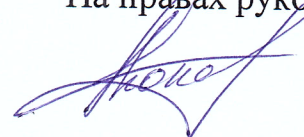


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых» (ФГБОУ ВО ВлГУ)

На правах рукописи



КОКАРЕВ ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С
ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ
АВТОМОБИЛЯ KIA C'ЕED)

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 – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Обзор безопасности дорожного движения в России и за рубежом	9
1.2 Влияние социально-экономической обстановки на техническое состояние автотранспортных средств	15
1.3 Сущность физико-технических процессов и их влияние на техническое состояние тормозной системы	18
1.4 Причины возникновения отказов элементов тормозной системы.....	23
Выводы по главе.....	27
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	29
2.1 Методы диагностирования тормозной системы автомобиля	29
2.2 Взаимодействие систем активной безопасности автомобиля	38
2.3 Анализ элементов тормозных механизмов, реализующих рабочие процессы тормозной системы	41
2.4 Тормозная динамика автомобиля.....	53
2.5 Энергетический анализ работы тормозного механизма	61
2.6 Статистический метод оценки надежности тормозной системы.....	66
Выводы по главе.....	71
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	73
3.1 Анализ условий эксплуатации легковых автомобилей.....	73
3.2 Анализ интенсивности работы ТопС	78
3.3 Разработка информационно-аппаратной системы сбора данных	90
3.4 Монтаж информационно-аппаратной системы сбора данных на автомобиль	104
Выводы по третьей главе.....	110
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРС	112

4.1	Определение зависимостей параметров при торможении.....	112
4.2	Влияние работы трения на техническое состояние элементов ТМ	117
4.3	Экономический эффект от результатов исследования.....	130
	Выводы по главе.....	133
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	135
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	137
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	152
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	156
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	158
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	163
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д	175
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е	176
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	177
	ПРИЛОЖЕНИЕ И	178

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. Аварийность на дорогах России ежегодно снижается, но количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) по-прежнему велико. В среднем ежегодно в ДТП погибает до 650 человек из-за потери работоспособности тормозной системы (ТорС) легковых автомобилей, в связи с чем вопрос обеспечения работоспособности ТорС имеет актуальный характер. Сложившаяся за последние два года экономическая ситуация в РФ, негативно отражается на стоимости запасных частей. Как показал анализ конъюнктуры рынка, наибольший прирост стоимости (+50%) для запасных частей автомобилей марки *Kia* приходится на тормозные колодки (ТК) и тормозные диски (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, обеспечение эффективности эксплуатации подвижного состава является одним из приоритетных направлений. 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. Повышению надежности и работоспособности тормозных систем автомобилей в эксплуатации 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, Д. Н. Леонтьева, А.В. Бойко, А.Н. Доморозова, А. А. Смолина, А.Н. Степанова, Д. А. Болдырева, В.А. Юдина, С.М. Мороза, В.И. Васильева, М. Ю. Баженова, И.С. Аракеляна, А.В. Шарыпова, Д.А. Лазарева, Д.А. Воробьева, И.Ю. Молева, Н.А. Загороднего, *A. Grkić, S. Muždeka, C. Dvbboka* и многих других исследователей в России и за рубежом. Работы ученых направлены на совершенствование методов оценки и диагностирования свойств тормозной системы в основном на стенде с беговыми барабанами или пневматических тормозных систем грузовых автомобилей и автобусов.

Однако, в трудах не исследовались вопросы, посвященные оценке эксплуатационной надежности конструктивных элементов TopC, прогнозированию их остаточного ресурса, в частности тормозных колодок (ТК) и тормозных дисков (ТД).

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 повышение уровня технического обеспечения работоспособности системы активной безопасности автомобиля по элементам колесного тормозного механизма.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ безопасности дорожного движения с учетом фактора технического состояния легковых автомобилей.
2. Исследовать интенсивность работы TopC в реальных условиях эксплуатации автомобиля.
3. Определить диагностический параметр работоспособности TopC и его значения.

4. Разработать информационно-аппаратную систему сбора данных параметров торможения в реальных условиях.

5. Разработать математическую модель энергетического анализа процесса торможения.

6. Провести оценку эффективности предлагаемой методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС.

Научная новизна работы заключается в:

1. Установлении зависимости интенсивности работы ТопС от предлагаемых в дополнительной классификации условий движения.

2. Получении новых экспериментальных данных о работе трения в ТМ и установлении распределения циклового значения работы трения при торможении по экспоненциальному закону.

3. Разработке математической модели прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС и выявлении закономерностей повышения уровня реализации их ресурса.

Теоретическая значимость заключается в получении научно-обоснованной математической модели прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисков транспортных средств категории М1 в зависимости от режимов эксплуатации.

Практическая значимость исследований заключается в использовании разработанной методики прогнозирования остаточного ресурса и программного комплекса ЭВМ для обеспечения работоспособности ТопС в сфере технического обслуживания легковых автомобилей за счет более полного использования ресурса элементов ТопС.

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

3.10, C## и математическое моделирование влияния диагностического параметра на остаточный ресурс элементов ТопС.

Объектом исследования является процесс износа тормозных колодок и тормозных дисков автомобиля малого класса.

Предметом исследования являются параметры при торможении в тормозных механизмах.

Положения, выносимые на публичное представление:

1. - Интенсивность работы ТопС с учетом соотношения режимов эксплуатации легковых автомобилей на линии: «Город», «Трасса».

2. Технические решения для сбора статистической информации по параметрам торможения в установленных режимах эксплуатации легковых автомобилей.

3. Результаты экспериментальных исследований влияния удельной работы трения в тормозном механизме на ресурс тормозных колодок и тормозных дисков.

4. Применение энергетической модели при оценки остаточного ресурса элементов ТМ с предлагаемой методикой его оптимального использования.

Степень достоверности научных положений и результатов обеспечиваются использованием апробированных методов теории надежности машин, наличием значительного объема данных, полученных в реальных условиях при проведении экспериментальных исследований, в которых применялись сертифицированные средства измерений, позволяющие получить обоснованные, достоверные и соответствующие теме диссертации и общим выводам результаты.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования излагались и обсуждались на научно-практических международных конференциях: 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 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.

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

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 технических нормативов», 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).

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 с каждым годом обращает на себя особенное внимание. Это связано с более тяжелыми последствиями при дорожно-транспортном происшествии (ДТП). Количество ДТП напрямую связано с увеличением парка автомобилей и изменением условий эксплуатации. В последние десятилетия качество автомобильных дорог значительно улучшилось. Появляются все больше платных дорог, движение на которых устанавливается с повышенным скоростным режимом, как на автомагистралях. Также 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 с более высокими энергонагруженными режимами. Увеличение транспортных узлов со светофорным регулированием, пешеходных переходов влияет на скоростную динамику автомобиля и, в частности на TopC.

Как сообщает источник [1], смертность на Европейской территории в дорожных происшествиях 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.

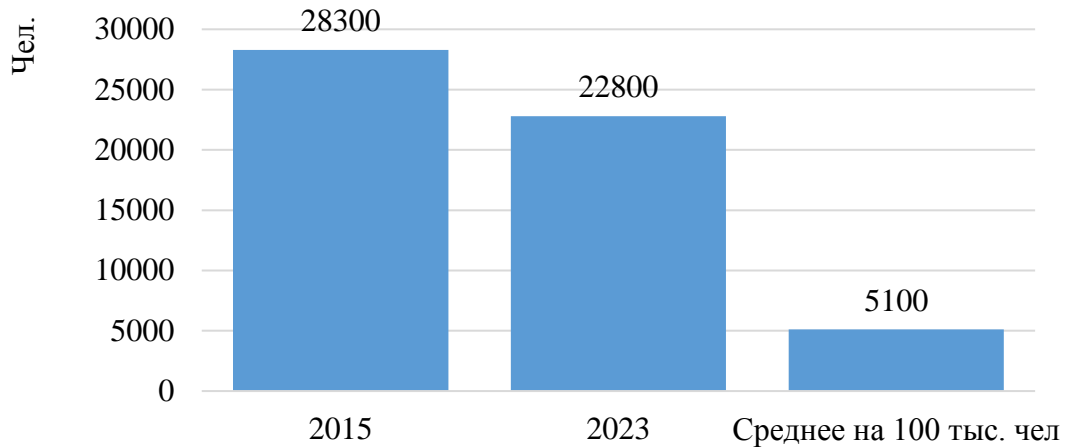


Рисунок 1.1 – Количество погибших в странах – членах Евразийского Союза

В странах Западной и Восточной Европы среднее значение погибших лиц в ДТП составляет от 2200 до 9600 чел. на 100 тыс. чел.

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

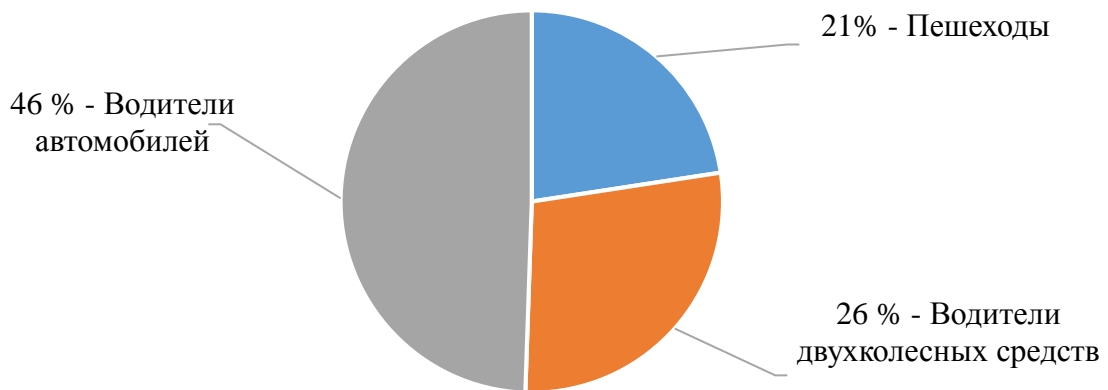


Рисунок 1.2 - Распределение погибших лиц в ДТП в Европе

В Российской Федерации за 11 месяцев 2023 год ДТП унесло жизни почти 11,425 тыс. человек. Из них 33 % были пешеходами, что составляет приблизительно 3809 человек. Количество ДТП, которые произошли из-за водителей, находящихся в состоянии алкогольного опьянения, унесло жизни 4700 человек.

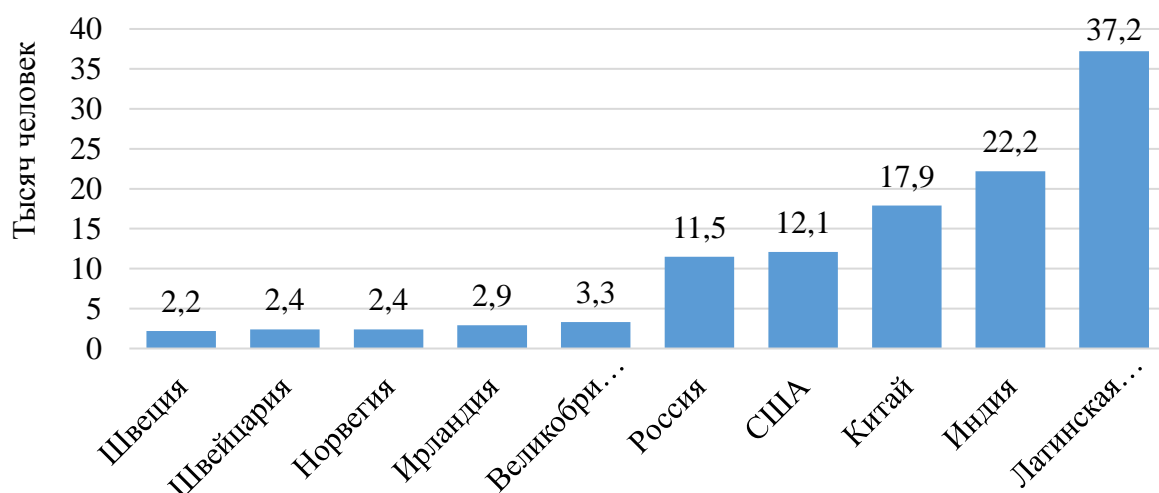


Рисунок -1.3 Средняя смертность в разных странах мира на 100 тыс. чел.

Для сравнения: в 2010 году в России в ДТП погибло 26 567 человек. В 2023 году количество смертельных исходов меньше почти в два с половиной раза.

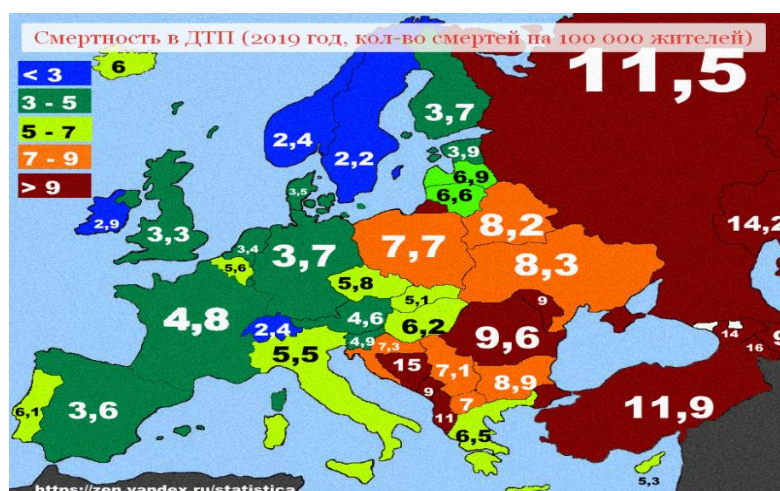


Рисунок 1.4 Смертность в ДТП в 2023 г. на 100 000 жителей

Одна из главных причин такой статистики по смертности граждан в ДТП, является повышенный скоростной режим.

Превышение скорости является доминирующей причиной нарушения правил дорожного движения. По статистическим данным, порядка 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 тормозной системы (ТорС), которая состоит из множества элементов. С точки зрения системного анализа работоспособность элементов ТорС обеспечивает и работоспособность всей тормозной системы. Нарушение скоростного режима дорожного движения стоит на первом месте причин ДТП, в которых имеются погибшие граждане [2].

В российской федерации за 2023 год преобладающую часть всех ДТП произошли по вине легковых автомобилей (рисунок 1.5.). Доля погибших граждан в ДТП по вине легковых автомобилей составляет 84%, что является беспрецедентным показателем.

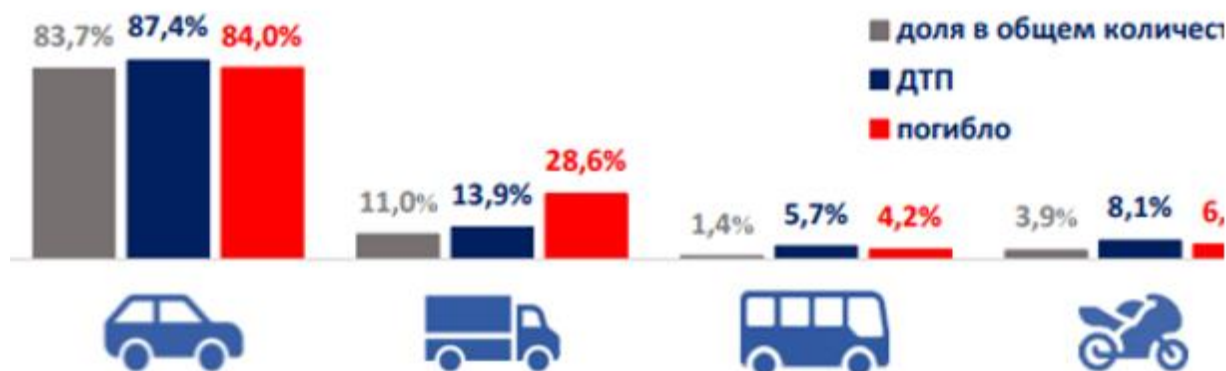


Рисунок 1.5 – удельный вес количества транспортных средств по видам и удельный вес ДТП и погибших за 2023 год

Анализ информационно-аналитического обзора дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации за последние 5 лет с 2019 года 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 % ежегодно от общего количества происшествий. Потеря работоспособности тормозной системы легкового автомобиля является причиной 40-45% ДТП из-за технической неисправности (рисунок 1.6.).

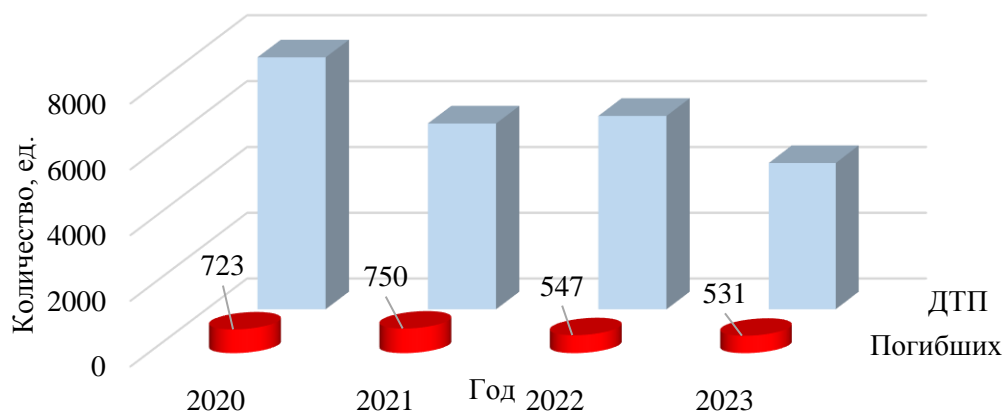


Рисунок 1.6 – Обзор безопасности дорожного движения в России

Количество погибших людей (рисунок 1.6) в ДТП из-за неисправности тормозной системы легковых автомобилей в год в среднем значении составляет 637 человека, что отрицательно сказывается на безопасности дорожного движения.

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 дорожно-транспортных происшествий, которые отражены на рисунке 1.7.

