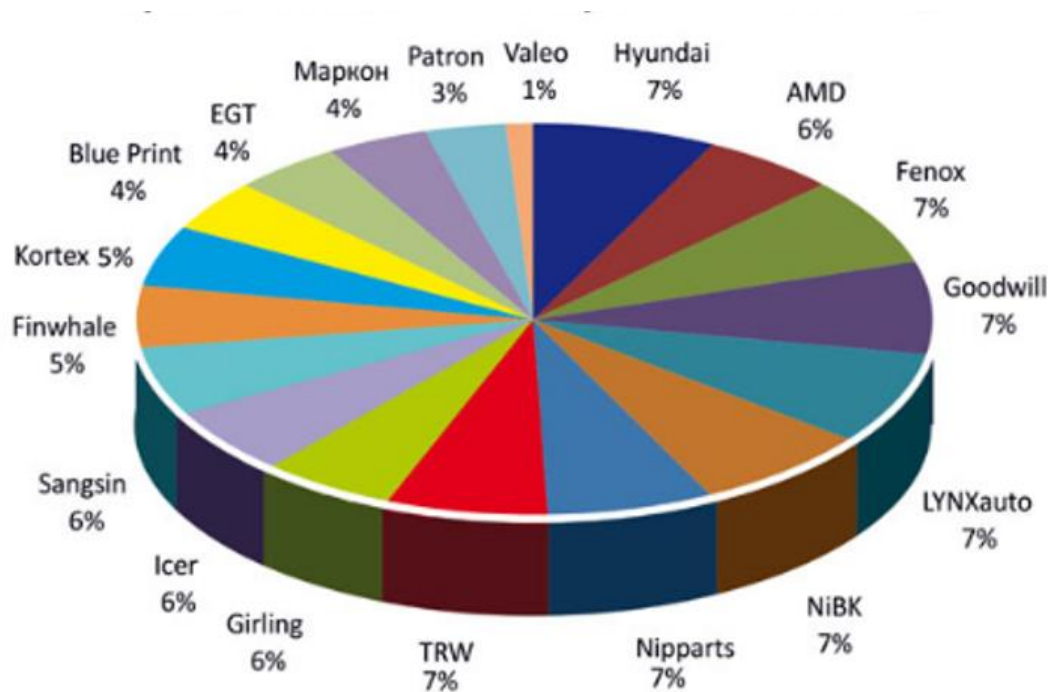


Рисунок 2.19 – Фирмы производители ТК

Доли рынка компаний производителей тормозных колодок не значительно отличаются друг от друга. Одинаковые и самые большие доли имеют несколько предприятий по производству автокомпонентов. Среди них находится производитель оригинальных тормозных колодок *Hyundai/Kia*. Высокое значение доли рынка ТК марки *Hyundai/Kia* свидетельствует о большом их спросе среди автовладельцев, не смотря на высокую стоимость оригинальных запасных частей (рисунок 2.20).

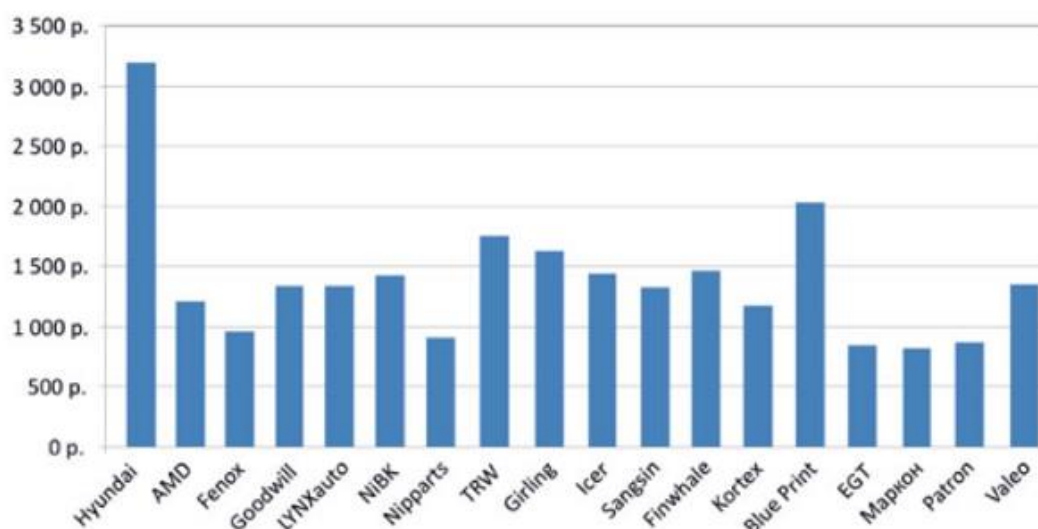


Рисунок 2.20 – Стоимость ТК фирм производителей

Продукция материнского бренда оказалась лидером не только по представленности, но и по стоимости – оригинальные тормозные колодки, стоимость которых составляла в среднем 3197 рублей в 2023 год, а в 2026 году их цена составляет 7911 руб. На втором месте – торговая марка *Blue Print*, чье предложение для автомобилей марки *Hyundai/Kia* составляет в среднем в 2040 рублей. Самыми недорогими колодками для популярных корейских автомобилей являются колодки, произведенные отечественным брендом Маркон. Кроме Маркона к низкой ценовой категории относятся бренды *Patron*, *EGT*, *Nippartsu* и *Fenox*. Все остальные торговые марки предлагают свою продукцию в ценовом диапазоне от 1000 до 2000 рублей. Минимальная стоимость неоригинальных передних тормозных колодок для *Hyundai/Kia* составляла 1395 рублей [63].

2.4 Тормозная динамика автомобиля

Процесс торможения автомобиля реализуется за счет взаимодействия элементов тормозных механизмов колес. Тормозные механизмы установлены на каждом колесе автомобиля. На рисунке 2.21 точка соприкосновения (*A*) трущихся элементов (пара трения колодка - диск), имеет определенный радиус ($r = OA$). Взаимодействие пары трения обеспечивается за счет внешней силы (*N*),

приложенной к тормозным колодкам. В совокупности, внешняя сила и радиус приложения этой силы создают – тормозной момент тормозного механизма $M_{\text{ТМ}}$.

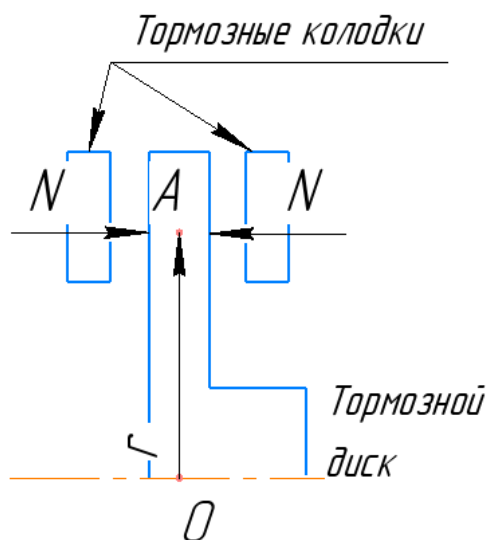


Рисунок 2.21 – Схема формирования момента тормозного механизма $M_{\text{ТМ}}$

Сила N прикладывается к каждой тормозной колодке. При создании тормозного момента в ТМ присутствует сила трения с определенными характеристиками (коэффициент трения μ). Значение момента тормозного механизма можно определить по выражению:

$$M_{\text{ТМ}} = 2Nr\mu, \quad (2.4)$$

где 2 – количество тормозных колодок тормозного механизма;

N – сила, с которой прижимаются тормозные колодки, Н;

r – радиус приложенной силы, м;

μ – коэффициент трения пары колодка-диск.

У легковых автомобилей марки *Kia* на одной оси два колеса, тогда тормозной момент i -ой оси будет равен $M_{\text{ТМ}}^i = 4Nr\mu$. Величина момента будет зависеть от конструктивных особенностей и технического состояния элементов тормозной системы, определяющих радиус r и реализующих силу N .

В теории торможения автомобиля принято рассматривать тормозной момент, создаваемый весом самого автомобиля (рисунок 2.22).

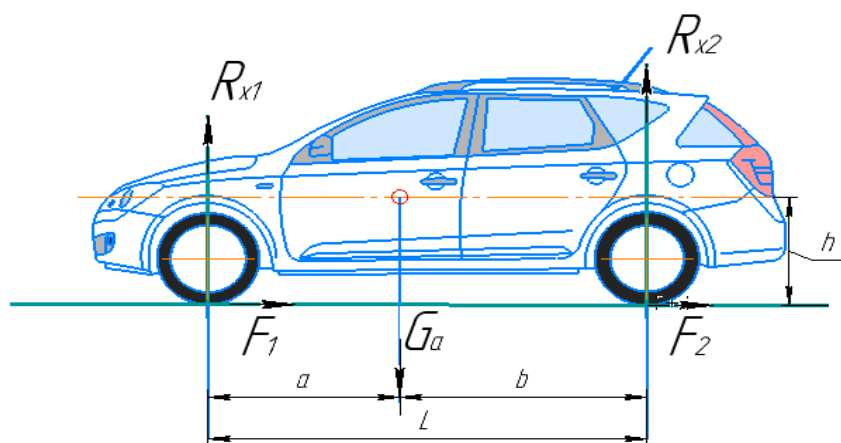


Рисунок 2.22 – Силы, действующие на автомобиль при торможении

Для автомобиля с дисковыми тормозными механизмами на передней и задней осях, тормозной момент по сцепному весу будет определяться из выражения [64, 65, 66, 67, 68, 69, 70]:

$$M_G = \sum M_{Gi} = \sum R_{xi} \varphi r_k, \quad (2.5)$$

где R_{xi} – нормальная нагрузка (реакция дороги) на соответствующую ось для горизонтальной дороги, Н;

φ – коэффициент сцепления шин с дорогой, применяется от 0,1 до 0,9;

r_k – динамический радиус колес, м.

Нормальная нагрузка – это сила, которая образуется как реакция дороги на вес оси автомобиля. При торможении, происходит перераспределение веса автомобиля по осям, и нормальная нагрузка определяется по выражению 2.6 – для передней оси, и 2.7 для задней оси.

$$R_{x1} = \frac{G_a(b + \varphi h_g)}{L}, \quad (2.6)$$

$$R_{x2} = \frac{G_a(a - \varphi h_g)}{L}, \quad (2.7)$$

где G_a – вес автомобиля при полной нагрузке, находится произведением массы автомобиля и ускорением свободного падения, Н;

a, b, h – координаты центра массы автомобиля, м;

L – колесная база автомобиля, м.

Результат выражения (2.5) будет зависеть от коэффициента сцепления шин с дорогой. Динамический радиус рассматривается как постоянная величина *const*. Технической документацией автомобиля установлена снаряженная масса автомобиля. Это предоставляет возможность определить максимальное значение момента по сцепному весу M_G .

Для исследуемого автомобиля *Kia ceed* с дисковыми тормозными механизмами на передней и задней осях, тормозной момент будет определяться по выражению (2.5). Значение тормозного момента по сцепному весу будет зависеть от его координат центра масс, динамического радиуса колеса и коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью. Для рассматриваемого автомобиля примем исходные данные для расчета тормозного момента (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Исходные данные автомобиля

Снаряженная масса M_a , кг	База колесная L , м	Координата b , м	Координата a , м	Динамический радиус колеса r , м	Высота центра тяжести h , м
1428	2,65	1,19	1,46	0,372	0,45

Используя исходные данные таблицы 2.3 и выражения (2.5, 2.6, 2.7) получим тормозные моменты, в зависимости от различных коэффициентов сцепления. Расчеты значений тормозного момента представлены в таблице 2.4 и на рисунке 2.23.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов тормозных моментов

Коэф-т сцепления, φ	Тор. момент передней оси M_{G1} , Нм	Тор. момент задней оси M_{G2} , Нм	Суммарный тор. момент, ΣM_G , Нм
1	2	3	4
0,1	243,8	278,3	522,1
0,2	505,3	538,8	1044,1
1	2	3	4
0,3	784,6	781,6	1566,2

Продолжение таблицы 2.4

0,4	1081,6	1006,7	2088,3
0,5	1396,3	1214,1	2610,4
0,6	1728,8	1403,7	3132,4
0,7	2078,9	1575,6	3654,5
0,8	2446,9	1729,7	4176,6
0,9	2832,5	1866,2	4698,7

Из условия (2.5) следует, что максимальный тормозной момент по сцепному весу автомобиля будет создаваться при максимальном коэффициенте сцепления $\varphi=0,9$ (рисунок 2.23).

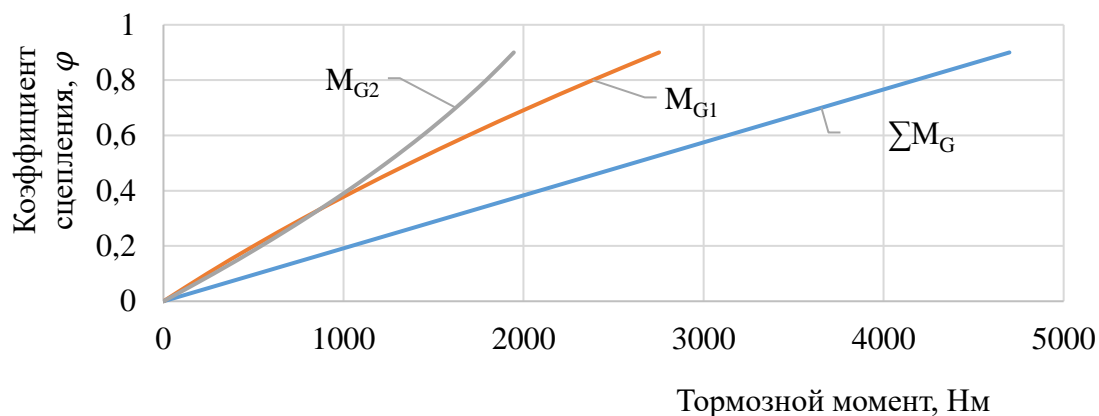


Рисунок 2.23 –График зависимости тормозного момента от коэффициента сцепления

Для реализации момента по сцепному весу M_G , на колесах автомобиля необходимо обеспечить достаточный уровень тормозного момента в тормозных механизмах при торможении M_{TM} .

Перед определением тормозного момента M_{TM} . (рисунок 2.25) по выражению (2.4) следует определить силу N , с которой колодка прижимается к диску. Сила N , действующая на тормозную колодку i -ой оси оправляется из выражения:

$$N_i = \frac{\pi d_i^2 p}{2}, \quad (2.8)$$

где d_i – диаметр тормозного поршня i -ой оси, см²;

p – давление тормозной жидкости, МПа.

Усилие на тормозную колодку передается через тормозной поршень в тормозном цилиндре (суппорте) диаметром d , на который воздействует тормозная жидкость под давлением p через привод тормозной системы. Задавшись, в соответствии с НТД, значениями конструктивных параметров d и r (таблица 2.6), а также значениями давления тормозной жидкости в гидравлическом приводе, рассчитаем моменты, создаваемые ТМ по формуле 2.4 и 2.8. Полученные результаты сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.6 – Значения конструктивных параметров рассматриваемого автомобиля

Параметр	Коэффициент трения μ	Диаметр тормозного цилиндра		Средний радиус, приложенной силы	
		передней оси d_1 , м	задней оси d_2 , м	передней оси r_1 , м	задней оси r_2 , м
Значение параметра	0,35	0,057	0,034	0,125	0,095

Таблица 2.7 – Тормозные моменты, созданные тормозными механизмами

Давление в приводе P , МПа	Тор. момент одного колеса передней оси $M_{ТМ1}^1 = M_{ТМ2}^1$, Нм	Тор. момент одного колеса задней оси $M_{ТМ3}^2 = M_{ТМ4}^2$, Нм	Суммарный тор. момент $\Sigma M_{ТМ}$, Нм
0,5	223,17	60,35	283,5
1	446,33	120,69	567,0
1,5	669,50	181,04	850,5
...
12,5	5579,14	1508,65	7087,8

Графическая интерпретация расчетных значений тормозного момента $M_{ТМ}$ от давления тормозной жидкости в гидроприводе тормозной системы, отображена на рисунке 2.24.

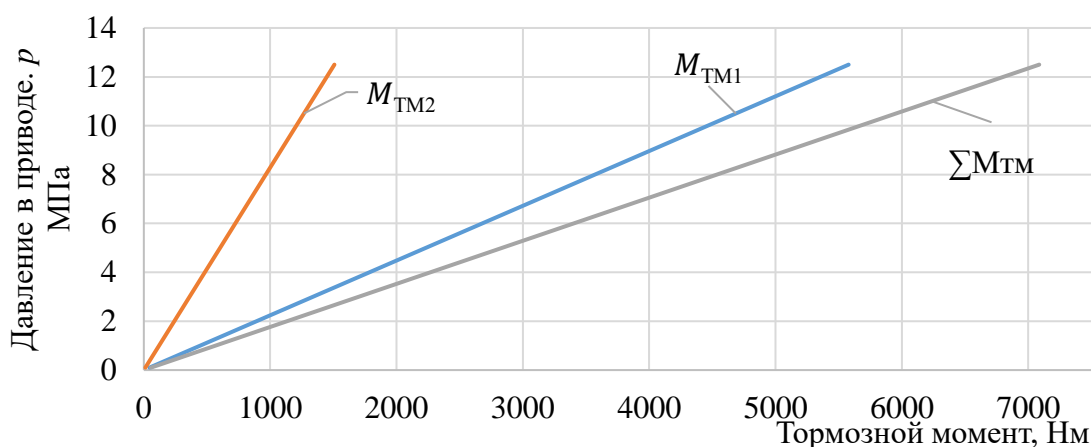


Рисунок 2.24 – Зависимость момента тормозных механизмов от давления в приводе

Моменты M_G и M_{TM} (рисунок 2.27 и 2.28) имеют линейную зависимость от коэффициента сцепления и давления тормозной жидкости. Особое внимание стоит обратить на сравнение тормозного момента по сцепному весу и тормозного момента, создаваемого тормозными механизмами.

В работах [52, 66, 69] подтверждается, что максимальное значение коэффициента сцепления шин с дорогой составляет 0,8. Опытным путем определено значение давления тормозной жидкости в приводе ($p \approx 12$ МПа ≈ 12000 кН/м²) при усилии на педаль тормоза 490 Н, что соответствует требуемым показателям в соответствии с НТД.

Составленная номограмма зависимости суммарных тормозных моментов M_G и M_{TM} от действующих факторов – коэффициента сцепления φ и давления в гидроприводе p представлена на рисунке 2.25.

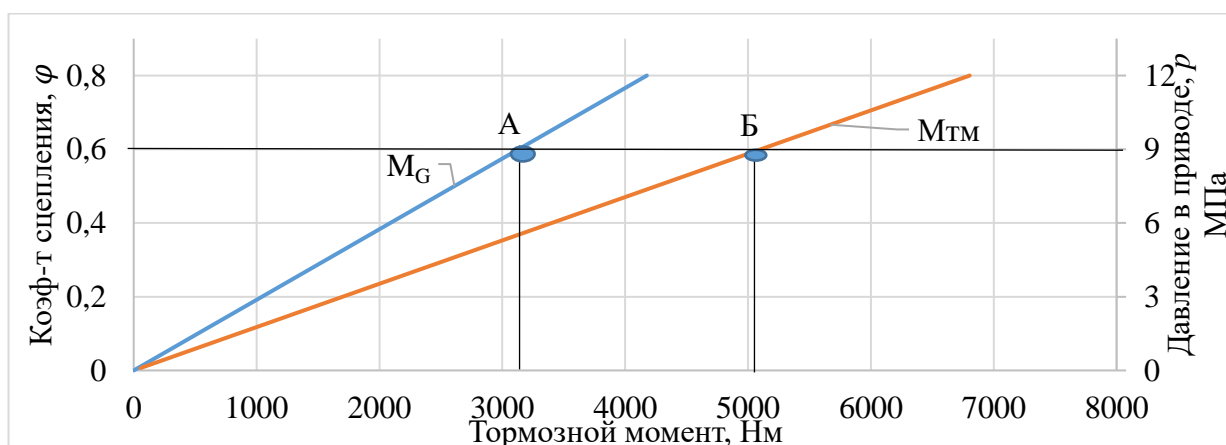


Рисунок 2.25 – Номограмма сравнения тормозных моментов

В установившихся дорожных условиях с коэффициентом сцепления шин с дорогой $\varphi=0,6$ (рисунок 2.25) реализуется тормозной момент по сцепному весу $M_G=3132,4$ Нм (проекция точки А на ось «Тормозной момент»). При этом, значение тормозного момента по линии изменения M_{TM} при давлении тормозной жидкости $p=9$ МПа для проекции т. Б будет составлять $M_{TM}=5103,2$ Нм. При торможении в рассмотренных условиях ($\varphi=0,6$ и $p=9$ МПа) наблюдается превышение $M_{TM} > M_G$, т.е. возможности тормозной системы позволяют полностью реализовывать тормозной момент по сцепному весу M_G и обеспечить необходимую тормозную динамику автомобиля. Запас по тормозному моменту $\Delta M = M_{TM} - M_G$ в эксплуатации нивелируется возможностями вспомогательных систем активной безопасности, задействованными на штатные колесные тормозные механизмы (ABS и пр.). Техническая задача обеспечения запаса ΔM на практике может быть решена при оперативной оценке технического состояния ТМ и прогнозирования его ресурса.

2.5 Энергетический анализ работы тормозного механизма

Рассмотренные зависимости изменения тормозных моментов M_{TM} пар трения позволяют оценить тормозные свойства автомобиля и их влияние на износ ТД и ТК. При движении автомобиль обладает кинетической энергией, которая гасится тормозной системой методом теплонагруженного преобразования в ТМ. Для оценки теплонагруженности тормозных механизмов при торможении целесообразно рассматривать выполняемую тормозными колодками и дисками работу трения. Для более точной оценки энергонагруженности ТМ рассматриваем удельную работу трения и удельную мощность трения ТМ с техническими характеристиками тормозной системы на примере применяемого в исследовании автомобиля *KIA C'eed*. Удельная работа трения – это отношение работы трения в ТМ к суммарной площади трения фрикционных накладок. Расчет будет производиться для ТМ передней и задней оси. В виду различных значений

конструктивных параметров передних и задних тормозных механизмов, показатели мощности, работы трения и изнашивания элементов тормозного механизма будут различаться по осям соответственно.

При любой скорости движения автомобиль обладает энергией (кинетической), чтобы остановиться необходимо погасить существующую кинетическую энергию движения. Процесс поглощения энергии осуществляется за счет работы тормозной системы, и непосредственно тормозных механизмов.

Метод теплонагруженного преобразования основан на взаимодействии тормозных колодок с тормозным диском. При их контакте тратится значительная часть энергии на отделение микрочастиц рабочего материала с поверхности тормозных колодок и диска, за счет чего толщина их уменьшается. Контакт тормозной колодки и тормозного диска происходит с разной силой прижатия N_i и разным временем взаимодействия $t_{\text{тр}}$.

Энергия за единицу времени, поглощаемая тормозными механизмами автомобиля называется мощностью трения, определяющаяся по выражению:

$$W = \frac{m_a v_0^2}{2t_{\text{тр}}}, W = W_1 + W_2, \quad (2.9)$$

где v_0 — начальная скорость торможения, м/с;

$t_{\text{тр}}$ — время взаимодействия пары трения, с;

m_a — масса автомобиля, кг;

W_1, W_2 — мощность, поглощаемая передними и задними тормозными механизмами, Вт.

Кинетическая энергия автомобиля при движении пропорциональна массе и квадрату его скорости. ТормС в соответствии с назначением обеспечивает снижение скорости движения автомобиля вплоть до полной остановки, т.е. обеспечивает диссипацию кинетической энергии. Рабочий процесс в тормозном механизме основан на силовом взаимодействии его элементов посредством физического трения. Тормозные диски совершают вращательное движение с угловой скоростью равной угловой скорости колеса ω , пропорциональной поступательной скорости движения автомобиля v_a .

При силовом взаимодействии элементов ТМ в процессе трения происходит диссипация энергии поступательного движения автомобиля в тепловую энергию через выполненную работу трения $A_{\text{тр}}$.

Работу трения i -ой оси ТМ можно описать формулой:

$$dA_{\text{три}} = pB_i dS, \quad (2.10)$$

где p — давление в приводе тормозного механизма, кН/см²;

B_i — комплексный параметр тормозного механизма, см²;

dS — элементарное приращение пути автомобиля, см.

Комплексный параметр тормозного механизма i -ой оси характеризуется конструктивными параметрами и определяется по следующему выражению:

$$B_i = F_{\text{ци}} \frac{r_{\text{три}}}{r_{\text{д}}} K_{\text{э}} \eta, \quad (2.11)$$

где $F_{\text{ци}}$ — площадь цилиндра тормозного суппорта i -ой оси, см²;

$r_{\text{три}}$ — средний радиус трения тормозных дисков и колодок i -ой оси, см;

$r_{\text{д}}$ — динамический радиус колеса, см;

$K_{\text{э}}$ — коэффициент эффективности дисковых тормозных механизмов, принимается равным коэффициенту трения μ ;

η — коэффициент полезного действия тормозного механизма.

Процесс торможения автомобиля массой m_a происходит во времени t , в течение которого изменяется скорость поступательного движения $v(t)$. Путь автомобиля dS в процессе торможения формируется в условиях изменения скорости $v(t)$ за время торможения t . Изменение $v(t)$ оценивается замедлением $j(t)$ автомобиля $j(t) = v'(t)$. Изменение скорости при замедлении $j(t)$ можно найти:

$$v(t) = v_0 + j(t)t, \quad (2.12)$$

где v_0 — начальная скорость при торможении, км/ч;

$j(t)$ — замедление при торможении в момент времени t .

Во временном интервале процесса торможения замедление $j(t)$ — величина переменная до момента стабилизации его значения на уровне $j_{\text{уст}}$ (рисунок 2.26).

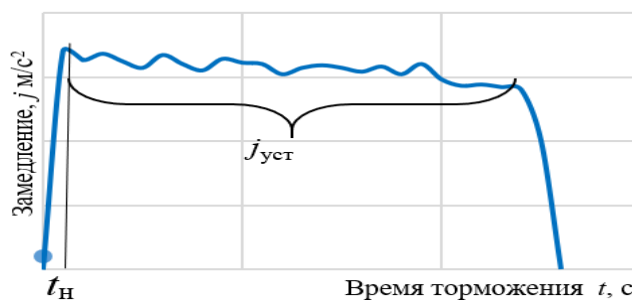


Рисунок 2.26 – Установившееся замедление автомобиля

При определенных условиях движения (движения под уклон) значение замедления может равняться $j(t) = 0$ или перейти в ускорение автомобиля и тогда $j(t) < 0$.

Тогда путь автомобиля S за время торможения t будет зависеть от изменения скорости v в каждый момент времени t :

$$dS = \int_0^t v(t)dt = \int_0^t (v_0 \pm j(t)t)dt \quad (2.13)$$

где $a(t)$ – мгновенное изменение замедления при торможении в момент времени t .

С учетом вышеизложенного работу трения можно представить в пределах интервала времени процесса трения $\Delta t_{\text{тр}}$, когда тормозные колодки взаимодействуют с тормозным диском:

$$\Delta A_{\text{три}} = pB_i \int_0^t (v_0 \pm j(t)t)dt. \quad (2.14)$$

Интегрируя приведенное выражение (2.15) в пределах времени трения $\Delta t_{\text{тр}}$, когда тормозные колодки взаимодействуют с тормозным диском, получим выражение для определения работы трения:

$$\Delta A_{\text{три}} = pB_i \int_0^{t_{\text{тр}}} (v_0 \pm j(t_{\text{тр}})t_{\text{тр}})dt_{\text{тр}} = pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) \quad (2.15)$$

где $j_{\text{уст}}$ – установившееся замедление, м/с².

Мощность трения, поглощаемая тормозными механизмами при торможении за время трения $t_{\text{тр}}$, можно определить из математического выражения:

$$W_{\text{тpi}} = pB_i v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}}{2}. \quad (2.16)$$

Анализируя параметры выражения $W_{\text{тpi}}$, можно выполнить их оценку при постановке эксперимента и предусмотреть измерения физических величин при торможении автомобиля:

p – давление тормозной жидкости в приводе ТМ, кН/м²;

v_0 – начальная скорость торможения, м/с;

$j_{\text{уст}}$ – установившееся замедление, м/с²;

$t_{\text{тр}}$ – время трения в тормозных механизмах, с.

Ввиду того, что на автомобилях категории М1 две оси, а работа и мощность трения тормозных механизмов рассчитывается для ТМ каждой оси с разными значениями комплексных параметров B_i , то целесообразно выполнять расчеты удельных энергетических характеристик трения. Удельные работа и мощность трения тормозных колодок и дисков ТМ будут определяться из выражений:

$$\begin{cases} q_{A1} = \frac{pB_1 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{1\text{н}}} \\ q_{A2} = \frac{pB_2 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{2\text{н}}} \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\begin{cases} q_{w1} = \frac{pB_1 v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}}{2}}{\sum F_{1\text{н}}} \\ q_{w2} = \frac{pB_2 v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}}{2}}{\sum F_{2\text{н}}} \end{cases} \quad (2.18)$$

где $\sum F_{1\text{н}}, \sum F_{2\text{н}}$ – суммарная площадь передних и задних тормозных колодок, м².

Тепловая энергия, выделяющаяся при торможении, расходуется на нагрев трущихся элементов тормозного механизма, а также рассеивается в окружающую среду путем теплоотдачи. В эксплуатации автомобиля перед первым торможением температура пары трения в тормозном механизме будет равна температуре

окружающей среды, тогда нагрев тормозных дисков и колодок определяется из выражения:

$$T_i = T_0 + \frac{W_i}{\bar{\alpha}_i F_i} \left(1 - e^{-\frac{\bar{\alpha}_i F_i \Delta t_{\text{тр}}}{c_i m_i}} \right), \quad (2.19)$$

где T_0 – температура окружающей среды, К;

W_i – мощность трения при торможении i -ой оси автомобиля, Вт;

$\bar{\alpha}_i$ – среднее значение коэффициента теплоотдачи, Дж/кг·°С;

F_i – площадь охлаждения тормозных механизмов i -ой оси автомобиля, м²;

$t_{\text{тр}}$ – время трения, с;

c_i – теплоемкость тормозного диска i -ой оси автомобиля, Дж/кг °С;

m_i – масса тормозного диска i -ой оси автомобиля, кг.

Принимая во внимания результаты математических преобразований, полученных в работах [65, 71], получим модель приращения температуры тормозного механизма при последующих торможениях (без учета теплоотдачи в окружающую среду):

$$\Delta T_i = \frac{A_{\text{тр}i}}{2c_i m_i}, \quad (2.20)$$

где $A_{\text{тр}i}$ – работа трения в тормозных механизмах i -ой оси автомобиля, Дж;

c_i – теплоемкость материала тормозного диска, Дж/кг·°С;

m_i – масса тормозного диска, кг.

Актуальность исследования энергонагруженности механизмов тормозной системы подтверждена в работах [65, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80]. Уровень энергонагруженности значительно влияет на значение конструктивных параметров элементов ТД и ТК, от значения которых зависит эксплуатационный и остаточный ресурс тормозного механизма в целом.

2.6 Статистический метод оценки надежности тормозной системы

Для оценки показателей надежности элементов ТормС, необходимо иметь выборку значений таких параметров, как давление тормозной жидкости,

элементарное приращения тормозного пути и времени трения при торможении. Рассматриваемые параметры, при детерминации образуют событие, от функции которого зависит изнашивание элементов ТормС. Событием, которое образуется при взаимодействии параметров при торможении – является работа трения в тормозных механизмах, значения которой имеют вероятностный характер. Анализ вероятностной модели работы трения позволит оценить потенциальные возможности процесса изнашивания ТК и ТД с перспективой прогнозирования их остаточного ресурса и обеспечением требуемого уровня безотказности тормозной системы.

В качестве случайной величины (св) будет рассматриваться удельная работа трения, которая является непрерывной величиной. Поэтому для нее будут оцениваться функция и плотность распределения.

Перед проведением исследования необходимо определить минимальный объем выборки с заданной точностью ε и достоверностью a . Математическое выражение определения минимального значения объема выборки с заданной точностью имеет вид:

$$N = \frac{U_p^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.21)$$

где U_p – вспомогательная величина (квантиль), определяемая по таблице квантилей в зависимости от $a^* = \frac{1+a}{2}$, a принимается 0,95;

σ^2 – стандартное отклонение.

Необходимая точность ε определяется по выражению:

$$\varepsilon = \delta X_{cp}, \quad (2.22)$$

где δ – относительная погрешность (для автотранспортных средств принимается в пределах 5 – 10 %).

В выборке определяются максимальное X_{max} и минимальное X_{min} значения, а их отношение является размахом варьирования:

$$R = X_{max} - X_{min}. \quad (2.23)$$

После размаха варьирования необходимо определить количество интервалов, на которое необходимо разбить выборку с размахом R :

$$k = 1 + 3,32 \lg N. \quad (2.24)$$

Найденное количество интервалов составляет вариационный ряд, ширина которого оценивается по выражению:

$$h = \frac{R}{k}. \quad (2.25)$$

Для каждого интервала определяются границы, но первоочередным определяется нулевое (стартовое) значение интервала:

$$X_0 = X_{min} - \frac{h}{2}. \quad (2.26)$$

Дальнейшие границы определяются последующим суммированием ширины границы к предыдущему значению $X_1 = X_0 + h; \dots X_k = X_{max} + h$.

В каждом интервале вариационного ряда вычисляется середина:

$$\bar{X}_i = \frac{(X_i + X_{i+1})}{2}. \quad (2.27)$$

Затем определяется опытная частота \bar{m}_i попаданий значений случайной величины в каждый интервал и среднеарифметическое значение:

$$\bar{X}_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_i \bar{m}_i. \quad (2.28)$$

Далее определяются частоты $w_i = \bar{m}_i / N$ и их накопленные частоты $w_i^H = \sum_{i=1}^k w_i$. Сумма частот должна всегда равняться единицы $w_i = 1$.