Статистика ДТП

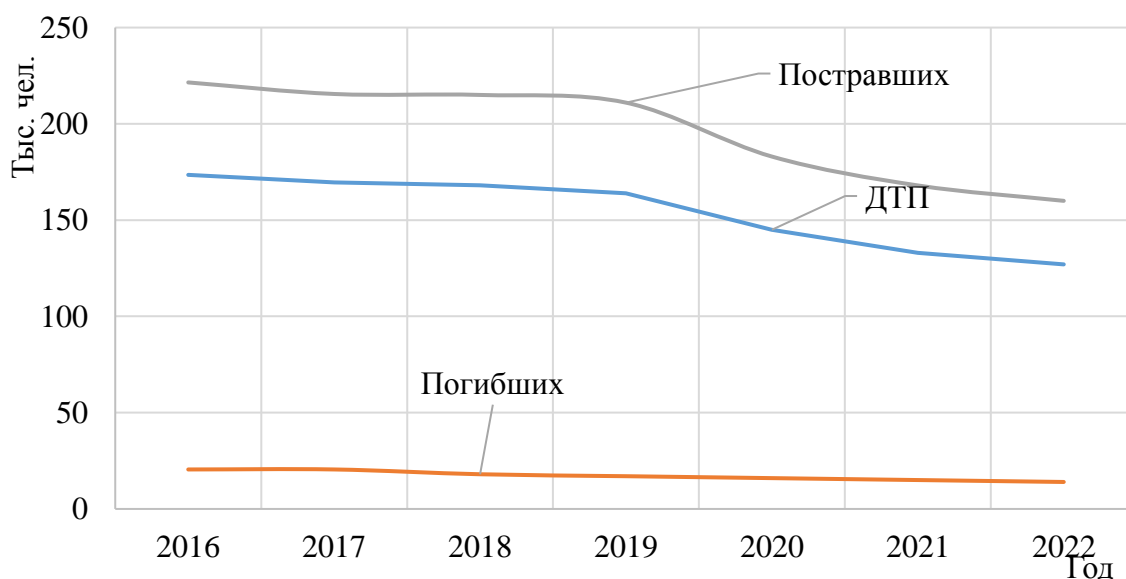


Рисунок 1.7 – Обзор безопасности дорожного движения в России

По данным аналитического агентства безопасности дорожного движения в России количество ДТП ежегодно снижается. При проведении более глубокого анализа рисунка 1.7 и статистических данных, установлено, что тяжесть дорожно-транспортных происшествий не имеет схожей динамики изменения с их количеством. Результаты анализа представлены на рисунке 1.8.

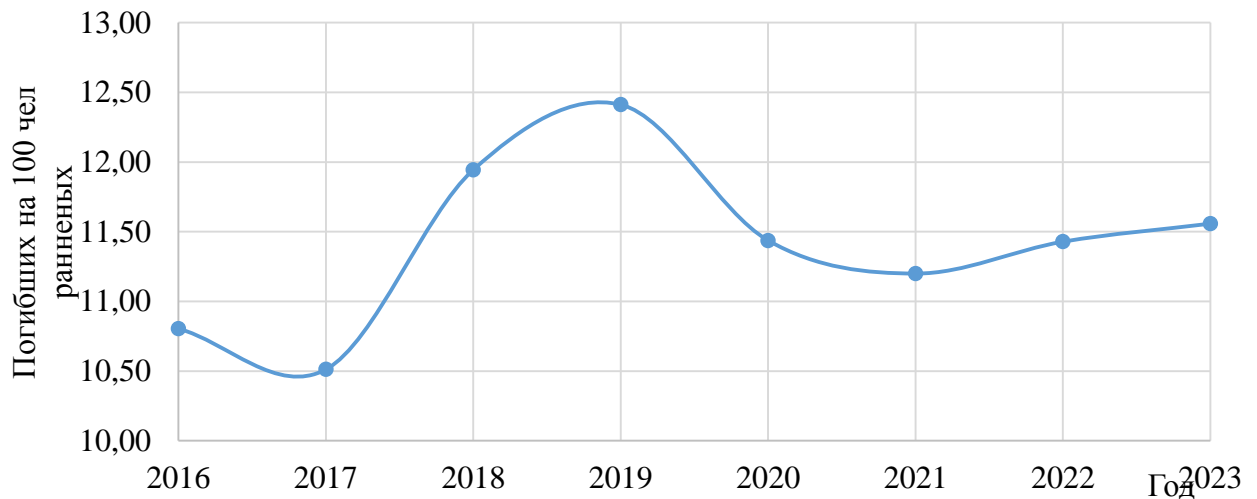


Рисунок 1.8 – Тяжесть ДТП в России

Изменение тяжести последствий ДТП имеет колебательный характер. Характер изменения тяжести ДТП в сравнении с динамикой снижения количества ДТП предполагает более глубоко заниматься вопросами обеспечения безопасности дорожного движения, которое в значительной мере зависит от оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса элементов TopC.

Изменение тяжести ДТП оказывает влияние и 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 1.9). Средняя премия – средняя фактическая премия по первоначальным договорам страхования.

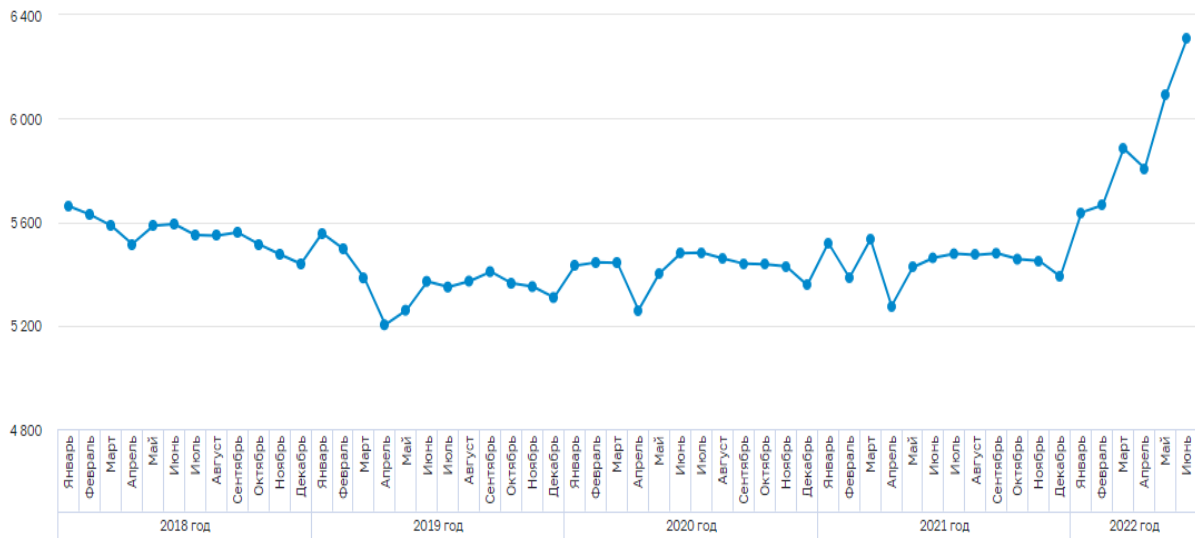


Рисунок 1.9 - Средняя премия по легковым автомобилям физических лиц, руб.

В соответствии с рисунком 1.9, показатели стоимости страхования транспортного средства в 2022 году резко возрастают, что влечет за собой дополнительную финансовую нагрузку на автовладельцев.

1.2 Влияние социально-экономической обстановки на техническое состояние автотранспортных средств

Сложившаяся кризисная ситуация 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 2024 года 65 % 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 автовладельцы в кризисных условиях 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 сентябре 2022 года, руб.	Увеличение цен, %
<i>Hyundai, Kia</i>				
1.	Фильтр воздушный <i>LYNXauto</i>	634	791	25
2.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	590	670	14
3.	Фильтр салона угольный <i>LYNXauto</i>	716	895	25
4.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	525	657	25
5.	Фильтр салона угольный <i>LYNXauto</i>	679	850	25
6.	Фильтр масляный <i>LYNXauto</i>	534	668	25
7.	Колодки тормозные дисковые, <i>Nisshinbo</i> , передние	2633	4356	65
8.	Колодки тормозные дисковые, <i>Nisshinbo</i> , задние	1848	3057	65
9.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>PROFI SN/CF NGN</i> , 1 л	874	1222	40
<i>BMW</i>				
10.	Фильтр воздушный <i>Mann</i>	2324	3842	65
11.	Фильтр воздушный <i>LYNXauto</i>	1142	1586	39
12.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	1209	1509	25
13.	Фильтр салона <i>LYNXauto</i>	2596	3246	25
14.	Фильтр салона угольный <i>LYNXauto</i>	1289	1613	25
15.	Вставка фильтра масляного <i>LYNXauto</i>	1716	2388	39
16.	Вставка фильтра масляного <i>LYNXauto</i>	723	738	2
17.	LO-1922 Вставка фильтра масляного <i>LYNXauto</i>	1056	1320	2

Продолжение таблицы 1.1

18.	Колодки тормозные дисковые, задние, <i>LYNXauto</i>	1944	2159	11
19.	Колодки тормозные дисковые, передние, <i>LYNXauto</i>	3278	3645	11
20.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>EMERALD C3 1л (Volkswagen, Audi, Seat)</i>	1342	1878	4
21.	Синтетическое моторное масло 5W-30 <i>EXCELLENCE DXS SN/CF 1л NGN</i>	1413	1584	12
Услуги				
22.	Замена масла	690	790	14
23.	Замена колодок	1036,48	1150,87	11
24.	Замена воздушного фильтра	229,98	348,09	51
25.	Фильтр салона - замена	491,45	613,4	25

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.

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 произошёл отказ элемента какой-либо системы, стараясь сэкономить на техническом обслуживании. Состояние элементов тормозной системы в эксплуатации при экономии на техническом обслуживании в соответствии с регламентом и предупредительном ремонте показаны на рисунке 1.10



Рисунок 1.10 – элементы ТопС в эксплуатации с неправильной оценкой остаточного ресурса

Представленные на рисунке 1.10 элементы ТопС, 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 ТопС 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 ТопС 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, т.е. молекулярно-механическому изнашиванию.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при схватывании) проявляется в результате молекулярного взаимодействия поверхностей элементов ТРС. 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. 1.11 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.

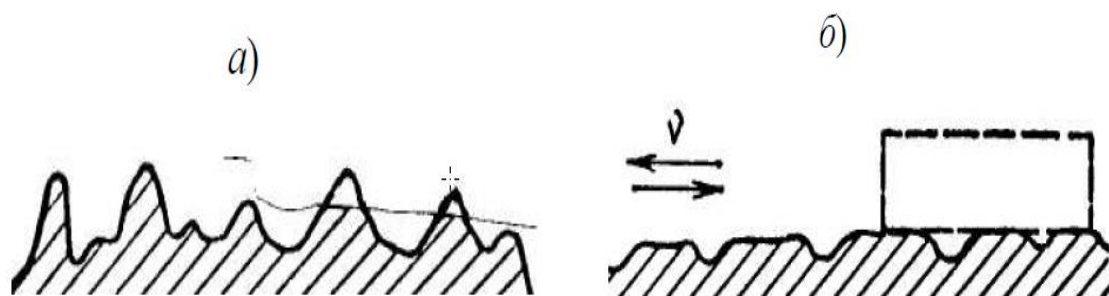


Рисунок 1.11 – Преобразование исходного рельефа в эксплуатационный

Изнашивание рабочих тел элементов ТМ является стадийным процессом, который может быть подразделен на три периода (рис. 1.12).

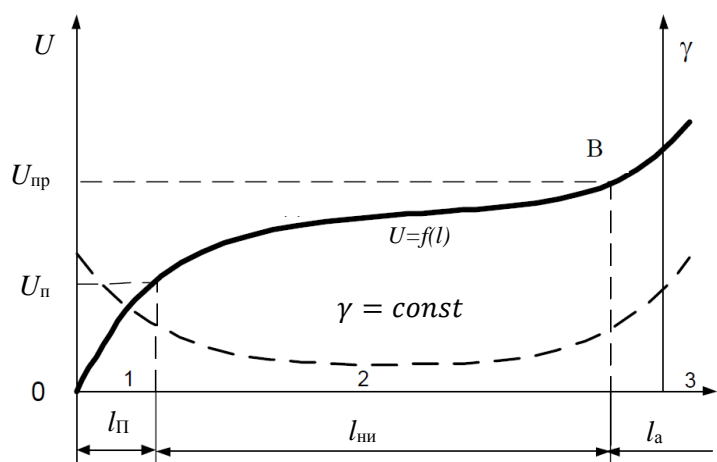


Рисунок 1.12 - Кривая изнашивания поверхностей тормозных колодок и тормозных дисков:

$l_{\text{п}}$ – период приработки; $l_{\text{ни}}$ – 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 $l_{\text{ни}}$ 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 заклепочные и резьбовые соединения, тормозные механизмы, ременные и фрикционные передачи, 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 изнашивания 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 давления на поверхности детали, свойств материала, из которого изготовлены сопряженные элементы, наличия и вида смазки, состояния поверхностей трущихся тел и т.п.

Так, в зависимости от состояния поверхностей трущихся элементов и наличия смазки различают следующие виды трения скольжения (рисунок 1.13):

- сухое, когда между поверхностями смазка отсутствует;
- граничное, возникающее в том случае, если поверхности отделены друг от друга чрезвычайно тонким слоем смазки (менее 0,1 мкм), не обладающим свойствами жидкости;
- жидкостное, когда поверхности полностью разделены слоем жидкой смазки.

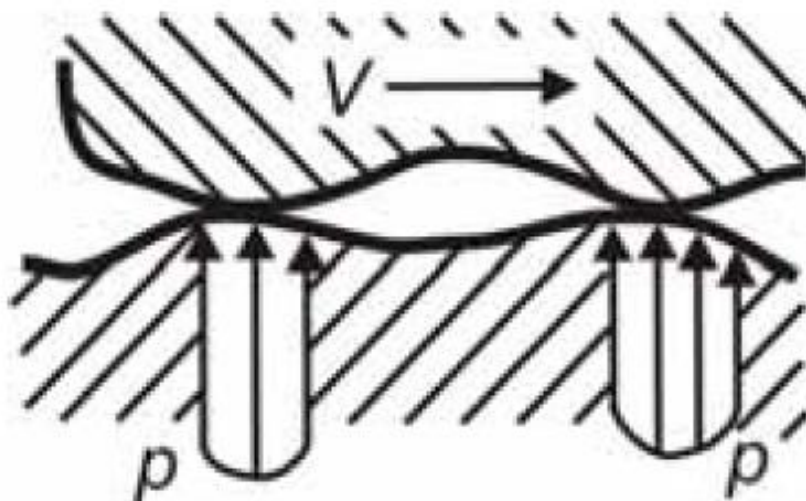


Рисунок 1.13 - Сухое трение скольжения

Для сухого трения характерно наибольшая скорость изнашивания, так как создаются условия для возникновения молекулярного взаимодействия и таких явлений, как повышение температуры, концентрация давления p , что интенсифицирует процесс разрушения поверхностных слоев трущихся элементов.

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. Это может относиться как к агрегатам, узлам и деталям, так и к машине в целом.

Определение предельного состояния, т.е. установление нормативных значений, является сложной задачей. При конструировании назначаются допустимые пределы изменения выходных параметров только для машины в целом или для ее отдельных агрегатов. Объективная оценка надежности сложной системы требует установления предельных нормативов для всех элементов и деталей, от которых зависит работоспособность этого изделия. Предельное состояние машины или агрегата назначается в основном исходя из допустимых отклонений выходного параметра на основании данных эксплуатации и ремонта. В эксплуатации значения параметров систем автомобиля подвергаются непрерывному процессу изменений и отклонений от начальных. Изменение размеров и геометрии деталей ведет к нарушению нормальных сопряжений, т.е. к увеличению зазоров. Все это приводит к тому, что выходные параметры автомобиля ухудшаются.

Отклонение от допустимых значений может служить в качестве оценки для определения предельного состояния. Для таких деталей, как гильзы цилиндров, поршней, поршневых колец, коленчатых валов и других трущихся деталей износ приводит к снижению эффективной мощности, повышению удельного расхода топлива и пр.

Для элементов TopC износ является количественной характеристикой, значение которой необходимо контролировать в соответствии с рекомендациями автопроизводителей с целью обеспечения работоспособности 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 работоспособность 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 по микронеровностям 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 (АБС)).

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

На рисунке 1.14 показаны основные причины возникновения эксплуатационных отказов элементов TopC.

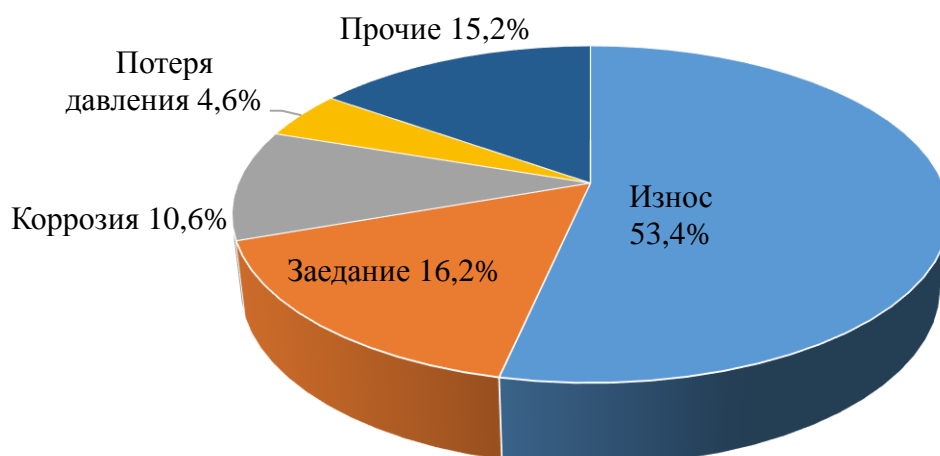


Рисунок 1.14 – Диаграмма распределения основных причин эксплуатационных отказов элементов тормозной системы

Воздействие перечисленных процессов приводит к возникновению в конструктивных элементах ТормС различного рода повреждений и неисправностей (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Основные отказы элементов тормозной системы

№ п/п	Элемент ТормС	Причины возникновения отказа элемента
1	2	3
Подсистема 1 «Орган управления»		
1.	Педаль тормоза	разрушение
Подсистема 2 «Гидравлический привод»		
2.	Гидроблок АБС	Износ клапанов, старение контактов клапанов.
3.	Датчик АБС	Окисление контактов, деформации при монтаже, загрязнение чувствительного элемента датчика.
4.	Главный тормозной цилиндр	Износ золотника, потеря герметичности
5.	Вакуумный усилитель	Порванная диафрагма, отсутствие соединения с впускным коллектором, погнутый шток.
6.	Тормозные трубки	Деформации при ТО системы, старение.
7.	Тормозные шланги	Обрыв, деформации штуцеров при ТО системы, старение.
8.	Бачок тормозной жидкости	Потеря герметичности
9.	Тормозная жидкость	Гигроскопичность
Подсистема 3 «Исполнительный орган»		
10.	Тормозная колодка	Износ, заедание в посадочных местах, отсоединение фрикционного материала.
11.	Тормозной диск	Перегрев, резкое охлаждение в момент нагрева (при торможении), износ, трещины, сколы, биение.
12.	Тормозной барабан	Износ, загрязнение рабочей поверхности, эллипсность, трещины, сколы.

Продолжение таблицы 1.2

13.	Направляющие пальцы суппорта	Коррозия, отсутствие смазки, перегрев, износ, загрязнение, заедание в канале скобы, облом при ТО.
14.	Плавающая скоба суппорта	Износ в каналах направляющих пальцев, перегрев, трещины сколы, заедание направляющих пальцев суппорта.
15.	Тормозной поршень рабочего цилиндра	Износ и коррозия боковых наружных стенок, заедание.
16.	Пыльник направляющего пальца суппорта	Износ, температурные нагрузки, чрезмерное количество смазки, установка не в посадочные места.
17.	Пыльник тормозного поршня рабочего цилиндра	Износ, установка не в посадочные места

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

Выводы по главе

Рассмотрено состояние безопасности дорожного движения в России и за рубежом. С каждым годом количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях в России уменьшается, но тяжесть последствий не имеет такой тенденции к снижению как ДТП. В некоторые периоды значение показателя тяжести последствий ДТП имеет рост, что требует более детально прорабатывать вопрос безопасности дорожного движения. В частности, такими периодами времени являются 2022 и 2023 годы.

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

работоспособности автомобиля не выполняется в строгом соответствии с нормативными актами.

Тормозная система является основной составляющей в обеспечении безопасности автомобиля. От технического состояния элементов ТопС зависит работоспособность и эффективность тормозной 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 на определенном ресурсе. В связи с вышеизложенным вопрос исследования ресурса элементов активного износа (тормозные колодки, тормозные диски) является актуальным.

Выполнен анализ причин возникновения неисправностей элементов ТопС, который показал, что основными причинами ее отказов являются износ, коррозия и заедания в сопрягаемых элементах. Установлено, что 53,4 % всех причин неисправностей составляет – износ.

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. 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 [20, 21, 22, 23, 24]. 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 накладке тормозной колодки.

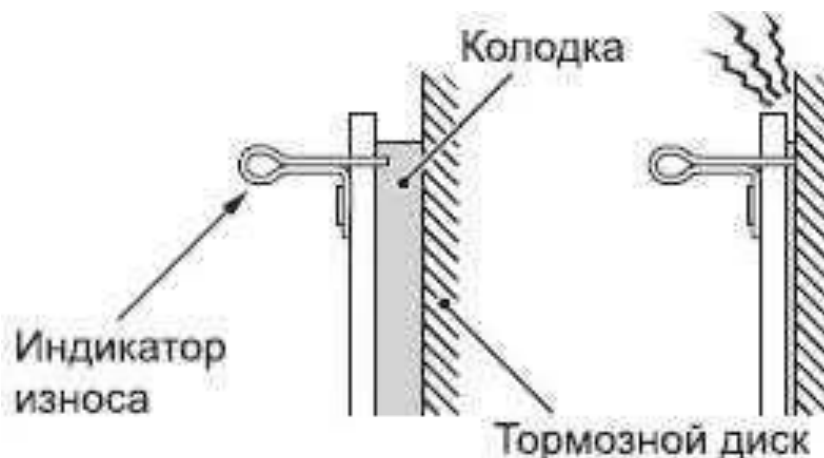


Рисунок 2.1 Устройство и принцип работы датчика износа фрикционной накладки тормозной колодки с механическим индикатором

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 накладки 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.

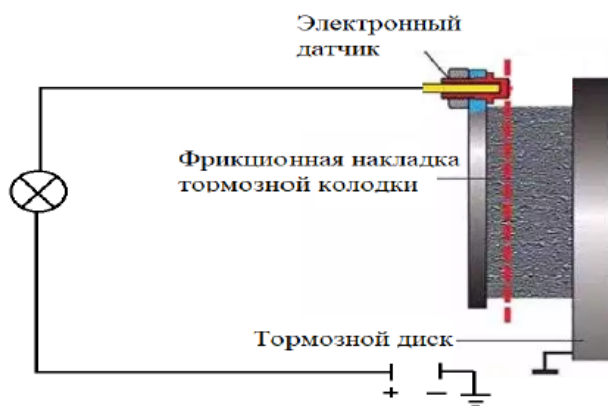


Рисунок 2.2 Устройство и принцип работы тормозной колодки с электронным датчиком износа

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 работоспособность, является толщина рабочего тела. Для тормозного диска заводами изготовителями установлено предельно-допустимое значение остаточной толщины. Дополнительным параметром, от которого зависит работоспособность 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).

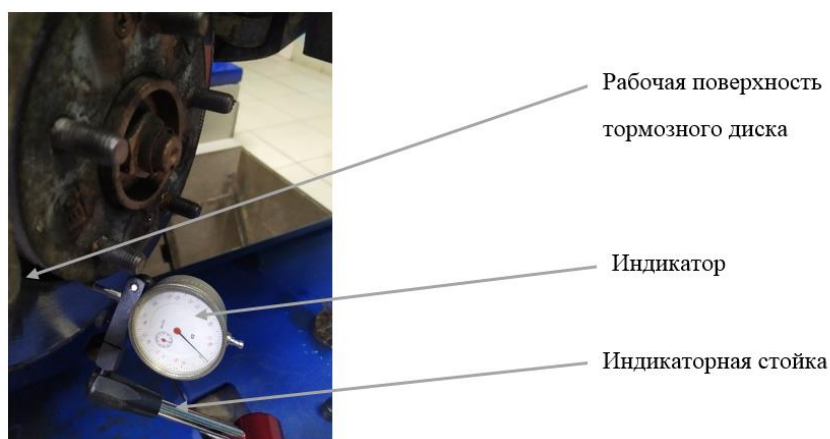


Рисунок 2.3 – Измерение биения тормозного диска индикатором

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

Техническое состояние других элементов ТопС оказывает влияние 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) [25, 26, 27, 28, 29, 30].



Рисунок 2.4 – Роликовый тормозной стенд

Роликовые тормозные стенды позволяют оценить эффективность взаимодействия всех элементов тормозной системы. В соответствии с нормативно-технической документацией [25, 31] 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 произведению массы КТС в момент измерения тормозных сил на ускорение свободного падения.

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:

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

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

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

$P_{T.max}$ — 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 (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – 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 [25, 31].

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.

Более универсальными и простыми диагностическими приборами является для проверки эффективности работы TopC являются средства экспресс диагностики. Примером такого оборудования может послужить прибор «Эффект» (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Диагностический прибор TopC «Эффект»

Прибор устанавливается в салоне автомобиля и позволяет контролировать такие величины, как замедление и усилие нажатия на педаль тормоза [31, 32, 34, 35]. Прибор оборудован автономной памятью с последовательным подключением к ПК. Результат измерений может быть представлен в графическом или цифровом варианте.

К современным бортовым средствам, позволяющим диагностировать тормоза непосредственно в дорожных условиях, относится Деселерометр VZM 300 компании «МАНА Maschinenbau Haldenwang» который представлен на рисунке 2.7 [36].



Рисунок 2.7 – Диагностический прибор VZM 300

Диагностический прибор VZM 300 устанавливается в кабине транспортного средства (ТС), что дает возможность специалисту поверить такие параметры, как установившееся замедление, усилие нажатия на педаль тормоза, тормозной путь.

Из-за того, что во время торможения вес ТС переносится на передние колеса, в диагностическом приборе установлена встроенная компенсация «клевка». Во время торможения, измеряемая величина замедления зависит от угла наклона транспортного средства при «клевке». Для компенсации этого влияния, измерения должны проводиться одновременно с замером замедления [37, 38]. Далее диагностический прибор корректирует измеряемые величины замедления для компенсации систематической ошибки, вызванной эффектом «клевка», после чего значения величин сохраняются. Определение среднего замедления отображается непосредственно на дисплее прибора после измерения, поэтому отдельного расчета не требуется по методике в соответствии с ГОСТ 33997-2016 [25]. Отображенные на экране прибора значения можно распечатать или сохранить в памяти персонального компьютера (ПК). Диапазон контролируемых параметров представлен в таблице 2.1 [38, 39].

Таблица 2.1 – Диапазон параметров деселерометром VZM 300

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон измерения ускорения при замедлении, m/s^2	0 - 20
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения ускорения при замедлении, %	± 4
Диапазон измерений усилий на педаль тормоза, кН	0 - 1
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения усилия на педаль тормоза, %	± 7
Диапазон измерений давлений в тормозной системе, МПа	0 - 30
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения давлений в тормозной системе, %	± 5

Контроль эффективности работы тормозной системы может быть автоматизирован с использованием современных мобильных устройств. Компания

Worldwide разработала и внедрила устройство для проверки тормозной системы транспортных средств. К таким мобильным устройствам для измерения тормозных характеристик транспортных средств относится деселерометр *Bowmonk 801*. Это полностью автономный, удобный в использовании портативный тестер тормозов, для поверки и регистрации эффективности торможения и проверки дисбаланса торможения. Деселерометр *Bowmonk 801* подходит для измерения всех классов транспортных средств. Показания отображаются в соответствующих полях на цифровом дисплее. В режиме регистратора данные измеренные значения сигнальных каналов сохраняются во внутренней памяти. При использовании для регулярных проверок безопасности транспортных средств результаты испытаний могут быть напечатаны в формате А4 со стандартного ПК-принтера, а также через мобильный принтер *Bowmonk*. Деселерометр представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 - Деселерометр Bowmonk 801

Общие положения методики проведения измерений мобильными устройствами описаны в работах [39, 40, 41, 42, 43, 44, 45]. Прибор должен быть установлен на транспортном средстве, стрелка на приборе показывает направление движения, прибор устанавливается в точное горизонтальное положение. После включения прибора, программа проводит самодиагностику на припаркованном

автомобиле. Измерение проводится при скорости ТС 40 км/ч. Затем транспортное средство замедляется до тех пор, пока не остановится с помощью тормозной системы. Как только транспортное средство будет полностью остановлено, устройство сгенерирует полученные сигналы и отобразит значение эффективности торможения. Помимо мгновенных значений торможения, которые записываются во время теста, микроконтроллер также рассчитывает среднее значение снижения скорости на протяжении всего тормозного пути. В конце каждого измерения печатается подробный отчет. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики *Bowmonk 801*

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон измерения ускорения при замедлении, м/с ²	0 - 20
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения ускорения при замедлении, %	±3
Диапазон измерений усилий на педаль тормоза, кН	0 - 5
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения усилия на педаль тормоза, %	±6
Диапазон измерений давлений в тормозной системе, МПа	0 – 0,85
Пределы относительной допускаемой погрешности измерения давлений в тормозной системе, %	±5

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. Кинематическая схема ТопС автомобиля *Kia c'eed* с антиблокировочной системой представлена на рисунке 2.2.

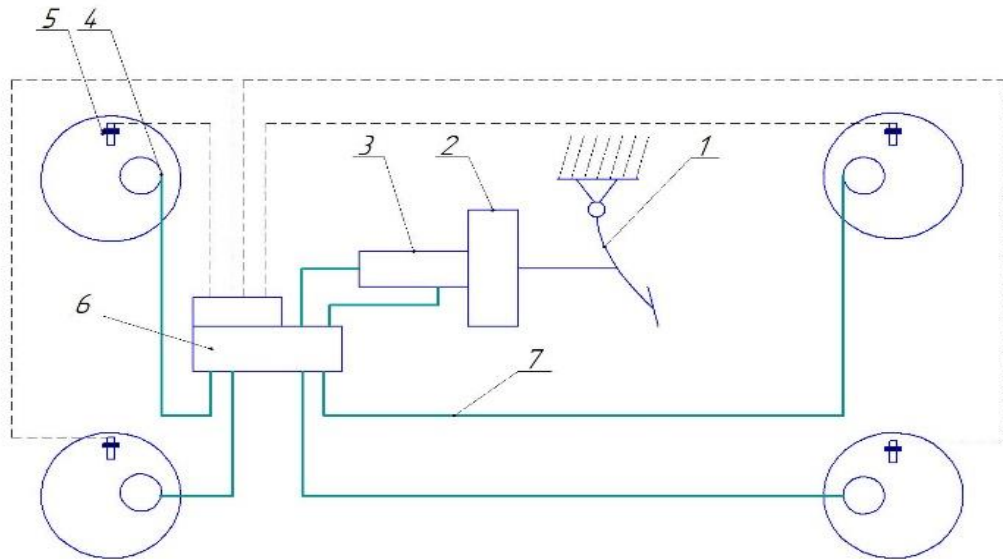


Рисунок 2.9 Кинематическая схема тормозной системы с АБС автомобиля

- 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. Т.о. энергия преобразуется в тепловую.

Кроме основной ТопС, 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, 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 2.10.

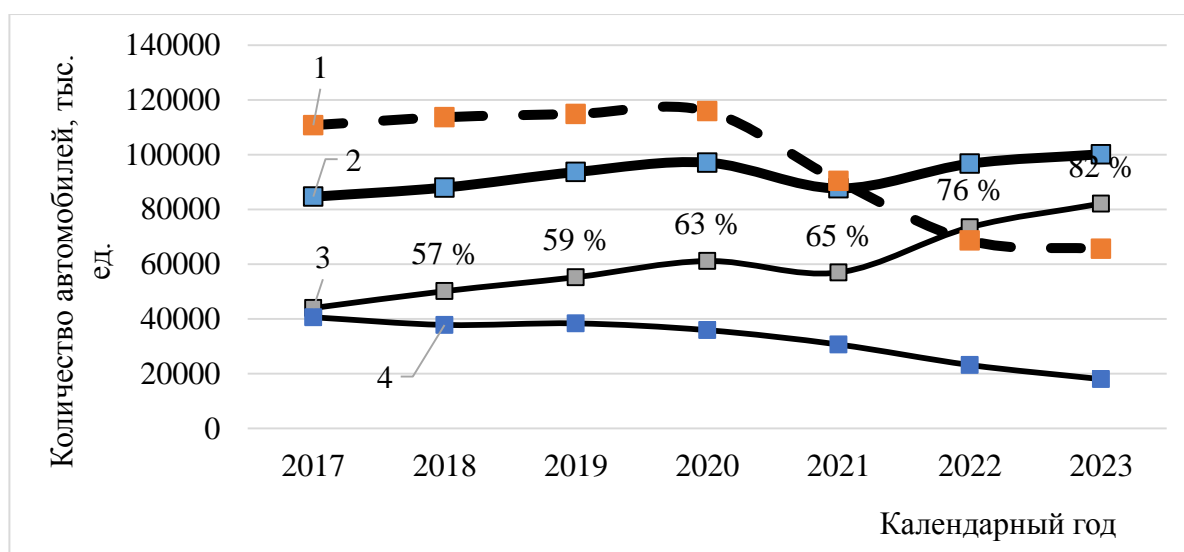


Рисунок 2.10 – Динамика продаж автомобилей с дисковыми тормозными механизмами

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 2.11).

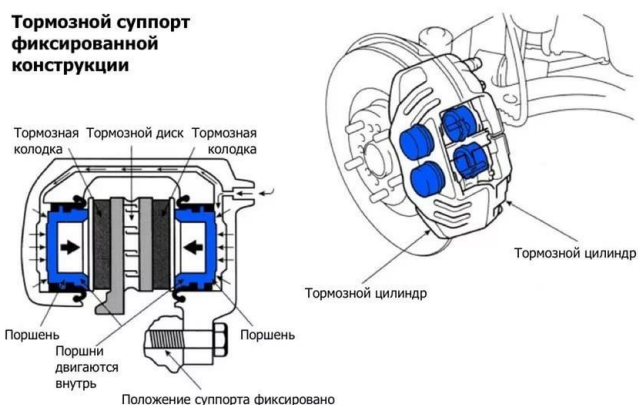


Рисунок 2.11 – Тормозной механизм с фиксированной скобой

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 2.12), который устанавливается заводом-изготовителем на автомобили марки *KIA* и *Hyundai*.

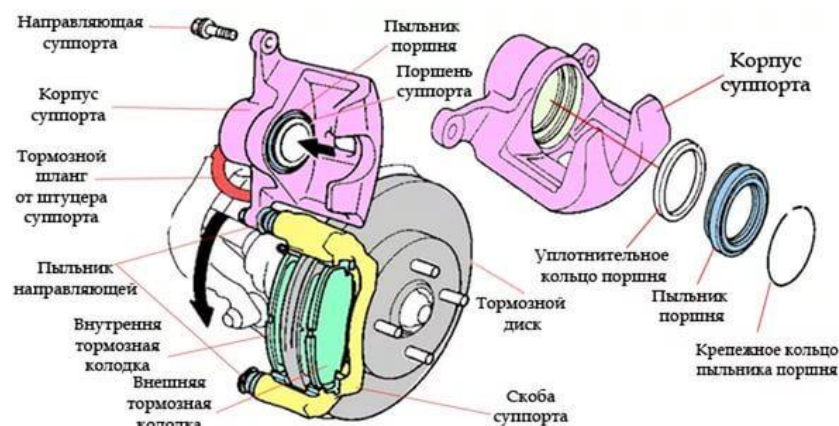


Рисунок 2.12 – Однопоршневой тормозной механизм с плавающей скобой

Тормозной суппорт (рисунок 2.13) 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 2.13 – 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 2.14) жестко крепится к поворотному кулаку. В скобе размещены направляющие пластины в пазах которой устанавливаются тормозные колодки.

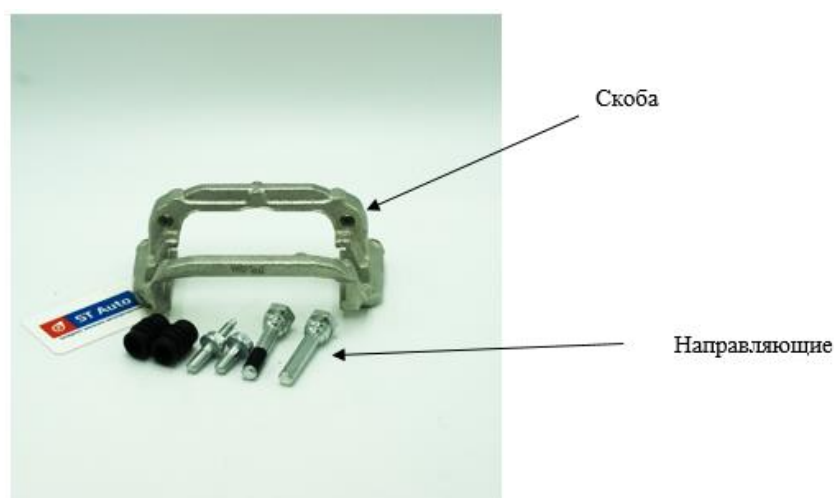


Рисунок 2.14 – Скоба суппорта и направляющие пальцы тормозного механизма

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 2.15) 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 начинается движение суппорта 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].

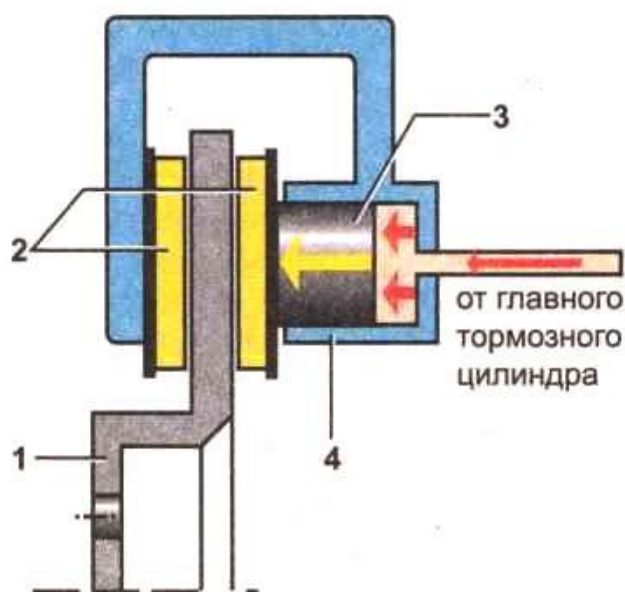


Рисунок 2.15 – Принцип работы тормозного механизма с плавающей скобой 1 – тормозной диск; 2 – тормозные колодки; 3 – поршень; 4 – рабочий тормозной цилиндр (суппорт)

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 2.16).