Для определения меры рассеивания значений случайной величины (св) относительно центра группирования значений вычислим стандартное отклонение $\sigma(x)$ по выражению:

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_i)^2 \bar{m}_i}{N - 1}}. \quad (2.29)$$

Для последующей достоверности результатов математического анализа св проверяется на аномальность с уровнем доверительной вероятности 0,997, применим правило трех сигм:

$$-3\sigma(X) \leq \bar{X}_i \leq +3\sigma(X). \quad (2.30)$$

Выражение (2.31) позволит сформировать выборку значений, в которой будут исключены отклоняющиеся от центра группирования значения св исключение аномальных значений позволит получить достоверную оценку распределения случайной величины и определить ее параметры с установленным уровнем достоверности.

Оценка меры рассеивания св происходит по анализу коэффициента вариации, который определяется по выражению:

$$v = \frac{\sigma(X)}{\overline{X}_i}. \quad (2.31)$$

По значению коэффициента вариации и графической интерпретации частоты можно косвенно судить о законе распределения случайной величины.

Для технических систем значения коэффициента вариации характеризуют принадлежность распределения по нормальному закону если $v_i \leq 0,33$, по закону Вейбула при $0,5 \leq v_i \leq 1$, при $v_i > 1$ по экспоненциальному.

Распределенная случайная величина по экспоненциальному закону считается, если плотность вероятности распределения описывается по выражению:

$$f(X) = \gamma e^{-\gamma X}, \quad (2.32)$$

где γ – параметр закона распределения.

После выдвижения предположения о принадлежности к выбранному закону распределения св необходимо осуществить проверку правдоподобия выдвинутого предположения. Для проверки используют критерий согласия χ^2 Пирсона, математическое выражение которого имеет вид:

$$\chi^2_{\text{опыт}} = \sum_{i=1}^k \frac{(\overline{m}_i - m_i)^2}{m_i} = \begin{cases} \leq \chi^2_{\text{табл}} \left(\begin{smallmatrix} a \\ S \end{smallmatrix} \right) \\ \geq \chi^2_{\text{табл}} \left(\begin{smallmatrix} a \\ S \end{smallmatrix} \right) \end{cases}, \quad (2.33)$$

где \overline{m}_i, m_i – опытные и теоретические числа попадания св. в i -й интервал;

k – количество интервалов;

a – уровень значимости;

S – число степеней свободы ($S = k - r - 1$);

r – число параметров теоретического закона распределения.

В случае, когда выполняется условие $X^2_{\text{опыт}} \leq X^2_{\text{табл}}$, выдвинутое предположение о принадлежности к выбранному закону распределения не является ложным и принимается [14, 17, 81, 82, 83, 84, 85].

Современные средства программного обеспечения позволяют выполнять вероятностный анализ распределения случайной величины более быстро. Такими средствами, которые в том числе применялись в исследовании являются: пакет программного обеспечения *Statistica*, специальные библиотеки языка программирования *Python*, программный инструмент для работы с большими объемами данных *Microsoft Power Business Intelligence (Power BI)*. Результаты обработки значений работы трения в тормозном механизме отразим таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Статистическая обработка удельной работы трения в ТМ

Характеристика	Значение	
	Передняя ось	Задняя ось
Математическое ожидание, $q_{\text{Аср}}$ (кДж/см ²)	0,495	0,173
Среднее квадратическое отклонение, $\sigma(q_A)$	0,48	0,17
Коэффициент вариации, v	0,98	0,98
Предполагаемый закон распределения св	экспоненциальный	
Размах, R	2,69	0,94
Число интервалов, k	10	10
Ширина интервала, h	0,26	0,09
Критерий Пирсона $X^2_{\text{табл}}$	17,01	
Критерий Пирсона $X^2_{\text{опыт}}$	10,325	10,379

Выдвигаем гипотезу, что работа трения в тормозных механизмах при торможении распределяется по экспоненциальному закону $f(q_A) = \gamma e^{-\gamma q_A}$. Проверка предположения о распределении работы трения по экспоненциальному закону подтверждена по критерию Пирсона. Расчет выполнялся с помощью специализированных программных команд в *Microsoft Excel*. Табличное значение критерия $X^2_{\text{табл}}$ при уровне значимости $\alpha=0,05$ и степеней свободы $S = 8$ составляет 17,01. Опытное значение $X^2_{\text{опыт}}$ для передней оси равно 10,325, для задней составляет 10,379. Условие принятия предположения о распределении работы

трения по экспоненциальному закону выполняется, $X^2_{\text{опыт}} < X^2_{\text{табл}}$. Гипотеза о распределении св по экспоненциальному закону подтверждается [17, 43, 81, 82, 83].

Параметр экспоненциального закона определяется, как $\gamma_1 = \frac{1}{q_{A1\text{ср}}} = \frac{1}{0,38} = 2,61$, для

задней оси $\gamma_2 = \frac{1}{q_{A2\text{ср}}} = \frac{1}{0,13} = 7,48$. Тогда математическое выражение

распределения удельной работы трения по экспоненциальному закону, функция плотности вероятности которого для передней q_{A1} и задней q_{A2} оси примет вид:

$$f(q_{A1}) = 2,61e^{-2,61q_{A1}} \quad (2.34)$$

$$f(q_{A2}) = 7,48e^{-7,48q_{A2}} \quad (2.35)$$

Плотность распределения удельной работы, на основе полученных экспериментальных данных (см. главы 2 и 3), представлена на рисунке 2.27.

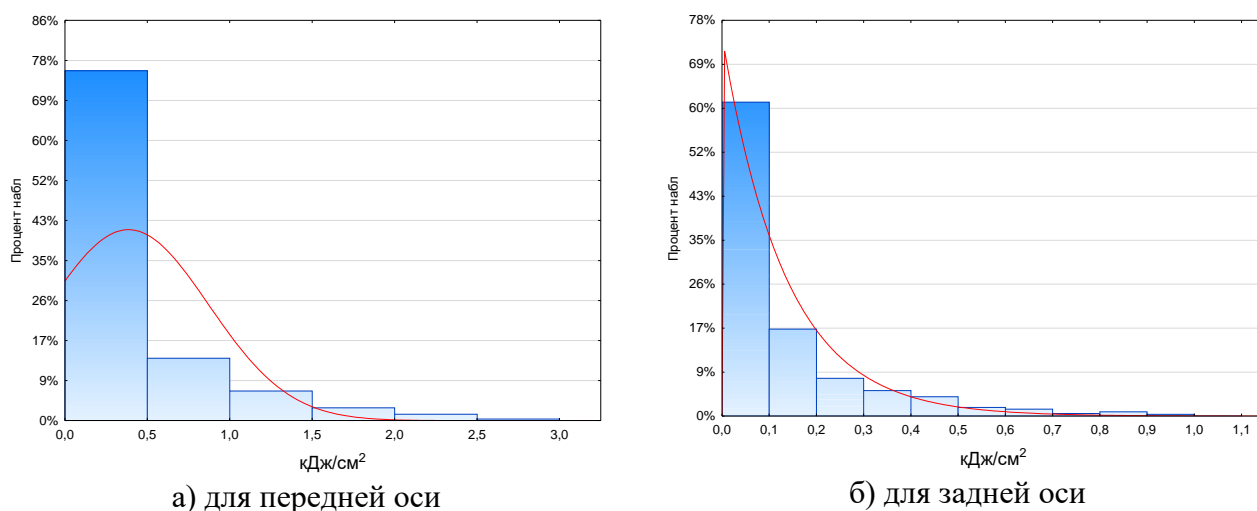


Рисунок 2.27 Плотность распределения удельной работы трения ТМ в процессе торможения

Статистический метод оценки распределения удельной работы трения позволил определить ее характер в процесс торможения при эксплуатации автомобиля.

Выводы по главе

В настоящей главе рассмотрены современные средства диагностирования, которые оценивают исключительно общую эффективность работы ТопС. Существующие роликовые тормозные стенды не дают возможности оценить

техническое состояние большинства элементов TopC. Встроенные бортовые средства диагностирования ТК позволяют определить момент, когда толщина фрикционного материала достигает предельного значения, установленного заводом изготовителем. Для автомобилей марки *Kia* предельное значение остаточной толщины рабочего тела для передних и задних тормозных колодок составляет 2 мм, для тормозных дисков передней оси 20 мм, а для задней 8,6 мм. Однако, заводом изготовителем не устанавливаются периодичности замены элементов тормозного механизма. На сегодняшний день отсутствует методика прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисков для автомобилей, находящихся в частной собственности, что является особенно актуальной научно-практической задачей.

Рассмотрены системы, повышающие безопасность дорожного движения и являющимися активными «помощниками» водителям при движении в сложных условиях. Они позволяют сократить тормозной путь до 30%, помочь удержать автомобиль на траектории движения при экстренном маневрировании, увеличить скорость срабатывания TopC в экстренной ситуации, распределять крутящий момент на ведущих колесах и многое другое. Все перечисленные преимущества рассмотренных «помощников» реализуются только тогда, когда безотказность тормозного механизма имеет допустимое значение в соответствии с предъявляемыми требованиями к надежности узлов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля.

Тормозная динамика описывается тормозными силами, которые создается только за счет взаимодействия тормозных колодок и тормозных дисков, что способствует созданию тормозного момента M_{TM} ТМ. Значение реализованного тормозного момента M_{TM} ограничивается коэффициентом сцепления φ шин с дорогой. Значение реализованного тормозного момента M_{TM} ограничивается коэффициентом сцепления φ шин с дорогой. Значения тормозного момента по сцепному весу M_G при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$ составляют: для передней оси составляет 1081,6 Нм, для задней оси 1006,7 Нм. Техническое состояние

элементов ТМ должно позволять обеспечить положительный запас по тормозному моменту ΔM .

Рассмотрен энергетический анализ процесса торможения и параметры энергонагруженности тормозных механизмов. При взаимодействии элементов тормозного механизма в процессе торможения происходит преобразование кинетической энергии теплонагруженным методом. Установлены основные параметры энергонагруженности тормозных механизмов, влияющие на техническое состояние тормозных колодок и дисков.

Статистический анализ позволил определить вероятностный характер удельной работы трения распределение которой происходит по экспоненциальному закону $f(q_{A1}) = 2,61e^{-2,61q_{A1}}$ и $f(q_{A2}) = 7,48e^{-7,48q_{A2}}$. Представленный вид экспоненциального закона распределения удельной работы трения за рабочий цикл TopC основан на результатах экспериментальных исследований, описанных в гл.3.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

3.1 Анализ условий эксплуатации легковых автомобилей

Совершенствование и развитие дорожной инфраструктуры оказывает влияние на эксплуатацию автомобиля и интенсивность работы ТормС. Улучшение технических характеристик автомобилей способствует изменению характера эксплуатации автомобиля. Владельцы легковых автомобилей повседневно пользуются ими для более быстрого, комфортного перемещения до места трудовой деятельности, до парков отдыха и различных объектов социальной и коммерческой инфраструктуры.

В технической эксплуатации автомобильного транспорта отсутствует нормативно-техническая информация об интенсивности работы ТормС. Под интенсивностью работы ТормС принимаем количество срабатываний тормозной системы (N) за пройденный путь автомобиля (L). Срабатыванием (рабочим циклом) тормозной системы в данной работе рассматривается момент нажатия на педаль тормоза при скорости автомобиля $v_a > 0$. При нажатии на педаль тормоза в гидравлическом приводе создается давление тормозной жидкости, которое оказывает воздействие на тормозные поршни ТМ, прижимающие колодки к тормозным дискам.

При эксплуатации автомобиля количество рабочих циклов (р.ц.) ТормС может зависеть от качества дорожного покрытия, плотности движения транспортного потока, маневрирования транспортных средств и пр. Исследование интенсивности работы ТормС и эксплуатации автомобиля проводилось на территории, где климатической район является умеренным, а рельеф характеризуется равнинной, слабо холмистой и холмистой местностью, что соответствует I и II категории условий эксплуатации [86, 87, 88].

Состояние дорожного покрытия может дополнительно оказывать влияние на скоростной режим и маневренность. К примеру, на центральных городских магистралях состояние дорожного полотна лучше, чем состояние дворовых дорог,

особенно расположенных на окраинах населенных пунктов. Наличие светофоров, искусственных неровностей (лежащих полицейских ГОСТ Р 52605–2006), динамика изменения скорости движения транспортного потока оказывает влияние на интенсивность работы ТопС. Количество р.ц. ТопС в течение одной и той же наработки, но при разных условиях эксплуатации может иметь разные значения, что влияет на изнашивание таких элементов ТопС, как ТК и ТД.

В соответствии с государственным стандартом все автомобильные дороги в Российской Федерации классифицируются следующим образом [86, 89]:

по условиям движения и доступа на них транспортных средств разделяют на три класса:

- автомагистраль,
- скоростная дорога,
- дорога обычного типа (нескоростная дорога).

К классу «автомagистраль» относят автомобильные дороги:

- имеющие на всем протяжении многополосную проезжую часть с центральной разделительной полосой;
- не имеющие пересечений в одном уровне с автомобильными, железными дорогами, трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками;
- доступ на которые возможен только через пересечения в разных уровнях, устроенных не чаще чем через 5 км друг от друга.

Основные технические характеристики классификационных признаков автомобильных дорог приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Техническая классификация автомобильных дорог общего пользования

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Общее кол-во полос движения	Ширина полосы движения м	Максимальный уровень загрузки дороги движением	Центральная разделительная полоса	Пересечения с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками	Пересечения с железными дорогами и трамвайными путями	Доступ на дорогу с примыканиями в одном уровне
Автомагистраль	IA	4 и более	3,75	0,6	Обязательна	В разных уровнях		Не допускается
Скоростная дорога	IB	4 и более	3,75	0,65				Допускается без пересечения прямого направления
Дорога обычного типа (нескоростная дорога)	IV	4 и более ^{1*}	3,75	0,7	Обязательна	Допускаются пересечения в одном уровне со светофорным регулированием	В разных уровнях	Допускается
	II	4	3,5	0,7	Допускается отсутствие ^{2*}			
			2 или 3 ^{3*}	3,75	0,7	Не требуется	Допускаются пересечения в одном уровне ^{4*}	
	III	2	3,5	0,7				
	IV	2	3,0	0,7				
	V	1	4,5 и более	0,7				

1* Более шести полос допускается только на существующих автомобильных дорогах.

2* На дороге категории II требование к наличию разделительной полосы определяется проектом организации дорожного движения.

3* Три полосы движения только для существующих автомобильных дорог.

4* Пересечение 4-полосной дороги категории II с аналогичной осуществляется в разных уровнях. Другие варианты пересечения дорог категории I с дорогами категорий II и III могут осуществляться как в разных уровнях, так и в одном (при условии светофорного регулирования, «отнесенных» левых поворотов или пересечения кольцевого типа). Максимальный уровень загрузки дороги движением определяется как отношение величины максимальной интенсивности движения к величине ее пропускной способности.

Для Владимирской области характерно наличие автомобильных дорог относящиеся с IV по V категории. Главной транспортной артерией 33 региона является федеральная трасса М-7 (рисунок 3.1), относящаяся к категории I [90, 91];

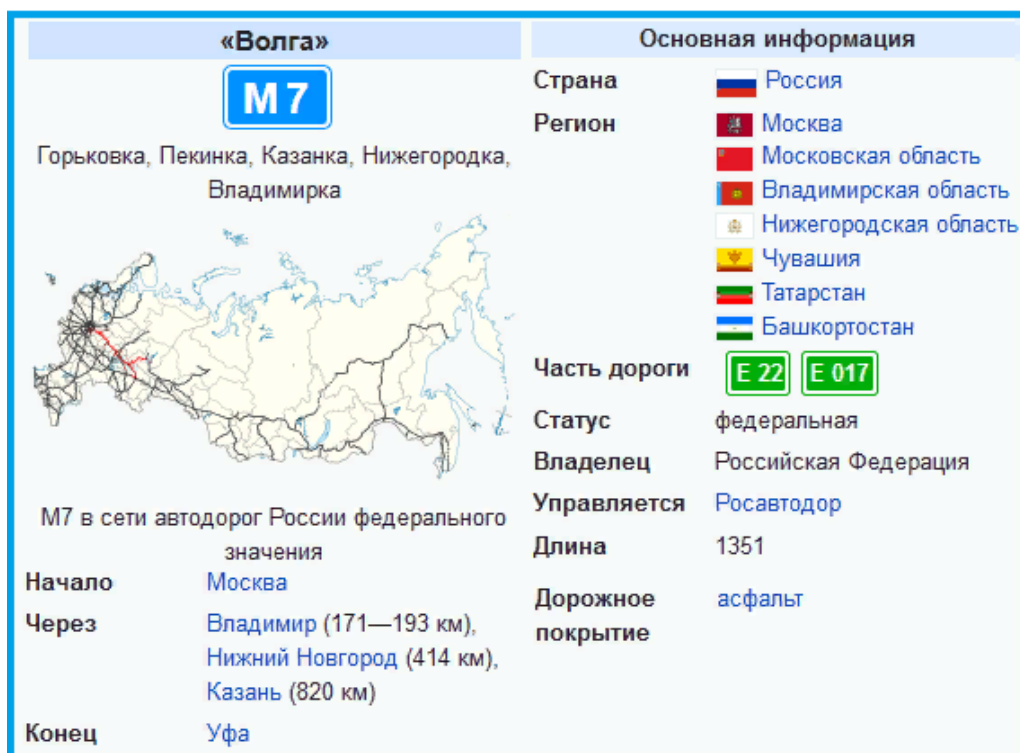


Рисунок 3.1 – Технические характеристики автомобильной дороги М-7

Автомобильная дорога М-7 самая крупная в регионе и соединяет столицу Владимирской области с городами Москва, Иваново, Нижний Новгород.

В классификации крупных автомобильных дорог Владимирской области исключение составляет федеральная скоростная автомобильная дорога М-12 Москва-Казань. Данная трасса относится к категории I с платными участками, протяженность которых на территории Владимирской области составляет более 220 км, а разрешённая скорость на платных участках составляет 110 км/ч [90, 91].

Также на территории Владимирской области расположена федеральная автомобильная дорога Р-132 («Золотое кольцо»), которая имеет общую протяжённость 1514 км. Отдельные участки дороги Р-132, находящиеся во Владимирской области, имеют характеристики, позволяющие ее отнести к категории от I до III.

Распоряжением администрации Владимирской области утвержден перечень автомобильных дорог общего пользования регионального и межмуниципального значения, общая протяженность которых составляет 5051 км [92, 93, 94]. Из них:

- 0,3% - дороги, относящиеся к категории IБ;
- 3,36%- дороги, относящиеся к категории II;
- 14,04%- дороги, относящиеся к категории III;
- 61,76%- дороги, относящиеся к категории IV;
- 20,8%- дороги, относящиеся к категории V;

Получение результатов исследования эксплуатации автомобилей и интенсивности работы TopC осуществлялось на дорогах с категориальным критерием и в условиях эксплуатации транспортных средств – это условия, в которых осуществляются работа автомобиля (грузовые – для перевозки грузов, автобусы – для перевозки пассажиров и т.д.). К условиям эксплуатации относятся виды дорожных покрытий, тип рельефа местности.

Для всей европейской части России характерны I и II категория условия эксплуатации автомобилей, умеренный климатический район и наличие всех V категорий дорог, в которых происходит эксплуатация легкового автомобильного транспорта.

3.2 Анализ интенсивности работы TopC

Оценка интенсивности работы TopC в различных условиях эксплуатации и на различных категориях дорог предполагает применение технического решения в виде специального счетчика срабатываний TopC (рисунок 3.3 б), интегрированного в электрическую цепь исследуемого автомобиля.

При нажатии на педаль тормоза, подается электрический сигнал на световую сигнализацию (стоп-сигнал). Появляющийся электрический сигнал, свидетельствует о включении в работу тормозной системы. Работа счетчика обеспечивается элементом питания напряжением 1,5 В, поэтому в схему прибора для подсчета был включен высокопроизводительный понижающий модуль питания постоянного тока, технические характеристики которого представлены в таблице 3.2 [95, 96].

Таблица 3.2 – Технические характеристики регулятора напряжения

Параметр	Значение
1	2
Модель	LM2596S-ADJ
Входное напряжение, В	от 3,2 до 40
Выходное напряжение, В	до 35
Входной максимальный ток, А	3
Погрешность регулировки напряжения, %	$\pm 0,5$
Скорость динамического отклика, мкс	200
Диапазон температуры,	от - 40 до +85
Выходная мощность, Вт	до 10
Габаритные размеры, мм	43x21x14
Защита цепи	кремневый диод SS36
Внешний вид	

Используемый регулятор напряжения полностью удовлетворяет требованиям работы счетчика в 1,5 В от бортовой сети автомобиля напряжением 12 В и током до 3А. Принципиальная схема счетчика срабатываний TopC представлена на рисунке 3.2.

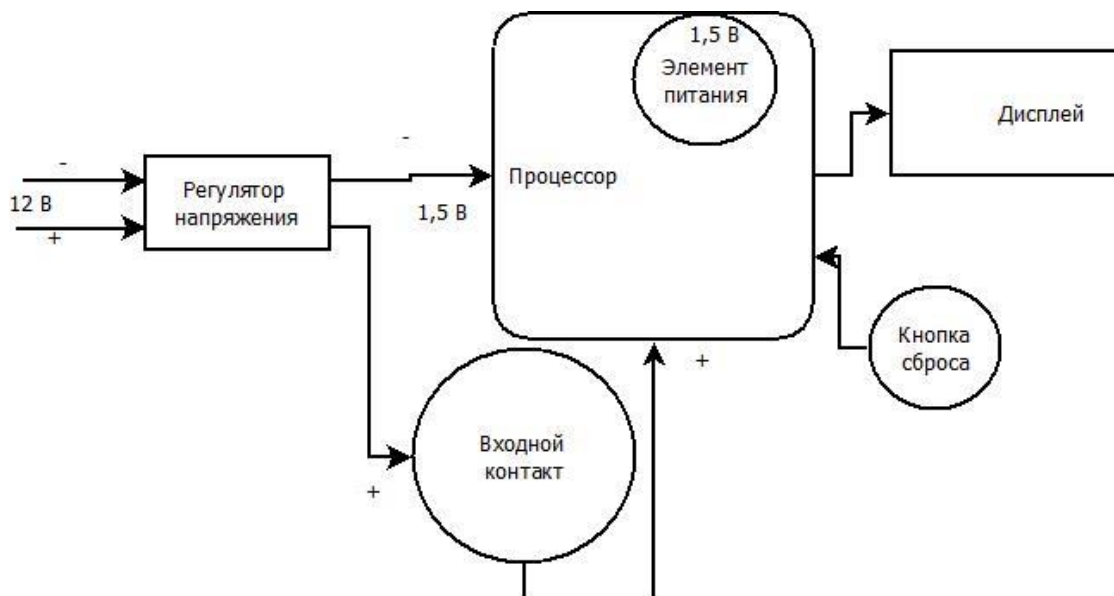


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема счетчика срабатываний TopC

Основными элементами счетчика являются: регулятор напряжения, цифровой дисплей, управляющий контакт (входной), кнопка сброса показаний, элемент питания и процессор обработки и хранения информации.

Принцип работы счетчика заключается в преобразовании входного электросигнала и его учете. При замыкании электрической цепи стоп-сигнала, в момент нажатия на педаль тормоза, электрический сигнал протекает через регулятор напряжения и входной контакт счетчика, после чего обрабатывается и выводится на дисплей в виде цифрового значения. Процессор обладает постоянным запоминающим устройством (ПЗУ). Максимальная емкость ПЗУ составляет 99999 единиц [97].

Рассматриваемый счетчик был подключен в электрическую цепь тормозной системы (к стоп-сигналу) и установлен в салон автомобиля на рычаг переключателя указателей поворота (рисунок 3.3 б). Выбранное место установки счетчика

обусловлено оперативностью фиксации показаний рабочих циклов тормозной системы и мобильностью его управления.

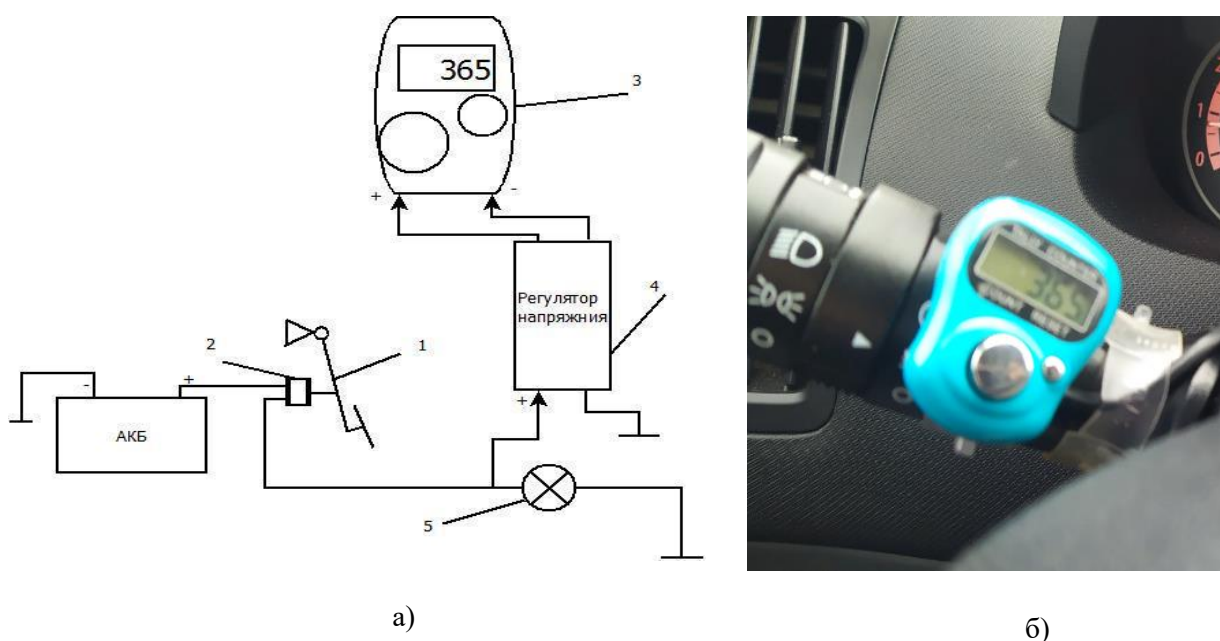


Рисунок 3.3 - Схема подключения а) и внешний вид счетчика б):

1 – педаль тормоза, 2 – концевик педали тормоза, 3 – счетчик, 4 – лампа стоп-сигнала.

Выбранное месторасположение счетчика обеспечивает беспрепятственную доступность визуализации его показаний. Показания счетчика фиксировались методом фотографирования (в данном случае фотокамеры мобильного телефона). Близкое расположение счетчика с показателями одометра на панели приборов обеспечивала не большую трудоемкость процесса фиксации количества срабатывания тормозной системы и пройденного пути.

В процессе проведения исследования получены следующие данные: количество срабатывания тормозной системы N (р.ц.) за пробег L (км) в условиях эксплуатации, рассмотренных в п.3.1. Полученные данные в реальных условиях позволили определить интенсивность работы ТопС. Алгоритм определения интенсивности работы тормозной системы и эксплуатации автомобиля представлен на рисунке 3.4.

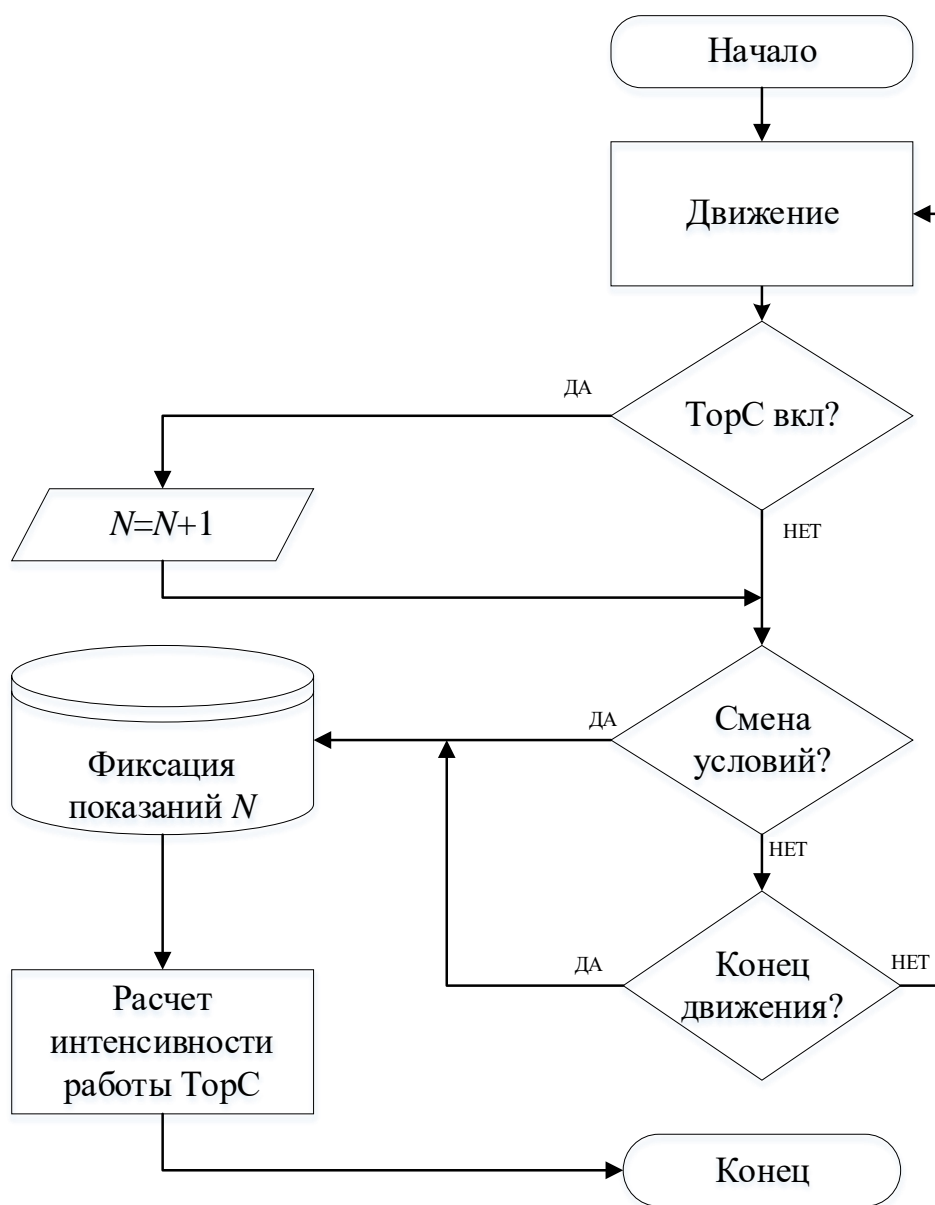


Рисунок 3.4 – Алгоритм определения интенсивности работы тормозной системы и эксплуатации автомобиля.

Исследование проводилось в реальных условиях непрерывно на протяжении 20 месяцев на территориях Владимирской, Ивановской, Ярославской, Рязанской, Московской и Нижегородской областях Российской Федерации.

Эксперимент по определению эксплуатации автомобиля и интенсивности работы ТорС осуществлялся на примере автомобиля *Kia seed* универсал с дисковыми задними тормозными механизмами и механической коробкой переключения передач. Перед установкой счетчика срабатываний, тормозная

система автомобиля была приведена в соответствии с требованиями нормативных документов [20, 98, 99, 100].

Установленный на автомобиле по электрической схеме (см. рисунок 3.3) счетчик срабатывания ТопС учитывал нажатия на педаль тормоза водителем. В экспериментальных исследованиях принимали участие разные водители в идентичных условиях. Итоговая регистрация данных счетчика и одометра реализовывалась в специальной таблице программного обеспечения *Microsoft Excel*. Фрагмент регистрации данных представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Фрагмент регистрации данных работы ТопС

Пробег L , км	Кол-во нажатий, N	Интервал пробега за поездку, L^i	Нажатий за поездку, N^i	Нажатий на 1 км, q	Условия эксплуатации	Категория дороги
1	2	3	4	5	6	7
114079	0	-	-	-	-	
114110	260	31	260	8,4	г. Владимир	
114249	316	139	56	0,4	17 Р – 1, 17 Н-7	Iб, II, III
114254	345	5	29	5,8	г. Меленки	
114265	365	11	20	1,8	17 К-17	IV
114269	430	4	65	16,3	д. Паново	
114278	436	9	6	0,7	17 К-17	IV
114282	447	4	11	2,8	г. Меленки	
114420	519	138	72	0,5	17 Р – 1, 17 Н-7	Iб, II, III
114429	571	9	52	5,8	г. Владимир	
114464	924	35	353	10,1	г. Владимир	
114488	1294	24	370	15,4	г. Владимир	
114500	1448	12	154	12,8	г. Владимир	

В таблицу заносились количество р.ц. ТопС и пробег за поездку. С помощью функциональных возможностей программного обеспечения выполнялся расчет показателя интенсивности работы ТопС согласно алгоритму, представленному на рисунке 3.4. Удельное значение рабочих циклов ТопС на 1 км пробега определялось по выражению:

$$q = \frac{N}{L}, \quad (3.1)$$

где N – количество рабочих циклов ТопС, р.ц.;

L – наработка, км.

Оценка удельного значения рабочих циклов ТопС осуществлялась при эксплуатации в реальных условиях, рассмотренных в п. 3.1. Полученные результаты удельного показателя интенсивности работы ТопС позволяют оценить ее работу на разных категориях дорог (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Интенсивность работы ТопС

Категория дороги	Идентификационный номер дороги	Среднее удельное значение интенсивности работы ТопС, $q_{N_i}^{cp}$
I	М-7 «Волга», 17 Р – 1, К-155, К-346, 22К-0101	0,1 р.ц./км
II	17 Р – 1, К-090, К-111,	0,1 р.ц./км
III	17 А – 2, 17 К – 2, 17 К – 3, Н-036, Н-106	0,4 р.ц./км
IV	17 К – 12, 17 К – 17, К-081,	1,6 р.ц./км
V	17 Н -370, 17 Н -427, Н-168	6,8 р.ц./км

Анализ результатов интенсивности работы ТопС с учетом категорий дорог показывает, что существенное отличие удельных значений интенсивности работы ТопС заметно только между I и V категорией дорог. С учетом условий эксплуатации и интенсивности работы ТопС (см. таблицу 3.4) предложены конкретизированные условия движения автомобиля: «Город» и «Трасса» (рисунок 3.5), которые опираются на классификацию условий движения «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта». К условиям «Город» предлагается относить эксплуатацию в административных границах населенного пункта, обозначенного дорожными знаками белого фона и численностью более 1000 человек. К условиям «Трасса» - эксплуатацию по всем региональным, федеральным трассам, скоростным дорогам и пр. за пределами административных границ населенных пунктов.