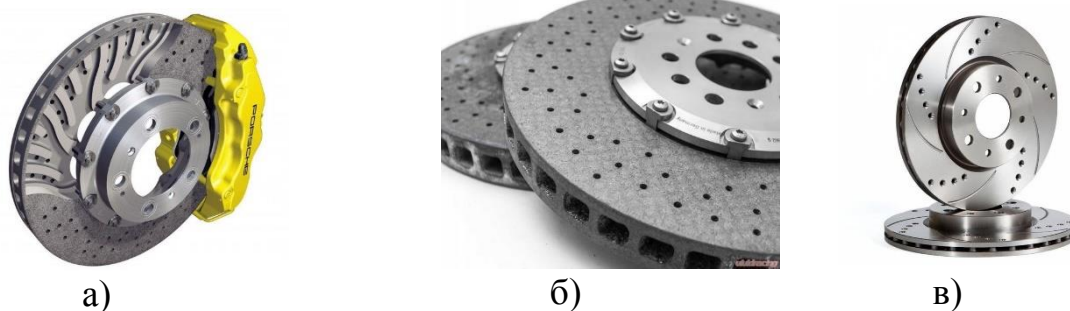


Рисунок 2.16 – а) керамический диск, б) карбоновый тормозной диск, в) чугунный диск

Более дорогими и с улучшенными техническими характеристиками являются керамические и карбоновые тормозные диски (рисунок 2.16 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 J43*, поэтому производство ТД из чугуна получило широкое распространение (рисунок 2.16 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 2.17), 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 2.17 – Металлические тормозные колодки

Тормозные колодки, показанные на рисунке 2.17, 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 2.18) 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 2.18 – 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 2.19) 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 2.19 – 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 2.20). 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 2.20 – Керамические тормозные колодки

Керамические тормозные колодки имеют более высокую термостойкость и способны сохранять работоспособность 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 2.3.

Таблица 2.3 – 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 2.21 представлен пример маркировки тормозных колодок.



Рисунок 2.21 – 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 2.22).



Рисунок 2.22 – 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 2.4.

Таблица 2.4 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 демонстрируют 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 2.23).

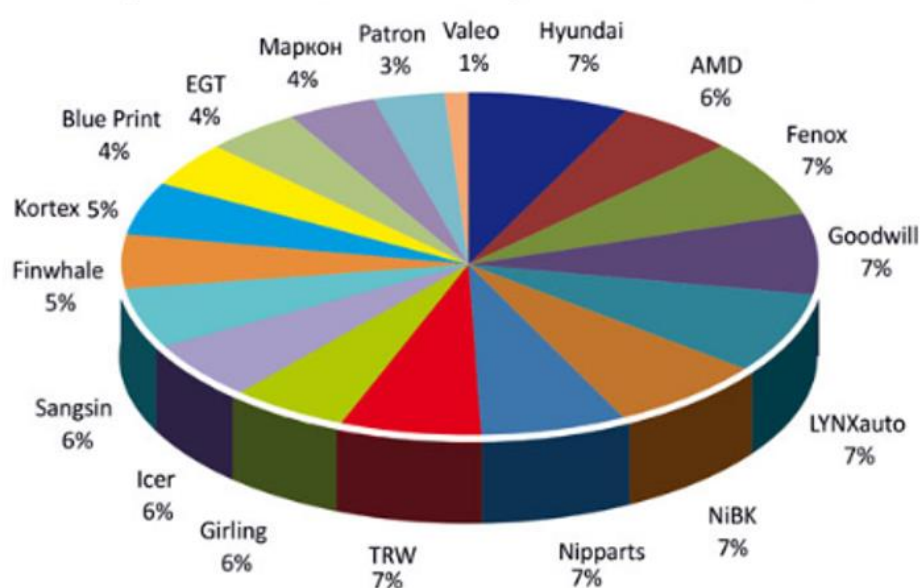


Рисунок 2.23 – Фирмы производители ТК

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 (на 2023 г.) оригинальных запасных частей (рисунок 2.24).

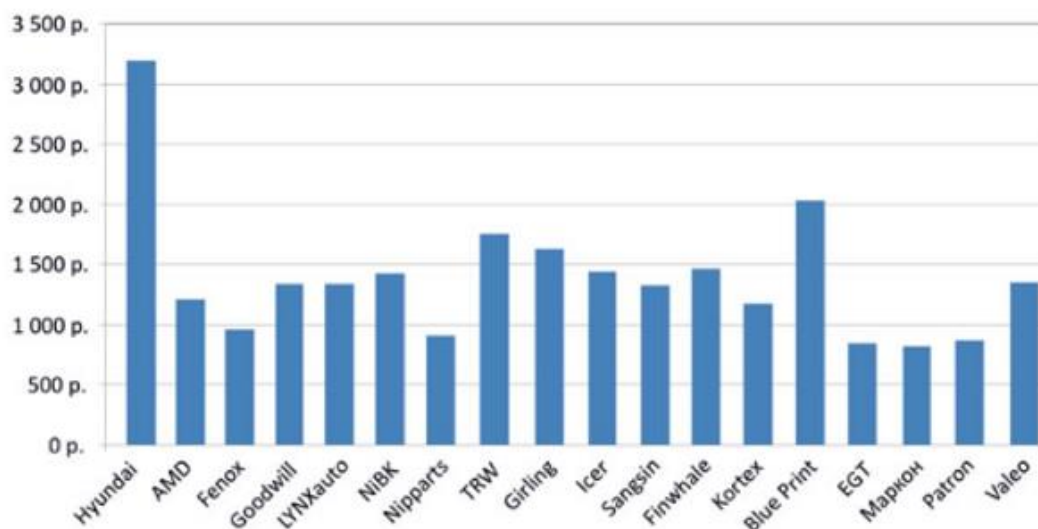


Рисунок 2.24 – Стоимость ТК фирм производителей

Продукция материнского бренда оказалась лидером не только по представленности, но и по стоимости – оригинальные тормозные колодки стоят в среднем 3197 рублей на начало 2023 год. 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 передних тормозных колодок для *Hyundai/Kia* составляет 1395 рублей [63].

2.4 Тормозная динамика автомобиля

Процесс торможения реализуется за счет взаимодействия элементов тормозного механизма. Тормозные механизмы установлены на каждом колесе автомобиля. На рисунке 2.25 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 момент – тормозной момент тормозного механизма $M_{ТМ}$.

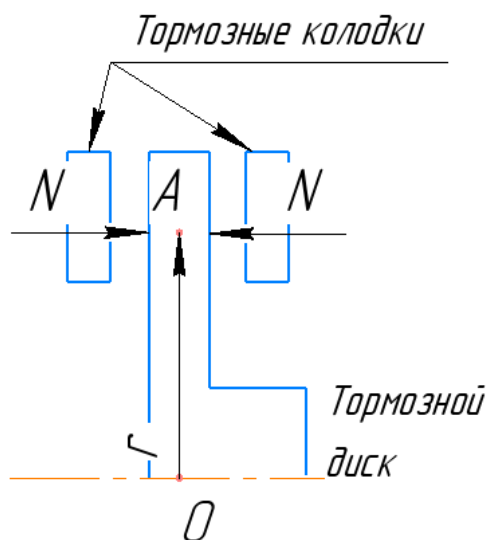


Рисунок 2.25 – Схема формирования момента тормозного механизма $M_{ТМ}$

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:

$$M_{ТМ} = 2Nr\mu, \quad (2.4)$$

где 2 – количество тормозных колодок тормозного механизма *Kia c'eed*;

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 $M_{ТМ}^i = 4Nr\mu$. 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 2.26).

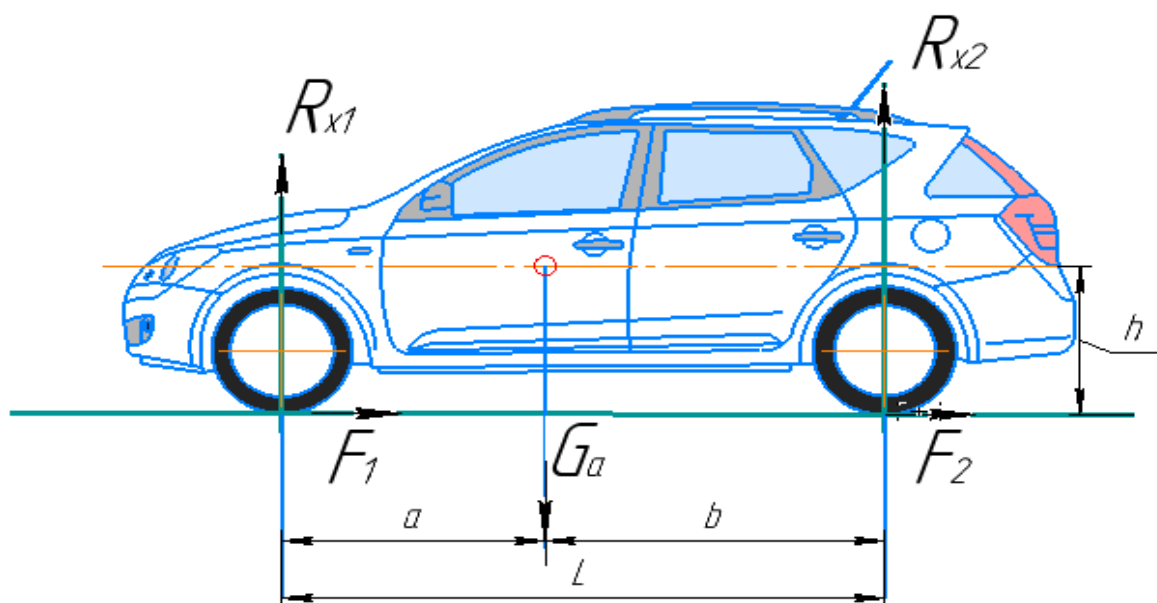


Рисунок 2.26 – Силы, действующие на автомобиль при торможении

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 автомобиля *Kia c'eed* с дисковыми тормозными механизмами на передней и задней осях, тормозной момент автомобиля 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 автомобиля *Kia c'eed* примем исходные данные для расчета тормозного момента и отразим их в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные данные автомобиля *Kia c'eed* универсал

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 2.5 и выражения (2.5, 2.6, 2.7) получим тормозные моменты, в зависимости от различных коэффициентов сцепления. Выполнен расчет значений тормозного момента, результаты которого представлены в таблице 2.6 и на рисунке 2.27.

Таблица 2.6 – Результаты расчетов тормозных моментов

Кэф-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

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4
0,3	784,6	781,6	1566,2
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 2.27).

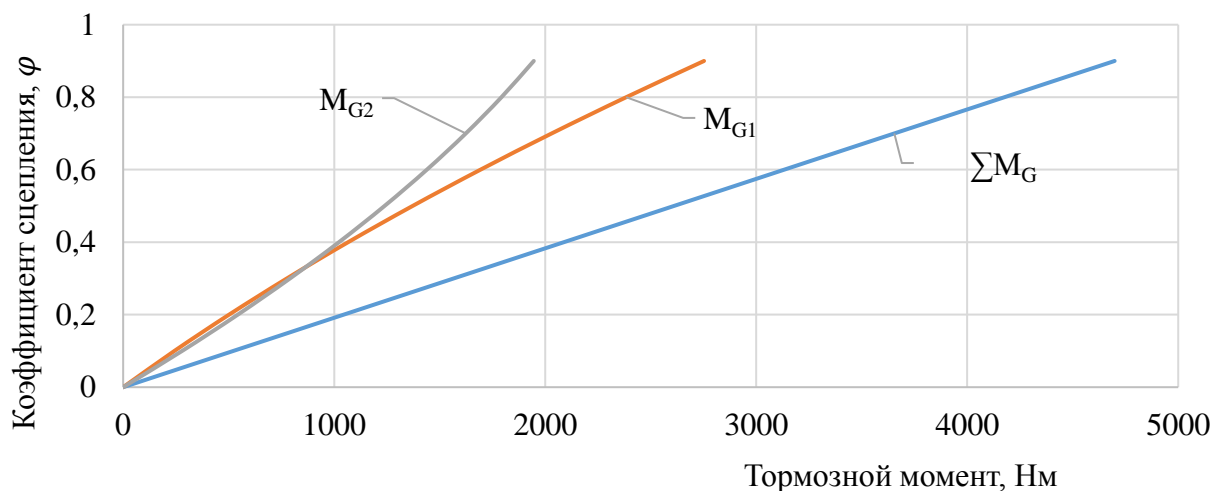


Рисунок 2.27 –График зависимости тормозного момента от коэффициента сцепления

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

Для определения 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 нормативно-технической документацией, значениями конструктивных параметров d и r (таблица 2.7), а также значениями давления в приводе, рассчитываем моменты, создаваемые тормозными механизмами по формуле 2.4 и 2.8. Полученные результаты сведем в таблицу 2.8.

Таблица 2.7 – Значения параметров

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 2.8 – Тормозные моменты, созданные тормозными механизмами

Давление в приводе P , МПа	Тор. момент одного колеса передней оси $M_{TM1}^1 = M_{TM2}^1$, Нм	Тор. момент одного колеса задней оси $M_{TM3}^2 = M_{TM4}^2$, Нм	Суммарный тор. момент ΣM_{TM} , 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_{TM} от давления тормозной жидкости в гидроприводе тормозной системы, отображена на рисунке 2.28.

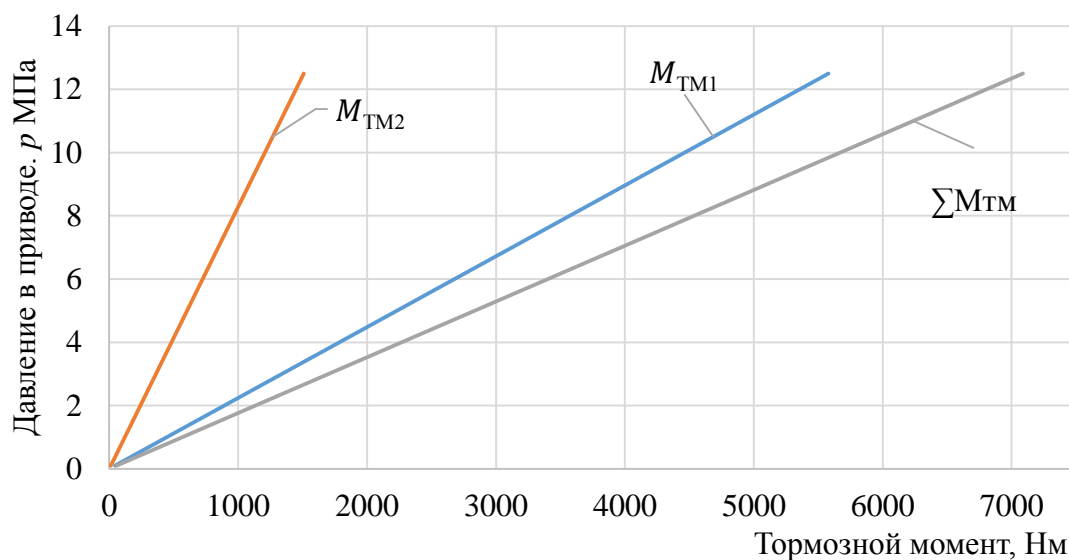


Рисунок 2.28 –График зависимости момента тормозных механизмов от давления в приводе

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. При проведении технического обслуживания TopC с целью приведения в соответствие с требованиями нормативно-технической документации, определено значение давления тормозной жидкости в приводе ($p \approx 12$ МПа), при усилии на педаль тормоза 490 Н.

Составим номограмму зависимости суммарных тормозных моментов M_G и M_{TM} от действующих факторов – коэффициента сцепления φ и давления в гидроприводе p .

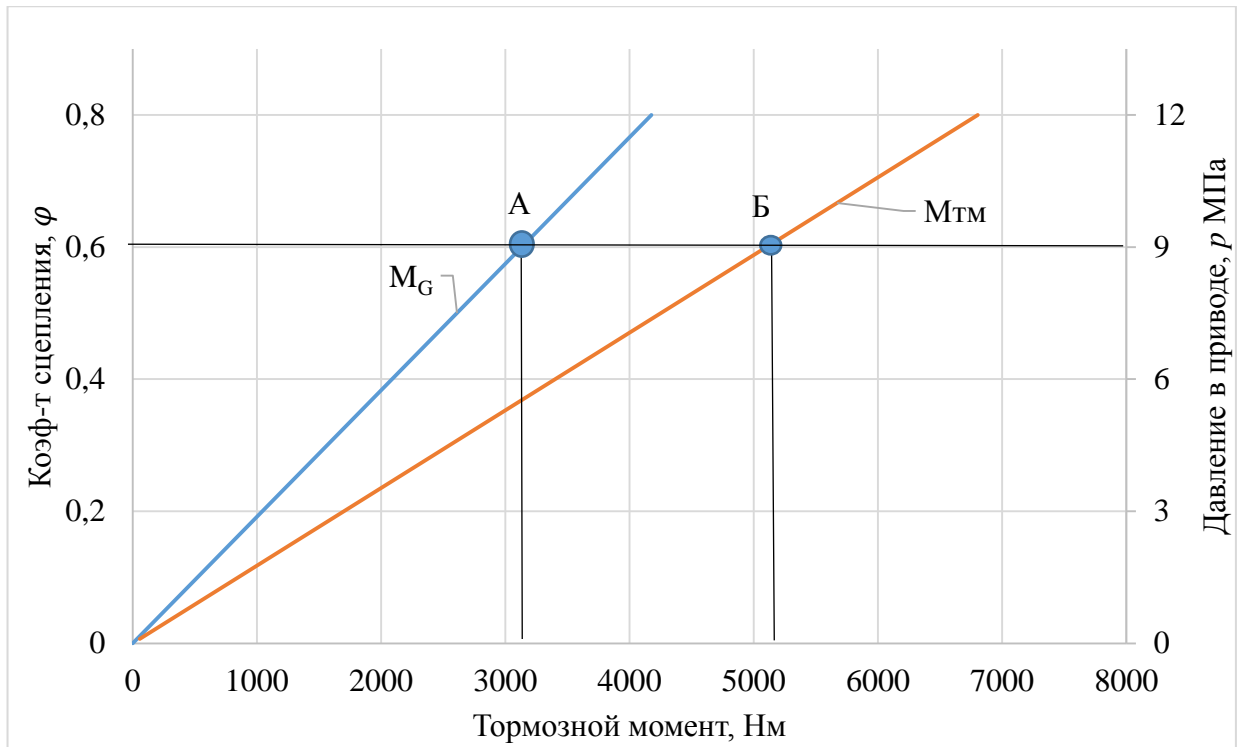


Рисунок 2.29 – Номограмма сравнения тормозных моментов

В установившихся дорожных условиях с коэффициентом сцепления шин с дорогой $\varphi=0,6$ (рисунок 2.29) 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. Для торможения 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 $\Delta M = M_{TM} - M_G$ будет нивелирован возможностями вспомогательными системами, задействованными на 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 $M_{ТМ}$ 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 тормозных механизмов автомобилей с техническими характеристиками тормозной системы автомобиля *KIA C'eed* и удельную мощность трения. Удельная работа трения – это отношение работы трения 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 тормозной колодки с тормозным диском. При их контакте тратится значительная часть энергии на отделение микрочастиц рабочего материала с поверхности тормозных колодок и дисков, за счет чего толщина их уменьшается. Контактное взаимодействие тормозной колодки и тормозного диска происходит с разной силой прижатия N_i и разным временем взаимодействия $t_{тр}$.

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

$$W = \frac{m_a v_0^2}{2t_{\text{тр}}}, W = W_1 + W_2, \quad (2.10)$$

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. Тормоз 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:

$$dA_{\text{тр}i} = pB_i dS, \quad (2.11)$$

где p – давление в приводе тормозного механизма, кг/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:

$$B_i = F_{\text{ци}i} \frac{r_{\text{тр}i}}{r_d} K_3 \eta, \quad (2.12)$$

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

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

r_d – динамический радиус колеса, см;

K_3 – коэффициент эффективности дисковых тормозных механизмов, принимается равным коэффициенту трения μ ;

η – коэффициент полезного действия тормозного механизма.

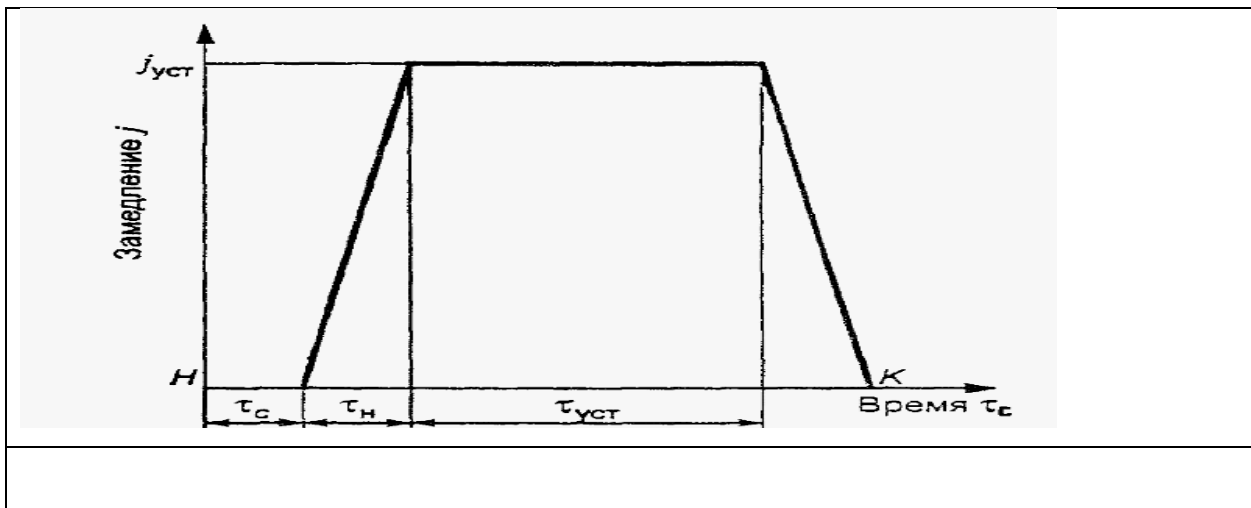
Процесс торможения автомобиля массой m_a происходит во времени t , в течение которого изменяется скорость поступательного движения $v(t)$. Изменение скорости, при появлении замедления $j(t)$ при торможении можно описать следующим выражением:

$$v(t) = v_0 + j(t)t, \quad (2.13)$$

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

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

Во временном интервале процесса торможения замедление $j(t)$ в общем случае величина переменная до момента стабилизации.



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

Элементарное приращение пути автомобиля dS при торможении будет зависеть от изменения скорости в каждый момент времени t :

$$dS = \int_0^t v(t)dt = \int_0^t (v_0 \pm j(t)t)dt \quad (2.14)$$

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

С учетом вышеизложенного работу трения можно представить в виде:

$$dA_i = pB_i \int_0^t (v_0 \pm j(t)t) dt. \quad (2.15)$$

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

$$A_{\text{тp}i} = pB_i \int_0^{t_{\text{тр}}} (v_0 \pm j(t_{\text{тр}})t_{\text{тр}}) dt_{\text{тр}} = pB_i \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right) \quad (2.16)$$

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:

$$W_{\text{тp}i} = pB_i v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}}{2}. \quad (2.17)$$

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

p – давление тормозной жидкости в приводе ТМ, МПа;

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:

$$\begin{cases} q_{A1} = \frac{pB_1 \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{1\text{н}}} \\ q_{A2} = \frac{pB_2 \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right)'}{\sum F_{2\text{н}}} \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\begin{cases} q_{w1} = \frac{pB_1 v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}}{2}}{\sum F_{1\text{н}}} \\ q_{w2} = \frac{pB_2 v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}'}{2}}{\sum F_{2\text{н}}} \end{cases} \quad (2.19)$$

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

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:

$$T_i = T_0 + \frac{W_i}{\bar{\alpha}_i F_i} \left(1 - e^{-\frac{\bar{\alpha}_i F_i t_{\text{тр}}}{c_i m_i}} \right), \quad (2.20)$$

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·К;

F_i – площадь охлаждения тормозных механизмов i -ой оси автомобиля, см²;

$t_{\text{тр}}$ – время трения, с;

c_i – теплоемкость тормозного диска i -ой оси автомобиля, Дж/К;

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):

$$\Delta T_i = \frac{A_{\text{тр}i}}{2c_i m_i}, \quad (2.21)$$

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

c_i – теплоемкость материала тормозного диска, Дж/К;

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 ТопС, необходимо иметь выборку значений таких параметров, как давление тормозной жидкости, элементарное приращение тормозного пути и времени трения при торможении. Рассматриваемые параметры, при детерминации образуют событие, от функции которого зависит изнашивание элементов ТопС. 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 тормозных колодок и тормозных дисков с перспективной прогнозирования работоспособности 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:

$$N = \frac{U_p^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.22)$$

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:

$$\varepsilon = \delta X_{cp}, \quad (2.23)$$

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:

$$R = X_{max} - X_{min}. \quad (2.24)$$

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

$$k = 1 + 3,32 \lg N. \quad (2.25)$$

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

$$h = \frac{R}{k}. \quad (2.26)$$

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

$$X_0 = X_{min} - \frac{h}{2}. \quad (2.27)$$

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

В каждом интервале вариационного ряда вычисляется середина:

$$\bar{X}_i = \frac{(X_i + X_{i+1})}{2}. \quad (2.28)$$

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

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

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

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

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_i)^2 \bar{m}_i}{N - 1}}. \quad (2.30)$$

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

$$-3\sigma(X) \leq X_i \leq +3\sigma(X). \quad (2.31)$$

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:

$$v = \frac{\sigma(X)}{\bar{X}_i}. \quad (2.32)$$

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.

Непрерывная случайная величина называется нормально распределенной, если ее плотность вероятности имеет следующий вид:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-X_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.33)$$

где X_{cp} , σ – параметры нормального распределения (математическое ожидание и стандартное отклонение).

Распределенная случайная величина по закону Вейбула считается, если ее плотность имеет вид:

$$f(X) = \frac{b}{a} \left(\frac{X}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{X}{a}\right)^b}, \quad (2.34)$$

где a – параметр масштаба распределения, оценивающий растянутость кривых вдоль оси абсциссы.

b – параметр формы распределения.

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

$$f(X) = \gamma e^{-\gamma X}, \quad (2.35)$$

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 X^2 Пирсона, математическое выражение которого имеет вид:

$$X^2_{\text{опыт}} = \sum_{i=1}^k \frac{(\bar{m}_i - m_i)^2}{m_i} = \begin{cases} \leq X^2_{\text{табл}} \left(\begin{smallmatrix} a \\ S \end{smallmatrix} \right) \\ \geq X^2_{\text{табл}} \left(\begin{smallmatrix} a \\ S \end{smallmatrix} \right) \end{cases}, \quad (2.36)$$

где \bar{m}_i, m_i – опытные и теоретические числа попадания с.в. 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 2.9.

Таблица 2.9 – Статистическая обработка работы трения в ТМ

Характеристика	Значение	
	Передняя ось	Задняя ось
Среднее арифметическое, $q_{\text{Аср}}$ (кДж)	3,33	0,83
Среднее квадратическое отклонение, $\sigma(q_A)$	3,66	0,91
Коэффициент вариации, v	1,08	1,08
Предполагаемый закон распределения св	экспоненциальный	
Размах, R	19,13	4,77
Число интервалов, k	10	10
Ширина интервала, h	1,88	0,47
Критерий Пирсона $X^2_{\text{табл}}$	17,01	
Критерий Пирсона $X^2_{\text{опыт}}$	6,71	8,36

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 $\alpha=0,03$ и степеней свободы $S = 8$ составляет 17,01. Опытное значение $X^2_{\text{опыт}}$ для передней оси равно 6,71, для задней составляет 8,36. 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 $\gamma_1 = \frac{1}{q_{A1cp}} = \frac{1}{3,33} = 0,3$, для

задней оси $\gamma_2 = \frac{1}{q_{A2cp}} = \frac{1}{0,83} = 1,21$. Тогда математическое выражение

распределения удельной работы трения по экспоненциальному закону примет вид:

$$\begin{aligned} f(q_{A1}) &= 0,3e^{-0,3q_A} \\ f(q_{A2}) &= 1,21e^{-1,21q_A} \end{aligned} \quad (2.37)$$

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

Выводы по главе

Современные средства диагностирования, в том числе бортовые, оценивают исключительно общую эффективность работы ТопС. Существующие роликовые тормозные стенды не дают возможности оценить техническое состояние большинства элементов ТопС. Встроенные бортовые средства диагностирования тормозных колодок 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 режимы замены элементов тормозных механизмов. 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, по статистике наблюдений 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 тормозной механизм находится в исправном техническом состоянии.

Анализ классификации тормозных механизмов показывает, что в гражданском автомобилестроении в преобладающем большинстве выпускаются автомобили с передними и задними дисковыми тормозными механизмами, эффективность торможения которых значительно выше, чем у барабанных. Доля автомобилей марки *Kia* с передними и задними дисковыми тормозными механизмами выросла с 57 до 82 % с 2017 года.

Тормозная динамика описывается тормозными силами, которые создаются 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. Определенные значения тормозного момента по сцепному весу M_G при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,4$ 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 баланс энергонагруженности тормозных механизмов. При взаимодействии элементов тормозного механизма в процессе торможения происходит преобразование кинетической энергии теплонагруженным методом. Установлены основные параметры энергетического баланса энергонагруженности тормозных механизмов, влияющие на техническое состояние тормозных колодок и дисков.

Статистический метод позволил определить вероятностный характер удельной работы трения, распределение которой происходит по экспоненциальному закону $f(q_{A1}) = 0,3e^{-0,3q_A}$ и $f(q_{A2}) = 1,21e^{-1,21q_A}$.

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 тормозной системы. 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 тормозной системы. 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 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 центрального федерального округа (ЦФО), где климатической район является умеренным [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 тормозной системы. Количество рабочих циклов TopC в течение одной и той же наработки, но при разных условиях эксплуатации может иметь разные значения, что влияет на изнашивание таких элементов TopC, как тормозные колодки и тормозные диски.

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 условиях	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*}	Допускаются пересечения в одном уровне	
	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 (см. рисунок 3.1), относящаяся к категории I [90, 91];













«Волга»		Основная информация	
 Горьковка, Пекинка, Казанка, Нижегородка, Владимирка		Страна	 Россия
		Регион	 Москва  Московская область  Владимирская область  Нижегородская область  Чувашия  Татарстан  Башкортостан
		Часть дороги	 E 22  E 017
М7 в сети автодорог России федерального значения		Статус	федеральная
Начало	Москва	Владелец	Российская Федерация
Через	Владимир (171—193 км), Нижний Новгород (414 км), Казань (820 км)	Управляется	Росавтодор
Конец	Уфа	Длина	1351
		Дорожное покрытие	асфальт

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 строящаяся федеральная скоростная автомобильная дорога М-12 Москва-Казань. Данная трасса относится к категории I с платными участками, протяженность которых на территории Владимирской области составляет 47,52 км, а разрешённая скорость на платных участках составляет 110 км/ч. Общая протяженность дороги М-12 по Владимирской области составляет 220 км [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.

Кроме федеральных автодорог в регионе 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;

Для получения объективных результатов исследования эксплуатации автомобилей и интенсивности работы TopC, кроме категориального значения дорог стоит принимать во внимание условия эксплуатации транспортных средств – это условия, в которых осуществляются работа автомобиля (грузовые – для перевозки грузов, автобусы – для перевозки пассажиров и т.д.) и которые характеризуются различными внешними факторами. К условиям эксплуатации относятся виды дорожных покрытий, природно-климатические условия [86].

Для Владимирской области и всего центрального федеративного округа Российской Федерации характерен умеренный климатический район и наличие всех V категорий условий, в которых происходит эксплуатация легкового автомобильного транспорта [92].

3.2 Анализ интенсивности работы TopC

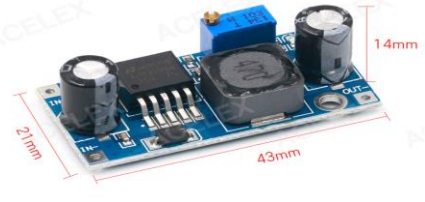
Оценка интенсивности работы тормозной системы в различных условиях эксплуатации и на различных категориях дорог предполагает применение технического решения в виде специального счетчика срабатываний TopC (рисунок 3.3 б).

При нажатии на педаль тормоза, подается электрический сигнал на световую сигнализацию (стоп-сигнал). Появляющийся электрический сигнал, свидетельствует о включении в работу тормозной системы. Для подсчета данных сигналов был применен прибор, позволяющий подсчитывать количество входных сигналов. Работа прибора 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, %	±0,5
Скорость динамического отклика, мкс	200
Диапазон температуры,	от - 40 до +85
Выходная мощность, Вт	до 10
Габаритные размеры, мм	43x21x14

Продолжение таблицы 3.2

1	2
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.

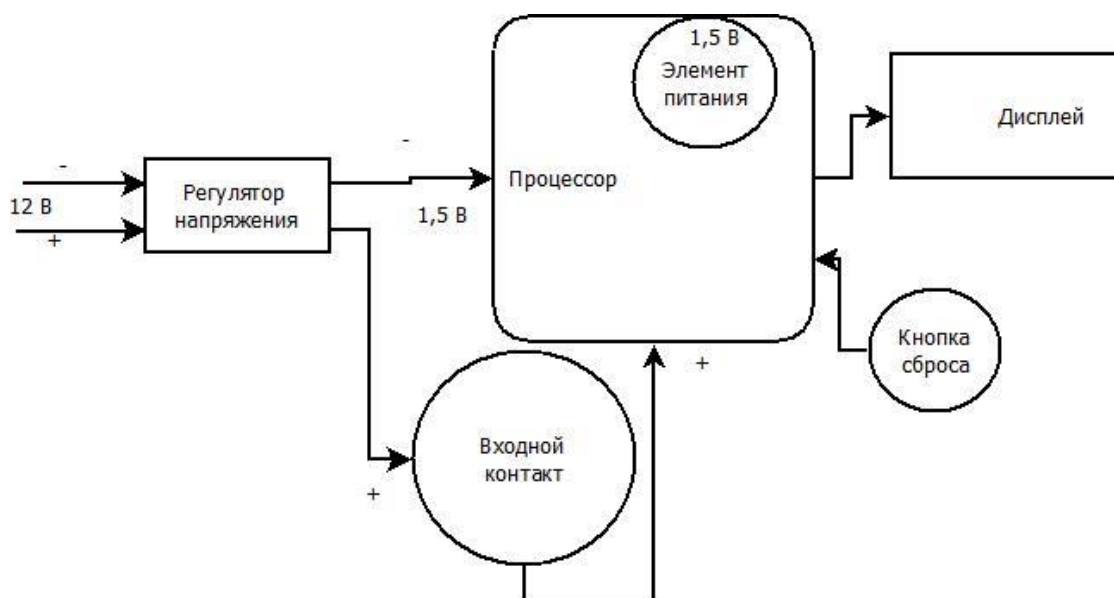


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема счетчика срабатываний TopC

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.

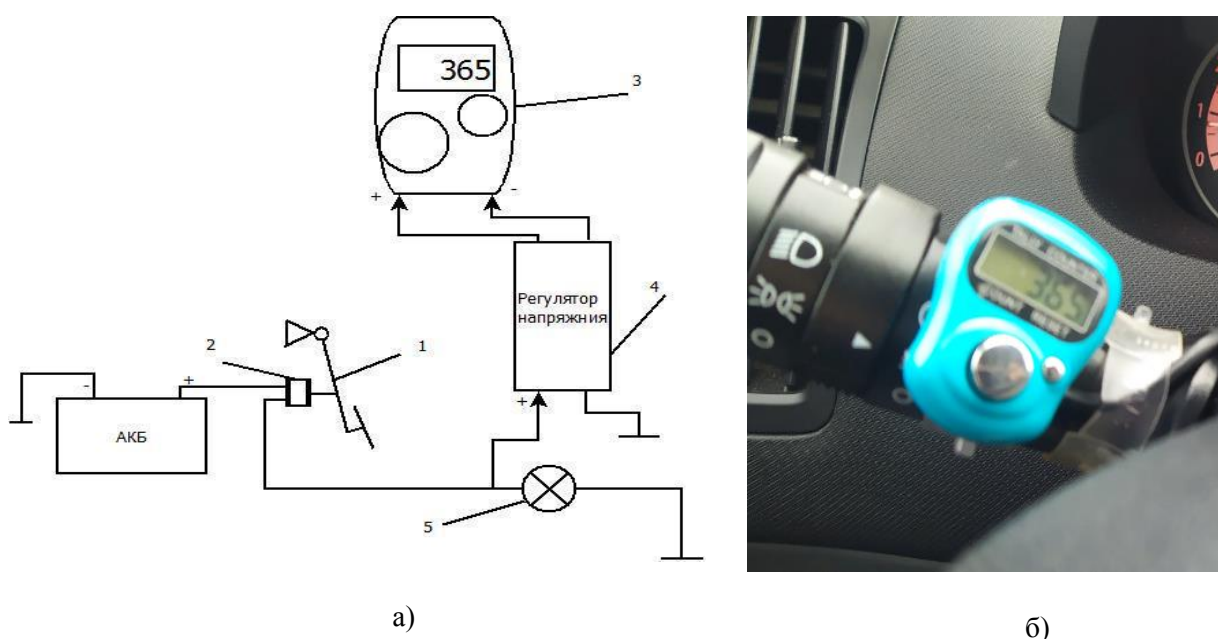


Рисунок 3.3 - Схема подключения а) и внешний вид счетчика б):

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 делало удобным процесс фиксации количества срабатывания тормозной системы и пройденного пути.

В процессе проведения исследования получены следующие данные: количество срабатывания тормозной системы N (рабочих циклов) за пробег L (км)

при конкретных условиях эксплуатации, рассмотренных в п.3.1. Полученные данные в реальных условиях позволили определить интенсивность работы тормозной системы. Алгоритм определения интенсивности работы тормозной системы и эксплуатации автомобиля представлен на рисунке 3.4.