Рисунок 3.5 – Конкретизация условий движения автомобиля «Город» и «Трасса»

В процессе экспериментальных исследований интенсивности работы ТорС в условиях движения «Город» и «Трасса» велась фиксация значений одометра и показаний счетчика, затем информация записывалась в таблицу учета в соответствующих столбцах «Город» и «Трасса» (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Фрагмент таблицы учета данных интенсивности работы ТорС

Пробег L , км	Кол-во р.ц. ТорС, N	«Город»			«Трасса»		
		Пробег L_1	р.ц. N_1	р.ц./км, q_1	Пробег L_2	р.ц. N_2	р.ц./км, q_2
1	2	3	4	5	6	7	8
132072	-	-	-	-	-	-	-
132084	1075	12	270	22,5	-	-	-
132121	1141	37	397	10,7	-	-	-
132129	1525	8	66	8,3	-	-	-
132160	2085	31	384	12,4	-	-	-
132212	2202	52	560	10,8	-	-	-
132225	2526	13	117	9,0	-	-	-
132255	2760	30	324	10,8	-	-	-
132283	3353	28	234	8,4	-	-	-

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
132344	3445	61	593	9,7	-	-	-
132359	3455	15	92	6,1	-	-	-
132500	3491	-	-	-	141	10	0,07
132509	3498	9	36	4,0	-	-	-
132518	408	-	-	-	9	7	0,78

В столбцах 1 и 2 регистрировались текущие значения пробега и количества р.ц. ТорС в период всего исследования. В столбцах 3 и 4 отражены интервал пробега и количество р.ц ТорС за поездку в условиях «Город». В столбце 5 рассчитано удельное значение интенсивности работы ТорС за поездку по формуле (3.1). В столбцах 6, 7 и 8 отражены интервал пробега, количество р.ц. ТорС и удельное значение интенсивности работы ТорС за поездку. Эксплуатация в условиях «Город» и «Трасса» проводилась в соответствии с соблюдением правил дорожного движения и соответствовала удовлетворению бытовым потребностям водителей-операторов, что отражается на достоверности полученных значений в реальных условиях эксплуатации.

За период наблюдения на интервале пробега более 25000 км было сделано 577 регистраций данных. Результаты обработки представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты обработки работы ТорС и эксплуатации автомобиля

№ п/п	Условие	Наработка		Количество срабатываний ТорС		Интенсивность работы ТорС
		км	%	р.ц.	%	р.ц./км
1	Город	14356	56,78	114954	96,29	8,01
2	Трасса	10927	43,22	4426	3,71	0,41
3	Итого	25283	100	119380	100	-

В условиях «Город» пробег, равный 14356 км всего на 13% превышает пробег в условиях «Трасса», который составляет 10927 км. Анализ соотношения рабочих циклов ТорС показывает, что количество р.ц. в условиях «Город» в 25 раз превосходит количество р.ц. ТорС в условиях «Трасса». Среднее удельное значение р.ц. ТорС в условиях «Город» превосходит в 20 раз значение

интенсивности работы ТопС в условиях «Трасса». Приведенные значения свидетельствуют о значительной разнице интенсивности работы ТопС в условиях «Город» и «Трасса». Как показывает практика эксплуатации автомобилей частными владельцами, в их движении преобладает эксплуатация в смешанных условиях для выполнения транспортной работы и удовлетворения бытовых потребностей. Под смешанными условиями понимается эксплуатация автомобиля в условиях «Город» и «Трасса» в пропорциях. В связи с этим рассматривается количественное соотношение условий движения автомобиля, которое отражено в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Количественная оценка смешанных условий движения

Условие движения	Соотношение, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Город, L_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Трасса, L_2	90	80	70	60	50	40	30	20	10

Для оценки интенсивности работы ТопС по принятым соотношениям условий был введен критерий – коэффициент условий движения $K_{уд}$, который определяется количеством рабочих циклов ТопС и наработкой автомобиля в соответствии с предложенным выражением (3.2). Подставляя в выражение (3.2) значения, полученные в ходе эксперимента в реальных условиях общего количества рабочих циклов ТопС $N=119380$ р.ц. и наработки $L=25283$ км, получим:

$$K_{уд} = \frac{N}{L} = \frac{119380}{25283} = 4,72 \text{ р. ц./км.} \quad (3.2)$$

Введенный критерий $K_{уд}$ показывает интенсивность работы ТопС с разным количественным соотношением условий движения автомобиля. Оценка значений критерия при заданных количественных соотношениях условий движения осуществлялась на основе результатов работы ТопС по предложенной системе уравнений (3.3) для определения значений $K_{уд}$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1^i = \frac{L}{100} i, \text{ где } i = 1 \dots 100; \\ L_2^i = L - L_1^i; \\ N_1^i = L_1^i q_{N1}^{cp}, \text{ при } q_{N1}^{cp} = 8,01; \\ N_2^i = L_2^i q_{N2}^{cp}, \text{ при } q_{N2}^{cp} = 0,41; \\ N^i = N_1^i + N_2^i; \\ K_{уд}^i = \frac{N^i}{L}. \end{array} \right. \quad (3.3)$$

где L – принятая наработка, км;

i – принятый процент пробега в режиме «Город», %.

Итерируя значение i в уравнении (3.3) до равенства $K_{уд}^i = K_{уд} = 4,72$, определим, что количество рабочих циклов $N_1=114992$, $N_2=4480$, а эксплуатация будет соответствовать 57% - в условиях «Город» и 43% в условиях «Трасса». Данные расчеты показывают, что при значении $K_{уд}=4,72$, эксплуатация автомобиля осуществлялась 57% или 14356 км в городе и 43% (10927 км) за его пределами.

Основываясь на результатах исследования в таблице 3.4 и принятую классификацию количественного соотношения (таблица 3.7), определим значения критерия, соответствующие конкретным соотношениям условий эксплуатации автомобиля и интенсивности работы ТорС. Результаты расчета интенсивности работы ТорС отражены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты расчета интенсивности работы ТорС при различных соотношениях условий эксплуатации автомобиля

Соотношение условий, (L_1/L_2) , % / %	Пробег в условиях «Город» L_1 , км	Пробег в условиях «Трасса» L_2 , км	Количество р.ц. ТорС в условиях «Город» N_1	Количество р.ц. ТорС в условиях «Трасса» N_2	Суммарное количество $\sum N$, р.ц.	Критерий, $K_{уд}$
1	2	3	4	5	6	7
10 / 90	2528	22755	20252	9329	29581	1,17
20 / 80	5057	20226	40503	8293	48796	1,93
30 / 70	7585	17698	60755	7256	68011	2,69
40 / 60	10113	15170	81007	6220	87226	3,45

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7
50 / 50	12642	12642	101258	5183	106441	4,21
60 / 40	15170	10113	121510	4146	125657	4,97
70 / 30	17698	7585	141762	3110	144872	5,73
80 / 20	20226	5057	162013	2073	164087	6,49
90 / 10	22755	2528	182265	1037	183302	7,25

Соотношению условий движения (50/50) соответствует значение критерия равное $K_{уд}=4,21$. Увеличение значения $K_{уд}$ свидетельствует о преобладании эксплуатации автомобиля в условиях «Город» над эксплуатацией в условиях «Трасса». Зависимость интенсивности работы ТопС от критерия представлена на графике рисунка 3.6.

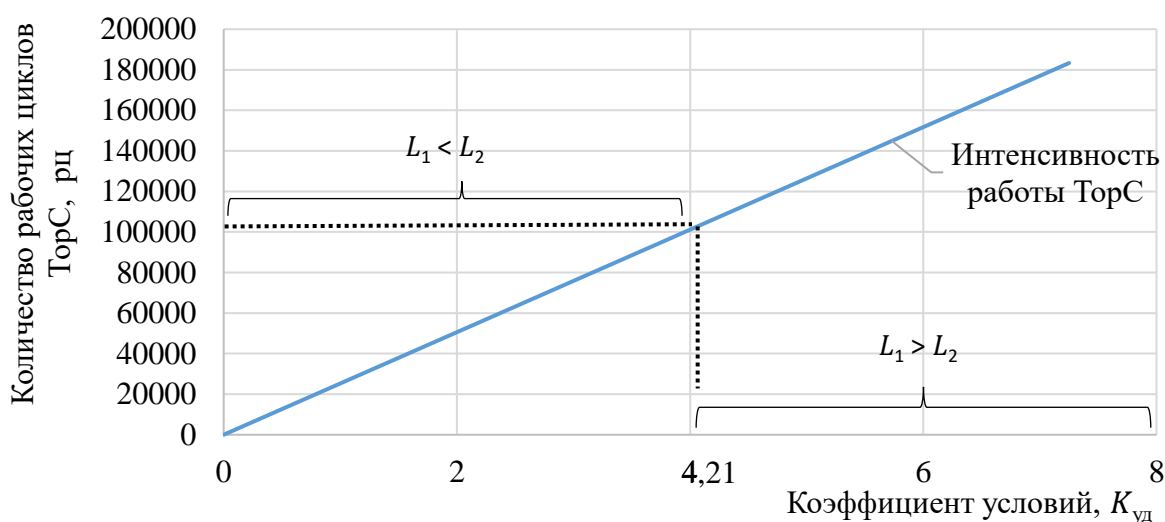


Рисунок 3.6 –Зависимость работы ТопС от критерия

Наработка в условиях «Город» меньше, чем в условиях «Трасса» в интервале значений $K_{уд}$ от 0 до 4,21. Приведенная зависимость свидетельствует, что эксплуатация с разным значением коэффициента $K_{уд}$ оказывает значительное влияние на техническое состояние элементов ТопС.

Проведенные исследования показали, что средняя наработка на отказ ТК равна 55,65 тыс. км при уровне безотказной работы 0,95. Это соответствует соотношению условий движения автомобиля в пропорции: 50% в условиях «Город» и 50% в

условиях «Трасса». Коэффициент условий движения $K_{уд}=4,21$. В случае, когда эксплуатация в условиях «Город» будет преобладать над эксплуатацией в условиях «Трасса», значение $K_{уд}$ будет больше 4,21. Вероятность отказа ТормС превысит значение 0,05, что недопустимо по требованиям к надежности узлов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля (рисунок 3.7).

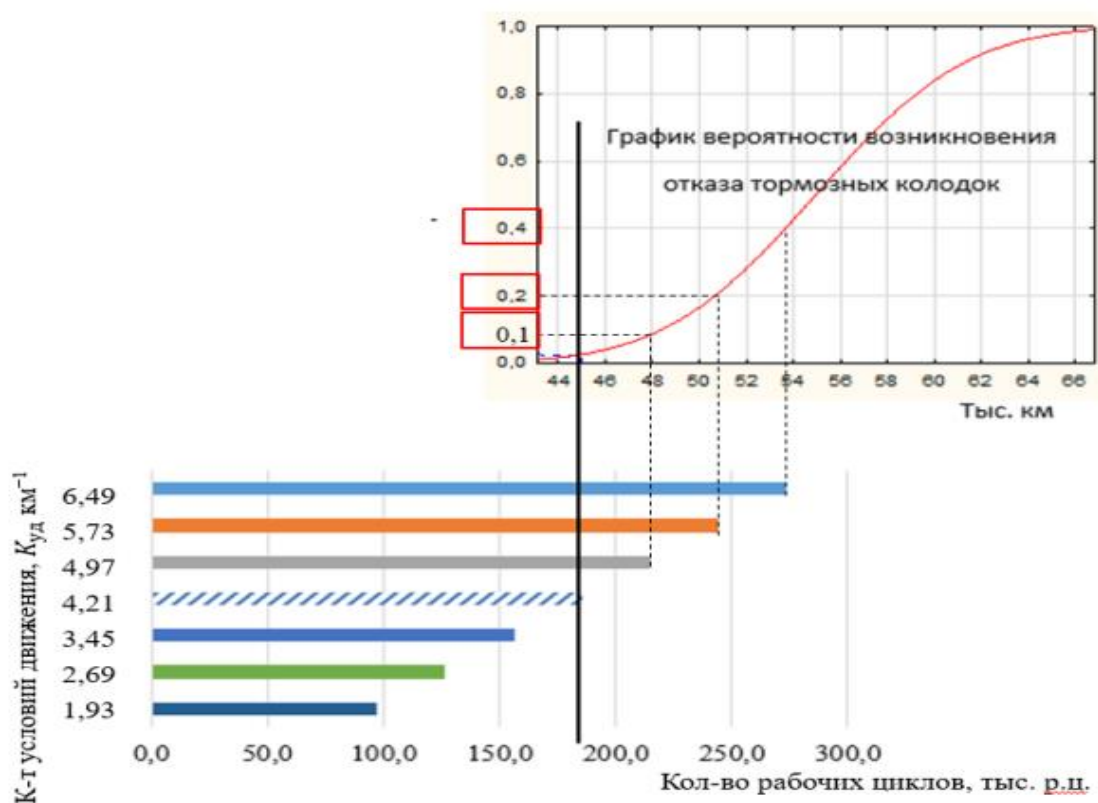


Рисунок 3.7 – Схема оценки вероятности отказа ТК

Аналогичная схема оценки вероятности отказа применима и для ТД, средняя наработка на отказ которого составила 178 тыс. км с учетом вышеописанных соотношений условий движения [101].

За одну и ту же наработку, но при разных соотношениях условий движения автомобиля, тормозная система может работать с различной интенсивностью, что отражается на техническом состоянии ее элементов. В работах [102, 103] рассмотрен вопрос о изменении технического состояния элементов ТормС не только от наработки автомобиля, но и от интенсивности работы ТормС. Результаты исследования показывают, что при проведении технического обслуживания тормозной системы принимать во внимание только наработку автомобиля –

недостаточно. Необходимо учитывать интенсивность работы ТопС для более достоверной оценки технического состояния ее элементов и обеспечения необходимого уровня безотказности.

Условия движения автомобиля и интенсивность работы ТопС оказывают непосредственное влияние на техническое состояние и остаточные ресурсы элементов ТопС. Проведенные исследования в работах [97, 105] показывают, что для ТД и ТК информации о количестве рабочих циклов N недостаточно для прогнозирования их остаточного ресурса. Безотказное состояние ТД и ТК зависит от их структурного параметра – остаточной толщиной рабочего тела. Поэтому предлагается для оценки безотказного состояния ТД и ТК учитывать следующие параметры:

- изменение скорости автомобиля в процессе торможения, $\Delta v(t)$;
- силу, действующую на тормозную колодку, зависящей от давления тормозной жидкости в гидравлическом приводе p ;
- время, в течение которого осуществлялось трение пары колодка-диск, $t_{\text{тр}}$.

Для получения значений указанных выше параметров предложен методический подход, который основан на разработке программно-технического комплекса сбора данных (КСД) при торможении в реальных условиях.

3.3 Разработка программно-технического комплекса сбора данных

Задачей КСД является автоматическая фиксация, преобразование в электрический сигнал значений неэлектрических величин и сохранение текущих значений параметров в процессе торможения: начальную и конечную скорость торможения, давления тормозной жидкости в гидравлическом приводе, времени трения.

КСД представляет собой электронный блок для работы с полученными электрическими сигналами неэлектрических величин, комплекта модулей датчиков и самих датчиков. Электронная схема комплекса представлена на рисунке 3.8.

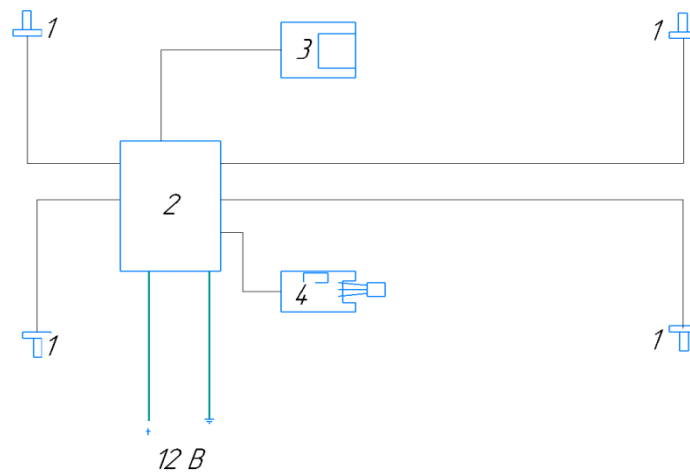


Рисунок 3.8 – Схема комплекса сбора данных при торможении автомобиля

1 – тензопреобразователи избыточного давления; 2 – электронный блок КСД; 3 – модуль *SD* карты памяти; 4 – модуль датчика скорости.

Тензометрические преобразователи избыточного давления 1 (рисунок 3.8) представляют собой датчик с наружной резьбой, титановой мембраной и замкнутом диодном мостом Уитстона (рисунок 3.9). В исследовании применялись тензопреобразователи маркировки MP25-21-M1-L.

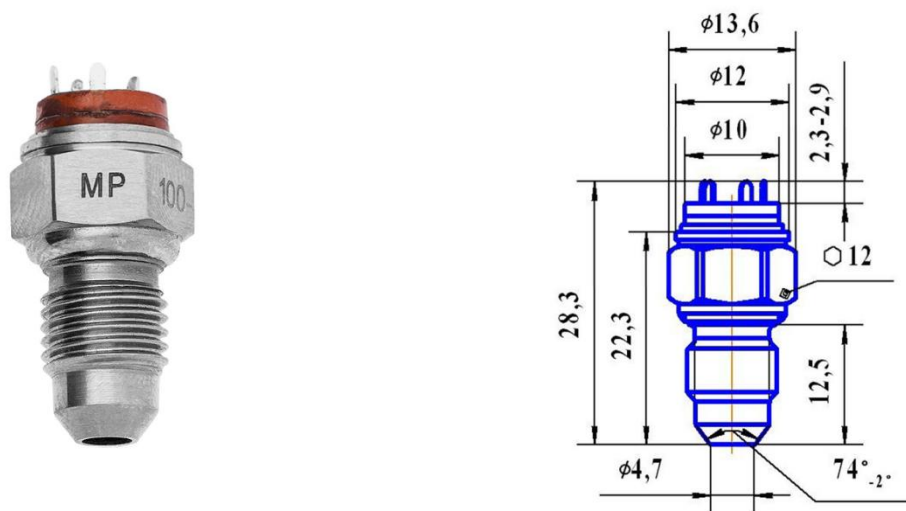


Рисунок 3.9 - Тензометрические преобразователь избыточного давления

Основными техническими характеристиками тензопреобразователей являются диапазон рабочего давления до 25 МПа, давление продавливания в 75 МПа, рабочее напряжение 1-10 В, сопротивление 3,4 кОм, диапазон рабочих

температур от -45 до $+125$ °C, степень защиты IP 40. Остальные технические характеристики отражены в приложении Б. Тензометрические датчики предназначены для пропорционального преобразования воздействия на титановую мембрану тормозной жидкостью в электрический сигнал. Для обработки выходного электронного сигнала от тензодатчика, применяются специальные преобразователи. В данной исследовательской работе применяются модули преобразования модели *ADS1115*.

Модуль *ADS1115* представляет собой 16-битный аналого-цифровой преобразователь электронного сигнала, имеющий внутренний источник опорного напряжения, программируемую частоту дискретизации, настраиваемый коэффициент усиления, встроенный компаратор и возможность выполнять измерения в 2-х режимах: прямом и дифференциальном. Внешний вид модуля показан на рисунке 3.10 [95, 96].



Рисунок 3.10 – Внешний вид модуля *ADS1115*

Как видно из вышеприведенного рисунка, модуль содержит 10 выводов, краткое описание которых представлено ниже:

- *VDD* и *GND* отвечают за питание микросхемы *ADS1115*. Модуль может работать в диапазоне от 2В до 5.5В;
- наличие выводов *SCL* и *SDA* свидетельствует о способности обмениваться информацией с ведущим устройством по протоколу I2C. Дополнительно устанавливать подтягивающие резисторы на шину не требуется, так как они уже предусмотрены в конструкции модуля;
- *ARRD* – задаёт один из 4-х возможных адресов модуля. Данная функция актуальна при использовании сразу нескольких *ADS1115* на одной шине I2C;

- *ALRT* – выход компаратора, который удобно использовать для оповещения управляющего устройства;

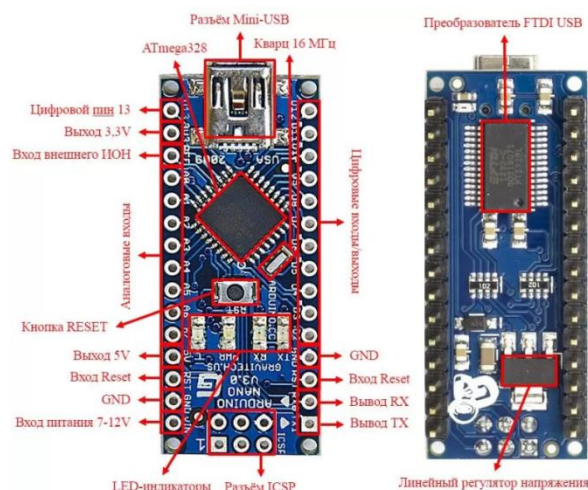
- A0, A1, A2, A3 – входы АЦП, которые могут быть настроены как 4 одиночных канала или 2 дифференциальных. В последнем случае появляется возможность измерять разность потенциалов между выводами A0-A1 и A2-A3, что и будет реализовано в исследовании. Технические характеристики представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Технические характеристики модуля *ADS1115*

Характеристика	Значение
1	2
Напряжение питания, В	2 - 5
Минимальное потребление тока, мкА	150
Разрешение, бит	16
Тип интерфейса	<i>I2C</i> (адреса 0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B)
Количество входов	4 несимметричных или 2 дифференциальных
Внутренний усилитель <i>PGA</i>	до 16
Настраиваемая скорость обработки данных, выборки / сек	8 - 860
Диапазон рабочих температур, °C	-40 + 125
Тип корпусов микросхемы	<i>VSSOP</i> -10
Размер модуля, мм	28x16

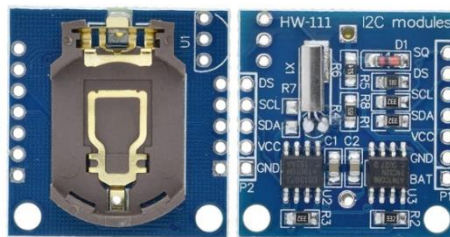
Основные электронные схемы подключения модуля *ADS1115* представлены в приложении В. Данный модуль применяется для обработки электрического сигнала от тензодатчиков давления MP25-21-M1-L и передачи его уже в цифровом коде на микроконтроллер. В качестве микроконтроллера определена одна из распространенных плат программирования *Arduino Nano*.

Отладочная плата программирования *Arduino Nano* версии 3.0 имеет микроконтроллер *ATmega328*, увеличенный объем *FLASH* и *EEPROM*-памяти и большую тактовую частоту работы по сравнению с более ранними версиями (рисунок 3.11) [95, 96]. Описание платы программирования представлено в приложении В.

Рисунок 3.11 – Состав платы *Arduino Nano*

Рассматриваемая плата позволяет работать с применяемыми тензопреобразователями серии MP и модулями *ADS1115*. В среде программирования *Arduino* на языке C++ составлен программный код (скетч), работающий по предложенному автором специальному алгоритму. Применяемая плата в роли главного процессора имеет широкий функционал для автоматизации процессов экспериментальных исследований и набор возможностей для программного проектирования.

Для достоверного и полноценного обеспечения временной характеристики работы тормозных механизмов применялся модуль реального времени (рисунок 3.12) *DS1307*. Модуль реального времени имеет собственный источник питания и микроконтроллер, позволяющие работать модулю часов в автономном режиме. Связь с главным процессором системы сбора данных обеспечивается по высокосортному протоколу *I2C*. Наличие модуля часов позволит получить информацию о периодах торможения, трения тормозных колодок и дисков, а также позволит судить о времени суток работы ТормС и эксплуатации автомобиля. Информационная обеспеченность в исследованиях способствует более полной и достоверной оценке влияния работы тормозной системы на техническое состояние ее элементов.

Рисунок 3.12 – Модуль часов *DS1307*

Основные характеристики и схемы подключения модуля *DS1307* отражены в приложении В. Главным конкурентным преимуществом рассматриваемого модуля часов *DS1307* является наличие электронных компонентов, позволяющих обеспечивать подзарядку элемента питания *DS1307* при подключении внешнего источника питания напряжением до 5 В. Наличие схемы подзарядки элемента питания гарантирует безотказность модуля часов и предоставление непрерывной информации при его использовании.

Информация о скорости движения автомобиля поступает от специального модуля *KY-24* (рисунок 3.13), на котором установлен датчик холла. Модуль датчика холла предоставляет собой плату с электронными компонентами и подстроечным резистором.

Рисунок 3.13 – Модуль *KY-24* с датчиком холла

Подстроечный резистор модуля датчика Холла позволяет отрегулировать порог чувствительности магнитного датчика. Подробное описание модуля *KY-24* отражено в приложении В. Рассматриваемый модуль *KY-24* имеет возможность передавать сигнал как в аналоговом, так и в цифровом виде, что делает такой модуль универсальными и позволяет решать задачи разного характера. В данном

исследовании используется цифровой формат в качестве сигнала о скорости движения автомобиля.

Снятые электронные сигналы с датчиков, в последствие преобразованные модулями в цифровые коды и обработанные микроконтроллером необходимо сохранить для дальнейшей обработки. Для сохранения значений параметров при торможении применяется модуль *SD* карты (рисунок 3.14).

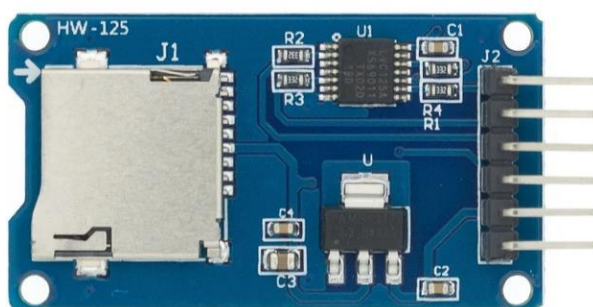


Рисунок 3.14 – Модуль *SD* карты памяти

Модуль на рисунке 3.14 представляет собой плату с электронными *smd* компонентами, слотом куда вставляется физическая микро *SD* карта и соединительные контакты для питания и передачи информации. Взаимосвязь с главной платой осуществляется по протоколу *SPI*. Задачей данного модуля является запись обработанных сигналов от главного микроконтроллера на карту памяти *micro SD*. В последующем, карта памяти достается из слота модуля, подключается через картридер к ПК или ноутбуку, где осуществляется дальнейшая обработка.

В системе сбора данных применяется 4 тензодатчика давления, а модуль *ADS1115* способен работать максимум с 2 устройствами при дифференциальном измерении сигнала, то таких модулей *ADS1115* в системе сбора данных применялось 2 единицы. В соответствии со схемой на рисунке 3.15, большинство модулей и разных электронных устройств смонтированы в едином электронном блоке КСД.

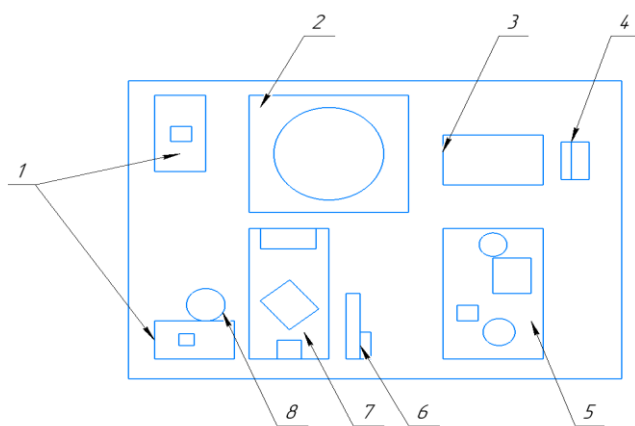


Рисунок 3.15 – Структурная схема электронного блока КСД

1 – модули аналогово-цифровых преобразователей *ADS1115*; 2 – модуль часов *DS1302*; 3 – реле на 12 В подачи стоп-сигнала; 4 – линейный стабилизатор напряжения *L7885CV*; 5 – регулятора напряжения питания *LM2596S-ADJ*; 6 – контактная группа внешних коммуникаций модуля *SD* карты и др.; 7 – плата главного микроконтроллера *Arduino Nano*; 8 – зуммер звукового сигнала.

Модули *ADS1115* 1 (рис. 3.13) предназначены для преобразования электрического сигнала в цифровой и его передачи от тензодатчиков давления, установленных в гидравлическом приводе тормозной системы, при выполнении команды запроса главного микроконтроллера по заданному алгоритму. Модуль часов 2 передает информацию о текущем времени, которое настроено оператором при программировании главного микроконтроллера. Реле 3 предназначено для передачи электрического сигнала от бортовой сети автомобиля, при загорании лампы стоп-сигнала на контакт микроконтроллера для команды записи значений параметров при торможении. Все электронные компоненты и модули блока КСД работают с напряжением питания 5 В, а приходящий электрический сигнал выше 5 В и не стабилен, поэтому в схеме блока применяется линейный стабилизатор напряжения 4. Общее питание всех датчиков и модулей осуществляется выравненным сигналом 4,96 В за счет 5 понижающего регулятора напряжения питания *LM2596S-ADJ*. Питание блока и связь с внешними модулями карты памяти и модуля датчика скорости осуществляется через контактную группу 6. Для оповещения о возникших неисправностях в работе КСД установлен специальный звуковой зуммер 8. Главным микроконтроллером блока является плата *Arduino*

Nano 7, на которую записан специальный программный код, работающий по разработанному алгоритму, представленному на схеме рисунка 3.16.

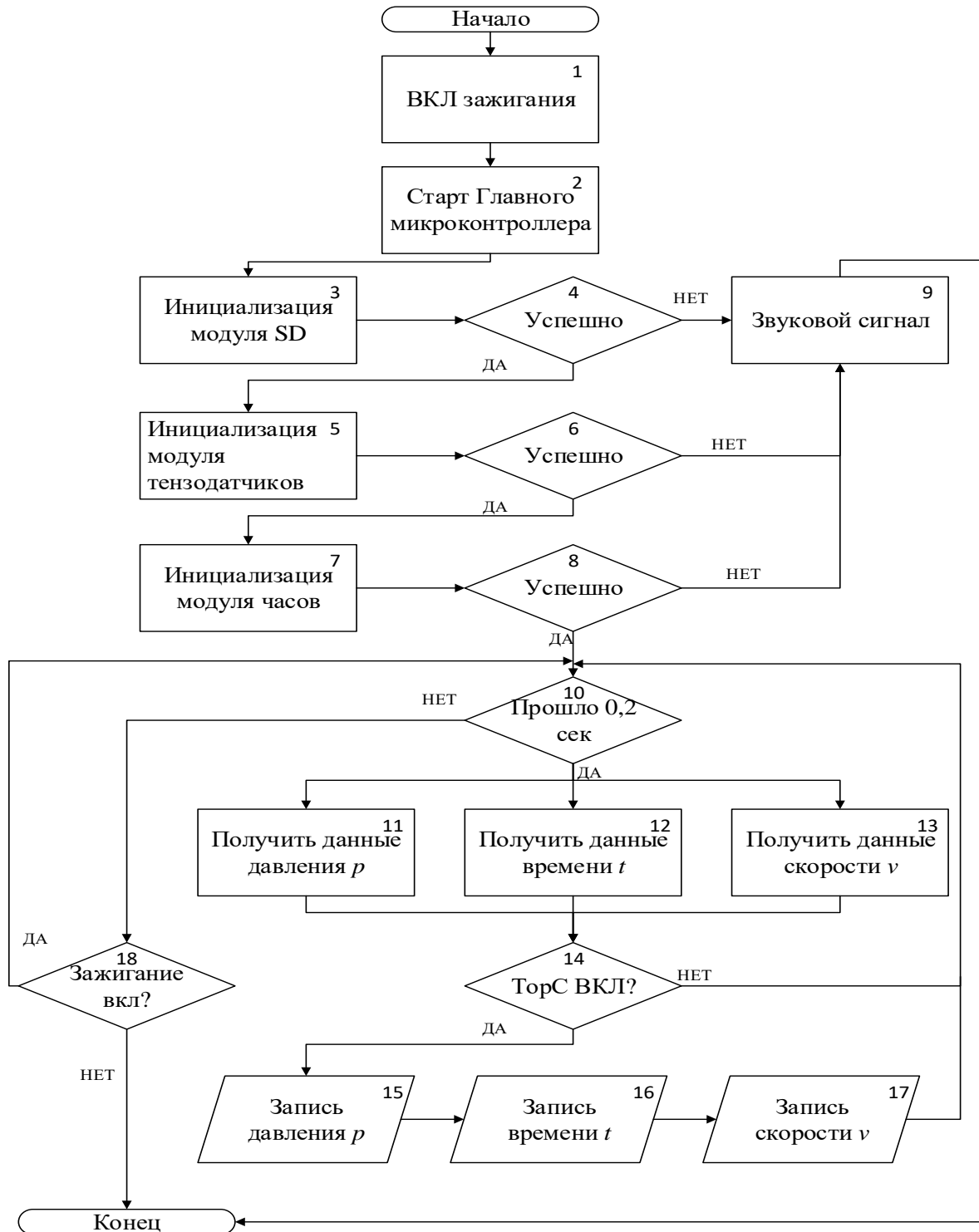


Рисунок 3.16 – Алгоритм получения статистических данных

При включении системы зажигания 1 (рисунок 3.16) автомобиля подается питание на микроконтроллер главного процессора 2. После этого происходит выполнение программного кода блока «*setup*» (он выполняется только один раз при

включении главного микроконтроллера). Осуществляется самодиагностирование электронного блока КСД. Сначала проверяется модуль *SD* карты 3 путем запроса специального сигнала. Если получен соответствующий сигнал от модуля, то инициализация считается успешной 4, если нет – подается сигнал на зуммер 9 и слышен характерный звуковой сигнал. Дальнейшее выполнение программного кода приостанавливается. Также проверяются остальные модули 5 и 7, которые преобразуют значения датчиков в электрические сигналы. После успешной инициализации 6 и 8, срабатывает программно-установленная команда таймера 10 опроса датчиков главным микроконтроллером с частотой 5 Гц, что соответствует считыванию данных 5 раз в секунду. Частота 5 Гц определена опытным путем и представляет оптимальное значение считывания значений параметров при торможении, предоставляющее полноценность и их объективность. Если условие 10 выполняется, то микроконтроллер 2 считывает предварительно обработанный электронный сигнал неэлектрических величин: давления тормозной жидкости в приводе 11, времени 12 и скорости движения автомобиля 13. Большое количество считываемых значений, которое составляет при 1 часе эксплуатации автомобиля 54000 ед., способствовало принятию решения о записи значений только когда включается в работу тормозная система посредством воздействия на педаль тормоза – условие 14. При выполнении условия 14 значения параметров с датчиков 11, 12, 13 записываются на *SD* карту 15, 16, 17 и цикл повторяется с условия 10 до выключения зажигания 18. Общий вид КСД представлен на рисунке 3.17.