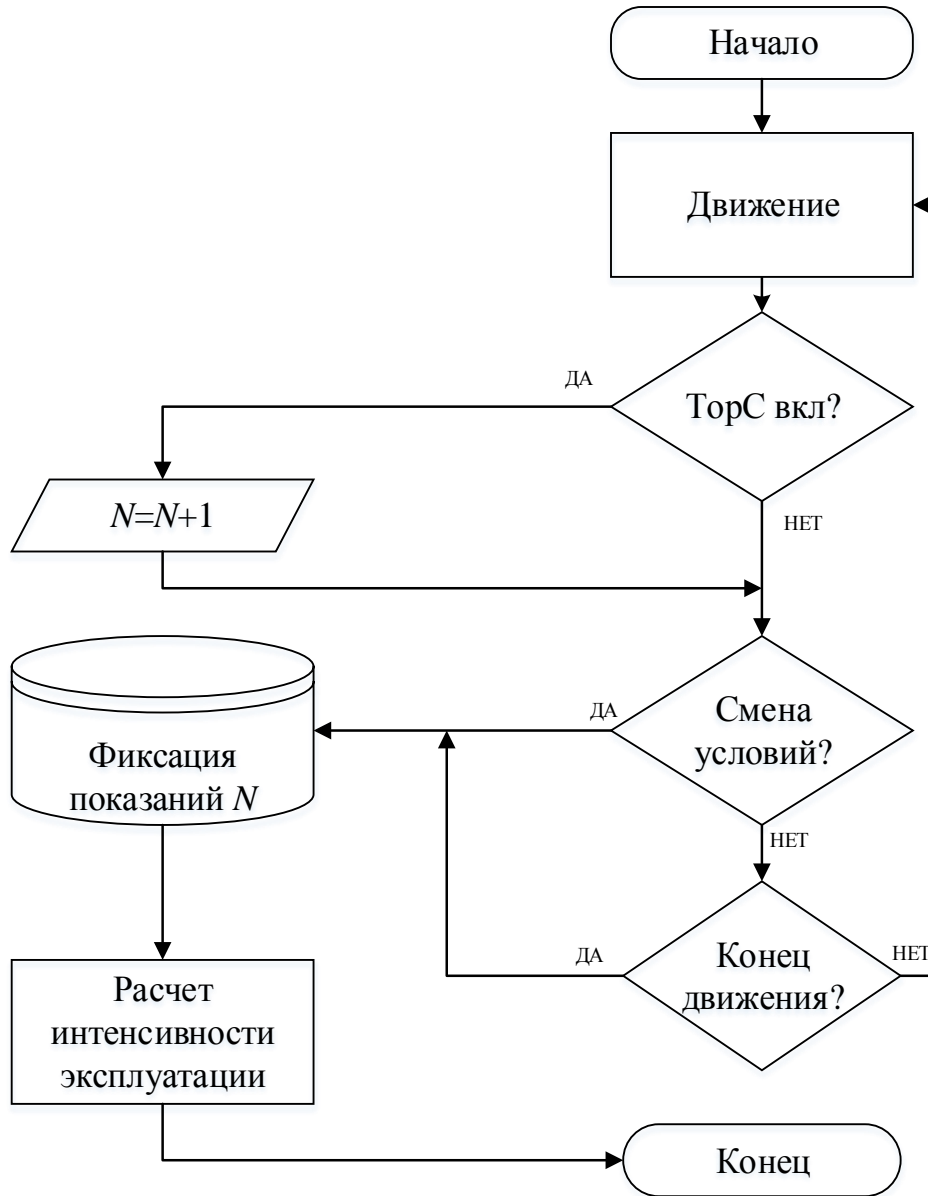


Рисунок 3.4 – Алгоритм определения интенсивности работы тормозной системы и эксплуатации автомобиля.

Исследование проводилось в реальных условиях на протяжении 20 месяцев на территории Владимирской, Ивановской, Ярославской и Нижегородской областях центрального федерального округа Российской Федерации.

Эксперимент по определению эксплуатации автомобиля и интенсивности работы ТопС осуществлялся на автомобиле *Kia c'eed* 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 документах [25, 99, 100]. Исследование проводилось в течение двух календарных лет.

Установленный на автомобиле по электрической схеме (см. рисунок 3.3) счетчик срабатывания ТопС учитывал нажатия на педаль тормоза водителем. 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 рабочих циклов TopC и пробег за поездку. С помощью функциональных возможностей программного обеспечения выполнялся расчет показателя интенсивности работы TopC согласно алгоритму, представленному на рисунке 3.4. Удельное значение рабочих циклов TopC на 1 км пробега определялось по выражению:

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

где N – количество рабочих циклов TopC;

L – наработка.

Оценка удельного значения рабочих циклов TopC осуществлялась при эксплуатации в реальных условиях, рассмотренных в п. 3.1. Полученные результаты удельного показателя интенсивности работы TopC позволяют оценить ее работу в зависимости от категорий дорог (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Интенсивность работы TopC

Категории дороги	Идентификационный номер дороги (большинство дорог, по которым осуществлялась эксплуатация)	Среднее удельное значение интенсивности работы. $q_{N_i}^{cp}$
I	М-7 «Волга», 17 Р – 1, К-155, К-346, 22К-0101	0,1
II	17 Р – 1, К-090, К-111,	0,1
III	17 А – 2, 17 К – 2, 17 К – 3, Н-036, Н-106	0,4
IV	17 К – 12, 17 К – 17, К-081,	1,6
V	17 Н -370, 17 Н -427, Н-168	6,8

Разница интенсивности работы TopC значительно заметна только между I и V категории дорог. При исследовании принималась во внимание классификация условий эксплуатации в соответствии с регламентирующими документами [88, 89, 93]. Влияние категорий дорог на работу TopC мало и не позволяет объективно выполнить оценку интенсивности.

В связи с невозможностью объективной оценки интенсивности работы TopC на разных категориях дорог, предложена следующая классификация режимов эксплуатации: «Город» и «Трасса». К режиму «Город» следует относить

эксплуатацию в административных границах населенного пункта. К режиму «Трасса» - эксплуатацию по всем региональным, федеральным трассам, скоростным дорогам и пр. за пределами административных границ населенных пунктов. Таким образом рассматриваются следующие характеристики для оценки интенсивности работы TopC:

L_i – пробег автомобиля в i -ом режиме эксплуатации, км;

N_i – количество срабатываний TopC в i -ом режиме эксплуатации, рабочих циклов (рц).

В процессе эксперимента в реальных условиях, регулярно велась фиксация значений одометра и показаний счетчика, затем информация записывалась в таблицу учета в соответствующих столбцах режимах «Город» и «Трасса» (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Учет данных для определения интенсивности работы TopC

Пробег L , км	Кол-во рц TopC, N	Город			Трасса		
		Пробег L_1	рц TopC N_1	рц TopC на 1 км, q_1	Пробег L_2	рц TopC N_2	рц TopC на 1 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	-	-	-
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 нажатий TopC. В столбцах 3 и 4 отражены интервал пробега и количество рц TopC за поездку в режиме «Город». В столбце 5 рассчитано удельное значение интенсивности работы TopC за поездку по формуле (3.1). В столбцах 6, 7 и 8 отражены интервал пробега, количество рц TopC и удельное значение интенсивности работы TopC за поездку. Эксплуатация в режиме «Город» и режиме «Трасса» проводилась в соответствии с соблюдением правил дорожного движения и соответствовала удовлетворению бытовым потребностям водителя-оператора, 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 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты обработки работы TopC и эксплуатации автомобиля

№ п/п	Режим	Наработка		Количество срабатываний TopC		Удельное значение интенсивности работы TopC
		км	%	рц	%	рц/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 режиме «Город» пробег, равный 14356 км всего на 13% превышает пробег в режиме «Трасса», который составляет 10927 км. Анализ соотношения рабочих циклов TopC показывает, что количество рц в режиме «Город» в 25 раз превосходит количество рабочих циклов TopC в режиме «Трасса». Среднее удельное значение рц TopC в режиме «Город» превосходит в 20 раз значение интенсивности работы TopC в режиме «Трасса». Приведенные значения свидетельствуют о значительной разнице интенсивности работы TopC в режиме «Город» и режиме «Трасса». Как показывает практика эксплуатации автомобилей частными владельцами, в их

движении преобладает эксплуатация в смешанных режимах для выполнения транспортной работы и удовлетворения бытовых потребностей. Под смешанным использованием понимается эксплуатация автомобиля и в режиме «Город», и в режиме «Трасса». В связи с этим рассматривается классификация эксплуатации автомобиля в смешанных режимах, которая представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Классификация смешанных режимов эксплуатации

Режим	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 TopC при принятой классификации режимов был введен специальный коэффициент – коэффициент «Кокарева» K_K , который определяется количеством рабочих циклов TopC и наработкой автомобиля в соответствии с предложенным выражением (3.2). Таким образом, подставляя в выражение (3.2) значения, полученные в ходе эксперимента в реальных условиях общего количества рабочих циклов TopC $N=119380$ и наработки $L=25283$ км, получим:

$$K_K = \frac{N}{L} = \frac{119380}{25283} = 4,72. \quad (3.2)$$

Введенный коэффициент Кокарева показывает интенсивность работы TopC при эксплуатации автомобиля в смешанных режимах и может выступать в качестве диагностического параметра.

При известных значениях интенсивности работы TopC в различных режимах и наработки, предложена система уравнений (3.3) для оценки значений диагностического параметра:

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

где L – принятая наработка, км;

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

Итерируя значение i в уравнении (3.3) до равенства $K_K^i = K_K = 4,72$, определим, что количество рабочих циклов $N_1=114992$, $N_2=4480$ а эксплуатация будет соответствовать 57% - в режиме «Город» и 43% в режиме «Трасса». Данные расчеты показывают, что при значении $K_K=4,72$, 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 (таблица 3.7), определим значения коэффициента Кокарева (диагностического параметра), соответствующие конкретным соотношениям режимов эксплуатации автомобиля и интенсивности работы ТопС. Результаты расчета интенсивности работы ТопС отражены в таблице 3.8.

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

Соотношение режимов, (L_1/L_2) , % / %	Пробег в режиме «Город» L_1 , км	Пробег в режиме «Трасса» L_2 , км	Количество рабочих циклов ТопС в режиме «Город» N_1 , рц	Количество рабочих циклов ТопС в режиме «Трасса» N_2 , рц	Суммарное количество рабочих циклов ТопС ΣN , рц	Диагностический параметр, K_K
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
50 / 50	12642	12642	101258	5183	106441	4,21

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7
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 режимов эксплуатации (50/50) соответствует значение диагностического параметра равное $K_K=4,21$. Увеличение значения K_K свидетельствует о преобладании эксплуатации автомобиля в режиме «Город» над эксплуатацией в режиме «Трасса». Зависимость интенсивности работы TopC от коэффициента Кокарева представлена на графике рисунка 3.5.

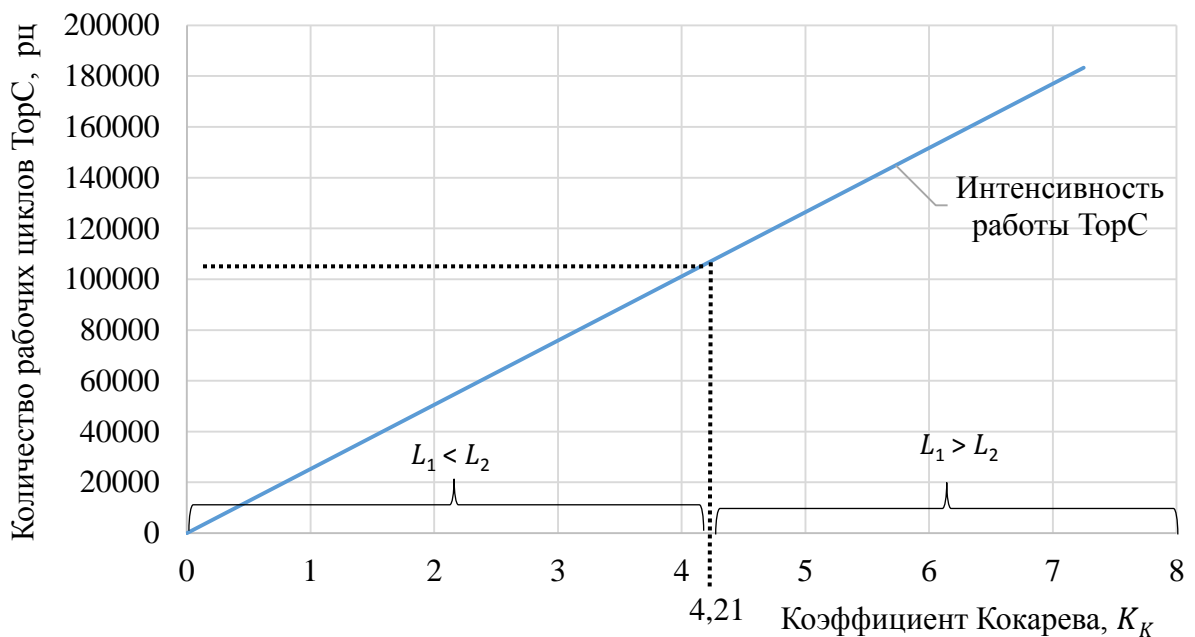


Рисунок 3.5 – График зависимости интенсивности работы TopC от диагностического параметра

Наработка в режиме «Город» меньше чем в режиме «Трасса», в интервале значений K_K от 0 до 4,21. Приведенная зависимость свидетельствует, что эксплуатация с разным коэффициентом K_K оказывает значительное влияние на интенсивность работы TopC.

За одну и ту же наработку, но в разных соотношениях режимов эксплуатации автомобиля, тормозная система может работать с различной интенсивностью, что отражается на техническом состоянии ее элементов. В работах [101, 102, 103] рассмотрен вопрос о изменении технического состояния элементов ТопС не только от наработки автомобиля, но и от интенсивности работы ТопС. 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 работоспособности.

Режимы эксплуатации автомобиля и интенсивность работы тормозной системы оказывают непосредственное влияние на техническое состояние и остаточные ресурсы элементов ТопС. Проведенные исследования в работах [97, 105] показывают, что для таких элементов ТопС как ТД и ТК, информации об интенсивности их работы будет недостаточно. Решение о работоспособном состоянии ТМ необходимо принимать в зависимости от значений структурных параметров элементов – остаточной толщиной рабочих тел ТД и ТК.

Для оценки и прогнозирования работоспособного состояния ТМ следует учитывать следующие параметры:

- скорость автомобиля в процессе торможения, при этом имеет значение начальная и конечная скорость торможения, $v_{\text{нач}}$ и $v_{\text{кон}}$;
- давление тормозной жидкости в гидравлическом приводе тормозной системы, p для определения силы, действующую на тормозную колодку;
- время, в течение которого осуществлялось трение пары колодка-диск, $t_{\text{тр}}$.

Для получения значений указанных параметров требуется разработка информационно-аппаратной системы сбора данных (ССД) при торможении в реальных условиях.

3.3 Разработка информационно-аппаратной системы сбора данных

Задачей информационно-аппаратной системы сбора данных 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, времени трения.

Система сбора данных представляет собой электронный блок для работы с полученными электрическими сигналами неэлектрических величин, комплекта модулей датчиков и самих датчиков. Электронная схема системы сбора данных представлена на рисунке 3.6.

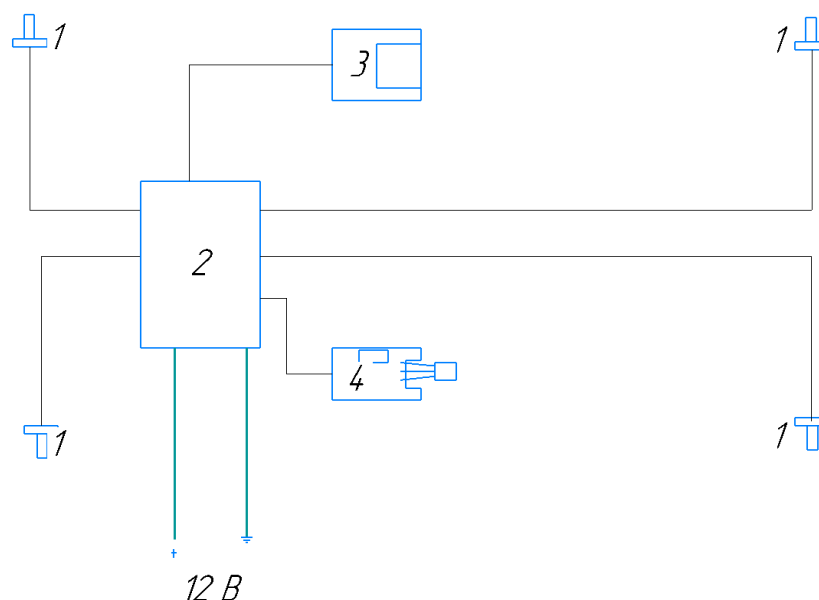


Рисунок 3.6 – Схема системы сбора данных при торможении автомобиля

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

Тензометрические преобразователи избыточного давления 1 (рисунок 3.6) представляют собой датчик с наружной резьбой, титановой мембраной и замкнутом диодном мостом Уитстона (рисунок 3.7). В исследовании применялись тензопреобразователи маркировки MP25-21-M1-L.

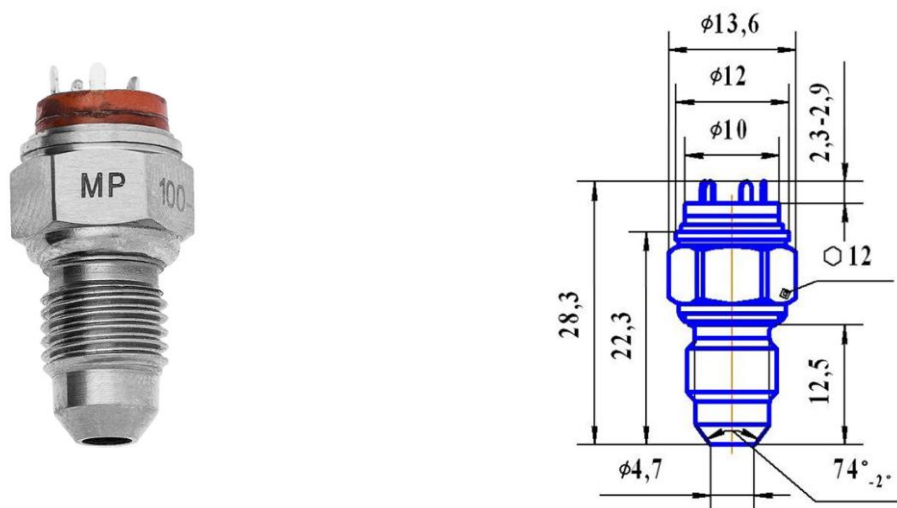


Рисунок 3.7 - Тензометрические преобразователь избыточного давления

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 °С, степень защиты IP 40 [106]. 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 3.8 [95, 96].