Рисунок 3.17 – Информационно-аппаратная система сбора данных

КСД предназначен для фиксации значений параметров при торможении автомобиля в реальных условиях. Чтобы снизить трудоемкость дорожных испытаний был разработан лабораторный тормозной стенд (схема стенда представлена на рисунке 3.18) для отладки КСД [14, 106, 107]. На тормозной стенд получен патент на полезную модель (приложение А).

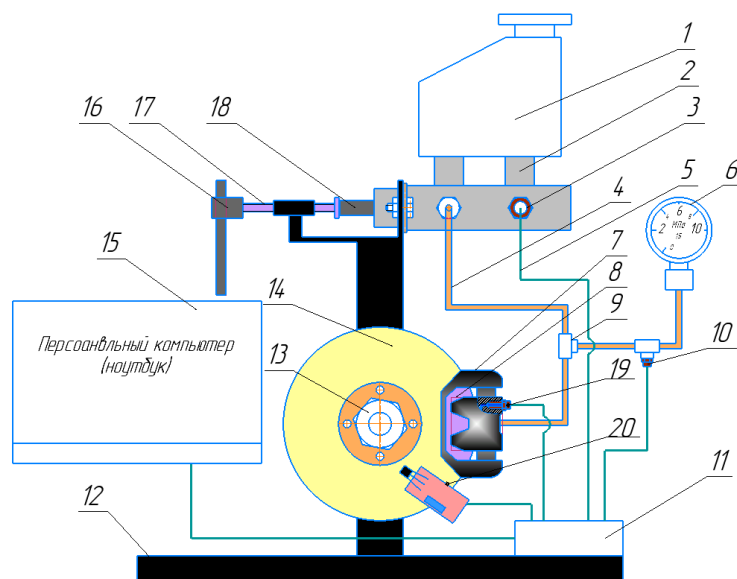


Рисунок 3.18 – Схема тормозного стенда для отладки системы сбора данных

1 – бачок с тормозной жидкостью, 2 – главный тормозной цилиндр (ГТЦ), 3, 10, 19 – датчики давления, 4 – гидравлический привод ТопС. 5 – информационная магистраль датчиков, 6 – механический манометр, 7 – тормозная колодка, 8 – тормозной суппорт, 9 – тройник гидравлического привода, 11 – блок тормозной системы (БТС), 12 – металлическое основание стенда, 13 – ось вращения, 14 – тормозной диска, 15 – монитор для вывода информации, 16 – механическая рукоятка, 17 – регулируемая ось, 18 – шток главного тормозного цилиндра; 20 – датчик скорости.

Все элементы на стенде, установлены с рабочей тормозной системы передней оси автомобиля. Элементы тормозного механизма и главный тормозной цилиндр были подвержены техническим воздействием, направленным на обеспечение технически исправного состояния. Тормозные трубки и тормозной шланг заменены на новые. Проведен контроль значений структурного параметра (остаточной толщины) ТД и ТК. Значение структурного параметра для элементов ТМ передней

и задней оси соответствует требованиям НТД завода-изготовителя автомобиля для дальнейшей эксплуатации.

Работа стенда основана на создании давления тормозной жидкости механической рукояткой 16, которая при вращении воздействует на шток 18 главного тормозного цилиндра 2, тем самым изменяя давление жидкости в гидравлическом приводе. Изменение значения давления фиксируется с помощью тензометрических датчиков МР25-21-М1-Л. Применение трех тензодатчиков позволяет более качественно оценить место установки датчика при последующей интеграции на автомобиль. Первый датчик 3 установлен в главном тормозном цилиндре, вместо штуцера второго контура гидравлического привода. Второй датчик 10 установлен в тройнике 9 тормозных трубок 4. Третий датчик 19 установлен вместо штуцера прокачки тормозного суппорта 7. При изменении давления тормозной жидкости, в датчике изменяется сопротивление электрического сигнала, который по средствам коммуникации 5 передается в электронный блок комплекса сбора данных 11. При создании давления в системе, тормозные колодки прижимаются к тормозному диску, а выходной электрический сигнал тензодатчиков изменяется. Безотказность тензодатчиков контролировалась замером изменения напряжения электронным прибором – мультиметром. Механический манометр ($P_{max}=10$ Мпа или 10000 кН/м^2 , класс точности 1,5) 6 необходим, чтобы проводить тарировку (рисунок 3.19) тензодатчиков и отражать текущее давление в системе в виде преобразованного цифрового значения.

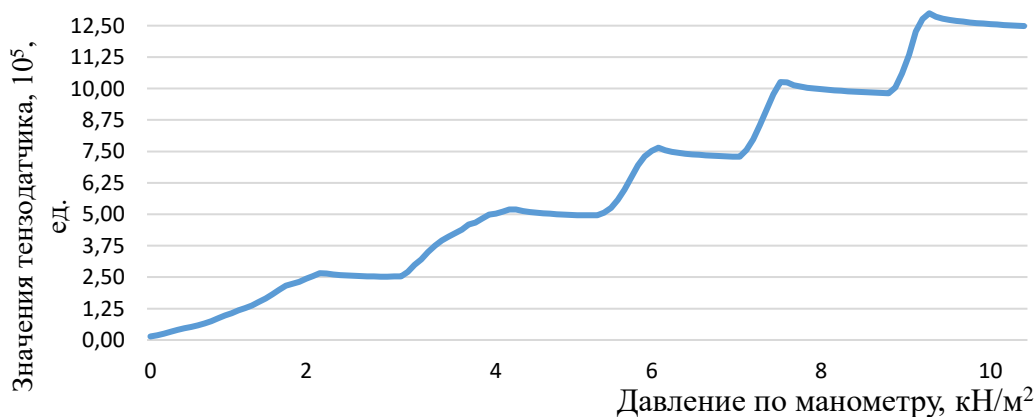


Рисунок 3.19 – График тарировки тензодатчиков

Значение тензодатчика отражено в действительном цифровом значении. Для более точной оценки давления, работа тензодатчиков была проверена путем изменения электрического сигнала с помощью мультиметра (рисунок 3.20).



Рисунок 3.20 – Оценка давления тормозной жидкости с помощью мультиметра.

При создании давления в гидравлическом приводе стенда, электрический сигнал тензодатчиков регистрировался в следующих значениях, отраженных в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Значения электрического сигнала тензодатчиков

Параметры	Значения												
Давление тормозной жидкости, p кН/м ²	200	400	6000	800	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
Напряжение тензодатчиков, мВ	22	26	33	37	42	67	90	115	141	165	191	217	243

Полученные значения выходных напряжений тензодатчиков имеют небольшие величины и измеряются в милливольтах. Для фиксации изменения напряжения в милливольтах были подобраны специальные преобразователи *AD5115*, имеющие соответствующие коэффициенты усиления сигнала и способных

считать и преобразовать сигнал напряжением до 0,1875 мВ. За счет усиления модуль *ADS115* удовлетворяет требованию считывать электрический сигнал датчиков, минимальное значение которого оказалось равно 22 мВ.

Минимальное количество элементов TopC на стенде обеспечивает хорошую доступность к ним и возможность корректировать порядок получения сигналов от электронных компонентов. За счет рассмотренных преимуществ процесс отладки КСД выполнялся с высокой степенью оперативности.

Оперативная корректировка работы КСД позволяет значительно сократить трудоемкость последующих испытаний в реальных условиях. Тормозной стенд позволил получить предварительные данные работы КСД, выявить недостатки, а также разработать и реализовать программный код (скетч). Программный код компилирован и в процессе работы КСД адекватно согласуется со всеми модулями, имеющие собственные микропроцессоры. Фрагмент программного кода отражен в приложении Г.

На специальном тормозном стенде была испытана и скорректирована работа комплекса сбора данных для последующей интеграции на автомобиль с целью получения статистических данных энергонагруженности работы TopC в реальных условиях эксплуатации, рассмотренных в этой главе.

3.4 Интеграция программно-технического КСД на автомобиль

Проверенный и настроенный КСД интегрировался на исследуемый автомобиль *Kia ceed* в учебной лаборатории «Эксплуатация автомобильного транспорта» кафедры «Автомобильный транспорт» Владимирского государственного университета с целью получения значений параметров при торможении в реальных условиях эксплуатации.

Датчики давления устанавливались через специальный тройник, применяемый в гидравлических приводах разных тормозных системах. На передней оси под соединение тормозного шланга и тормозной трубки была изготовлена специальная переходная металлическая пластина для обеспечения жесткости удлиненного соединения. С помощью специализированного набора

инструмента были изготовлены тормозные трубки отвечающим требованиям и обеспечивающим целостность гидравлического привода тормозной системы [108, 109]. Пример представлен на рисунке 3.21.

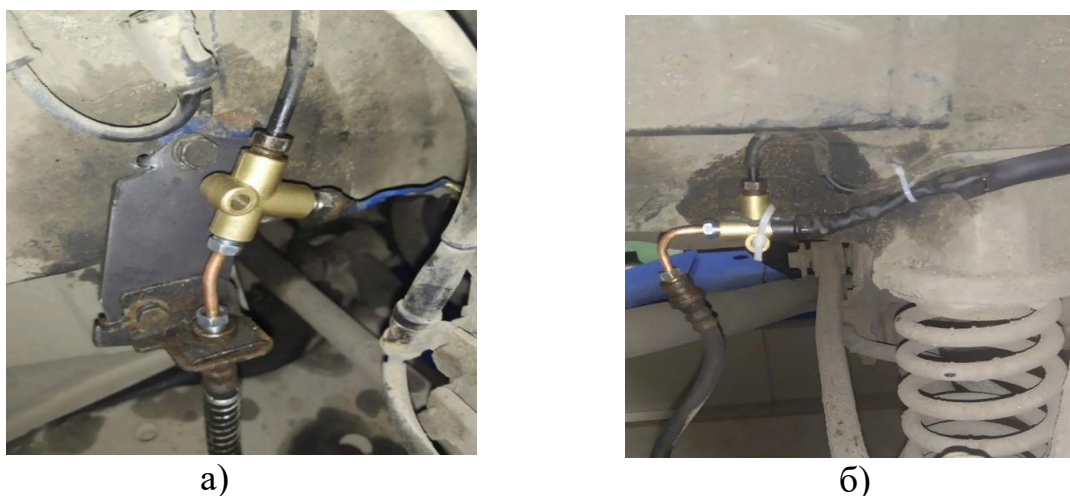


Рисунок 3.21 – Интеграция датчиков давления в гидравлический привод тормозной системы: а) – передней и б) – задней оси.

Интеграция датчиков давления для исследования процесса торможения в реальных условиях была выполнена на всех четырех тормозных механизмах. Коммутация электронного сигнала проложена от задних ТМ вдоль тормозных трубок до моторного отсека, где располагается электронный блок КСД.

Временная характеристика при торможении учитывалась модулем часов, который был расположен в корпусе электронного блока КСД. Также в корпусе расположены модули датчиков, реле и остальные электронные компоненты (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Электронный блок программно-технического КСД

Отдельно вынесен модуль *SD* карты, который располагался в салоне автомобиля для удобства ее извлечения и переноса записанной информации на компьютер для последующей обработки.

Оценка скоростных характеристик осуществлялась за счет аналогово-цифрового модуля, в котором имеется датчик холла. Установка датчика была выполнен в области внутреннего шарнира равных угловых скоростей, на который прикреплен неодимовый магнит, рисунок 3.23.

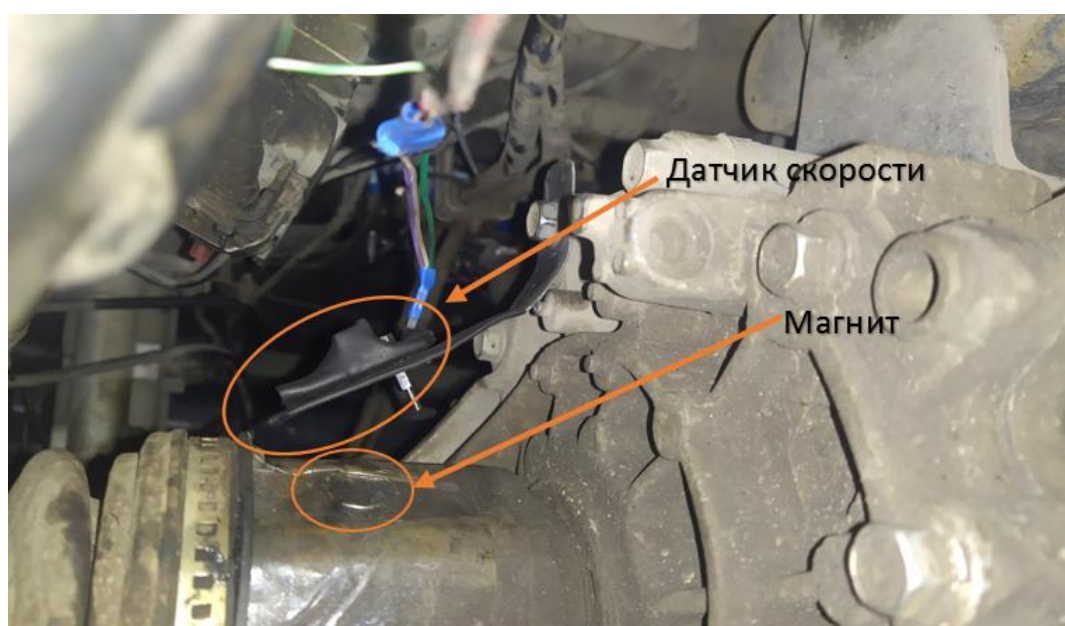


Рисунок 3.23 – Установка датчика скорости

Применяемый датчик скорости имеет возможность обрабатывать и передавать сигнал в цифровом и аналоговом формате. В данном исследовании используется цифровой формат сигнала, который обрабатывается специальным программным кодом (приложение Г).

Монтаж блока КСД выполнен в моторном отсеке подкапотного пространства на штатные кронштейны кузова. Выбор местоположения блока КСД обеспечивает беспрепятственный доступ к штатным элементам и не оказывает влияние на их работу (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Месторасположение блока КСД в автомобиле

После монтажа блока и коммуникаций проверена безотказность КСД на автомобиле в лабораторных условиях. Графики проверки датчиков давления показаны на рисунке 3.25.

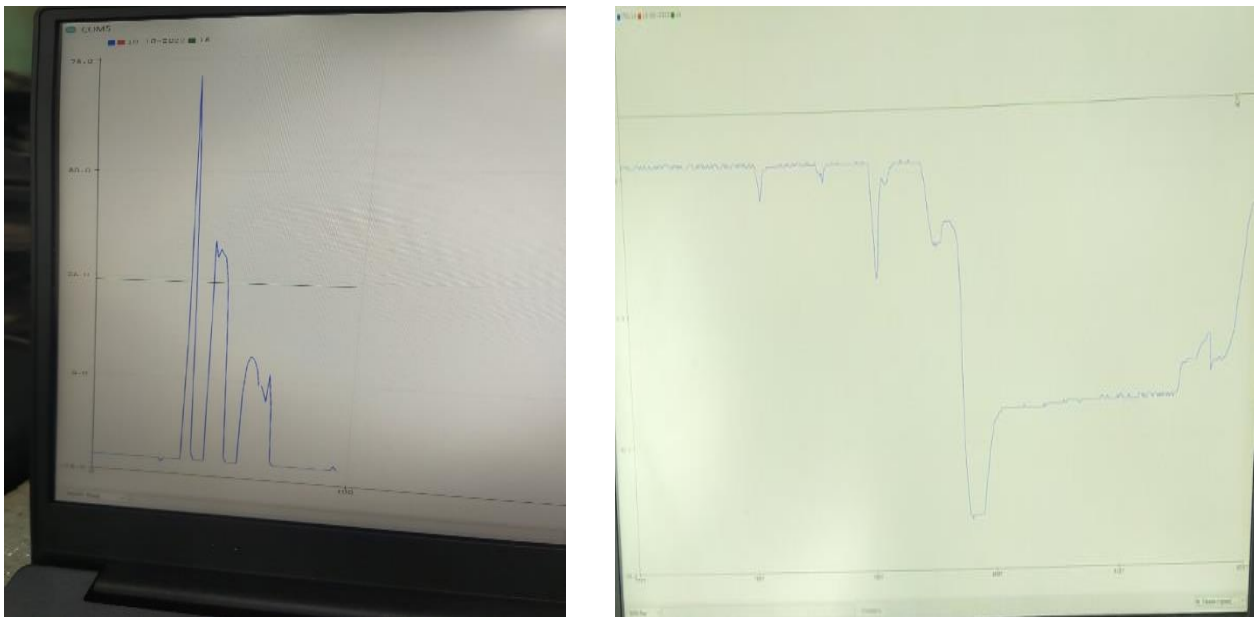


Рисунок 3.25 – Графики работы датчиков давления в реальном времени

Перед началом исследования процесса торможения было выполнено ТО TopC в соответствии с НТД [20, 32, 86, 97, 99] и осуществлен контроль параметров ее элементов (рисунок 3.26), с использованием контрольно-измерительных приборов по ГОСТ Р 8.674-2009. Контроль параметров осуществлялся в нескольких точках по периметру элементов TopC.



а)



б)

Рисунок 3.26 – Контроль толщины передних тормозных колодок:
а) замер общей толщины тормозной колодки; б) замер пластины тормозной колодки без рабочего тела (7 мм).

Толщина новых передних тормозных колодок, соответствующие стандарту *ECE 90R* [58], составляет 17,5 мм, а предельным значением является 7,0 мм. Минимально допустимое значение остаточной толщины рабочего тела по требованию завода-изготовителя составляет 2,0 мм. Толщина пластины без рабочего тела составляет 5,0 мм (рисунок 3.26 б). Толщина новых тормозных колодок для задней оси составляет 16,5 мм.

У тормозных дисков толщина измеряется микрометром в трех контрольных точек под углом 60° относительно друг друга (рисунок 3.27).



а)



б)

Рисунок 3.27 – Контроль параметров тормозного диска передней оси:
а) замер толщины; б) замер биения

Новые передние тормозные диски автомобиля с посадочным радиусом колес 15 дюймов обладают толщиной в 24,0 мм, а установленное минимально допустимое значение толщины – 20,0 мм. Толщина задних новых тормозных дисков составляет 10,0 мм, предельное значение равно 8,4 мм. Кроме толщины, для тормозных дисков осуществляют контроль прямолинейности рабочей плоскости (биение) индикатором, как показано на рисунке 3.27 б). Предельным значением биения является 0,05 мм. Замер значения биения тормозных дисков осуществлялся по минимальному, среднему и максимальному радиусу зоны контакта пары трения. Значения конструктивных параметров элементов ТопС перед установкой КСД на автомобиль представлены в приложении Е.

Внешние тормозные колодки на передней оси имеют остаточную толщину больше, чем внутренние. На задней оси ситуация противоположная. Толщина внутренних тормозных колодок больше, чем внешних. Так как в технической эксплуатации в тормозных механизмах замена тормозных колодок осуществляется комплектом, то целесообразно при принятии решения о замене опираться на наименьшее значение остаточной толщины любой ТК для соответствующей оси.

В ходе проведения исследования все значения параметров при торможении записывались на *SD* карту. Значения давления фиксировались в цифровом значении электронного сигнала, которое в последствии программным методом преобразовались в значения давления в соответствии с принятой системой измерения (кН/м^2). Фрагмент таблицы с сохранёнными значениями за 12 апреля 2023 г показан в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Фрагмент значений параметров работы ТопС

№ рабочего цикла ТопС	Время начала торможения	Время торможения, с	Время трения, с	Скорость начала торможения, км/ч	Скорость конца торможения, км/ч	Среднее давление, кН/м^2
1	12:15:08	9,2	0	0	0	3846
2	12:15:24	6,6	4,4	40	4	3743
3	12:15:34	2	2	17	7	3544
...
278	21:45:06	5,4	5	20	0	1088
279	21:45:18	3,6	2	7	0	113
280	21:46:16	2,4	0,2	3	0	1377

По первому рабочему циклу можно судить, что автомобиль не двигался, но давление в тормозной системе составляло 3846 кН/м^2 . Это обосновывается стоянкой на светофоре или перед началом движения (в момент снятия ручного тормоза). Всего в этот день было совершено 280 рабочих циклов ТопС, общее время торможения составляет 4468,2 с, что составляет 74,47 мин или 1,24 часа.

Максимальное давление в приводе тормозной системы поднималось до 6000 кН/м^2 , а минимальное 113 кН/м^2 . Всего за период наблюдения 10 месяцев и наработки 15700 км с применением КСД было зафиксировано более 5 млн записей значений каждого параметра при торможении.

Выводы по третьей главе

Рассмотрены категории дорог и условия эксплуатации. Установлено, что во Владимирском регионе присутствуют дороги со I по V категории, а условия эксплуатации относятся к I и II категориям. Общая протяженность дорог на 2025 год составляет более 5000 км. Из них:

- 0,03% - дороги, относящиеся к категории IБ;
- 3,36%- дороги, относящиеся к категории II;
- 14,04%- дороги, относящиеся к категории III;
- 61,76%- дороги, относящиеся к категории IV;
- 20,8%- дороги, относящиеся к категории V;

Анализ результатов интенсивности работы ТопС показывает, что количество рабочих циклов ТопС на разных категориях дорог с учетом условий эксплуатации различно только между первой и пятой категорией в соответствии с классификацией по государственному стандарту. Конкретизированы условия движения автомобиля, количественная оценка которых характеризует интенсивность работы ТопС, определяющаяся по коэффициенту условий движения $K_{уд}$. Введенный коэффициент определен в качестве критерия интенсивности работы ТопС, обоснованные значения которого изменяются от 1,17 для

эксплуатации автомобиля 10% в условиях «Город» и 90% в условиях «Трасса» и до 7,25 для эксплуатации 90% в условиях «Город» и 10% в условиях «Трасса».

В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что только критерия – интенсивность работы ТопС недостаточно для оценки технического состояния и прогнозирования остаточных ресурсов элементов тормозной системы. Решение о безотказном состоянии ТМ необходимо принимать с учетом значений структурных параметров элементов – остаточной толщины рабочих тел ТД и ТК. Предложен методический подход для получения статистических данных энергонагруженности ТМ при торможении в реальных условиях. Разработан КСД и алгоритм, по которому он работает. КСД позволяет фиксировать значения параметров – давления тормозной жидкости, времени трения, начальной и конечной скорости при торможении. Работоспособность КСД обеспечена за счет лабораторных испытаний на специальном отладочном тормозном стенде, который имитирует работу тормозной системы легкового автомобиля, позволяя моделировать процесс торможения. Опытным путем выбрана и загружена в электронный блок КСД версия программы с более быстрым алгоритмом обработки информации. Разработанный алгоритм работы КСД позволил фиксировать значения параметров при торможении с частотой 5 Гц. Запись с частотой в 5 Гц составляет 72000 значений за час эксплуатации, что соответствует 542 КБ электронной памяти на микро *SD* карте. Полученные КСД значения параметров при торможении обрабатывались статистическим и программным методами с целью разработки методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС, рассмотренных в главе 4.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРС

4.1 Оценка параметров при торможении и их зависимость

Сохраненные значения параметров при торможении, полученные в реальных условиях, с *SD* карты копировались в каталог базы данных на персональном компьютере в формате *CSV*. Для обработки значений электрических сигналов и детализации каждого параметра торможения была использована среда программирования на языке *Python* версии 3.10. Программный код отражен в приложении Г. Применение для преобразования значений электрических сигналов параметров при торможении среды программирования заключается в сокращении трудоемкости обработки большого объема данных. После программной обработки формировался файл в удобном формате *xlsx* с готовыми для дальнейшего статистического анализа данными.

Одной из задач диссертационного исследования является сбор статистических данных энергонагруженности ТМ при торможении в реальных условиях эксплуатации за период межсервисного интервала.

В ходе проведения эксперимента определен характер работы ТопС: торможение до полной остановки (снижение скорости до нуля) и притормаживание - с целью снизить скорость для обеспечения выполнения безопасного маневра (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Характер работы ТопС

Условие движения	Режим работы ТопС		
	До полной остановки	Удержание автомобиля	Снижения скорости движения
«Город»	26 %	10 %	64 %
«Трасса»	0 %	0 %	100 %

В ходе проведения эксперимента в реальных условиях были торможения до полной остановки автомобиля, но их вес незначителен и этим пренебрегаем на

основании методов статистической обработки информации. В условиях движения «Трасса» торможение осуществляется только для снижения скорости. В условиях движения «Город» 64% рабочих циклов осуществляется для снижения скорости, т.е. время трения равно времени торможения $t_{тр} = t_{торм}$. Рабочие циклы ТопС в объеме 24% направлены на обеспечение снижения скорости автомобиля до полной его остановки. Режим работы ТопС на удержание автомобиля реализуется в момент снятия автомобиля с ручного стояночного тормоза перед началом или постановки на ручной стояночный тормоз при завершении движения и т.п. За период наблюдений интенсивности работы ТопС, р.ц. для удержания автомобиля было совершено 10 %, которые исключаются из дальнейшего анализа, т.к. трения пары колодка-диск отсутствует.

С помощью регрессионного анализа статистических данных энергонагруженности ТМ, программным продуктом *Statistica* [110] определены зависимости времени и пути трения от действующих факторов в процессе торможения. Определенные зависимости выражены графически трехмерными моделями (рисунки 4.1 и 4.2). Графические модели имеют цветовую градацию: от зеленого до красного. Зеленый цвет свидетельствует о значениях нижней части шкалы параметра. Желтый цвет графической модели свидетельствует о значениях средней части шкалы параметра. Красный – верхней части шкалы параметра, что близко к критическим значениям. Определенная зависимость времени трения в тормозном механизме с учетом действующих факторов (путь за время торможения - м; давление тормозной жидкости - кН/м²) описывается математической моделью полиномом второго порядка и имеет вид:

$$t_{тр} = 0,6279 + 0,0571x_1 - 0,0007y_1 - 0,000061x_1^2 + \quad (4.1) \\ + 0,000027x_1y_1 + 0,00000013y_1^2,$$

где x_1 – путь автомобиля за время трения;

y_1 – давление тормозной жидкости.

Коэффициент детерминации модели (4.1) имеет значение $R^2 = 0,83$, что позволяет считать ее значимой. Графическая интерпретация выражения (4.1) представлена на рисунке 4.1

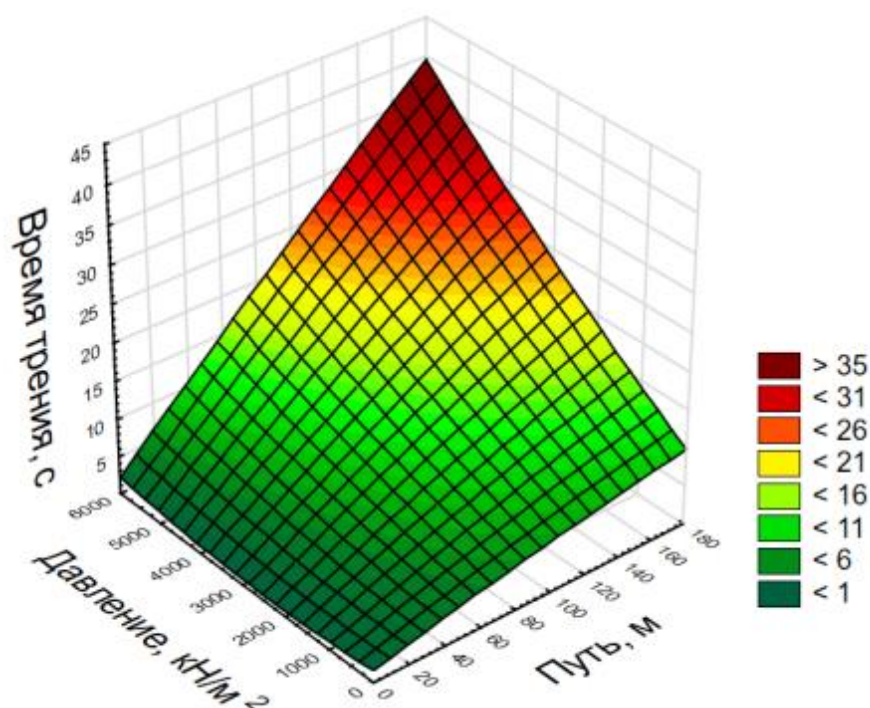


Рисунок 4.1 – Трехмерный график зависимости времени трения в процессе торможения

Анализ полученных в реальных условиях значений времени трения пары колодка-диск при торможении показывает, что 75% рабочих циклов ТормС происходит на интервале от 0,1 с до 3,6 с. В соответствии 3-х мерным графиком (см. рис. 4.1) значения параметров в процессе торможения со временем трения до 3,6 с располагаются в зеленой зоне, не достигая критической красной зоны.

Зависимость пути, за который произошло изменение скорости при торможении с учетом факторов (время трения - с; давление тормозной жидкости - кН/м²) описывается математической моделью полиномом второго порядка:

$$S = 0,0274 - 0,0026x_2 + 10,7732y_2 + 0,00000142x_2^2 - \quad (4.2) \\ - 0,0036x_2y_2 - 0,0867y_2^2.$$

где x_2 – давление тормозной жидкости;

y_2 – время трения.

Коэффициент детерминации модели имеет значение $R^2 = 0,82$, что свидетельствует о значимости выражения (4.2). Графическая интерпретация выражения (4.2) представлена на рисунке 4.2.

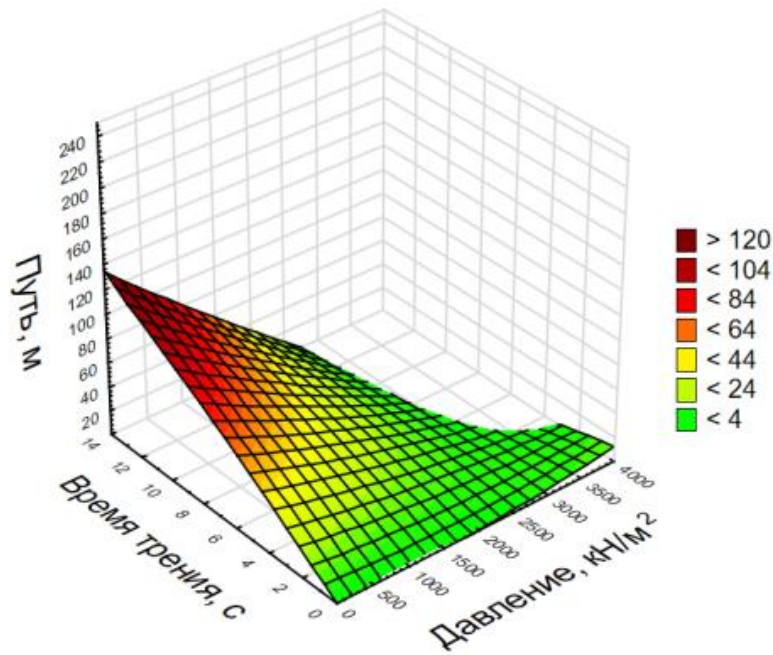


Рисунок 4.2 – Трехмерный график зависимости пути торможения от времени трения и давления тормозной жидкости

Изнашивание элементов ТМ определяется за путь автомобиля, при котором осуществляется взаимодействие элементов ТМ. Путь оценивается изменением скорости движения автомобиля при торможении. Анализ изменения скорости автомобиля при торможении позволяет сделать заключение, что 75 % рабочих циклов ТопС осуществляется за путь равный 24 м, что соответствует только зеленому цвету шкалы.

Оцениваемым показателем процесса трения в данном исследовании рассматривается работа трения, от значений которой зависит изнашивание элементов ТМ. В главе II определено, что удельная работа трения распределяется по экспоненциальному закону, функция плотности распределения которого имеет вид для передней оси $f(q_{A1}) = 2,61e^{-2,61q_{A1}}$ и $f(q_{A2}) = 7,48e^{-7,48q_{A2}}$ для задней оси.

4.2 Влияние работы трения на техническое состояние элементов ТМ

От объективной оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса ТК и ТД зависит работоспособное состояние всей тормозной

системы. При каждом рабочем цикле ТМ испытывают энергетическое нагружение. От значений параметров при торможении зависит степень энергонагруженности ТМ, которая влияет на остаточные толщины рабочих тел ТК и ТД и их ресурс.

Для преобразования энергии, которую имеет автомобиль при движении, ТМ обладают мощностью, и элементы его конструкции совершают работу трения. Процесс торможения в эксплуатации не регулярно происходит до полной остановки автомобиля, т.е. конечная скорость торможения больше нуля. В ходе проведения исследования было установлено, что в процессе торможения начальная v_0 и конечная v_k скорости могут быть одинаковы (например, торможение с уклона) $v_0 = v_k$, и их разница равна нулю. Оценка величины совершаемой работы трения в ТМ при торможении происходит за приращение тормозного пути. Путь торможения определяется изменением скорости за интервал времени торможения $\Delta t_{\text{тр}}$. Для корректной оценки совершаемой работы трения необходимо преобразовать выражение (2.16), которое будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} A_i = pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right), & \text{при } v_0 \neq v_k \\ A_i = pB_i v_0 \Delta t_{\text{тр}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \quad (4.3)$$

Выражение (4.4) позволяет учитывать совершаемую работу трения в тормозном механизме при торможении с равномерным движением, когда начальная и конечная скорости равны $v_0 = v_k$. При условии равных скоростей в процессе торможения совершается работа трения, влияние которой отражается на ресурсе элементов ТормС.