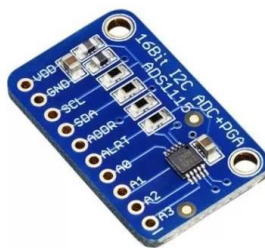


Рисунок 3.8 – Внешний вид модуля *ADS1115*

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*

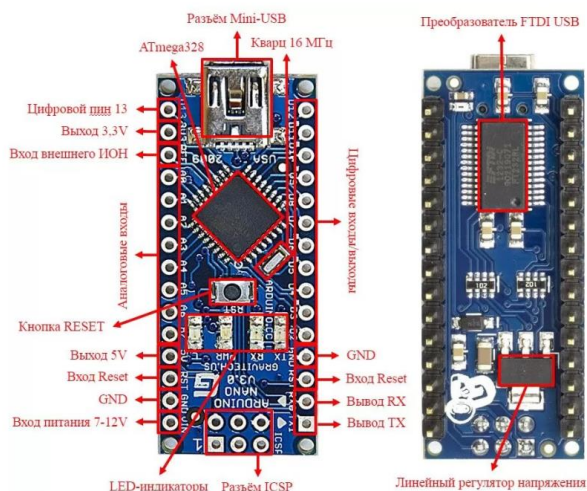
Характеристика	Значение
1	2
Напряжение питания, В	2 - 5
Минимальное потребление тока, мкА	150
Разрешение, бит	16

Продолжение таблицы 3.9

1	2
Тип интерфейса	I2C (адреса 0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B)
Количество входов	4 несимметричных или 2 дифференциальных
Внутренний усилитель PGA	до 16
Настраиваемая скорость обработки данных, выборки / сек	8 - 860
Диапазон рабочих температур, °C	-40 + 125
Тип корпусов микросхемы	VSSOP-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 3.9) [95, 96]. Описание платы программирования представлено в приложении В.

Рисунок 3.9 – Состав платы *Arduino Nano*

Рассматриваемая плата позволяет работать с применяемыми тензопреобразователи серии МР и модулями *ADS1115*. В среде программирования *Arduino* на языке *C##* составлен программный код (скетч), работающий по заданному 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 3.10) *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 *ТорС* и эксплуатации автомобиля. Информационная обеспеченность в исследованиях способствует более полной и достоверной оценке влияния работы тормозной системы на техническое состояние ее элементов.

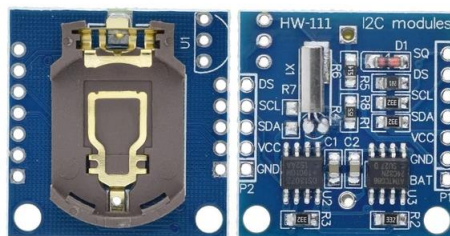


Рисунок 3.10 – Модуль часов *DS1307*

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 работоспособность модуля часов и предоставление непрерывной информации при его использовании.

Информация о скорости движения автомобиля поступает от специального модуля *KY-24* (рисунок 3.11), на котором установлен датчик холла. Модуль датчика холла предоставляет собой плату с электронными компонентами и подстроечным резистором.

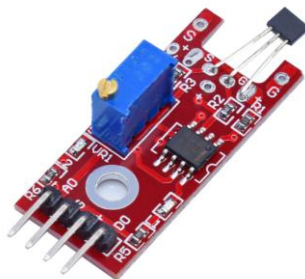


Рисунок 3.11 – Модуль *KY-24* с датчиком холла

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 3.12).

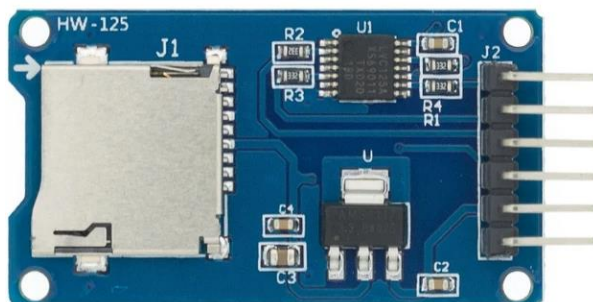


Рисунок 3.12 – Модуль *SD* карты памяти

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 3.13, большинство модулей и разных электронных устройств смонтированы в едином электронном блоке ССД.

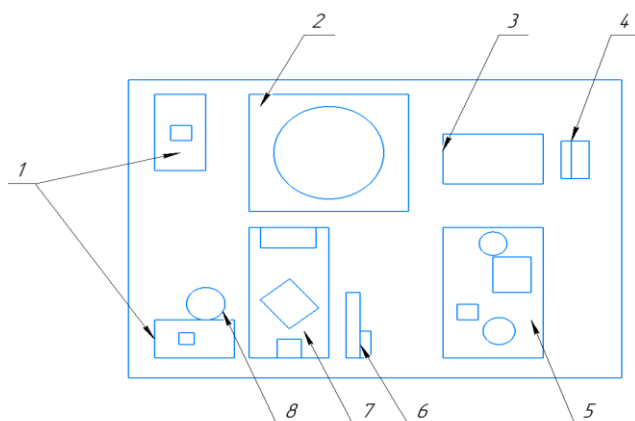


Рисунок 3.13 – Структурная схема электронного блока ССД

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 ССД работают с напряжением питания 5 В, а входящий 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 ССД установлен специальный звуковой зуммер 8. Главным микроконтроллером блока является плата *Arduino Nano* 7, на которую записан специальный программный код, работающий по алгоритму, представленному на схеме рисунка 3.14.

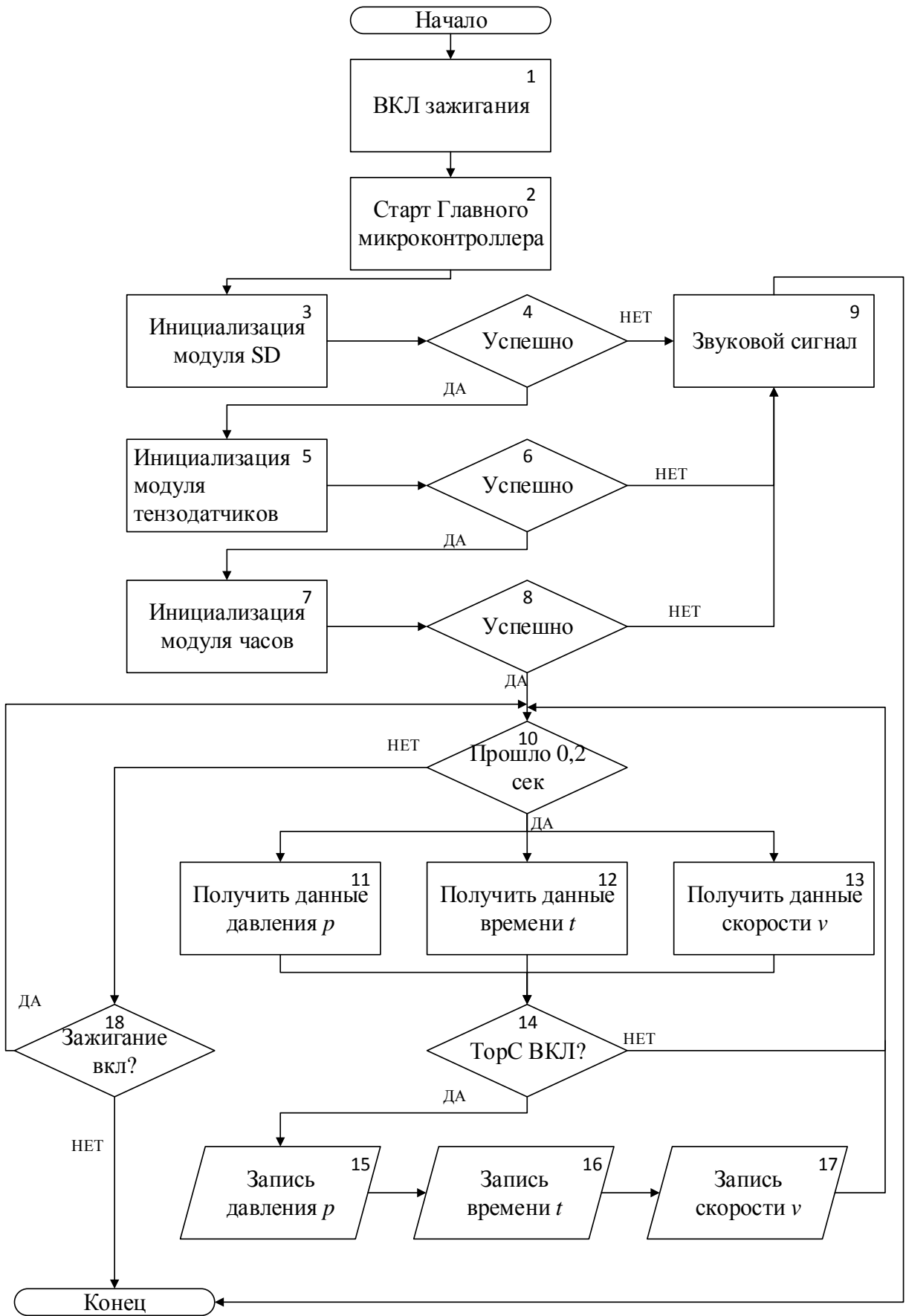


Рисунок 3.14 – Схема работы ССД

При включении системы зажигания 1 (рисунок 3.14) 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 ССД. 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 системы сбора данных представлен на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15 – Информационно-аппаратная система сбора данных

Система сбора данных предназначена 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 3.16) для отладки информационно-аппаратной ССД [14, 106, 107]. На тормозной стенд получен патент на полезную модель (приложение А).

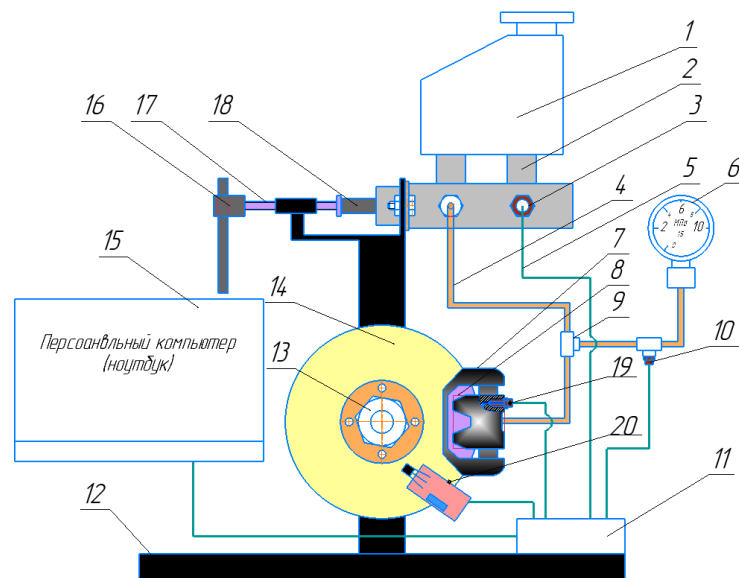


Рисунок 3.16 – Схема тормозного стенда для отладки системы сбора данных

1 – бачок с тормозной жидкостью, 2 – главный тормозной цилиндр (ГТЦ), 3, 10, 19 – датчики давления, 4 – гидравлический привод ТорС. 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 *KIA C'eed* универсал 2010 года выпуска. 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 нормативно технической документации завода-изготовителя 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 MP25-21-M1-L. 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 системы сбора данных 11. При создании давления в системе, тормозные колодки прижимаются к тормозному диску, а выходной электрический сигнал тензодатчиков изменяется. Работоспособность тензодатчиков контролировалась замером изменения напряжения электронным прибором –

мультиметром. Механический манометр ($P_{max}=10$ МПа, класс точности 1,5) необходим, чтобы проводить тарировку (рисунок 3.17) тензодатчиков и отражать текущее давление в системе в виде преобразованного цифрового значения.

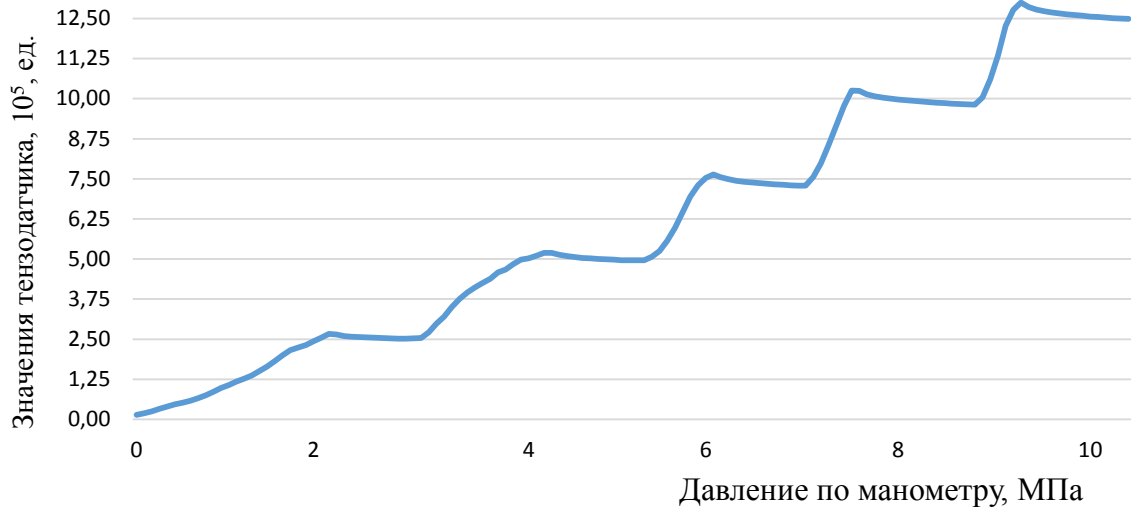


Рисунок 3.17 – График тарировки тензодатчиков

Значение тензодатчика отражено в действительном цифровом значении. Для более точной оценки давления, работа тензодатчиков была проверена путем изменения электрического сигнала с помощью мультиметра (рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – 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 МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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 милливольтгах. Для фиксации изменения напряжения в милливольтгах были подобраны специальные преобразователи *ADS115*, имеющие коэффициенты усиления сигнала и способных считать и преобразовать сигнал напряжением до 0,1875 мВ. За счет усиления модуль *ADS115* вполне удовлетворяет требованию считывать электрический сигнал датчиков, минимальное значение которого оказалось равно 22 мВ.

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

Оперативная корректировка работы ССД позволяет значительно сократить трудоемкость последующих испытаний в реальных условиях. Тормозной стенд позволил получить предварительные данные работы ССД, выявить недостатки, а также разработать и реализовать программный код (скетч), который компилирован и в процессе работы адекватно согласуется со всеми модулями, имеющие

собственные микропроцессоры. Фрагмент программного кода отражен в приложении Г.

На специальном тормозном стенде была испытана и скорректирована работа системы сбора данных для последующей интеграции на автомобиль для получения значений параметров при торможении в реальных условиях эксплуатации, рассмотренных в этой главе.

3.4 Монтаж информационно-аппаратной системы сбора данных на автомобиль

Проверенная и настроенная система сбора данных интегрировалась на автомобиль *Kia c'eed* в учебной лаборатории «Эксплуатация автомобильного транспорта» кафедры «Автомобильный транспорт» Владимирского государственного университета с целью получения значений характеристик при торможении в реальных условиях эксплуатации.

Датчики давления устанавливались через специальный тройник, применяемый в гидравлических 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 3.19.

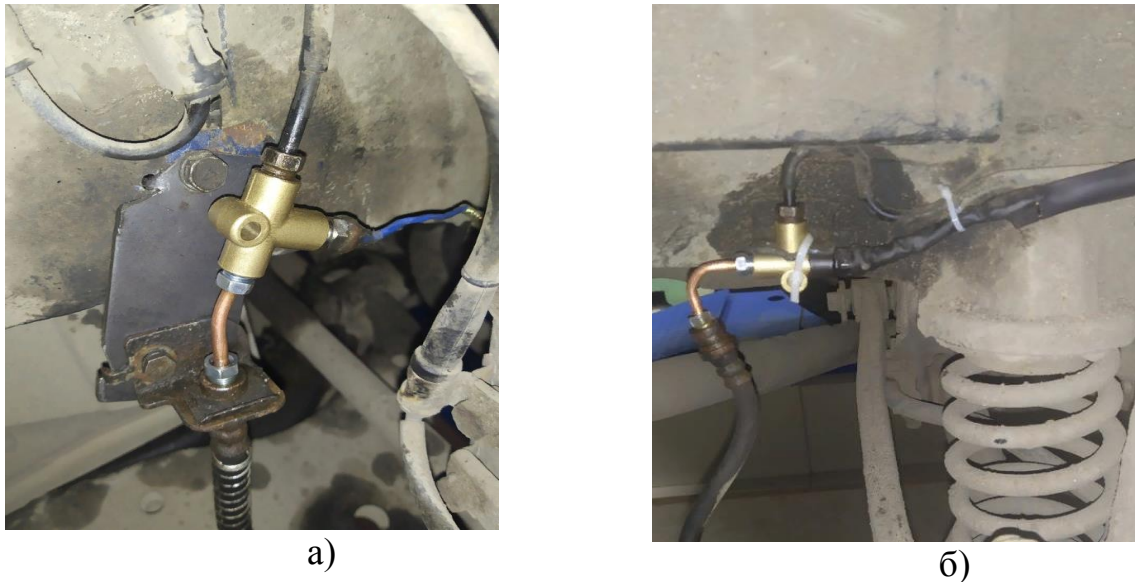


Рисунок 3.19 – Интеграция датчиков давления в гидравлический привод тормозной системы: а) – передней и б) – задней оси.

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 ССД.

Временная характеристика при торможении учитывалась модулем часов, который был расположен в корпусе электронного блока ССД. Также в корпусе расположены модули датчиков, реле и остальные электронные элементы (рисунок 3.20).



Рисунок 3.20 – Электронный блок информационно-аппаратной ССД

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 выполнена в области внутреннего шарнира равных угловых скоростей, на который прикреплен неодимовый магнит, рисунок 3.21.

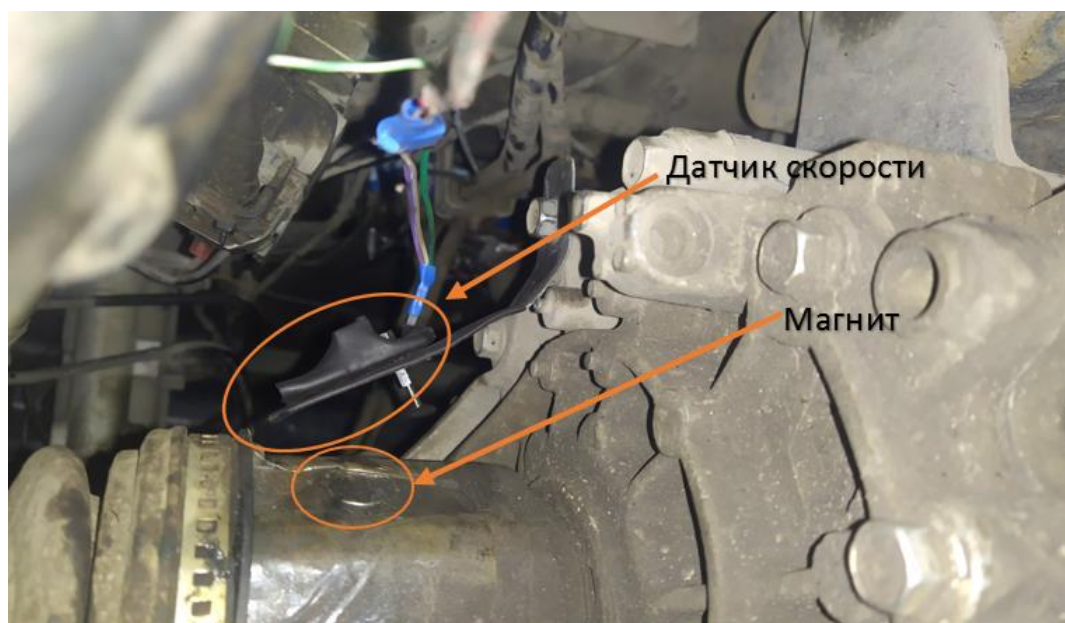


Рисунок 3.21 – Установка датчика скорости

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 ССД выполнен в моторном отсеке подкапотного пространства на штатные кронштейны кузова. Выбор местоположения блока ССД обеспечивает беспрепятственный доступ к штатным элементам и не оказывает влияние на их работу (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Месторасположение блока ССД в автомобиле

После монтажа блока и коммуникаций проверена работоспособность ССД на автомобиле в лабораторных условиях. Графики проверки датчиков давления показаны на рисунке 3.23.