В виду того, что конструктивные параметры передней и задней оси различаются, то целесообразно принимать во внимание удельные значения энергетических характеристик, относящихся к площади рабочей поверхности взаимодействующих элементов тормозного механизма по следующим выражениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{A1} = \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{1\text{н}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{A1} = \frac{pB_1 v_0 \Delta t_{\text{тр}}}{\sum F_{1\text{н}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \\ q_{A2} = \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{2\text{н}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{A2} = \frac{pB_2 v_0 \Delta t_{\text{тр}}}{\sum F_{2\text{н}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}. \end{array} \right. \quad (4.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{w1} = \frac{pB_i \left(v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{1\text{н}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{w1} = \frac{pB_1 v_0}{\sum F_{1\text{н}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \\ q_{w2} = \frac{pB_i \left(v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{2\text{н}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{w2} = \frac{pB_2 v_0}{\sum F_{2\text{н}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \end{array} \right. \quad (4.5)$$

где $\sum F_{1\text{н}}, \sum F_{2\text{н}}$ – суммарная площадь накладок передних и задних тормозных колодок.

Значение комплексного параметра B_i передних и задних ТМ (при коэффициенте трения ТК $\mu = 0,3$) и конструктивных параметров передних и задних ТК исследуемого автомобиля представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения параметров тормозных механизмов

Ось автомобиля	Ширина ТК, см	Длина ТК, см	Угол ТК, °	Суммарная площадь ТК $\sum F_{\text{н}}$, см ²	Комплексный параметр B , м ²
Передняя	5,8	13	60	261,68	0,0038
Задняя	4,1	10	60	198,88	0,0009

Совершаемая работа трения в ТМ осуществляется за путь, пройденный автомобилем в процессе торможения. Путь автомобиля оценивается изменением скорости за время – замедление j , м/с².

Для определения установившегося замедления $j_{уст}$ автомобиля были выполнены: оценка и сравнение рассчитываемого по полученным данным КСД при каждом торможении замедления через производную скорости $j = v'(t)$ и замедления с помощью деселерометра на тестовых торможениях на территории Владимирского государственного университета. Всего было выполнено 4 группы торможений, в каждой по 3 заезда. Средние значение замедления каждой группы, полученные с помощью прибора «Эффект» представлены на рисунке 4.3.

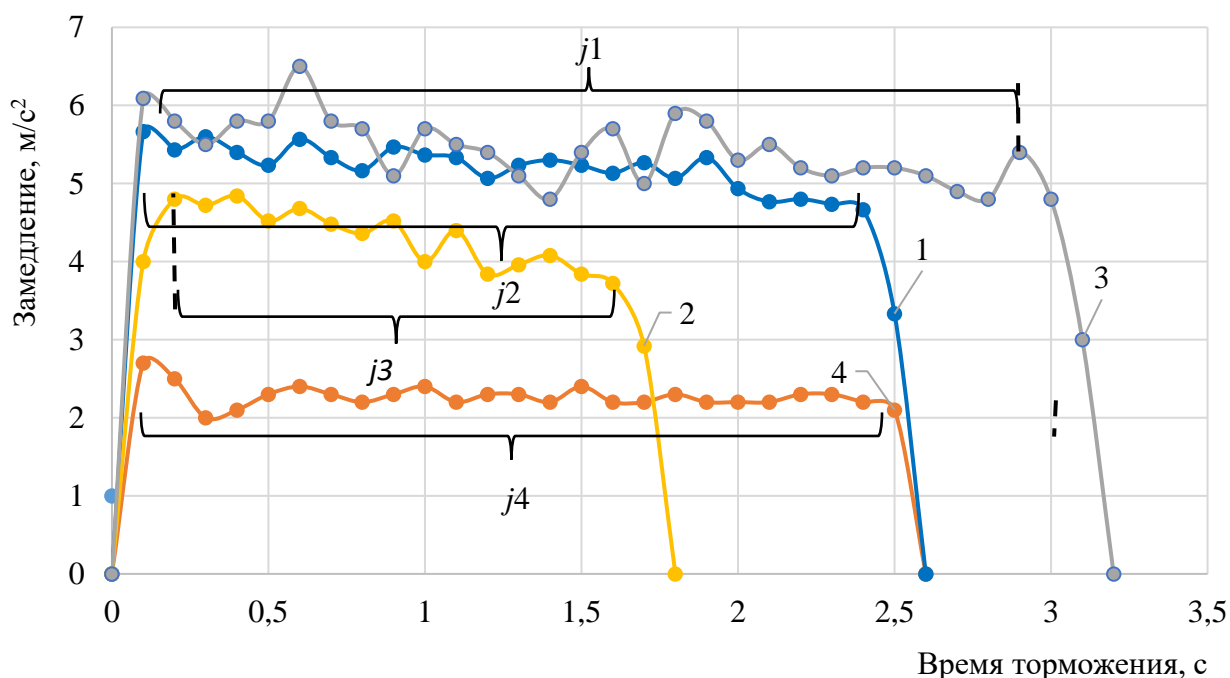


Рисунок 4.3 – Оценка замедления деселерометром «Эффект»

Интервалы $j_1 - j_4$ на рисунке 4.3 характеризуются, как установившемся замедлением 1–4 группы торможений соответственно. В исследовании установлено, что преобладающее большинство рабочих циклов ТорС происходит для снижения скорости, поэтому оценивать замедление справедливо на торможениях не только до полной остановки автомобиля. Параметры проводимых торможений сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры тестовых торможений

№ группы торможения	Установившееся замедление, м/с ²	Начальная скорость торможения		Конечная скорость торможения	
		км/ч	м/с	км/ч	м/с
1	5,14	60	16,8	50	14
2	4,22	40	11,2	30	8,4
3	5,32	20	5,6	10	2,8
4	2,27	10	2,8	0	0

Результаты таблицы 4.3 и рисунка 4.3 получены с помощью деселерометра «Эффект».

Выполнен анализ замедлений тестовых торможений через производную скорости по значениям параметров, полученных с помощью КСД. Результаты отразим на рисунке 4.4.

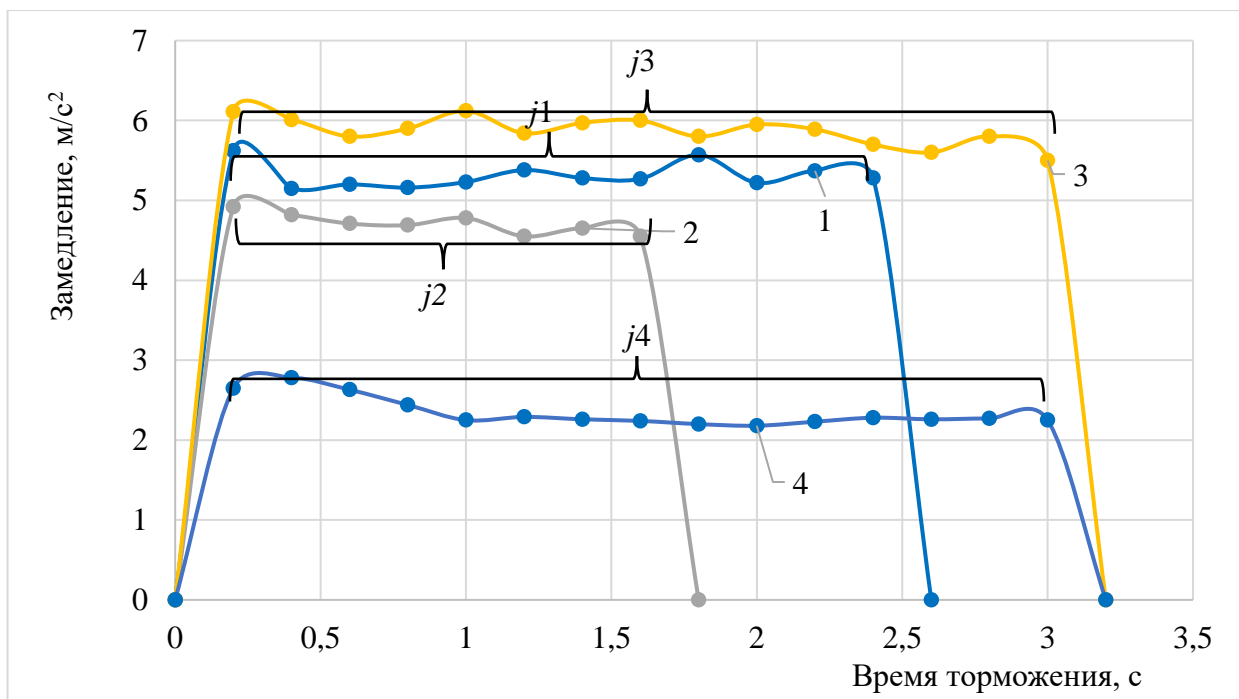


Рисунок 4.4 – Оценка замедления на основе полученных данных с помощью КСД

Замедления, полученные с помощью КСД также, как и деселерометром «Эффект» характеризуются интервалом установившегося замедления. Сравнение полученных разными способами значений установившегося замедления представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сравнительный анализ установившегося замедления

№ группы торможения	Начальная скорость торможения		Конечная скорость торможения		Установившееся замедление, м/с ²		Относительная разность, %
	км/ч	м/с	м/с ²	м/с	Эффект	КСД	
1	60	16,8	15,41	14	5,14	4,55	12,9
2	40	11,2	10,54	8,4	4,22	3,77	11,9
3	20	5,6	5,35	2,8	5,32	5,18	2,8
4	10	2,8	2,27	0	2,27	2,07	9,7

Разность значений установившегося замедления во всех группах тестовых торможений составляет менее 13%, что является приемлемым значением для технических систем. В дальнейших расчетах справедливо применять значения установившееся замедление, полученных с помощью программно-технического КСД.

Применив значения конструктивных параметров элементов ТопС (см. таблицу 3.9), и метод статистического анализа, получим средние значения энергетических характеристик торможения по выражениям 4.3 – 4.5 (таблица 4.5). Таблица 4.5 – Средние значения энергетических характеристик торможения за рабочий цикл ТопС

Энергетическая характеристика торможения	Ось автомобиля	
	Передняя	Задняя
Работа трения A_i , кДж	100,44	26,59
Удельная работа трения q_{Ai} , кДж/см ²	0,38	0,13
Мощность трения W_i , кВт	32,27	8,54
Удельная мощность трения q_{wi} , кВт/см ²	0,16	0,04

При каждом рабочем цикле тормозной системы совершаемая работа трения в ТМ сопровождается термическими процессами. В соответствии с формулой (2.20) определена температура при первом торможении. В период проведения исследования подтверждено, что торможение осуществляется с несколькими рабочими циклами подряд. За счет нескольких срабатывания тормозной системы тормозные диски и колодки нагреваются. Приращение температуры находится по

выражению (2.21). Оценка температуры нагрева тормозных механизмов представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Значения температуры нагрева при торможении

Характеристика	Обозначение	Передняя ось	Задняя ось
Работа, совершаемая в тормозных механизмах, кДж	A_i	100,44	26,59
Теплоемкость тормозного диска, кДж/(кг·°C)	c_i	540	540
Масса тормозного диска, кг	m_i	7,02	3,9
Нагрев при первом торможении, °C	T	157	71
Приращение температуры нагрева, °C	ΔT	23	10

Оценка температуры нагрева работы ТМ осуществлялась без учета теплоотдачи в окружающую среду и охлаждения в момент срабатывания ABS. Целесообразно принять поправочный коэффициент для расчета температуры торможения равный 0,95. Результаты исследований [111, 112, 113, 114, 114, 116, 117] показывают, что снижение интенсивности отвода тепла вентиляционным аппаратом тормозного диска происходит только к 9-й секунде времени торможения. В процессе торможения автомобиля происходит нагрев ТМ. При достижении температуры нагрева парой колодка-диск равной 240 °C, значение коэффициента трения начинает изменяться, что может отражаться на работе трения в ТМ. Анализ статистической информации рабочих циклов торможения позволил определить среднее арифметическое значение времени трения при торможении, которое составляет 2,94 с. Установлено, что при средних значениях параметров торможения нагрев элементов ТМ передней оси составляет 157 °C, а задней 71 °C. Полученные значения температуры нагрева элементов ТормС при торможении не превышают критического значения 240 градусов, что позволяет судить о стабильности значения коэффициента трения $\mu = const$.

Рабочий цикл тормозной системы характеризуется значением удельной работы, совершаемой в тормозном механизме. От значения выполняемой работы

зависит величина износа ТК и ТД. Удельный износ элементов ТорС определяется по выражению:

$$q_{Ui} = \frac{U_{maxi}}{N}, \quad (4.6)$$

где q_{Ui} – удельный износ за 1 рабочий цикл ТорС i -ой оси автомобиля,

U_{max} – максимальное значение линейного износа i -ой оси автомобиля, мм;

N – количество рабочих циклов, рц.

Сопоставляя выражения (4.4 – 4.6), получим энергетическую интенсивность изнашивания J_{qA1} , определяющую необходимое значение удельной работы трения для совершения износа 1 мм элемента по всей площади трения:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{qA1} = \frac{q_{A1}}{q_{U1}} &= \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{F_{1\text{н}} U_{\text{max1}}}, & \text{при } v_0 \neq v_{\text{к}} \\ \frac{pB_1 v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{F_{1\text{н}} U_{\text{max1}}}, & \text{при } v_0 = v_{\text{к}} \end{cases} \\ J_{qA2} = \frac{q_{A2}}{q_{U2}} &= \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{F_{2\text{н}} U_{\text{max2}}}, & \text{при } v_0 \neq v_{\text{к}} \\ \frac{pB_2 v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{F_{2\text{н}} U_{\text{max2}}}, & \text{при } v_0 = v_{\text{к}} \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (4.7)$$

Период экспериментального исследования параметров торможения в реальных условиях осуществлялся в течение наработки более 15000 км.

После периода наблюдений за процессом торможения, конструктивные параметры имеют значения, представленные в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Значения конструктивных параметров элементов ТорС

Ось автомобиля	Элемент ТорС	Толщина, мм		Максимальный износ U , мм	Биение, мм	
		Левое колесо	Правое колесо		Левое колесо	Правое колесо
1	2	3	4	5	6	7
Передняя	Внутренняя тормозная колодка	12,55	11,64	5,86	-	-

Продолжение таблицы 4.7

	Внешняя тормозная колодка	13,59	13,66		-	-
	Тормозной диск	22,15	22,11	0,28	0,03	0,05
Задняя	Внутренняя тормозная колодка	11,90	12,32	2,24	-	-
	Внешняя тормозная колодка	10,92	11,39		-	-
	Тормозной диск	9,76	9,91	0,26	0,04	0,04

Интенсивность работы ТормС зависит от соотношения условий движения автомобиля, которое оценивается $K_{уд}$. Эксплуатация автомобиля осуществляется с определенным интервалом наработки до операций технического обслуживания (межсервисный интервал - МСИ). МСИ регламентирован заводом изготовителем и для автомобилей марки *Kia* категории М1, который эксплуатируются в умеренном климатическом районе, составляет 15000 км. За установленный МСИ $L_{ТО}$ эксплуатация автомобиля может проходить в смешанных условиях, которые оцениваются в исследовании $K_{уд}$. Оценка необходимой удельной работы трения $q_{Ai}^{МСИ}$ в предстоящий МСИ определяется по предложенной математической модели:

$$\left\{ \begin{aligned} q_{A1}^{МСИ} = q_{A1} \cdot L_{ТО} \cdot K_{уд} &= \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 \Delta t_{тр} \pm j_{уст} \frac{\Delta t_{тр}^2}{2} \right)}{F_{1н}} L_{ТО} K_{уд}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_1 v_0 \Delta t_{тр}}{F_{1н}} L_{ТО} K_{уд}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \\ q_{A2}^{МСИ} = q_{A2} \cdot L_{ТО} \cdot K_{уд} &= \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 \Delta t_{тр} \pm j_{уст} \frac{\Delta t_{тр}^2}{2} \right)}{F_{2н}} L_{ТО} K_{уд}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_2 v_0 \Delta t_{тр}}{F_{2н}} L_{ТО} K_{уд}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (4.8)$$

где $L_{ТО}$ — межсервисный интервал.

Выражение (4.8) позволяет оценить количество необходимой удельной работы, совершаемой ТМ при торможении на предстоящий период межсервисного

интервала с учетом условий движения. Результаты расчёта удельной работы трения для МСИ в 15000 км для значений $K_{уд}$ представлены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Значения удельной работы в МСИ

Критерий, $K_{уд}$	1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25
Удельная работа передней оси $q_{A1}^{МСИ}$, кДж/см ²	6669	11001	15333	19665	23997	28329	32661	36993	41325
Удельная работа задней оси $q_{A2}^{МСИ}$, кДж/см ²	2282	3764	5246	6728	8210	9692	11174	12656	14138

Фактическое значение структурных параметров Y_{ϕ} элементов ТопС оценивается при ТО измерительными приборами и учитывается при энергетическом анализе прогноза ресурса элементов с учетом вероятности безотказной работы. Для ТК и ТД установлены предельные значения остаточной толщины $Y_{пред}$, соответствующие требуемому уровню безотказности $F(Y) = 0,05$ (рисунок 4.5).

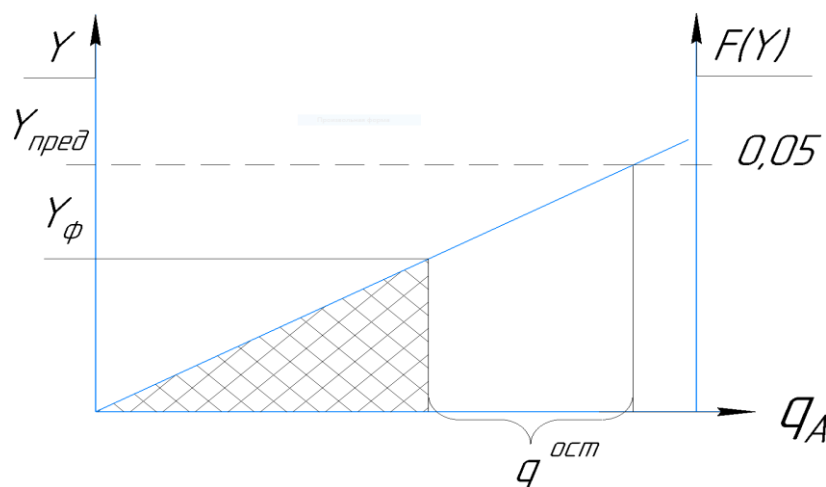


Рисунок 4.5 – Схема изменения остаточной удельной работы, где Y_{ϕ} – фактическое значение структурного параметра, $Y_{пред}$ – предельное значение структурного параметра

Рисунок 4.5 демонстрирует изменение остаточной удельной работы трения от значения структурного параметра элемента ТопС с учетом допустимого значения безотказной работы.

Предлагается оценивать остаточную удельную работу в допустимом интервале безотказной работы по математической модели:

$$\left\{ \begin{aligned} q_{A1}^{\text{ост}} = J_{qA1}(Y_{\phi 1} - Y_{\text{пред}1}) &= \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{F_{1н} U_{\text{max}1}} (Y_{\phi 1} - Y_{\text{пред}1}), & \text{при } v \\ \frac{pB_1 v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{F_{1н} U_{\text{max}1}} (Y_{\phi 1} - Y_{\text{пред}1}), & \text{при } v_0 = v \end{cases} \\ q_{A2}^{\text{ост}} = J_{qA2}(Y_{\phi 2} - Y_{\text{пред}2}) &= \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{F_{1н} U_{\text{max}1}} (Y_{\phi 2} - Y_{\text{пред}2}), & \text{при } v \\ \frac{pB_2 v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{F_{2н} U_{\text{max}2}} (Y_{\phi 2} - Y_{\text{пред}2}), & \text{при } v_0 = v \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (4.9)$$

где $Y_{\phi}, Y_{\text{пред}}$ – фактическое и предельное значение толщины рабочего тела элемента ТорС, мм.

С учетом фактической толщины ТД и ТК и параметров при торможении (таблица 3.9 и 3.10) значения, определенные по выражениям 4.6-4.9, представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Значение энергетических показателей тормозной системы.

Характеристика	Тормозные колодки		Тормозные диски	
	Передняя ось	Задняя ось	Передняя ось	Задняя ось
Критерий $K_{\text{уд}}$	4,72			
Предельное значение $Y_{\text{пред}}$ (мм)	7	7	20	8,4
Номинальное значение $Y_{\text{ном}}$ (мм)	17,5	13,15	23	10
Фактическое значение Y_{ϕ} (мм)	11,64	10,92	22,15	9,76
Фактический износ U , мм	5,86	2,23	0,85	0,24
Удельный износ q_{Ui} , мм 10^{-5}	8,16	3,10	1,18	3,34
Энергетическая интенсивность изнашивания J_{qA1} , (кДж/см ²)/мм	4659	4189	32122	38920
Остаточная удельная работа трения $q_{Ai}^{\text{ост}}$, кДж/см ²	4659	4189	32122	38920

Условие прогнозирования остаточного ресурса элементов ТорС по значениям удельных работ в ТМ с учетом значений критерия $K_{\text{уд}}$ и фактических значений структурных параметров $Y_{\phi i}$ представлено в виде:

$$\left| \begin{aligned}
 q_{Ai}^{\text{мси}} &= \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) L_{\text{ТО}} K_{\text{уд}}}{F_{iH}}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_i v_0 \Delta t_{\text{тр}} L_{\text{ТО}} K_{\text{уд}}}{F_{iH}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \\
 q_{Ai}^{\text{ост}} &= \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{F_{iH} U_{\text{maxi}}} \cdot (Y_{\phi i} - Y_{\text{пред}i}), & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_i v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{F_{iH} U_{\text{maxi}}} \cdot (Y_{\phi i} - Y_{\text{пред}i}), & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \\
 &\quad \text{при } q_{Ai}^{\text{ост}} > q_{Ai}^{\text{мси}}.
 \end{aligned} \right. \quad (4.10)$$

В соответствии с условием 4.10 на рисунке 4.6 представлены расчетные значения удельных работ трения для ТК и ТД передней оси. Для остальных элементов ТорС сравнительный анализ удельных работ представлен в приложении Е.

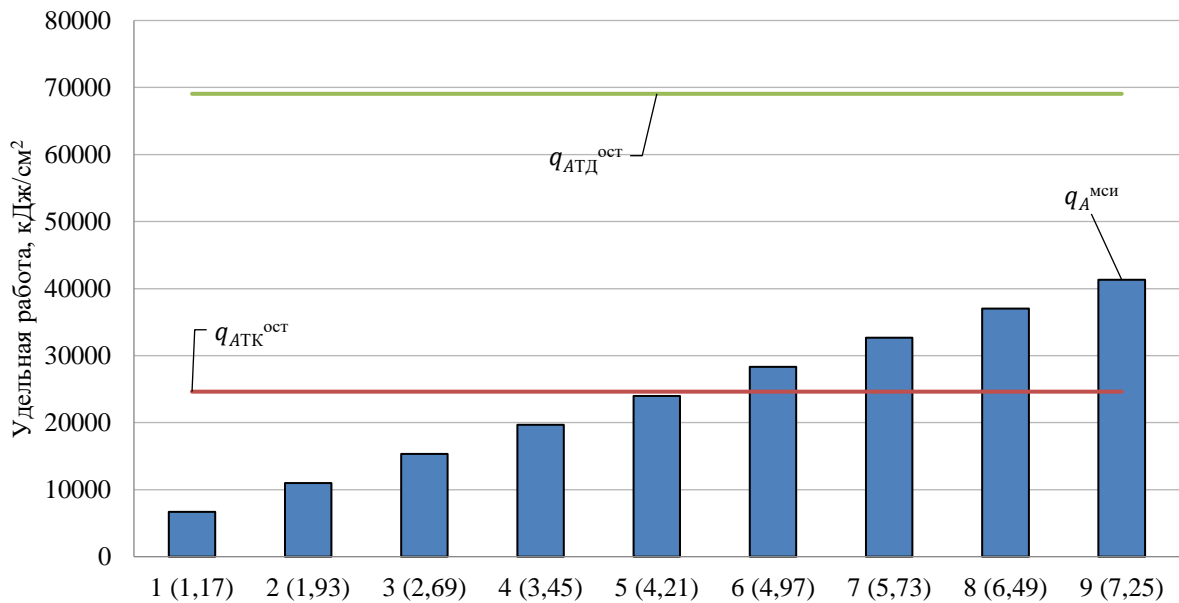


Рисунок 4.6 – Сравнительный анализ остаточной и межсервисной удельной работы трения в тормозном механизме передней оси

Анализируя рисунок 4.6, можно сделать вывод о том, что остаточной толщины передних ТК с фактическим значением структурного параметра $Y_{\phi \text{ТК}1} = 11,64$ мм будет достаточно для эксплуатации автомобиля 55% (или 8300 км) в условиях «Город» и 45% (или 6700 км) в условиях «Трасса» из всего интервала

межсервисного пробега- 15000 км. Эксплуатация с рассматриваемыми значением структурного параметра ТК передней оси при значениях $K_{уд}$ выше 4,72 не допустима в соответствии с выражением 4.10.

В процессе диссертационного исследования выдвинуто предложение о дополнительной классификации условий движения (ДКУД) автомобилей: I) Поездки выходного дня; II) Работа-дом-загород; III) Работа – дом; IV) Такси, курьеры и пр. (таблица 4.10). ДКУД формировалась на основе опыта частных автовладельцев методом социального опроса на различных предприятиях автосервиса.

Таблица 4.10 – Соотношения условий движения по ДКУД

Критерий интенсивности работы TopC	Коэффициент условий движения $K_{уд\phi}$								
	1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25
Соотношение % «Город» / «Трасса»	$\frac{10}{90}$	$\frac{20}{80}$	$\frac{30}{70}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{60}{40}$	$\frac{70}{30}$	$\frac{80}{20}$	$\frac{90}{10}$
Группы ДКУД	I. Поездки выходного дня		II. Работа – дом - загород		III. Работа – дом		IV. Такси, курьеры и пр.		

ДКУД направлена на более обоснованный выбор значения критерия $K_{уд}$ при обращении автовладельца на СТОА или ДЦ в момент составления заказ-наряда. Установленное значение $K_{уд}$ позволяет по разработанной математической модели определить межсервисную удельную работу трения, что является важным элементом методики прогнозирования ресурса элементов ТМ. Рекомендованная ДКУД была апробирована в ДЦ «КИА МОТОРС» г. Владимира и не вызывала затруднений у автовладельцев при выборе группы условий движения. Результаты расчета удельных работ трения в ТМ исследуемого автомобиля с учетом ДКУД представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительный анализ работы трения в ТМ

Критерий	Коэффициент условий движения $K_{уд}$								
	1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25
Условия движения	I. Поездки выходного дня за город			II. Работа – дом - загород		III. Работа – дом		IV. Такси, курьерские службы и пр.	
Удельная межсервисная работа в передних ТМ, $q_{A1}^{МСИ}$	6669	11001	15333	19665	23997	28329	32661	36993	41325
Остаточная удельная работа передних ТК, $q_{A1}^{ОСТ}$	24620								
Остаточная удельная работа передних ТД, $q_{A1}^{ОСТ}$	69063								
Удельная межсервисная работа в заднем ТМ, $q_{A2}^{МСИ}$	2282	3764	5246	6728	8210	9692	11174	12656	14138
Остаточная удельная работа задних ТК, $q_{A2}^{ОСТ}$	16420								
Остаточная удельная работа задних ТД, $q_{A2}^{ОСТ}$	52931								

Результаты сравнения значений $q_{A1}^{ОСТ}$ и $q_{A1}^{МСИ}$ таблицы 4.11. дают основания утверждать, что остаточного ресурса передних ТК с удельной остаточной работой $q_{A1}^{ОСТ} = 24620$ кДж/см² будет достаточно только для эксплуатации в первой и второй группах ДКУД. Для эксплуатации в III и IV группах необходимо значение удельной остаточной работой $q_{A1}^{ОСТ} > q_{A1}^{МСИ} = 28329$ кДж /см². Толщины передних, задних ТД и задних ТК хватит для эксплуатации автомобиля во всех группах ДКУД, т.к. $q_{Ai}^{ОСТ} > q_{Ai}^{МСИ}$. На основе математических моделей энергетического анализа процесса торможения составлена схема алгоритма прогнозирования остаточного ресурса элементов ТормС, которая представлена на рисунке 4.7.

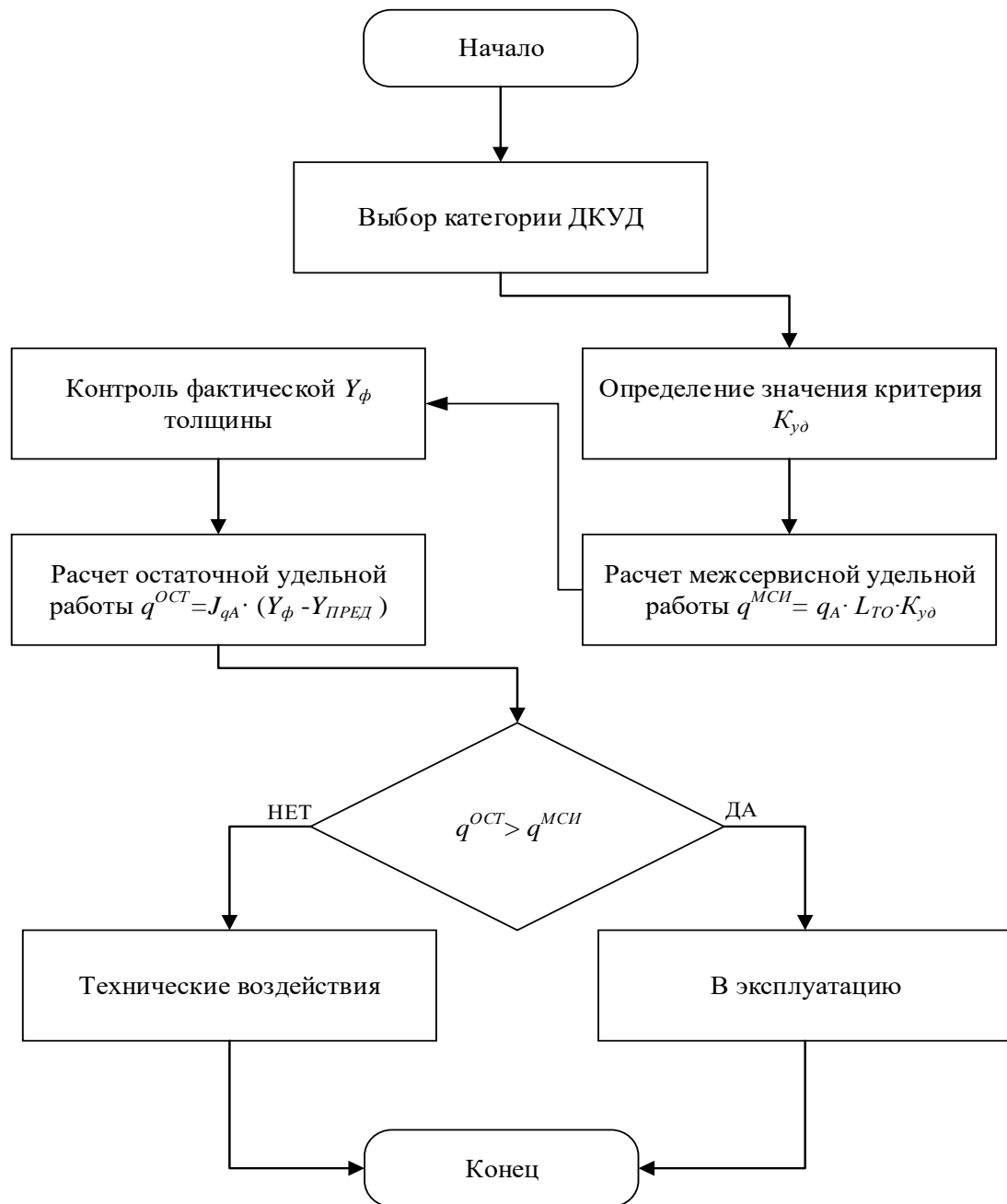


Рисунок 4.7 – Схема алгоритма методики прогнозирования остаточного ресурса элементов TopC

Рассмотренная схема алгоритма методики прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы позволяет обоснованно принимать решение о назначении технических воздействий. Обоснованная оценка прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисков способствует обеспечению работоспособности не только рассматриваемых элементов, но и всей

тормозной системы, от технического состояния которой в первую очередь зависит безопасность дорожного движения.

Получены результаты исследования энергонагруженности ТМ на дорогах с разным продольным уклоном отражены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сравнение результатов исследования энергонагруженности ТМ при учете вертикального профиля дороги

Экспериментальные исследования процесса торможения	Путь торможения, м	Скорость м/с	Удельная работа трения в ТМ за р.ц., кДж/см ²		Давление тормозной жидкости, кН/м ²	Время трения, с
			передней оси	задней оси		
Уклон 9 %	100	5,56	0,22	0,07	172,2	18
		16,67	0,19	0,06	148,6	6
На дорогах I и II категории условий эксплуатации	24,16	6,86	0,38	0,13	1527,65	2,94

Анализ таблицы 4.12 показывает, что среднее значение удельной работы трения передней оси равно 0,38 кДж/см², а задней оси 0,13 кДж/см² на дорогах I и II категории условий эксплуатации. При торможении на дорогах с уклоном 9% удельная работе трения составляет: для передней оси до 0,22 кДж/см² и для задней до 0,07 кДж/см². Энергонагруженность ТопС на дорогах с продольными углами уклона, на которых реализуется преимущественно равномерное прямолинейное движение, не оказывает существенного влияния на ресурс элементов ТопС. Поэтому методику прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС, основанную на энергетическом анализе, возможно применять в регионах России без горного и гористого рельефа (свыше 1000 м над уровнем моря), т.е. I и II категории условий эксплуатации. Методика прогнозирования остаточного ресурса ТК и ТД, схема алгоритма которой представлена на рисунке 9, способствует реализации полного ресурса ТК и ТД при обеспечении необходимого уровня безотказности всей ТопС, от технического состояния которой в первую очередь зависит безопасность дорожного движения.

4.3 Экономический эффект от результатов исследования

Корректность оценки остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисков влияет не только на безопасность дорожного движения, но и на эффективность эксплуатации автомобилей.

В исследованиях аналитических агентств [118, 119, 120] определены затраты владельцев легковых автомобилей за последние 4 года на техническое обслуживание $c_{уд}^{ТО}$ и запасные части $c_{уд}^{зч}$ (рисунок 4.8).

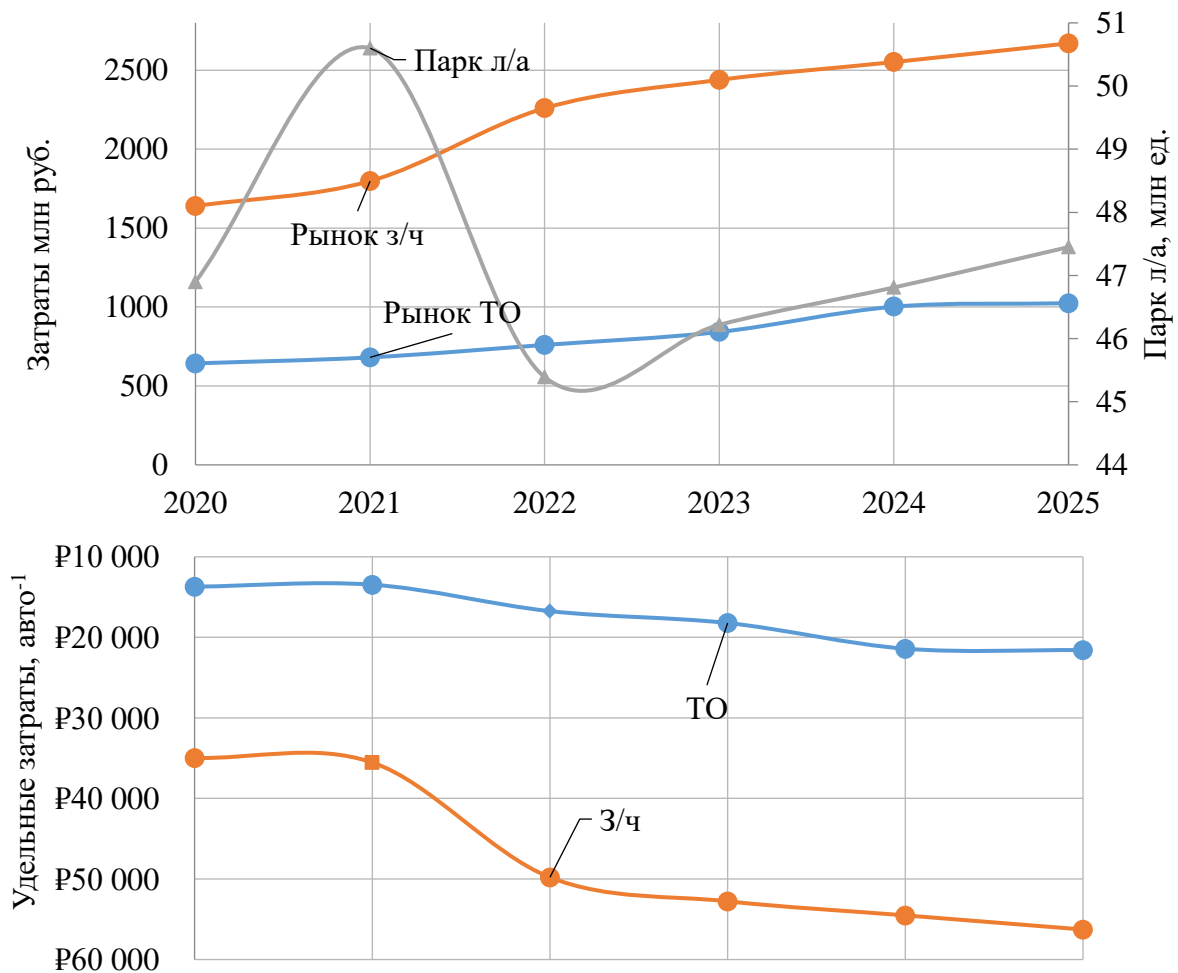


Рисунок 4.8 – Динамика затрат автовладельцев

Графики затрат на автомобильные запасные части и техническое обслуживание представлены удельными показателями, т.е. тыс. руб./автомобиль, которые определялись объемами соответствующих затрат $C^{ТО}$ на количество автомобилей $N^{л.а.}$ парка РФ. Анализ графиков показывает, что рост удельных

затрат на ТО и з/ч особенно заметен в 2022 г., показатель затрат на запасные части в этот период увеличился кратно.

В первой главе настоящей работы отмечалось, что самый высокий рост стоимости запасных частей для автомобилей марки *Kia* и соплатформенных *Hyundai* составляют ТК и ТД.

В практике на станциях технического обслуживания автомобилей, решение о замене тормозных колодок и дисков принимается мастером (диагностом) на основе личных предположений. Обоснованных методик оценки остаточного ресурса для элементов ТопС не разработано. Мастер (диагност или слесарь) имеет возможность необъективно выполнить оценку остаточного ресурса и принять решение о замене элемента, который в разных условиях движения способен удовлетворять выражению 4.11 и находиться в эксплуатации. Преждевременная замена элементов ТМ до полного использования их ресурса снижает общую эффективность технической эксплуатации автомобиля и увеличивает показатели финансовых затрат.

В 2026 году стоимость комплекта C_k передних оригинальных тормозных колодок марки *HYUNDAI/KIA* с учетом конъюнктуры рынка составляет 7911 руб., а задних 5402 руб. [121, 122]. Номинальное значение $Y_{ном}$ толщины новых ТК передней оси составляет 17,5 мм, предельное значение $Y_{пред}$ составляет 7,0 мм. Рабочая толщина $Y_{раб}$ тормозных колодок составляет $Y_{раб1} = Y_{ном1} - Y_{пред1} = 17,5 - 7,0 = 10,5$ мм. Для задней оси: $Y_{раб2} = Y_{ном2} - Y_{пред2} = 16,5 - 7,0 = 9,5$ мм.

Сопоставив толщину и стоимость новых ТК, определим удельную стоимость по следующему выражению:

$$q_{C_{ki}}^{ном} = \frac{C_{ki}}{Y_{номi}}. \quad (4.11)$$

Результаты исследования в работе [101] определили среднюю наработку на замену тормозных колодок 56650 км. При допустимом уровне безотказной работы 0,95 наработка составит 47130 км, тогда при $L^{T0} = 15000$ км, замену тормозных колодок рекомендуется выполнять через 45000 км, а количество технических

обслуживаний (ТО) определится как $N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} = \frac{45000}{15000} = 3$. Соотношение удельной межсервисной работы $q_{Ai}^{\text{МСИ}}$ и остаточной $q_{Ai}^{\text{ОСТ}}$ для $Y_{\text{НОМ}i}$, позволит определить номинальное количество технических обслуживаний $N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}} = \frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}}$. Значения рабочей толщины и номинального количества ТО позволят найти износ $U^{\text{ТО}}$ за межсервисный интервал $L^{\text{ТО}}$, $U_i^{\text{ТО}} = \frac{Y_{\text{раб}i}}{N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}}}$. Зная $N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}}$ и $N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}}$. Определим оставшееся количество $N_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}}$ как разность: $N_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} = N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} = \frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}}$. Определим износ на оставшееся количество ТО: $U_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} = N_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} \cdot U_i^{\text{ТО}}$. Экономическая эффективность будет определяться по формуле:

$$\Xi_i = \frac{q_{C_{ki}}^{\text{НОМ}} \cdot U_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} \cdot L^{\text{ТО}}}{N_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} \cdot L^{\Gamma}} = \frac{\frac{C_{ki}}{Y_{\text{НОМ}i}} \cdot \frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} \cdot \frac{Y_{\text{раб}i}}{N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}}} \cdot L^{\text{ТО}}}{\frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} \cdot L^{\Gamma}}, \quad (4.12)$$

где L^{Γ} – годовой пробег, км.

После соответствующих преобразований, выражение (4.12) примет вид:

$$\Xi_i = \frac{C_k \cdot Y_{\text{раб}} \cdot L^{\text{ТО}}}{Y_{\text{НОМ}} \cdot N_{\text{НОМ}}^{\text{ТО}} \cdot L^{\Gamma}}.$$

Результаты расчета экономической эффективности применения методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТормС представлены в приложении Ж. Анализ приложения Ж показывает, что экономия на автомобиль при годовом пробеге $L^{\Gamma} = 15000$ км на передних и задних оригинальных тормозных колодках на автомобиль составит в среднем:

- для эксплуатации в I группе ДКУД – 1231,5 руб.;
- во II группе – 325,8 руб.;
- в III группе – 422,78 руб.

Выводы по главе

В процессе обработки экспериментальных данных с помощью программы *Statistica* получены трехмерные графические модели и полиномиальные

уравнения регрессии времени трения в тормозном механизме с учетом действующих факторов (путь за время торможения - м; давление тормозной жидкости - кН/м²) и пути, за который произошло изменение скорости при торможении с учетом факторов (время трения - с; давление тормозной жидкости - кН/м²). Плотность распределения удельной работы трения в тормозных механизмах определена на основе метода статистической обработки информации. Табличное значение критерия $X^2_{\text{табл}}$ при уровне значимости $\alpha=0,05$ и степеней свободы $S = 8$ составляет 17,01. Опытное значение $X^2_{\text{опыт}}$ для удельной работы трения в ТМ передней оси равно 10,325 и для работы в ТМ задней оси составляет 10,379. Условие принятия предположения о распределении работы трения по экспоненциальному закону выполняется, $X^2_{\text{опыт}} < X^2_{\text{табл}}$.

В процессе математического анализа энергонагруженности ТМ определены средние значения удельной работы трения за рабочий цикл ТорС: для передней оси 0,38 кДж/см², для задней оси 0,13 кДж/см². С учетом средних значений параметров при торможении, с которыми осуществляется более 75% всех рабочих циклов ТорС, нагрев в передних тормозных механизмах не превышает 157 °С, в задних 71 °С. Рассчитанные значения температур не оказывают влияния на изменение коэффициента трения между тормозными колодками и тормозными дисками.

Установлено, что фактического значения рабочей толщины $Y_{\text{раб}}$, исследуемых передних ТК, равного 4,64 мм будет достаточно для эксплуатации автомобиля в первой и во второй группе ДКУД. Установленное в ходе экспериментальных исследований соотношение условий движения $K_{\text{уд}}=4,72$ соответствует распределению эксплуатации автомобиля 55%-«Город» и 45% «Трасса». Корректная оценка технического состояния элементов ТМ и обоснованное с помощью энергетического анализа прогнозирование остаточного ресурса обеспечивают требуемый уровень безотказности тормозной системы при управлении техническими воздействиями с учетом условий движения и технических характеристик элементов ТорС. Энергонагруженность ТорС на дорогах с продольными углами уклона, на которых реализуется преимущественно равномерное прямолинейное движение, не оказывает существенного влияния на

ресурс элементов ТопС. Принятие во внимание методики прогнозирования ресурса элементов ТМ способствует более полному его использованию и сокращению финансовых затрат в год в среднем от 325,8 руб. до 1231,5 руб. на автомобиль при среднегодовом пробеге 15000 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований решена научная и практическая задача, связанная с обеспечением требуемого уровня безотказной работы тормозной системы автомобиля на основе предложенных научно-обоснованного подхода и методике прогнозирования остаточного ресурса, выявленных закономерностях, математических моделях и программных продуктах, позволяющие повысить безопасность эксплуатации автомобилей.

Основные научно-практические результаты исследования заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ безопасности дорожного движения, по результатам которого установлено, что в год в ДТП погибает в среднем более 600 человека из-за потери работоспособности ТопС легковых автомобилей. По результатам статистического исследования утраты работоспособности ТопС установлено, что более 80% отказов приходится на штатные колесные ТМ. Основная доля причин связана с отказами ТК (49,2%) и ТД (16,4%). Для элементов гидравлического привода, доля причин утраты работоспособности которых составляет менее 3%, в соответствии с требованиями НТД применяется стратегия обеспечения безотказности путем его замены при появлении микротрещин, запотеваний и течи. Техническое состояние элементов ТМ имеет решающее значение в оценке эффективности работы всей ТопС. Существующая НТД не регламентирует периодичность замены ТК, ТД и прогнозирование их остаточного ресурса.

2. Установлена зависимость интенсивности работы ТопС автомобиля от условий движения «Город» и «Трасса», которая оценивается количеством рабочих циклов за 1 км пробега. Экспериментальные исследования проводились на дорогах I и II категорий условий эксплуатации с применением специального технического устройства - счетчика рабочих циклов ТопС. Существенное различие в количестве рабочих циклов ТопС наблюдается только между I и V категориями дорог. Выделены условия движения «Город» и «Трасса», конкретизированные по

интенсивности работы ТопС. Предложено производить оценку интенсивности работы ТопС по критерию - коэффициент условий движения $K_{уд}$, рекомендуемые значения которого сформированы в предложенной ДКУД.

3. Предложенный коэффициент условий движения $K_{уд}$ определен в качестве критерия оценки интенсивности работы ТопС. Установлено, что эксплуатация автомобиля в МСИ осуществляется с разным соотношением условий движения «Город» и «Трасса». Предложена количественная оценка соотношений условий движения «Город» и «Трасса», которая характеризуется значениями $K_{уд}$. Обоснованные значения $K_{уд}$ изменяются от 1,17 для эксплуатации автомобиля 10% в условиях «Город» и 90% в условиях «Трасса» и до 7,25 для эксплуатации 90% в условиях «Город» и 10% в условиях «Трасса».

4. Предложен методический подход для получения статистических данных по параметрам энергонагруженности ТМ при торможении в реальных условиях, который основан на применении программно-технического КСД, работающего по разработанному алгоритму. Формирование алгоритма и отладка работы КСД осуществлялись на тормозном стенде, защищенном патентом на полезную модель. Анализ экспериментальных данных процесса торможения осуществлялся специально разработанной программой, написанной на языке *Python*. Результат статистической обработки экспериментальных данных показывает, что распределение циклового значения работы трения при торможении соответствует экспоненциальному закону. Разработаны математические модели, описывающие зависимости времени и пути торможения от действующих факторов в процессе торможения

5. На основе применения энергетического анализа процесса торможения разработаны математические модели оценки удельных работ трения в ТМ. Остаточная удельная работа $q_{Ai}^{ост}$ трения зависит от остаточной толщины элементов ТМ, которая регламентируется требуемым уровнем безотказной работы. Межсервисная удельная работа $q_{Ai}^{МСИ}$ трения оценивается с учетом интенсивности работы ТопС и межсервисным интервалом автомобиля. Определено, что для ТМ с конструктивными параметрами исследуемого автомобиля межсервисная удельная

работа составляет: - для передней оси в I группе ДКУД 15333 кДж/см², II группе ДКУД 23997 кДж/см², III группе ДКУД 32661 кДж/см², IV группе ДКУД 41325 кДж/см²; - для задней оси в I группе ДКУД кДж/см², II группе ДКУД 8210 кДж/см², III группе ДКУД 11174 кДж/ см², IV группе ДКУД 14138 кДж/ см².

6. Предложена методика прогнозирования остаточного ресурса элементов ТМ, учитывающая условия движения автомобиля по ДКУД и характеристики применяемых ТК, которая позволяет управлять техническими воздействиями ТМ, обеспечивая требуемый уровень безотказности TopC. Определено, что при фактической толщине передних ТК исследуемого автомобиля $Y_{\phi 1}=11,64$ мм и значении $K_{уд}=4,72$, значение остаточной удельной работы $q_{A1}^{ост}=24620$ кДж/см², которое превосходит значение межсервисной удельной работы для передней оси $q_{A1}^{мси}$ только в I и II группе ДКУД. Для эксплуатации в III и IV группе требуется замена передних ТК. Оценка эффективности методики прогнозирования остаточного ресурса ТК показывает, что экономия финансовых ресурсов в год составляет от 325,8 до 1231,5 руб. на один автомобиль при среднегодовом пробеге 15000 км за счет более полной реализации ресурса элементов TopC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравниваем количество жертв ДТП в России и в Европе / [Электронный ресурс] // Автомобильный информационный портал : [сайт]. — URL: <https://cbr.ru/analytics/insurance/osago/> (дата обращения: 01.08.2023).
2. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2024. Информационно-аналитический обзор год / К.С. Баканов, П.В. Ляхов, А.С. Айсанов [и др.]. – Москва : ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2022. – 148 с.
3. О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах" (с изменениями на 16 мая 2020 года) : Постановление Правительства РФ от 3 октября 2013 г. № 864 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2013. – № 41. – Ст. 5183.
4. О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах" (с изменениями на 22 ноября 2012 года) (фактически утратило силу в связи с истечением срока действия): Постановление Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. N 100 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 9. – Ст. 1020.
5. Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы : Распоряжение правительства Российской Федерации от 8 января 2018 г. № 1-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2018. – № 5. – Ст. 774.
6. Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев транспортных средств (с изменениями на 25 декабря 2023 года) : Федеральный закон от 25.04.2002 N 40-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – № 18. – Ст. 1720.
7. Прогноз развития страхового рынка на 2023 год / [Электронный ресурс] // Кредитное рейтинговое агентство «Эксперт РА» : [сайт]. — URL: https://raexpert.ru/researches/insurance/forecast_2025/ (дата обращения: 01.09.2025).
8. О Правилах дорожного движения" (вместе с "Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц

по обеспечению безопасности дорожного движения") : Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 24.10.2022) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1993. – № 47. – Ст. 4531.

9. Об утверждении Правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств (с изменениями на 31 января 2017 года) : Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 г. N 290 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – № 17. – Ст. 1712.

10. Информационное агентство Автостат. Аналитика базы данных. [Электронный ресурс] // Автостат : [сайт]. — URL: <https://www.autostat.ru/research/product/555/> (дата обращения: 01.08.2025).

11. Поддубная, М.Н. Структурный и динамический анализ рынка автозапчастей: вызовы и возможности для маркетинговых стратег / М.Н. Поддубная, А.М. Симонянц // Экономика и бизнес: теория и практика . – Новосибирск : ООО «Капитал», 2023. – С. 106-110. – ISBN 2411-0450.

12. Автомобильный портал AUTONEWS / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://www.autonews.ru/news/632877399a79475a51de27c6> (дата обращения: 15.08.2025).

13. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения : дата введения 2017-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 28 с.

14. Баженов, Ю.В. Основы надежности и работоспособности технических систем : учебное пособие / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов. – Владимир : ВлГУ, 2017. – 267 с. – ISBN 978-5-9984-0785-7.

15. Полюшкин, Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки: учеб. пособие / Н.Г. Полюшкин; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2013 – 192 с.

16. ГОСТ 27674-88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения : дата введения 1991-01-11. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – 21 с.

17. Баженов, Ю. В. Основы теории надежности машин : учебное пособие / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 315 с. - ISBN 978-5-16-015559-3.

18. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1976. – 287 с.
19. Павлова, Е.И. Экология транспорта / Е.И. Павлова. – М.: Транспорт, 1998. – 232 с.
20. ГОСТ 33997-2016 Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки (с Поправкой) : дата введения 2018-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 79 с.
21. Технический регламент
22. Кокарев, О.П. Обзор датчиков определения предельного износа тормозной колодки / О.П. Кокарев, А.Д. Цыганков, Д.А. Новожилов // сборник статей по материалам LXXVIII студенческой международной научно-практической конференции . – Новосибирск : АНС «СибАК», 2019. – С. 261-265. – ISSN 2310-4066.
23. Дыгало, В.Г. Применение электронных компонентов для диагностики тормозных систем автомобиля / В.Г. Дыгало, Е.С. Ларин, Ю.М. Никитин // International Science Project (Финляндия). –2017. – № 9. – Р. 9–10.
24. Аригин И.Н. Диагностирование технического состояния автомобиля. / И.Н. Аригин. - М.: Транспорт, 1978. 176 с.
25. М.М. Диагностика неисправности по внешнему виду тормозных колодок автомобиля / М.М. Зайцева, А.В. Напханок // Инженерный вестник Дона. – 2018. – Т. 1, № .. – С. 1-6. – ISSN 2073-8633.
26. Герасимов, А.В. Методы идентификации и оперативного прогнозирования состояния агрегатов автомобиля для автоматизированной бортовой системы управления : специальность 05.13.06. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Герасимов Александр Владимирович. – Москва, 2014. – 26 с.
27. Бойко, А.В. Совершенствование метода диагностики тормозных систем автомобилей в условиях эксплуатации на силовых стендах с беговыми барабанами : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта :

автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бойко Александр Владимирович. – Иркутск, 2008. – 23 с.

28. Портнягин, Е.М. Метод контроля тормозной эффективности и устойчивости автомобилей с ABS при их диагностировании на роликовых стендах : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Портнягин Евгений Михайлович. – Оренбург, 2009. – 20 с.

29. Испытания колёсных транспортных средств: учебное пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов // –М.: МАДИ, 2018. – 124 с.

30. Осипов, Г.В. Метод диагностирования тормозных механизмов автомобиля : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Осипов Георгий Владимирович. – Тюмень, 2004. – 24 с.

31. . Доморозов, А.Н. Совершенствование методики измерения силовых параметров при диагностировании тормозных систем автомобилей на стендах с беговыми барабанами : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Доморозов Алексей Николаевич. – Оренбург, 2009. – 20 с.

32. О безопасности колесных транспортных средств (с изменениями на 21 апреля 2023 года) (редакция, действующая с 20 мая 2023 года) : Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 // Комиссия Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. – 2011. – № 877. – Ст. 877.

33. Яковлев, А.В. Повышение надежности тормозных систем грузовых автомобилей, тракторов и разработка устройства для ремонта тормозных колодок / А.В. Яковлев, А.А. Коротаев // Молодежь и наука. – 2016. – № 5. – С. 87. – ISSN 2308-0426.

34. WABCO Customer Centre [Электронный ресурс] / URL: <https://gronax.ru/WABCO/?ybaip=1&yclid=7303014093696008191> (дата обращения 21.09.2025).

35. WABCO DI-2 - автосканер для автомобилей [Электронный ресурс] <https://obdmaster.ru/wabco-di-2> (Дата обращения 21.09.2025).
36. Willms, J. Bremsverhalten dreigliedriger Lastzuge mit verschiedenen Bremssystemen: Diss. - Hannover, 1996. -126 S.
37. Деселерометр МАНА VZM-300 [Электронный ресурс] <https://www.maha.ru> (Дата обращения 21.04.2024).
38. Голубенко, В.М. Исследование надежности тормозных систем автомобилей в эксплуатации : специальность 05.00.00 Техника : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Голубенко Василий Михайлович. – Москва, 1969. – 197 с.
39. Флерко, И. М. Исследование надежности тормозных систем легковых автомобилей / И. М. Флерко, Л. Н. Поклад // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. - Минск : БНТУ, 2015. - С. 281-284.
40. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - Москва : Издательство Юрайт, 2012. - 820 с. - ISBN 978-5-9916-1454-2.
41. Степанов, С.С. Автоматизация эталонных приборов для линейных измерений / С.С. Степанов, А.В. Петров, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов // Мир измерений. - 2019. - № 2. - С. 10-12.
42. Степанова, Е.А. Основы обработки результатов измерений: учебное пособие /Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов. – Екатеринбург: Урал. федер. ун-т, 2014. – 98 с.- ISBN 978-5-7996-1331-0.
43. Васильева, Е. Метрологическое обеспечение процесса диагностики тормозной системы автомобиля / Е. Васильева, Р. Жога, Ю. Малахова // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики : сборник статей II Международной научно-практической конференции молодых ученых . – Екатеринбург : Издательский дом «Ажур», 2020. – С. 312-317. – ISBN 978-5-91256-491-8.

44. Bowmonk BrakeCheck Series 2 User Manual page 3. – Великобритания : Bowmonk Ltd, 2002. – 21 с.
45. Шушкевич, Т.В. Основы теории погрешностей в метрологии: учебное пособие / Т.В. Шушкевич. - Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2017. - 73 с. - ISBN - 978-5-9275-2371-9.
46. Голубев, И.Г. Перспективы применения аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственной техники / И.Г. Голубев, И.А. Спицын, В.В. Быков, М.И. Голубев // Труды ГОСНИТИ. - 2018. Т. 130. - С. 214-219.
47. Луан, Л.В. Диагностика тормозных систем АТС на основе измерения сил в пятнах контакта колес с беговыми барабанами стенда : специальность 05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Луан Ле Ван. – Иркутск, 2015. – 20 с.
48. Техническая эксплуатация автомобилей. (Управление технической готовностью подвижного состава) : учебное пособие / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.А. Бочков. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. – 248 с. – ISBN 978-5-222-12256-3
49. Кузнецов А. С. Техническое обслуживание и ремонт автомобиля : в 2 ч. — Ч. 1 : учебник для нач. проф. образования / А. С. Кузнецов. —2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013 — 368 с. ISBN 978-5-4468-0046-9.
50. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобили и автомоб. хоз-во" направления подгот. дипломир. специалистов "Эксплуатация назем. трансп." / [Е.С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др.] ; Под ред Е. С. Кузнецова. - 4. изд., перераб. и доп. - Москва : Наука, 2004 (ППП Тип. Наука). - 534, [1] с. - ISBN -5-02-006307-X.
51. Теория автомобиля: учебное пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки Йонг Чой. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 164 с. - ISBN 978-985-492-176-1.
52. Хусаинов, А. Ш. Теория автомобиля. Конспект лекций / А.Ш. Хусаинов, В.В. Селифонов – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 121 с. УДК 629.113.

53. Дыгало, В.Г. Методология альтернативных (виртуально-физических) испытаний автоматизированных тормозных систем колесных машин : специальность 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дыгало Владислав Геннадьевич. – Волгоград, 2014. – 36 с.

54. Зотов, В.М. Теоретические основы виртуально-физического моделирования в реальном времени процесса торможения колеса автомобиля : специальность 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зотов Вячеслав Михайлович. – Волгоград, 2009. – 20 с.

55. Брюханов, А.Б. Электроника на автомобильном транспорте / А.Б. Брюханов, В.И. Хомич. – Москва : Транспорт, 1984. – 126 с.

56. Диагностический комплекс приводов систем активной безопасности автомобиля / В.Г. Дыгало, Е.С. Ларин, В.В. Котов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2018. – Т. 3, № 122. – С. 137-146.

57. Европейская премия «Изобретатель года» досталась основателю системы ESP / [Электронный ресурс] // "Автокомпания" : [сайт]. — URL: <https://avtokompaniya.ru/stati/item/312-evropejskaya-premiya-izobretatel-goda-dostalas-osnovatelyu-sistemy-esp> (дата обращения: 02.08.2023).

58. Устройство автомобиля. Глава II Тормозные системы / С.И. Головин, А.А. Жосан, М.М. Ревякин, А.А. Солнцев – Орел: Орловский ГАУ, 2019. – 227 с.

59. Тормозное управление гидравлической тормозной системы с АБС: основы конструкции и диагностики : учебно-методическое пособие / А.П. Панычев, А.П. Пупышев, Е.Г. Есюнин [и др.]. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2013. – 41 с.

60. Исследование процесса движения рабочей жидкости в исполнительном механизме гидропривода тормозной системы / Е.Н. Ляпич, М.А. Абдулманапов, И.Н. Мохин, Г.О. Кисляков // Вестник научных конференций. – 2016. – Т. 2, № 5(б). – С. 74-76. – ISSN 2412-8988.

61. Brake Lining Quality Test Procedure (STABILIZED Nov 2012) J661_202110. Current. Revised 2021.10.26.
62. Виды тормозных колодок / [Электронный ресурс] // Информационный портал : [сайт]. — URL: <https://avto-moto-shtuchki.ru/avtotekhnika/vidy-tormoznykh-kolodok.html> (дата обращения: 02.08.2023).
63. Обзор розничного рынка тормозных колодок / [Электронный ресурс] // ProАвтобизнес : [сайт]. — URL: <https://automediapro.ru/obzor-roznichnogo-rynka-tormoznyh-kolodok/> (дата обращения: 02.08.2023).
64. Русинов, А.В. Методические указания по выполнению практических занятий по расчёту дисковых и барабанно-колодочных тормозов : учебно-методическое пособие / А.В. Русинов. — Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. — 30 с.
65. Соцков, Д.А. Повышение активной безопасности автотранспортных средств при торможении : специальность 05.05.03 Автомобили и тракторы : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Соцков Дмитрий Алексеевич. — Москва, 1990. — 565 с.
66. Лазарев, Д.А. Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования процесса торможения автомобиля : специальность 05.22.10 — Эксплуатация автомобильного транспорта : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лазарев Дмитрий Александрович. — Белгород, 2018. — 143 с.
67. Тарасик, В. П. Методика моделирования экстренного торможения автомобиля / В. П. Тарасик // Вестник Белорусско-Российского университета. — 2021. — № 4 (73). — С. 76–87.
68. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 2. Т 66 / Под ред. И.В. Крагельского и В.А. Алисина. — М.: Машиностроение, 1979. — 358 с.
69. Ревин, А.А. Распределение тормозных моментов по колесам автомобилей / А.А. Ревин // Автомобильная промышленность. — 2001. — № 5. — С. 28-32. — ISSN 005-2337.

70. Методика расчета параметров дисковых тормозных механизмов с гидравлическим управлением / О. С. Руктешель [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. – 2010. – № 2. – С. 39-45.

71. Аракелян, И.С. Повышение тормозных свойств спортивных автомобилей с учетом условий эксплуатации : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аракелян Игорь Сергеевич. – Владимир, 2003. – 186 с.

72. Назаров А.И., Сергиенко Н.Е., Назаров И.А., Волощук В.В. Оценка энергонагруженности тормозных механизмов легкового автомобиля. УДК 629.113.

73. Носко, А.Л. Исследование охлаждения тормозных устройств / А.Л. Носко, А.П. Носко // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2005. – № 5. – С. 88-89. – ISSN 0236-3941

74. Оценка состояния износа тормозных колодок / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко [и др.] // Вестник РГАТУ. – 2020. – Т. 3, № 47. – С. 119-125. – ISSN 2077-2084.

75. Подригало, М. А. Повышение точности оценки энергонагруженности тормозных механизмов / Подригало, М. А., Тарасов Ю. В., Шеин В.С // Автомобильный транспорт. – 2011. – № 29. – С.114-116. – ISSN: 2219-8342.

76. Подригало, М.А. Повышение точности оценки тормозных механизмов легковых автомобилей при испытаниях тип 1 / М.А. Подригало, Ю.В. Тарасов, В.С. Шеин // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета – 2013. – С. 33-37.

77. Подригало М.А. Применение метода парциальных ускорений при оценке энергонагруженности тормозов в процессе дорожных испытаний / Подригало М.А., Тарасов Ю.В. // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета – № 8 – 2015. – С. 575- 579.

78. Сарычев В. А. Обзор существующих методов оценки тепловой энергонагруженности тормозных механизмов / Сарычев В. А., Хольшев Н. В.,

Краюшкин Е. А. // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. – 2019. – С. 310-316. – - ISBN: 978-5-91253-752-3

79. Энергонагруженность дисков в парах трения «диск-колодка» тормозных устройств автотранспортных средств / Красин П. С., Вольченко Н. А., Кашуба Н. В., Стадник О. Б // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 110 (06). – С. 1-17.

80. Поляков, П.А. Оценка эффективности работы системы принудительного охлаждения тормозных механизмов дисково-колодочного типа / Поляков П.А. // Инженерный вестник Дона. –2021. – №9. ISSN 2073-8633.

81. Агамиров, Л.В. Методы статистического анализа механических испытаний : справочник / Л.В. Агамиров. – Москва : Интермет Инжиниринг, 2004. – 127 с. – ISBN 5-89594-105-2.

82. Агамиров, Л. В. Численные методы расчета интервальных оценок квантилей распределения характеристик прочности, надежности и долговечности элементов конструкций / Агамиров Л. В. // Технология машиностроения. - 2006. - № 8. - С. 70-72.

83. Никитин, В.И. Первичная статистическая обработка экспериментальных данных : методические указания пособие / В.И. Никитин. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 81 с.

84. Килин, П. М. Статистические методы обработки данных: учебное пособие /П. М. Килин, Н. И. Чекмарева. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. — 128 с. ISBN 978-5-9961-0796-4.

85. Организация и математическое планирование эксперимента : учебное пособие / Ю.В. Юдин. М.В. Майсуралзе. Ф.В. Водолазский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. у-на, 2018. – 124 с. ISBN 978-5-7996-2486-6.

86. РД 3112199-1085-02 Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств : Руководящий документ // Минтранс России. – 2002.

87. Об установлении категории автомобильной дороги р-132 "Золотое кольцо" Ярославль - Кострома - Иваново - Владимир - Гусь-Хрустальный - Рязань

- Михайлов - Тула - Калуга - Вязьма - Ржев - Тверь - Углич на участке км 1117+400 - км 1141+984, тверская область : распоряжение Росавтодора от 29.07.2022 N 2382-Р // Федеральное дорожное агентство Росавтодор. – 2022. – № . – Ст..

88. Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Ивановской области (с изменениями на 15 ноября 2023 года) : Распоряжение Правительства Ивановской области от 02.07.2008 N 222-рп (ред. от 12.11.2020) // Собрание законодательства Ивановской области. – 2008. – № .. – Ст. 26(396).

89. ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования : дата введения 2006-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 3 с.

90. Сеть платных дорог России—Трасса М-12 «Восток» / [Электронный ресурс] // Автодор : [сайт]. — URL: <https://avtodor-tr.ru/road/m-12/> (дата обращения: 01.09.2025).

91. М-7 «Волга» Москва — Владимир — Н. Новгород — Казань (участки во Владимирской и Нижегородской областях) / [Электронный ресурс] // Портал об автодорогах : [сайт]. — URL: <https://mnn.rosavtodor.gov.ru/departments/ob'ekti-upravleniya/obslyuzhivaemye-dorogi/279151> (дата обращения: 01.09.2025).

92. Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года (с изменениями на 14 марта 2022 года) : Распоряжением Правительства РФ от 06.10.2021 N 2816-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2021. – № 41. – Ст. 7051.

93. . Р 03112194-0376-98 Методика оценки остаточной стоимости транспортных средств с учетом технического состояния : дата введения 10 декабря 1998. – Москва : ФГУП НИИАТ. Компания "Автополис-Плюс", 2005. – 103 с.

94. О внесении изменений в распоряжение администрации области от 02.02.2018 № 53 : Распоряжение №1352-р от 19.12.2022 // Администрация Владимирской области. – 2022. – № . – Ст. .

95. Импульсный понижающий регулятор напряжения с регулировкой выхода, 3А / [Электронный ресурс] // Интернет магазин «ЧИП и ДИП» : [сайт]. —

URL: https://www.chipdip.ru/product/lm2596s-adj?utm_source=direct&utm_medium=cpc&position_type=premium%7Ck50id%7C01000002651769_2651769%7Ccid%7C60323483%7Cgid%7C4964168835%7Caid%7C12539844521%7Csrc%7Csearch_none&utm_campaign=Y_dinamicheskaya&utm_content=text9_ya&utm_term=&yclid=334201870022082559 (дата обращения: 21.07.2025).

96. Модуль 16-битного АЦП ADS1115 / [Электронный ресурс] // 3DiY (Тридай) - интернет-магазин комплектующих для 3D принтеров, ЧПУ станков и робототехники : [сайт]. — URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/modul-16-bitnogo-atp-ads1115/> (дата обращения: 21.07.2025).

97. Кокарев, О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы / Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Ратников А.С. // Вестник гражданских инженеров. – 2020. - №78. – Т1. – С. 168-172.

98. Харб, М.Ж. Разработка диагностических признаков тормозной системы легкового автомобиля с АБС : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Харб Мажед Жавдат. – Волгоград, 2000. – 153 с.

99. РД 37.009.026-92 Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитрактора) : Руководящий документ // Минпром Российской Федерации, Департамент автомобильной промышленности. – 1992. – № .. – Ст. ..

100. Техническая документация на автомобили Kia / [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Киа Россия и СНГ» : [сайт]. — URL: <https://www.kia.ru/service/download/> (дата обращения: 01.09.2025.)

101. Кокарев, О.П. Исследование надежности механизмов тормозных систем автомобилей / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Н. Смирнов // Информационные технологии и инновации на транспорте . – Орел : Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – С. 269-275.

102. Мальчиков С.В., Козлов Г.Г. Учет условий эксплуатации. Сборник научных трудов. — Новосибирск: ЦРНС-Сибпринт, 2010. — 320 с. — ISBN: 978-5-94301-114-0.

103. Быков, Д.С. Моделирование потока отказов специальных автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации : специальность 05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Быков Дмитрий Сергеевич. — Тюмень, 2006. — 22 с.

104. Тюрин, С.В. Ускоренная оценка долговечности тормозных накладок на основе выбора режимов подконтрольной эксплуатации автотранспортных средств : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюрин Сергей Васильевич. — Волгоград, 2014. — 16 с.

105. Кокарев, О.П., Исследование влияния режимов работы тормозных механизмов на надежность элементов тормозной системы / Кокарев О.П., Кириллов А.Г, Нуждин Р.В // Техничко-технологические проблемы сервиса. — 2022. — №1(59). — С. — 23-27.

106. Микроэлектронные тензопреобразователи давления и силы преобразователи давления / [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО Микротензор : [сайт]. — URL: <https://microtensor.ru/catalog/mikroelektronnye-tenzopreobrazovateli-izbytochnogo-davleniya/> (дата обращения: 11.08.2025).

107. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Зорин. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 208 с. ISBN 978-5-7695-6003-3.

108. Испытания колёсных транспортных средств: учебное пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов. —М.: МАДИ, 2018. — 124 с.

109. ГОСТ 23181-78 Приводы тормозные гидравлические автотранспортных средств. Общие технические требования (с Изменением N 1) : дата введения 01 февраля 2005. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2005. — 4 с.

110. Болдин, А. П. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А.П. Болдин, В.А. Максимов. М: Издательский центр «Академия», 2012. 336с.

111. Федотов, Е.С. Влияние начальной скорости торможения на износ тормозных колодок / Федотов, Е.С, Литвинов А.Е., Стародуб М.В.// Фундаментальные основы механики. Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2020. - №6. - 80с. - ISSN 2541-8637.

112. Федотов Е.С. Имитационный анализ износа тормозных колодок при однократном торможении / Федотов Е.С, Литвинов А.Е., Стародуб М.В // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020. - № 9. – с. 11-17. ISSN 2658-3305.

113. Старченко, В.Н. Повышение эффективности торможения с использованием новых углерод-композиционных материалов / Старченко В.Н., Казачков Н.В. // Молодой ученый. – 2020. – № 21 (311). – С. 537-541. - ISSN 2072-0297.

114. Разработка тепловой модели тормозного диска фрикционного узла / Поляков П.А., Тагиев Р.С., Федотов Е.С. [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. - Т24. - № 1. - С. 64–76.

115. A. Grkić, S. Muždeka, C. Duboka. A Model for the Estimation of Brake Interface Temperature. Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 61(2015)6, 392-398.

116. A. Grkić, S. Muždeka, C. Duboka. Real-time monitoring of friction surface temperature in automotive disc brakes. International Automotive Conferenceedju arodni naučno-stračniskup. XXV AND JOT OR VEHICLES. 19 - 20 April 2017, Beograd, Serbia.

117. Жуков, И.С. Оценка тепловой нагруженности пар трения автоматизированной тормозной системы автомобиля / Жуков И.С., Дыгало В.Г. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2017. - №3(118). – С. 147-152.

118. Финансы / [Электронный ресурс] // Аналитическое агентство Автостат : [сайт]. — URL: <https://www.autostat.ru/finance/> (дата обращения: 20.08.2025).

119. Рынок автозапчастей в России (с видами), влияние санкций 2022: исследование и прогноз до 2027 г. / [Электронный ресурс] // Аналитическое агентство исследование рынков «Roif Expert» : [сайт]. — URL: <https://roif-expert.ru/mashinostroenie/avtotransport/analiz-rynka-avtozapchastej/rynok-avtozapchastej-v-rossii-obzor-i-prognoz.html> (дата обращения: 20.08.2025).

120. Итоги 2022: стабилизировался ли рынок автозапчастей? / [Электронный ресурс] // Сеть предприятий автомобильного транспорта «ЕвроАвто» : [сайт]. — URL: <https://euroauto.ru/blog/franchise/2023-01-23-itogi-2022/> (дата обращения: 20.11.2023).

121. . Каталог товаров *HYUNDAI / KIA*- Колодки тормозные / [Электронный ресурс] // Автомобильный интернет-портал продажи автозапчастей AUTODOC : [сайт]. — URL: <https://www.autodoc.ru/man/647> (дата обращения: 24.09.2025).

122. Каталог товаров *HYUNDAI / KIA*- Колодки тормозные / [Электронный ресурс] // Автомобильный интернет-портал продажи автозапчастей EXIST.RU : [сайт]. — URL: <https://www.autodoc.ru/man/647> (дата обращения: 24.09.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019662723

**«Автоматизированная система оценки износа систем
транспортных средств»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (RU)*

Авторы: *Кокарев Олег Петрович (RU), Кириллов Александр
Геннадьевич (RU), Орлов Дмитрий Юрьевич (RU)*



Заявка № **2019619979**

Дата поступления **12 августа 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **02 октября 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020615682

Прогнозирование износа и определения остаточного ресурса
тормозных дисков и колодок автомобилей

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (RU)*

Авторы: *Кокарев Олег Петрович (RU), Кириллов Александр
Геннадьевич (RU), Орлов Дмитрий Юрьевич (RU)*



Заявка № 2020614465

Дата поступления 19 мая 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 221477**ТОРМОЗНОЙ СТЕНД ДЛЯ ОТЛАДКИ СИСТЕМЫ
СБОРА ДАННЫХ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ) (RU)*

Авторы: *Кокарев Олег Петрович (RU), Кириллов Александр Геннадьевич (RU), Нуждин Роман Владимирович (RU)*

Заявка № 2023119203

Приоритет полезной модели 19 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 08 ноября 2023 г.Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 19 июля 2033 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 42964600036533646a9544307334a07
Владимир Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 2023.07.19 по 02.08.2024

Ю. С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)

Технические характеристики тензопреобразователей избыточного давления серии МР

Чувствительным элементом тензопреобразователей является двухслойная сапфино-титановая мембрана с монокристаллическими кремниевыми тензорезисторами. Монокристаллическая сапфировая мембрана является идеальным упругим элементом и в соединении с титаном приобретает лидирующее качество по уровню деформаций, сохраняет упругие свойства до $+400^{\circ}\text{C}$. Монокристаллические кремниевые тензорезисторы соединены с сапфиром на атомарном уровне (метод гетероэпитаксии) и работают без гистерезиса и усталостных явлений во времени. Уникальные изолирующие свойства и радиационная стойкость сапфира позволяют эксплуатировать чувствительный элемент в температурном диапазоне от -200 до $+350^{\circ}\text{C}$, при высоких электромагнитных помехах и воздействии радиации. Диапазон предельных температур от минус 60 до плюс 130°C . Погрешность показание составляет до 0,05%

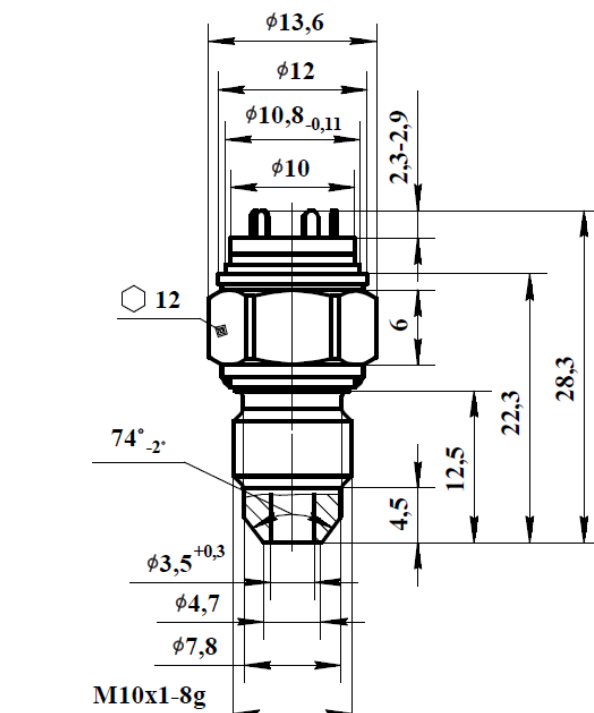


Рисунок Б.1 – Габаритные и присоединительные размеры

Продолжение приложения Б

Схема "Замкнутый мост"

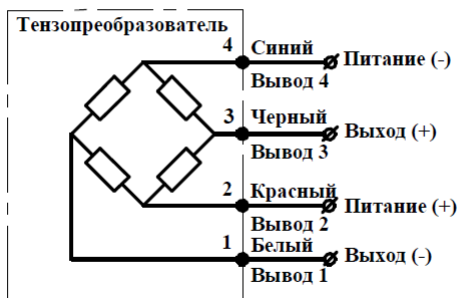



Схема "Разорванный мост"



Рисунок Б.2 – Схемы электрических соединений

ОКПД 2 26.51.82



**Тензопреобразователи избыточного давления
серии МР, МР-Р**

**Этикетка
МВЕР.408854.049 ЭТ**

1 Основные сведения об изделии

Тензопреобразователи МР25-2Р-М1-L
обозначение


№ № 80500
80501
80502
80490

заводские номера изделий

Дата изготовления 19.11.2021

2 Свидетельство о приемке

Изделия изготовлены в соответствии с действующей технической документацией и признаны годными для эксплуатации.


личная подпись

Представитель ОТК
КОНТРОЛЕР - 4
СТРЕЛБНИКОВА Т.И.

Рисунок Б.3 – Паспорт тензопреобразователей

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Принцип работы и схемы модулей

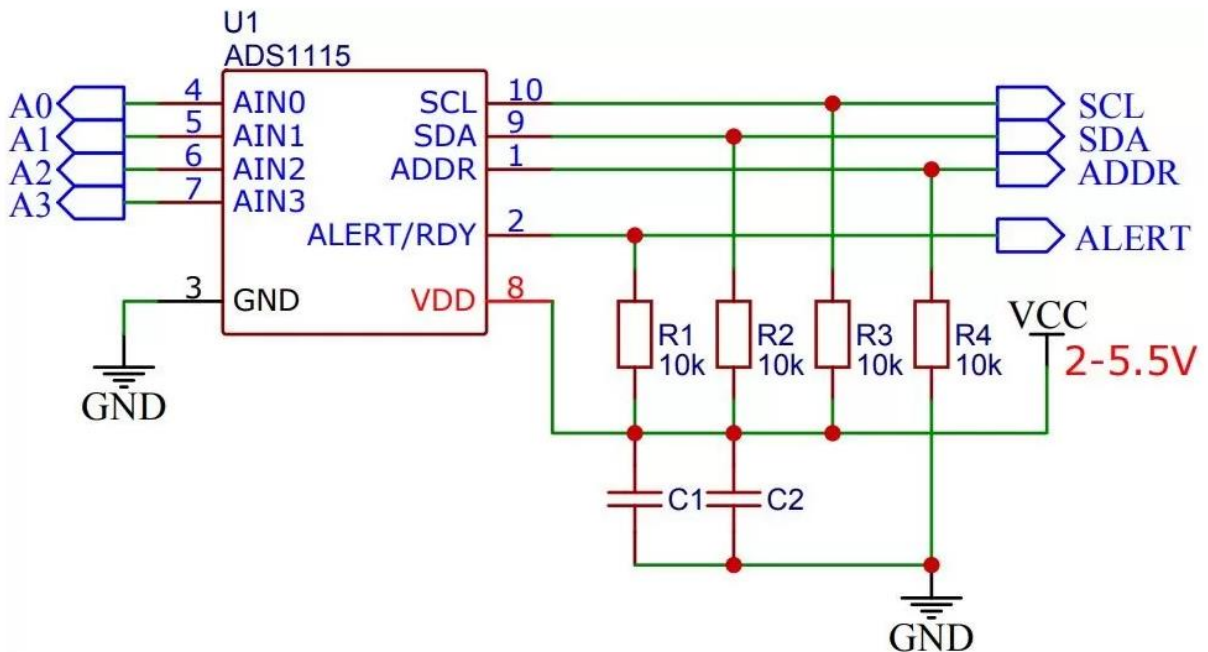


Рисунок В.1 – Электрическая схема модуля *ADS1115*

Конденсаторы *C1* и *C2* предназначены для устранения помех в цепи питания микросхемы АЦП. Резистор *R1* подтягивает выход компаратора к низкому уровню. Следовательно, сигнал оповещения будет эквивалентен логической единице. Резисторы *R2* и *R3* подтягивают *I2C* шину до уровня питания, что освобождает пользователя от применения внешних сопротивлений.

Модуль *ADS1115* может иметь один из 4-х возможных адресов в зависимости от того, куда подключен вывод *ADDR*. Из схемы видно, что он притянут резистором *R4* к минусу питания, что по умолчанию присваивает модулю адрес 0x48.

В целом, каждая микросхема *ADS1115* имеет в своём составе 4 аналоговых входа (*A0*, *A1*, *A2*, *A3*). В зависимости от настроек, эти входы могут использоваться как 4 одиночных канала измерения или как 2 дифференциальных. В дифференциальном режиме напряжение меряется между входами *A0-A1* и *A2-A3*. На рисунке №4 показана внутренняя структура микросхемы *ADS1115*.

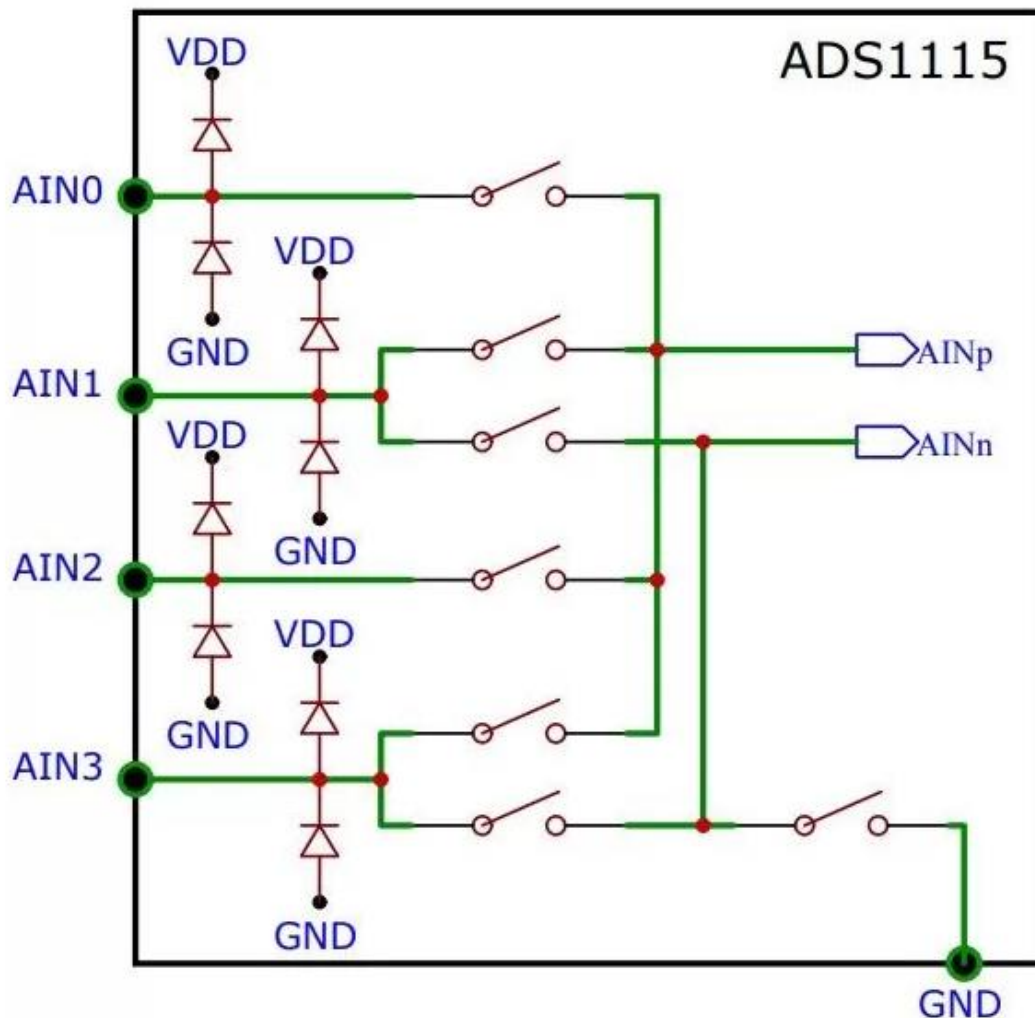
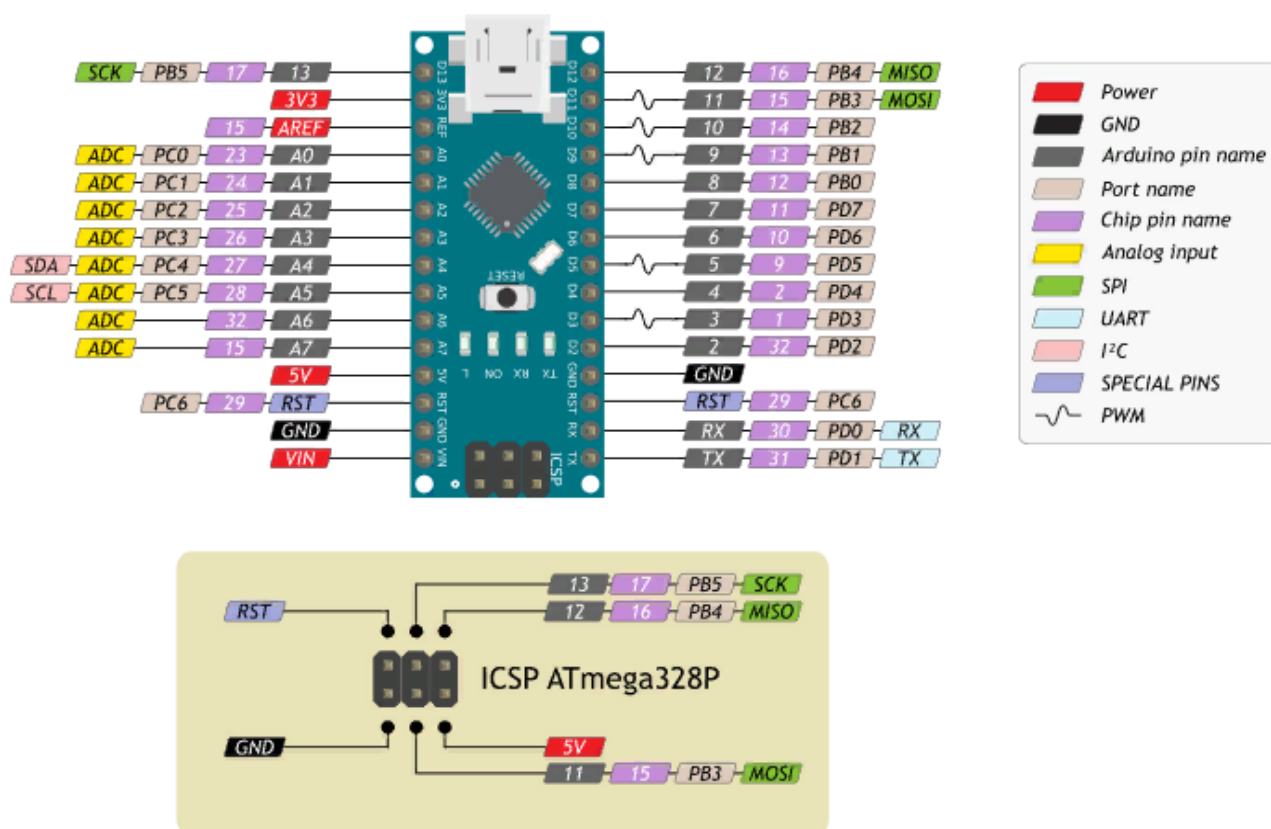


Рисунок В.2 – Структурная схема чипа ADS1115

На *Arduino Nano* (рисунок 3) предусмотрено всё необходимое компонентов для быстрой и многозадачной работы с микроконтроллером: 14 цифровых входов/выходов (6 из них могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый резонатор на 16 МГц, разъем *Mini-USB*, разъем питания, разъем для внутрисхемного программирования (ICSP) и кнопка сброса.

Для обмена информацией с периферией по интерфейсу *I2C* предназначены пины A4(*SDA*) и A5(*SCL*). Для общения с периферией по интерфейсу *SPI* имеются пины 11(*MOSI*), 12(*MISO*), 13(*SCK*) и 10(*SS*).

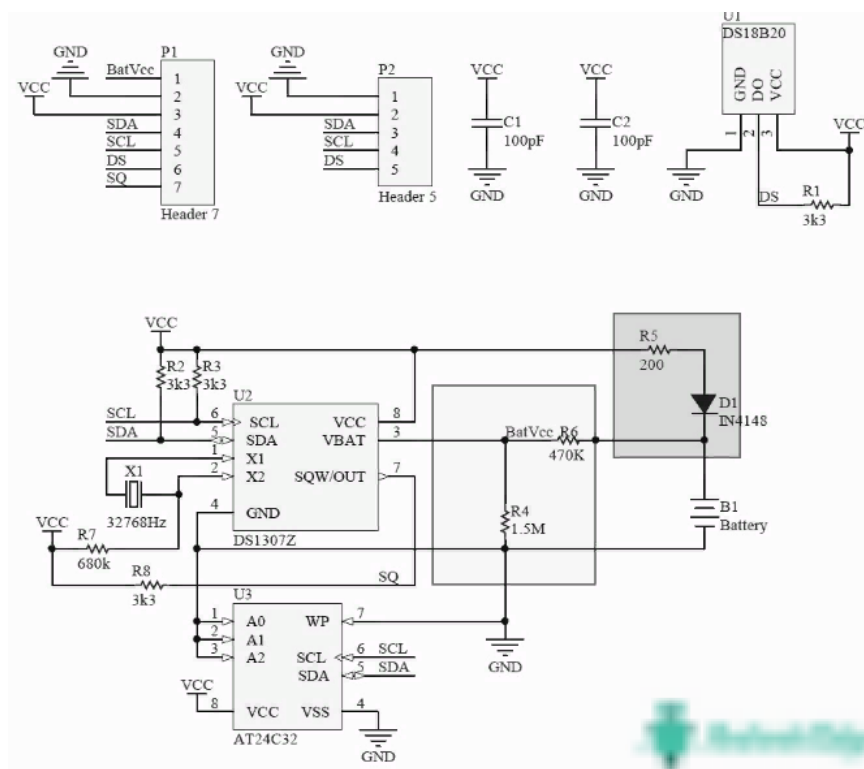
Рисунок В.3 – Внешний вид платы микропроцессора *Arduino Nano*Таблица В.1 – Технические характеристики микропроцессора *Arduino Nano*

№ п/п	Характеристика	Значение
1.	Микроконтроллер	<i>Atmega328P</i>
2.	Ядро	8-битный AVR
3.	Тактовая частота	16 МГц
4.	<i>Flash</i> -память	32 КБ
5.	<i>SRAM</i> -память	2 КБ
6.	<i>EEPROM</i> -памяти	1 КБ
7.	Портов с АЦП	8
8.	Портов с ШИМ	6
9.	Разрядность ШИМ	8 бит
10.	Разрядность АЦП	10 бит
11.	Аппаратных интерфейсов <i>SPI</i>	1

Продолжение таблицы В.1

12.	Аппаратных интерфейсов <i>I²C / TWI</i>	1
13.	Аппаратных интерфейсов <i>UART / Serial</i>	1
14.	Номинальное рабочее напряжение	5 В
15.	Максимальный выходной ток пина 5V	800 мА
16.	Максимальный выходной ток пина 3V3	50 мА
17.	Максимальный ток с пина или на пин	40 мА
18.	Допустимое входное напряжение	7–12 В
19.	Габариты	18×45 мм

Модуль *DS1307* работает от автономного питания — батарейки и продолжает вести отсчет времени, даже если микропроцессоре *Arduino* отключено питание. Модуль реального времени *DS1307* позволяет отслеживать время, даже в условиях перепрограммирования микроконтроллера.

Рисунок В.4 – Схема контактов модуля *DS1307*

Модуль *KY-024* является цифроаналоговым датчиком Холла. Модуль определяет присутствие поля постоянного магнита или магнитного поля катушки, подключенной к постоянному току. На модуле *KY-024* установлен датчик Холла – датчик магнитного поля. На модуле расположены два красных светодиода, один из которых, сигнализирует о наличии питания, другой загорается при срабатывании датчика. Для настройки датчика на плате модуля имеется подстроечный резистор, который позволяет отрегулировать чувствительность датчика – изменить расстояния до магнита, при котором датчик срабатывает. Назначение контактов модуля представлено в таблице 2.

Таблица В.2 – Назначение контактов модуля *KY-024*

Контакт	Назначение
A0	Аналоговый выход. Напряжение сигнала этого выхода соответствует напряженности магнитного поля.
D0	Цифровой выход
VIN	Входное напряжение «+5В»
GND	Общий (<i>GND</i>)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

Программные коды

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <ADS1X15.h>
3 #include <iarduino_RTC.h> // RTC_DS1307
4 #include <SD.h>
5 #include <SPI.h> // SD- карта
6 ADS1115 ADS;
7 int d1; int q;
8 iarduino_RTC watch(RTC_DS1307);
9 File myFile; // СД карта
10 byte day;
11 char fileName[16];
12 int filedata;
13 unsigned long lastturn, time_press; //переменные хранения времени
14 float SPEED; //переменная хранения скорости в виде десятичной дроби
15 float w_length = 2.512; //длина окружности колеса в метрах 16 дюймов
16 int pin = 0;
17 void setup() {
18   pinMode(A7, INPUT); //pinMode(A7, LOW); //если нажата педаль тормоза
19   Serial.begin(9600); //открыть порт
20   watch.begin(); //watch.settime(0, 40, 14, 15, 3, 23); // сек, мин, час, число, месяц, год, вторник
21   if (!ADS.begin()) { //Serial.println(F("Ошибка"));
22   } else {
23     Serial.println(F("ASD Ok!"));
24   }
25   delay(1000);
26   if (!SD.begin(10)) { // SD- карта //Serial.println(F("Ошибка"));
27     while (1);
28   } else {
29     //Serial.println(F("SD карт Ok!"));
30   }
31   attachInterrupt(pin, sens, RISING); //подключить прерывание на (0 - 2, 1 - 3) пин при повышении сигнала
32   filedata = watch.gettime("d");
33   sprintf(fileName, "%d.csv", filedata); // Serial.print(fileName);
34   myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
35 }
36 void sens() {
37   if (millis() - lastturn > 60) { //защита от случайных измерений
38     SPEED = w_length / ((float)(millis() - lastturn) / 1000) * 3.6; //расчет скорости, км/ч
39     lastturn = millis(); //запомнить время последнего оборота
40   }
41 }
42 void loop() {
43   int cel_sp = floor(SPEED);
44   int sot_sp = (((float)cel_sp / 1000) - floor((float)cel_sp / 1000)) * 10; // Сотни
45   int des_sp = (((float)cel_sp / 100) - floor((float)cel_sp / 100)) * 10; // Десятки
46   int ed_sp = (((float)cel_sp / 10) - floor((float)cel_sp / 10)) * 10; // Единицы
47   int dr_sp = (float)(SPEED - floor(SPEED)) * 10;
48   if ((millis() - lastturn) > 2000) { //если сигнала нет больше 2 секунды
49     SPEED = 0; //считаем что SPEED = 0
50   }
51   q = analogRead(A7);
52   if (q > 1000) {
53     //myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE); //Serial.println(F(" SD Open "));
54     if (millis() % 500 == 0) { //myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE); // Serial.print(" ");
55       d1 = ADS.readADC_Differential_0_1();
56       // Serial.print(cel_sp); Serial.print(" / "); Serial.print(sot_sp); Serial.print(des_sp); Serial.print(dr_sp);
57       // Serial.print(" / "); // Serial.print(d1); // Serial.print(" "); // Serial.print(q); //
58       myFile.print(sot_sp); myFile.print(des_sp); myFile.print(ed_sp); myFile.print(" ");
59       myFile.print(d1); myFile.print(" ");
60       myFile.print(q);
61       myFile.println(watch.gettime(" d-m-Y H:i:s"));
62     }
63   }
64   else {
65     myFile.close(); //Serial.println(F(" SD CLOSED "));
66     myFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE); //Serial.println(F(" SD OPEN ")); // Serial.print(" Пед
67     // Serial.print(analogRead(A7)); //Serial.println(watch.gettime(F(" H:i:s,"))); // выводим время
68     delay(1000);
69   }
70 }

```

Рисунок Г.1 –Программный код микропроцессора КСД

Программный код на языке *Python* для обработки значений параметров при торможении

```
[10]: # jupyter notebook --generatr-config
# jupyter_notebook_config
```

```
[13]: import pandas as pd
import os
import math
name_file = '13'
```

```
[17]: os.getcwd()
neww_dir = name_file
#os.mkdir(neww_dir)
```

```
[18]: exel_file = name_file + '.csv'
df = pd.read_csv(exel_file, sep = ';')
df = df.reset_index()
#df.describe()
```

```
[19]: df.columns
```

```
[19]: Index(['index', '2', '-7055', '-388', '4', '15', '12.04.2023', '11:36:18',
'Unnamed: 7', '9,049975458', 'Unnamed: 9', '4279', '118', 'Unnamed: 12',
'1'],
dtype='object')
```

```
[26]: d1, d2, d3 = df.iloc[:, 2], df.iloc[:, 3], df.iloc[:, 4] # Инициализация датчиков
data, time = df.iloc[:, 6], df.iloc[:, 7] # Инициализация даты и времени
sp = df.iloc[:, 0] # Инициализация скорости
# расчет времени
#print(time)
cont_vr = 0
vr_set=set()
for stroka in time:
    #print(stroka)
    vrem = int(stroka.split(':')[1]) # Выбираем секунды
    #print(vrem)
    cont_vr = (vrem + cont_vr) # Складываем секунды
    vse_vr = round(cont_vr/60/5) # Определяем минуты (60), делю на 5 (запись 5 раз в секунду)
print(f'время записи {vse_vr / 5} мин, {round(vse_vr/60/5, 2)} час(а)')
```

время записи 370.0 мин, 6.17 час(а)

```
[7]: # Количество дней, если запись идет только при наличии давления в приводе
day, z, day_1 = 1, 0, 0
day_l = []
num_d0 = data[0].split('-')[0] # Определяем стартовое число (дату), с которым буду сравнивать последующие

for i in range(0, len(data)):
    num_d = data[i].split('-')[0] # Определяем дату (число месяца) каждой строки (i)
    #print(num_d)
    #print(num_d0)
    z += 1
    if num_d != num_d0:
        day_1 += 1
        day += 1
        day_l.append((data[i-1], z-1, (f'{round((z-1)/5/60, 2)} мин'))
        z = 0
        num_d0 = data[i].split('-')[0]

day_l.append((data[i-1], z-1, (f'{round((z-1)/5/60, 2)} мин'))
vr = round(i/5/60, 2)

print(f'количество записанных дней - {day} (общее время работы ТорС {vr} мин): {day_l}')
```

количество записанных дней - 2 (общее время работы ТорС 74.7 мин): [('12.04.2023', 8034, '26.78 мин'), ('13.04.2023', 14374, '47.91 мин')]

[8]: *# Количество нажатий и время работы тормоза*

```

coun_e, coun0, coun00 = 0, 0, 0
ezd_list, vrem_e_list = [], []
vrem = 0
ch = 1/5 # частота записи 5 раз в секунду

for e in range(0, len(time)-1):

    ezd1 = int(time[e].split(':')[2]) # Определяем время (сек) текуще (e)
    ezd2 = int(time[e+1].split(':')[2]) # Определяем время (сек) соедующее (e+1)
    #print(ezd1, ezd2)
    e_result = ezd2 - ezd1 #определяем разницу времени между нажатиями
    #print(e_result)
    if e_result != 1 and e_result != 0: #если разница времени между нажатиями не равно 1 и 0 сек (могут быть отрицательные числа), то счетчик +1
        coun_e += 1 #счетчик нажатий
        #print(time[e], coun_e)
        if coun_e == 1: # Находим параметры самого первого нажатия
            data01 = data[e] #Начало самого первого торможения (сек)
            time01 = time[e] #Окончание самого первого торможения (сек)
            vrem01 = round((e * ch) + ch, 2) #Время самого первого торможения (сек)
            d1_0 = list(d1[0:e+1]) # Находим значение давления первого датчика
            d2_0 = list(d2[0:e+1]) # Находим значение давления второго датчика
            d3_0 = list(d3[0:e+1]) # Находим значение давления третьего датчика
            coun0 = 0 # Обнуляем счетчик для определения начала времени последующих торможений
            coun00 = 1 # Обнуляем (1) счетчик для расчета времени торможения
            #ezd_list = [f'1 - нажатие: начало - {data[0]}, {time[0]}, окончание - {time01}, время нажатия - {vrem01} сек, {d1_0, d2_0, d3_0}']
            ezd_list = [f'1 - {data[0]}, {time[0]} : {time01} ({vrem01} сек)']
            vrem_e_list.append(vrem01)
        else: #Ищем все остальные нажатия
            time00 = time[e - coun0] #Начало торможения (сек)
            time01 = time[e] #Окончание торможения (сек)
            #print(time00, time01, coun_e)
            vrem_e = round((coun00 * ch), 1) #Время торможения (сек)
            #print(coun0, coun00, vrem_e)
            coun0 = 0
            coun00 = 1
            #ezd_e = (f'{coun_e} - нажатие: начало - {data[e]} {time00}, окончание - {time01}, время торможения - {vrem_e} сек')
            #print(f'{coun_e} - ездка, начало - {data[e]} {time[e]}, окончание - {time00}')
            vrem += vrem_e
            #print(f'начало следующей ездки - {data[e]}, {time[e]}')
            #ezd_list.append(ezd_e) # Создаем лист с данными всех ездов
            ezd_list.append(f'{coun_e} - {data[e]} {time00} : {time01} ({vrem_e} сек)')
            vrem_e_list.append(vrem_e) # Список с длительностью торможения

    else:
        coun0 += 1
        coun00 += 1

#print (f'({coun_e} раз) {round((vrem+vrem01), 2)} сек, {round((vrem+vrem01)/60, 2)} мин, {round((vrem+vrem01)/60/60, 2)} часа')
e_avg = round(60 * vr/coun_e, 2)
#print(f'{e_avg} сек длится одно нажатие (среднее)')
#print('\n'.join(ezd_list))
#print(vrem e list)

```

```
[9]: # Количество нажатий и время работы ТорС. Создание новых датафреймов и нового файла (xlsx) через словари

coun, coun0, coun00 = 0, 0, 0 #счетчики
coun_t = [] #список количества нажатий
start_t = [] # список начала нажатий
stop_t = [] # список конца нажатий
time_t = [] # список времени нажатий
data_t = [] # список дат нажатий

ch = 1/5 # частота записи 5 раз в секунду (5Гц)
d1_t1, d1_t2, d1_t3 = tuple(), tuple(), tuple() # постоянные кортежи данных датчиков давления
d1_t00, d2_t00, d3_t00 = tuple(), tuple(), tuple() # временные кортежи давления
sped_0, speed = tuple(), tuple() # временный и постоянный кортежи скорости

for e in range(0, len(time)-1):
    ezd1 = int(time[e].split(':')[2]) # Определяем время (сек) текуще (e)
    ezd2 = int(time[e+1].split(':')[2]) # Определяем время (сек) следующее (e+1)
    e_rezult = ezd2 - ezd1 # Определяем разницу времени между нажатиями
    d1_t00 = d1_t00 + (d1[e],) # Собираем значения давления 1 датчика
    d2_t00 = d2_t00 + (d2[e],)
    d3_t00 = d3_t00 + (d3[e],)
    if sp[e] == 118:
        sp[e] = 0
        sped_0 = sped_0 + (sp[e],)
        #print(sp[e])

    if e_rezult != 1 and e_rezult != 0: #если разница времени между нажатиями не равно 1 и 0 сек
        #(могут быть отрицательные числа), то счетчик +1
        coun += 1 #счетчик нажатий
        coun_t.append(coun) # Формируем список с количеством нажатий
        if coun == 1: # Находим параметры самого первого нажатия
            start_t.append(time[0]) #Начало самого первого торможения (сек)
            stop_t.append(time[e]) #Окончание самого первого торможения (сек)
            time_t.append(round((e * ch) + ch, 2)) #Время самого первого торможения (сек)
            data_t.append(data[0])
            d1_t1, d2_t2, d3_t3 = (d1_t00,), (d2_t00,), (d3_t00,) # Формируем постоянные кортежи данных датчиков давления
            del d1_t00, d2_t00, d3_t00
            d1_t00, d2_t00, d3_t00 = tuple(), tuple(), tuple()
            speed = (sped_0,)
            del sped_0
            sped_0 = tuple()

            coun0 = 0 # Обнуляем счетчик для определения начала времени последующих торможений
            coun00 = 1 # Обнуляем (1) счетчик для расчета времени торможения
        else: # Следующие нажатия
            start_t.append(time[(e - coun0)]) # Формируем список с Началами торможения (сек)
            stop_t.append(time[e]) # Формируем список с Окончаниями торможения (сек)
            #print(time00, time01, coun_e)
            time_t.append(round((coun00 * ch), 1)) # Формируем список с Временем торможения (сек)
            #print(coun0, coun00, vrem_e)
            data_t.append(data[e])
            d1_t1, d2_t2, d3_t3 = d1_t1 + (d1_t00,), d2_t2 + (d2_t00,), d3_t3 + (d3_t00,)
            del d1_t00, d2_t00, d3_t00
            d1_t00, d2_t00, d3_t00 = tuple(), tuple(), tuple()
            speed = speed + (sped_0,)
            del sped_0
            sped_0 = tuple()
            #print(len(d1_t1), len(d2_t2), len(d3_t3))
            coun0 = 0 # Обнуляю счетчик для определения начала времени последующих торможений
            coun00 = 1 # Обнуляю (1) счетчик для расчета времени торможения

    else: # в пределах одного нажатия
        coun0 += 1 # счетчик для определения начала времени последующих торможений
        coun00 += 1 # счетчик для расчета времени торможения

#print(len(d1_t1))
#print(speed)
```

```
[10]: # Находим количество приторможений и торможений до полной остановки
pritormozil, ostanov, r = 0, 0, 0
for i in speed:
    r = 0
    for o in i:
        if o == 0:
            r += 1
    if r > 0:
        ostanov += 1
print (f'Притормозил: {len(speed) - ostanov}({round((len(speed) - ostanov) / len(speed)*100,1)}%) раз, тормозил до остановки: {ostanov}({round(ostanov/len(speed)*100,1)}%) раз, общее кол-во: {len(speed)} раз')
```

Притормозил: 416(60.8%) раз, тормозил до остановки: 268(39.2%) раз, общее кол-во: 684

```
[11]: # Находим время трения
time_tre = tuple()
for i in speed:
    count = 0
    for g in range(len(i)):
        if i[g] > 0:
            count += 1
    #print(tre_00)
    tre_00 = count * ch
    time_tre = time_tre + (tre_00,)

#print(time_tre)
#print(len(time_tre))
```

```
[12]: # Находим начальную и конечную скорость торможения в м/с
speed_st, speed_end = tuple(), tuple()
for i in speed:
    speed_st = speed_st + (round(i[0]*1000/3600,2),)# перевозу в м/с
    count = 0
    for g in range(len(i)):
        if i[g] > 0:
            count += 1
        if i[g] >= 0:
            speed_end = speed_end + (round(i[g-1]*1000/3600,2),)
    break
print(len(speed_st))
print(max(speed_st))
```

684
22.22

```
[13]: # Находим установившееся замедление
zamedlenie = tuple()
for i in range (len(speed)):
    if time_tre[i] != 0:
        count_zam = round(speed_st[i] / time_tre[i],2)
        zamedlenie = zamedlenie + (count_zam,)
    else:
        count_zam = 0
        zamedlenie = zamedlenie + (count_zam,)
print(len(zamedlenie))
print(max(zamedlenie))
```

684
54.15

```
[14]: # Находим разницу скорости (дельта v)
delta_sp = tuple()
for i in range (len(speed)):
    count_del_sp = abs(speed_st[i] - speed_end[i])
    delta_sp = delta_sp + (count_del_sp,)

print(len(delta_sp))
print(max(delta_sp))
```

684
17.78

```
[15]: # Находим путь трения, м
put_tre = tuple()
for i in range (len(speed)):
    if time_tre[i] > 0:
        count_put_tre = round((speed_st[i]) * time_tre[i],1)
        put_tre = put_tre + (count_put_tre,)
    else:
        count_put_tre = 0
        put_tre = put_tre + (count_put_tre,)
print(len(put_tre))
print(max(put_tre))
```

```
[15]: # Находим путь трения, м
put_tre = tuple()
for i in range (len(speed)):
    if time_tre[i] > 0:
        count_put_tre = round((speed_st[i]) * time_tre[i],1)
        put_tre = put_tre + (count_put_tre,)
    else:
        count_put_tre = 0
        put_tre = put_tre + (count_put_tre,)
print(len(put_tre))
print(max(put_tre))

684
235.5
```

```
[16]: # Находим среднее давление трения (кН/кв.м)
dav_tor = 40 * 101.3249# 40 - тарировочный коэффициент, 1 атм = 101324,9 Н/кв.м. Переводим в кН
dav_avg = tuple()
tarirovka = d1_t1[0][0] / dav_tor
for i in d1_t1:
    dav_avg_0 = round((sum(i) / len(i)) / tarirovka,2)
    dav_avg = dav_avg +(dav_avg_0,)
print(len(dav_avg))
print(max(dav_avg), 'кН/кв.м - max')

684
5878.13 кН/кв.м - max
```

```
[17]: # Находим работу трения ТМ передней и задней оси авто (1 кН/кв.м = 1 кДж).
b_1, b_2 = 0.0034, 0.0009# комплексные праметры (кв. м)
job_tre, job_tre_1, job_tre_2, job_koef = tuple(), tuple(), tuple(), tuple() # Работа трения. 1 кН/кв.м = 1 кДж
for i in range (len(speed)):
    job_1 = round(dav_avg[i] * b_1 * speed_st[i] * time_tre[i],2)# Работа одзого ТМ
    job_2 = round(dav_avg[i] * b_2 * speed_st[i] * time_tre[i],2)# Работа одзого ТМ
    job = abs(job_1 + job_2)# Работа одзого переднего и заднего ТМ
    job_tre_1 = job_tre_1 + (job_1,)# Работа одзого ТМ
    job_tre_2 = job_tre_2 + (job_2,)# Работа одзого ТМ
    job_tre = job_tre + (job,)# Работа одзого переднего и заднего ТМ
print(len(job_tre_2))
print(max(job_tre_1))
print(max(job_tre_2))

684
1734.74
459.19
```

```
[18]: #for i in range (len(speed)):
# print(job_tre_1[i]/job_tre_2[i])
```

```
[19]: d_dict = {'# нажатия': coun_t,
            'Дата': data_t,
            'Начало': start_t,
            'Конец': stop_t,
            'Время торможения, с': time_t,
            'Dat1' : d1_t1,
            'Скорость, м/с' : speed
            }

job_dict = {'# нажатия': coun_t,
            'Дата': data_t,
            'Начало': start_t,
            'Конец': stop_t,
            'Время торможения, с': time_t,
            'Время трения, с': time_tre,
            'Скорость начала торможения, м/с' : speed_st,
            'Скорость конца торможения, м/с' : speed_end,
            'Разница скорости, м/с' : delta_sp,
            'Замедление, м/с2' : zamedlenie,
            'Путь трения, м' : put_tre,
            'Среднее давление, кН/кв.м' : dav_avg,
            'Работа трения перед одзого ТМ, кН/кв.м (кДж)' : job_tre_1,
            'Работа трения зад одзого ТМ, кН/кв.м (кДж)' : job_tre_2,
            'Работа трения одного пер и одного зад ТМ, кН/кв.м (кДж)' : job_tre
            }
```

```
[20]: d_df_1 = pd.DataFrame(d_dict)
      d_df_1
```

```
[20]:
```

	№ нажатия	Дата	Начало	Конец	Время торможения, с	Dat1	Скорость, м/с
0	1	12.04.2023	11:36:18	11:36:29	9.2	(-369, -362, -363, -359, -358, -363, -364, -35...	(0, 0, 0, 2, 2, 2, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 0, ...
1	2	12.04.2023	12:15:24	12:15:32	6.6	(-385, -358, -354, -351, -356, -352, -352, -35...	(40, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 3, 3,...
2	3	12.04.2023	12:15:34	12:15:36	2.0	(-325, -324, -334, -326, -327, -328, -331, -32...	(7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7)
3	4	12.04.2023	12:15:40	12:15:46	5.8	(-323, -314, -311, -319, -313, -315, -315, -31...	(8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 7, 7, 7, 7, 7, 0, 0, ...
4	5	12.04.2023	15:09:24	15:09:26	2.0	(-158, -155, -150, -144, -139, -132, -140, -13...	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
...
679	680	13.04.2023	18:53:27	18:53:32	6.2	(-162, -146, -150, -159, -162, -156, -157, -15...	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ...
680	681	13.04.2023	18:53:40	18:53:40	0.2	(-153,)	(0,)
681	682	13.04.2023	18:53:42	18:53:43	1.6	(-161, -152, -160, -158, -156, -154, -157, -151)	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
682	683	13.04.2023	18:53:53	18:53:54	1.2	(-152, -152, -156, -161, -157, -143)	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
683	684	13.04.2023	18:53:57	18:53:59	2.4	(-161, -155, -157, -166, -163, -153, -159, -15...	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)

684 rows x 7 columns

```
[22]: d_df_1 = pd.DataFrame(d_dict)
      jb_df = pd.DataFrame(job_dict)

      jb_df.head(15)
```

```
[22]:
```

	№ нажатия	Дата	Начало	Конец	Время торможения, с	Время трения, с	Скорость начала торможения, м/с	Скорость конца торможения, м/с	Разница скорости, м/с	Замедление, м/с ²	Путь трения, м	Среднее давление, кН/кв.м	Работа трения перед одного ТМ, Н/кв.м (кДж)	Работа трения зад одного ТМ, Н/кв.м (кДж)	Работа трения одного ТМ, Н/кв.м (кДж)
0	1	12.04.2023	11:36:18	11:36:29	9.2	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	3897.31	0.00	0.00	0.00
1	2	12.04.2023	12:15:24	12:15:32	6.6	4.4	11.11	1.11	10.00	2.52	48.9	3793.05	630.43	166.88	79.0
2	3	12.04.2023	12:15:34	12:15:36	2.0	2.0	1.94	1.94	0.00	0.97	3.9	3590.58	47.37	12.54	5.0
3	4	12.04.2023	12:15:40	12:15:46	5.8	3.6	2.22	0.00	2.22	0.62	8.0	3438.66	93.44	24.73	11.0
4	5	12.04.2023	15:09:24	15:09:26	2.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	1578.36	0.00	0.00	0.00
5	6	12.04.2023	15:09:37	15:09:38	0.6	0.6	1.11	1.11	0.00	1.85	0.7	1567.01	3.55	0.94	0.0
6	7	12.04.2023	15:09:42	15:09:43	1.0	0.6	0.28	0.00	0.28	0.47	0.2	1493.79	0.85	0.23	0.0
7	8	12.04.2023	15:09:45	15:11:46	2.4	1.4	0.00	1.94	1.94	0.00	0.0	1342.76	0.00	0.00	0.00
8	9	12.04.2023	15:13:18	15:13:19	1.4	1.4	7.50	6.11	1.39	5.36	10.5	861.44	30.75	8.14	3.0
9	10	12.04.2023	15:13:50	15:13:52	1.6	1.6	4.72	3.61	1.11	2.95	7.6	892.43	22.91	6.07	2.0
10	11	12.04.2023	15:13:54	15:13:59	4.4	4.4	3.33	1.67	1.66	0.76	14.7	915.64	45.61	12.07	5.0
11	12	12.04.2023	15:14:30	15:14:32	1.8	1.8	8.33	6.94	1.39	4.63	15.0	888.46	45.29	11.99	5.0
12	13	12.04.2023	15:14:47	15:14:48	1.4	1.4	4.72	4.44	0.28	3.37	6.6	902.23	20.27	5.37	2.0
13	14	12.04.2023	15:15:14	15:15:20	5.6	5.6	7.50	3.33	4.17	1.34	42.0	893.60	127.61	33.78	16.0
14	15	12.04.2023	15:15:30	15:15:33	2.2	2.2	5.28	2.78	2.50	2.40	11.6	927.63	36.64	9.70	4.0

```
[23]: jb_df_feat = jb_df.copy()
      jb_df_feat.shape

[23]: (684, 15)

[25]: jb_df_feat = jb_df_feat[jb_df_feat['Работа трения одного пер и одного зад ТМ, Н/кв.м (кДж)'] > 0]
      jb_df_feat.shape

[25]: (593, 15)

[26]: jb_df_feat.to_excel(f'{name_file}\jb_df_feat_vse_2025.xlsx', sheet_name = 'jb_df_feat', index = False)

[29]: # Сохраняю датафреймы в эксель
      jb_df.to_excel(f'{name_file}\job_vse_2025.xlsx', sheet_name = 'dat', index = False)
      sp_df.to_excel(f'{name_file}\speed_1_2025.xlsx', sheet_name = 'speed', index = False)

[28]: df_tor = pd.DataFrame(speed_dict)
      df_tor.describe()
      df_tor1 = df_tor.describe()
      df_tor1

[40]: df_tor1.to_excel(f'{name_file}\speed_describe_2025.xlsx', sheet_name = 'speed', index = False)

[75]: df_tor_feat = jb_df_feat.describe()
      #df_tor_feat

[57]: df_tor_feat.to_excel(f'{name_file}\df_tor_feat_describe_2025.xlsx', sheet_name = 'describe', index = False)

Обработка 3 сигма

[92]: jb_df_feat.iloc[:, -3]

[92]: 1      630.43
      2      47.37
      3      93.44
      5       3.55
      6       0.85
      ...
      668    115.05
      669    151.67
      670       4.57
      671    28.27
      674       2.55
      Name: Работа трения перед одрого ТМ, Н/кв.м (Дж), Length: 593, dtype: float64

[107]: verh_3_sigma = jb_df_feat.iloc[:, -2].mean() + (3 * jb_df_feat.iloc[:, -2].std())
      print (verh_3_sigma)
      jb_df_feat_3_sigma = jb_df_feat.copy()
      jb_df_feat_3_sigma = jb_df_feat_3_sigma[jb_df_feat_3_sigma['Работа трения одного пер и одного зад ТМ, Н/кв.м (кДж)'] < verh_3_sigma]
      jb_df_feat_3_sigma
      jb_df_feat_3_sigma.to_excel(f'{name_file}\jb_df_feat_3_sigma_2025.xlsx', sheet_name = '3_sigma', index = False)

187.54515673285906
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное)

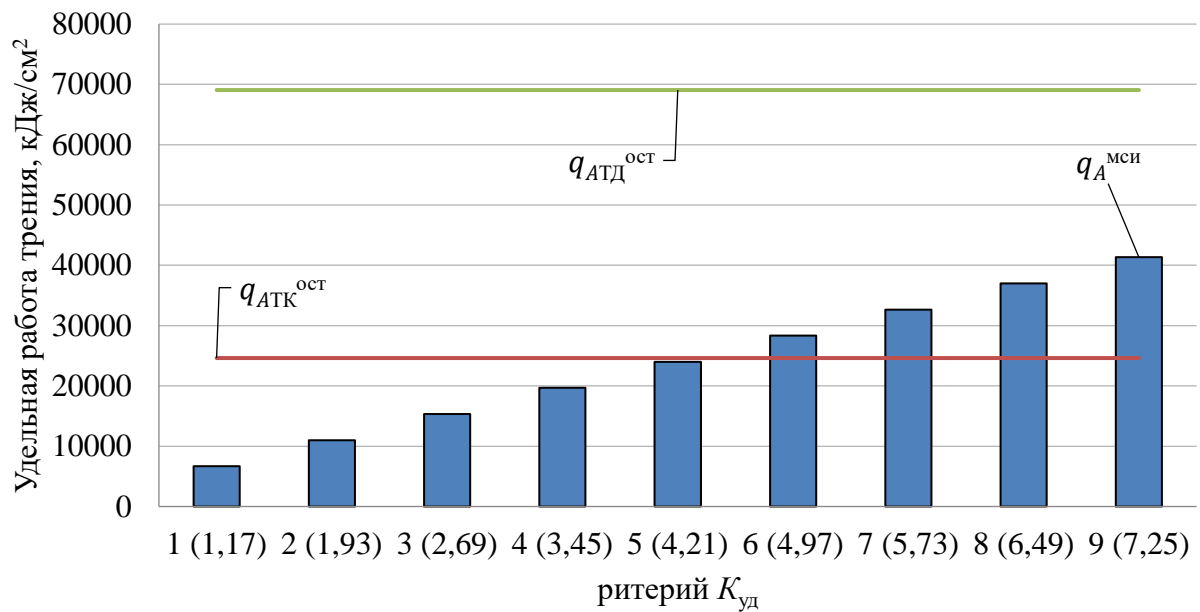
Значения геометрических параметров элементов ТорС в период эксперимента

Колесо	Контрольные точки	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км		
		131824	154061		131824	154061		131824	154061		131824	154061	
		Тормозные колодки						Тормозной диск					
		Внутренняя			Внешняя			Толщина			Биение		
Переднее левое	1	17,50	13,63	3,87	17,50	13,45	4,05	22,43	22,15	0,28	0,04	0,04	
	2	17,50	12,00	5,50	17,50	13,23	4,27	22,43	22,15	0,28	0,02	0,03	
	3	17,50	12,33	5,17	17,50	13,77	3,73	22,43	22,16	0,27	0,04	0,02	
	4	17,50	12,22	5,28	17,50	13,89	3,61	-	-	-	-	-	
	среднее	17,50	12,55	4,96	17,50	13,59	3,92	22,43	22,15	0,28	0,03	0,03	
Переднее правое	1	17,50	11,4	6,10	17,50	13,66	3,84	22,32	22,11	0,21	0,05	0,06	
	2	17,50	11,9	5,60	17,50	13,66	3,84	22,32	22,12	0,20	0,04	0,04	
	3	17,50	11,63	5,87	17,50	13,66	3,84	22,32	22,1	0,22	0,05	0,06	
	4	17,50	11,63	5,87	17,50	13,66	3,84	-	-	-	-	-	
	среднее	17,50	11,64	5,86	17,50	13,66	3,84	22,32	22,11	0,21	0,05	0,05	
Заднее левое	1	13,15	12,35	0,80	13,15	10,92	2,23	10,09	9,79	0,30	0,02	0,02	
	2	13,15	11,30	1,85	13,15	10,95	2,20	10,10	9,78	0,32	0,03	0,05	
	3	13,15	12,19	0,96	13,15	10,75	2,40	10,10	9,70	0,40	0,02	0,05	
	4	13,15	11,75	1,40	13,15	11,04	2,11	-	-	-	-	-	
	среднее	13,15	11,90	1,25	13,15	10,92	2,24	10,10	9,76	0,26	0,02	0,04	
Заднее правое	1	13,15	12,10	1,05	13,15	11,05	2,10	10,01	10,00	0,01	0,01	0,03	
	2	13,15	12,37	0,78	13,15	11,55	1,60	10,01	9,83	0,18	0,03	0,04	
	3	13,15	12,77	0,38	13,15	11,40	1,75	10,01	9,90	0,11	0,01	0,05	
	4	13,15	12,05	1,10	13,15	11,55	1,60	-	-	-	-	-	
	среднее	13,15	12,32	0,83	13,15	11,39	1,76	10,01	9,91	0,10	0,02	0,04	

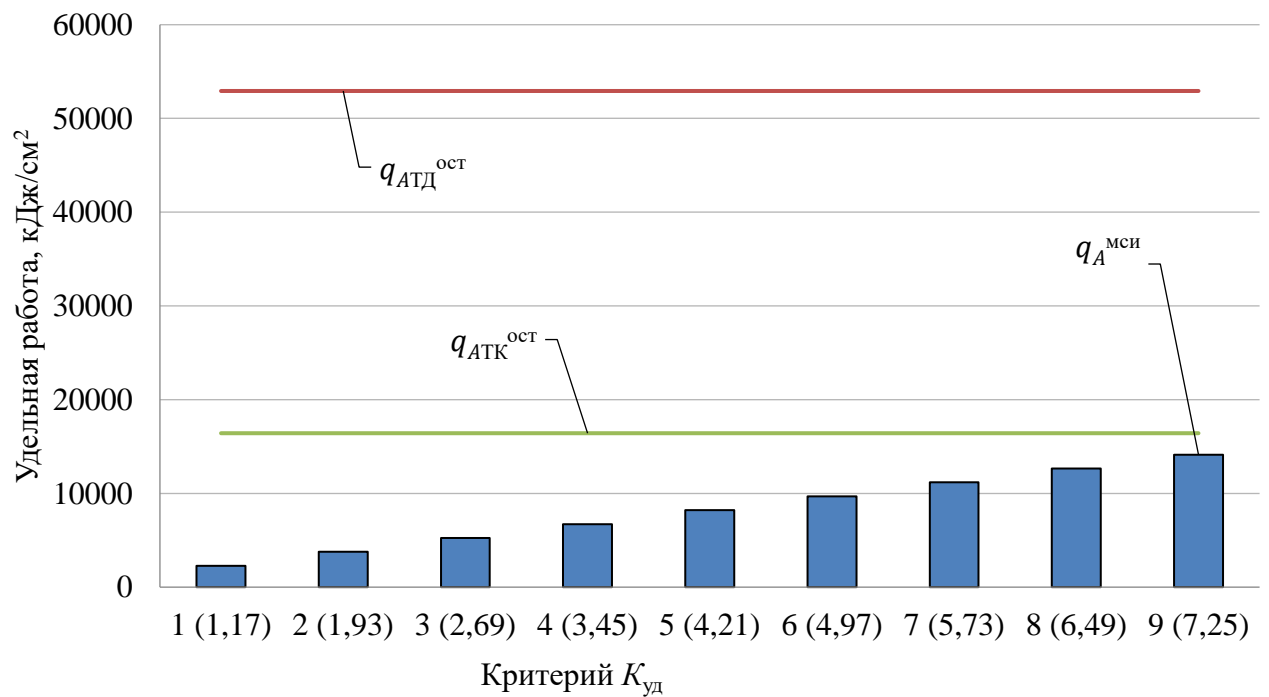
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (справочное)

Сравнительный анализ удельных работ ТМ передней и задней оси

Передняя ось



Задняя ось



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

Таблица Ж.1 – Финансовая оценка применения методики прогнозирования эксплуатации ТК

Условия движения (ДКУД)		I Группа			II Группа		III Группа		IV Группа	
Критерий ($K_{уд}$)		1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25
Среднегодовой пробег $L^Г$, км		15000								
Стоимость ТК $C_{к1}$, руб.	Передние	7911								
Удельная стоимость ТК $q_{C_{к1}}^{ном}$, руб./мм		452,06								
Удельная межсервисная работа $q_{A1}^{мси}$, кДж/см ²		6669	11001	15333	19665	23997	28329	32661	36993	41325
Удельная остаточная работа $q_{A1}^{ост}$, кДж/см ²		48924	48924	48924	48924	48924	48924	48924	48924	48924
Номинальное количество технических обслуживаний $N_{НОМ1}^{ТО}$, ед.		7,34	4,45	3,19	2,49	2,04	1,73	1,50	1,32	1,18
Износ за межсервисный интервал $U_1^{ТО}$, мм		1,43	2,36	3,29	4,22	5,15	6,08	7,01	7,94	8,87
Оставшееся кол-во ТО $N_{ОСТ1}^{ТО}$, ед.		4,34	1,45	0,19	-	-	-	-	-	-
Экономическая эффективность Ξ_1 , руб.			1067,33			-		-		-
Стоимость ТК $C_{к2}$, руб.	Задние	5402								
Удельная стоимость ТК $q_{C_{к2}}^{ном}$, руб./мм		327,39								
Удельная межсервисная работа $q_{A2}^{мси}$, кДж/см ²		2282	3764	5246	6728	8210	9692	11174	12656	14138
Удельная остаточная работа $q_{A2}^{ост}$, кДж/см ²		39793	39793	39793	39793	39793	39793	39793	39793	39793
Номинальное количество технических обслуживаний $N_{НОМ2}^{ТО}$, ед.		17,44	10,57	7,59	5,91	4,85	4,11	3,56	3,14	2,81
Износ за межсервисный интервал $U_2^{ТО}$, мм		0,54	0,90	1,25	1,61	1,96	2,31	2,67	3,02	3,38
Оставшееся кол-во ТО $N_{ОСТ2}^{ТО}$, ед.		14,44	7,57	4,59	2,91	1,85	1,11	-	-	-
Экономическая эффективность Ξ_2 , руб.			164,18			325,8		422,78		-

ПРИЛОЖЕНИЕ И (справочное)

Акт внедрения

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«АВТО-МОТОРС»

официальный дилер по реализации, сервисному и гарантийному обслуживанию
автомобилей марки KIA

Россия, Владимирская обл., г. Владимир, ул. Растопчина 1 Ж, тел./факс (4922)45-29-49
ИНН/ КПП 3329054189/332901001 ОГРН 1093340000918
Р/с 40702810500000004196 АО «ВЛАДБИЗНЕСБАНК» в Отделении Владимир г. Владимир
К/с 30101810100000000706 БИК 041708706

«03» октября 2025г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «Авто-Моторс»
Шичков А.В.

АКТ

Внедрения результатов диссертационного исследования «Обеспечение безотказной работы
тормозной системы автомобилей категории М1 при реализации ресурса её элементов»
соискателя Кокарева О.П.

В результате диссертационного исследования соискателем Кокаревым О.П. на тему
«Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей категории М1 при
реализации ресурса её элементов» предложен новый подход в работе планово-
предупредительной системы технического обслуживания тормозной системы автомобилей
категории М1 на примере Kia Ceed.

Разработанная методика прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и
тормозных дисков способствует обеспечению требуемого уровня безотказности тормозной
системы с учетом количественного соотношения условий движения «Город» «Трасса» и
технических характеристик элементов системы. Предложенная дополнительная
классификация условий движения (ДКУД) значительно упрощает оценку количественного
соотношения условий движения автовладельца с целью расчета межсервисной удельной
работы трения в тормозном механизме в предстоящий период эксплуатации автомобиля, что
позволяет управлять техническими воздействиями.

Комиссия в составе:

Аскерова В.М. – заместителя директора;

Мокеева С.С. – руководителя СТОА;

Юрастов В.В. – технического эксперта;

подтверждает настоящим актом рассмотрение и применение вышеуказанных результатов для
разработки организационных мероприятий с целью повышения эффективности технической
эксплуатации автомобилей.

Использование результатов диссертационного исследования, разработанных Кокаревым О.П.
позволяют снизить временные и обосновано оптимизировать материальные ресурсы при
техническом обслуживании автомобилей.

Заместитель директора

Руководитель СТОА

Технический эксперт

/Аскеров В.М./

/Мокеев С.С./

/Юрастов В.В./

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и цифровому развитию
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»,
доктор физико-математических наук, доцент
Кучерик Алексей Олегович



2025 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
«Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей категории
М1 при реализации ресурса ее элементов»
Кокарева Олега Петровича в учебный процесс кафедры АТБиУК
Владимирского государственного университета имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Комиссия в составе: Елкина А.И. – директора института машиностроения и автомобильного транспорта, кандидат технических наук, доцента; Амирсейидова Ш.А. – заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук, доцента; Кириллова А.Г. – доцента кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук; Колова Д.А. – доцента кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук «Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей категории М1 при реализации ресурса ее элементов», выполненную Кокаревым О.П., в учебный процесс Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по учебному плану направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в рамках дисциплин: Б1.В.ДВ.02.01 «Безопасность автотранспортных средств», Б1.О.27 «Техническая эксплуатация автомобилей», Б1.О.31 «Основы теории надежности», Б1.О.40 «Основы теории диагностики автомобилей».

Внедрение результатов диссертационной работы «Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей категории М1 при реализации ресурса ее элементов» на соискание ученой степени кандидата технических наук обсуждено на заседании ученого совета института машиностроения и автомобильного транспорта 29 сентября 2025 года, Протокол № 1.

Основные положения диссертационной работы «Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей категории М1 при реализации ресурса ее

элементов» Кокарева О.П. для учебного процесса изложены в следующих научных трудах:

1. Кокарев, О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы / Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Ратников А.С. // Вестник гражданских инженеров. – 2020. - №78. – Т1. – С. 168-172.
2. Кокарев, О.П., Исследование влияния режимов работы тормозных механизмов на надежность элементов тормозной системы / Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – №1(59). – С. – 23-27.
3. Кокарев, О. П. Оценка ресурса элементов тормозной системы / О. П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Р.В. Нуждин // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-3(82). – С. 16-23.
4. Кокарев, О.П. Реализация ресурса элементов тормозной системы в эксплуатации / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-1(86). – С. 83-90.
5. Кокарев, О.П. Энергонагруженность тормозной системы автомобилей категории М1 на дорогах с разным продольным уклоном / О.П. Кокарев // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-2(89). – С. 104-112
6. Автоматизированная система оценки износа систем транспортных средств: свидетельство регистрации программы ЭВМ № 2019662723/ О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Ю. Орлов. - №: 2019619979; заявл. 12.08.2019; опубл. 02.10.2019.
7. Прогнозирование износа и определения остаточного ресурса тормозных дисков и колодок автомобиля: свидетельство регистрации программы ЭВМ № 2020615682/ О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Ю. Орлов. - № 2020614465; заявл. 19.05.2020; опубл. 29.05.2020.
8. Кокарев О.П. Патент на полезную модель № 221477 Российская Федерация, МПК В60Т 17/22 G01L 5/28 G01M 17/00. Тормозной стенд отладки системы сбора данных при торможении/ О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Р.В. Нуждин. - № 2023119203; заявл. 19.07.2023 : опубл. 08.11.2023.

Председатель комиссии:

директор института машиностроения и
автомобильного транспорта, к.т.н., доцент

 Елкин А.И.

Члены комиссии:

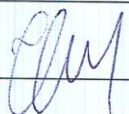
заведующий кафедрой «Автомобильный
транспорт, безопасность и управление
качеством», к.т.н., доцент

 Амирсейидов Ш.А.

доцент кафедры «Автомобильный транспорт,
безопасность и управление качеством»,

 Кириллов А.Г.

доцент кафедры «Автомобильный транспорт,
безопасность и управление качеством»,

 Колов Д.А.