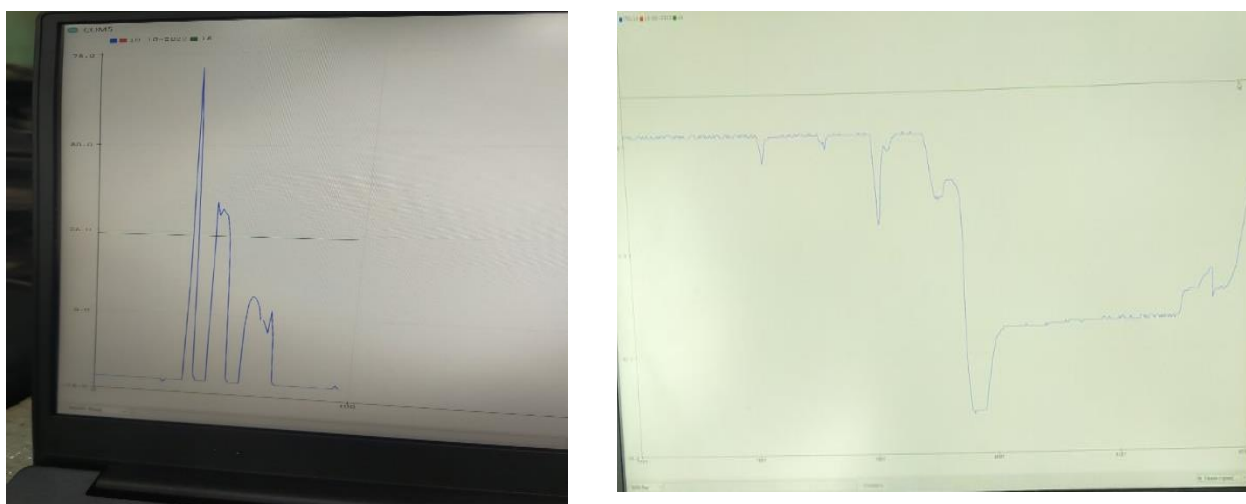


Рисунок 3.23 – Графики работы датчиков давления в реальном времени

Перед началом исследования процесса торможения в реальных условиях было выполнено техническое обслуживание TopC в соответствии с нормативно-технической документацией [25, 31, 86,97, 99] и выполнен контроль конструктивных параметров элементов TopC (рисунок 3.24), с использованием контрольно-измерительных приборов в соответствии с ГОСТ Р 8.674-2009. Контроль параметров осуществлялся в нескольких точках по периметру элементов TopC.



а)



б)

Рисунок 3.24 – Контроль толщины передних тормозных колодок:
 а) замер общей толщины тормозной колодки; б) замер пластины тормозной колодки без рабочего тела (7 мм).

Для автомобиля *Kia c'eed*, толщина новых передних тормозных колодок марки *TRW GDB 3450*, 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 3.24 б). Толщина новых тормозных колодок для задней оси составляет 16,5 мм.

У тормозных дисков толщина измеряется микрометром в трех контрольных точках под углом 60° относительно друг друга (рисунок 3.25).



а)



б)

Рисунок 3.25 – Контроль параметров тормозного диска передней оси:
 а) замер толщины; б) замер биения

Новые передние тормозные диски автомобиля с 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 3.25 б). Предельным значением биения является 0,05 мм. Замер значения биения тормозных дисков осуществлялся по минимальному, среднему и максимальному радиусу пары трения. Значения конструктивных параметров элементов TopC установкой ССД на автомобиль представлены в приложении Е.

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 колодки 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 в инженерном обществе системой измерения (МПа). Фрагмент таблицы с сохранёнными значениями за 12 апреля 2023 г показан в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Фрагмент значений параметров работы TopC

№ рабочего цикла TopC	Время начала торможения	Время торможения, с	Время трения, с	Скорость начала торможения, км/ч	Скорость конца торможения, км/ч	Среднее давление, МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	12:15:08	9,2	0	0	0	3,846

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3	4	5	6	7
2	12:15:24	6,6	4,4	40	4	3,743
3	12:15:34	2	2	17	7	3,544
277	21:44:26	23,6	18,8	20	3	1,027
278	21:45:06	5,4	5	20	0	1,088
279	21:45:18	3,6	2	7	0	1,13
280	21:46:16	2,4	0,2	3	0	1,377

По первому рабочему циклу можно судить, что автомобиль не двигался, но давление в тормозной системе составляло 3,8 МПа. Это обосновывается стоянкой на светофоре или перед началом движения (в момент снятия ручного тормоза). Всего в этот день было совершено 280 рабочих циклов TopC, общее время торможения составляет 4468,2 с, что составляет 74,47 мин или 1,24 часа. Максимальное давление в приводе тормозной системы поднималось до 5,8 МПа, а минимальное 0,14 МПа. Всего за период наблюдения 10 месяцев и наработки 15700 км с применением информационно-аппаратной системой сбора данных было зафиксировано более 5 млн записей значений каждого параметра при торможении.

Выводы по третьей главе

Рассмотрены принятые на законодательном уровне классификация дорог и условия эксплуатации в России. Установлено, что во Владимирском регионе присутствуют дороги со I по V категории и все 5 категорий условий эксплуатации. Общая протяженность дорог на 2023 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;

Установлено, что работоспособность тормозной системы, особенно тормозных дисков и колодок, зависит от интенсивности работы TopC. Проведенные исследования по оценке интенсивности работы тормозной системы, позволили получить определенные результаты. Анализ результатов показывает, что количество рабочих циклов TopC на разных категориях дорог различно только между первой и последней категорией в соответствии с классификацией по государственному стандарту. Предложены два режима эксплуатации автомобиля, соотношение которых характеризует интенсивность работы TopC, определяющаяся по коэффициенту Кокарева. Назначенный коэффициент выбран в качестве диагностического параметра, обоснованные значения которого изменяются от 1,17 для эксплуатации автомобиля 10% в режиме «Город» и 90% в режиме «Трасса» и до 7,25 для эксплуатации 90% в режиме «Город» и 10% в режиме «Трасса».

Определено, что интенсивности работы TopC недостаточно для оценки технического состояния и прогнозирования остаточных ресурсов элементов тормозной системы. Решение о работоспособном состоянии ТМ необходимо принимать в зависимости от значений структурных параметров элементов – остаточной толщины рабочих тел ТД и ТК. Для достоверности оценки изменения остаточной толщины элементов тормозной системы была разработана система сбора данных, позволяющая фиксировать значения параметров – давления тормозной жидкости, времени трения, начальной и конечной скорости при торможении.

Работоспособность ССД обеспечена за счет испытания на специальном отладочном тормозном стенде, который имитирует работу тормозной системы легкового автомобиля, позволяя получать значения параметров при торможении. Опытным путем выбрана и загружена в электронный блок версия программы с более быстрым алгоритмом обработки информации. Разработанный алгоритм работы ССД 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.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРС

4.1 Определение зависимостей параметров при торможении

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.

Цель программной обработки значений электрических сигналов параметров торможения заключается в сокращении трудоемкости обработки большого объема данных. После программной обработки формировался файл с готовыми для дальнейшего анализа данными в удобном формате *xlsx*.

При обработке статистической информации объем выборки оценивается математически, в зависимости от условий эксперимента. Одной из задач диссертационного исследования является сбор значений параметров ТопС при торможении в реальных условиях эксплуатации за период межсервисного интервала.

В ходе проведения эксперимента определился 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 – Классификация работы ТопС

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

В режиме «Трасса» торможение осуществляется только для снижения скорости. В ходе проведенных экспериментов в реальных условиях были случаи торможения до полной остановки автомобиля, но их вес незначителен и этим пренебрегаем. В режиме «Город» 64% всех торможений осуществляется для снижения скорости, т.е. время трения равно времени торможения $t_{\text{тр}} = t_{\text{торм}}$. 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.

Полученные значения параметров при торможении в реальных условиях позволяют определить взаимосвязь между ними, которая анализировалась с помощью пакета программного продукта *Statistica* [110]. Определенные зависимости выражены графически трехмерными моделями. Графические модели имеют цветовую градацию: от зеленого до красного. Зеленый цвет модели 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. Определены полиномы параметров при торможении.

Зависимость времени трения описывается полиномом второго порядка, который имеет вид:

$$f(t_{\text{тр}}) = 1,0302 + 0,0398S - 0,2248p - 0,000045S^2 + \quad (4.1) \\ + 0,0018Sp + +0,0593p^2,$$

где S – путь автомобиля за время трения, м;

p – давление тормозной жидкости, МПа.

Графическая интерпретация выражения 4.1 представлена на рисунке 4.1

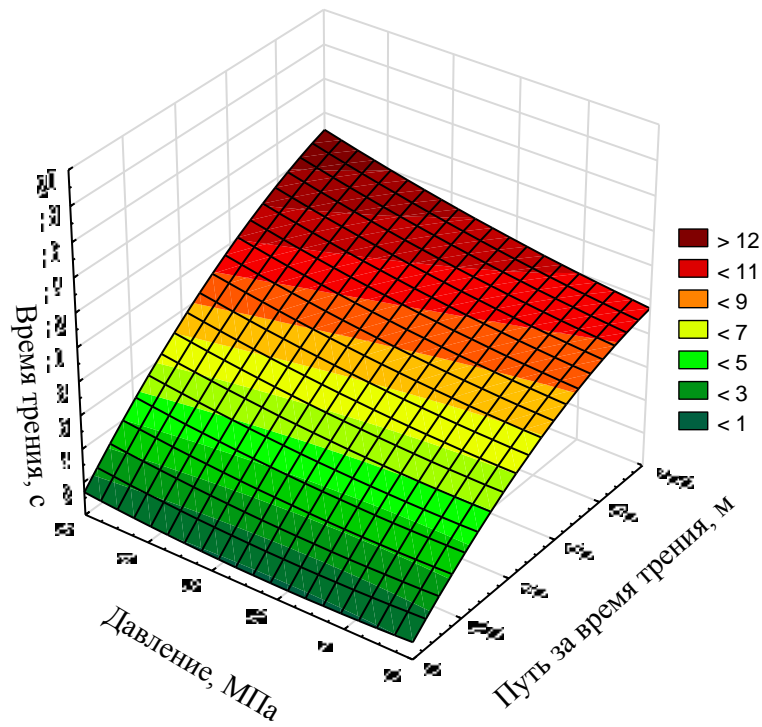


Рисунок 4.1 – Трехмерный график зависимости времени торможения от давления в тормозной системе и пути

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

Путь, за который произошло изменение скорости при торможении описывается полиномом второго порядка, который имеет вид:

$$f(S) = -19,5283 + 33,5268p + 7,1958t_{\text{тр}} - 0,9883p^2 - 2,1463pt_{\text{тр}} - 1,8457t_{\text{тр}}^2. \quad (4.2)$$

Графическая интерпретация выражения 4.2 представлена на рисунке 4.2.

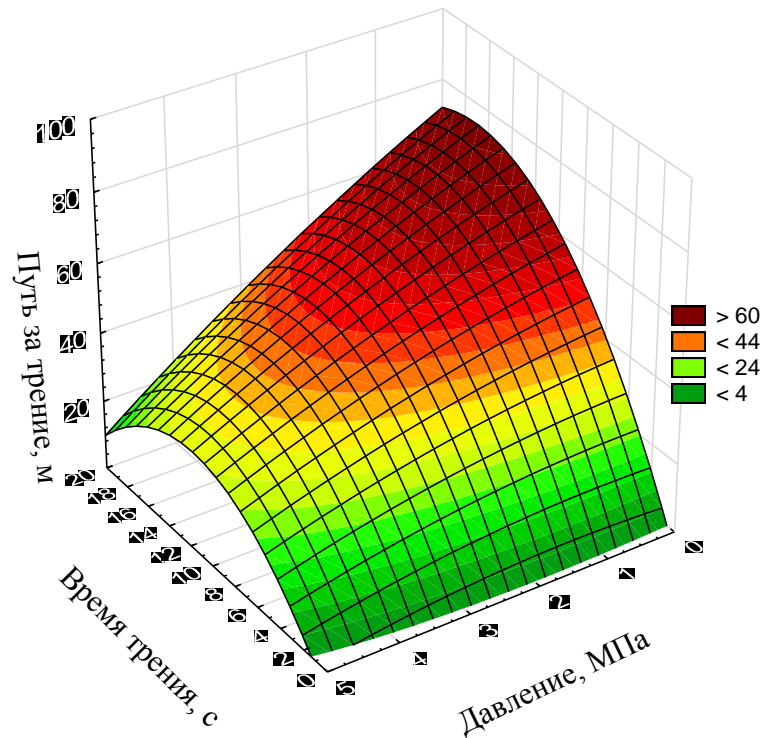


Рисунок 4.2 – Трехмерный график зависимости пути торможения от времени трения и давления тормозной жидкости

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 TopC осуществляется за путь равный 24 м, что соответствует только зеленому цвету шкалы.

Распределение давления тормозной жидкости описывается полиномом второго порядка, который имеет вид:

$$ff(p) = 1,6782 + 0,0719t_{\text{тр}} - 0,007S - 0,0028t_{\text{тр}}^2 - \quad (4.3) \\ - 0,00003t_{\text{тр}}S + 0,000014S^2.$$

Графическая интерпретация выражения 4.3 представлена на рисунке 4.3.

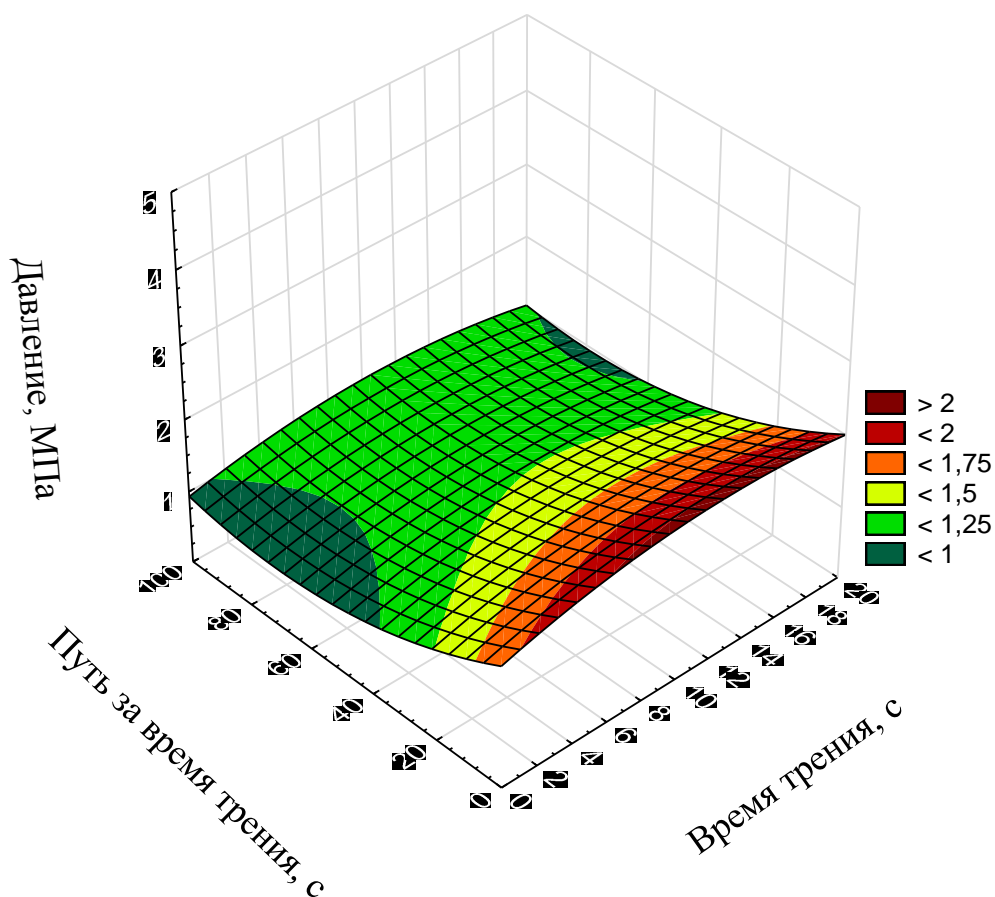


Рисунок 4.3 – Трехмерный график зависимости давления тормозной жидкости от скорости торможения и времени трения

Анализ значений давления тормозной жидкости в процессе торможения показывает, что 50 % рабочих циклов TopC происходит с давлением тормозной жидкости от 0,0 до 1,06 МПа. Цветовая градация шкалы (рисунок 4.3) позволяет судить о значениях давления при работе TopC ниже шкалы желтого цвет.

Исследованные параметры при торможении оказывают влияние на работоспособность тормозных колодок и тормозных дисков путем изменения их структурного параметра – толщины.

При детерминации рассмотренных параметров при торможении образуется процесс трения в тормозном механизме. Оцениваемым показателем процесса трения в данном исследовании рассматривается работа трения, от функции которой зависит изнашивание элементов тормозного механизма. В главе II определено, что удельная работа трения распределяется по экспоненциальному закону, функция

которого имеет вид для передней оси $f(q_{A1}) = 0,3e^{-0,3q_A}$ и $f(q_{A2}) = 1,21e^{-1,21q_A}$ для задней оси.

4.2 Влияние работы трения на техническое состояние элементов ТМ

От корректной оценки прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и дисков зависит работоспособное состояние всей тормозной системой. Элементы тормозного механизма выполняют свои функции в разных условиях эксплуатации автомобиля. При каждом рабочем цикле ТМ испытывают энергетическое нагружение. От значений параметров при торможении зависит степень энергонагруженности, которая влияет на остаточные толщины рабочих тел тормозных колодок и дисков.

При преобразовании энергии, которой обладает автомобиль при движении, тормозные механизмы совершают работу и обладают мощностью. Процесс торможения в эксплуатации не всегда происходит до полной остановки автомобиля, т.е. конечная скорость торможения не равна нулю. 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 тормозном механизме при торможении происходит за приращение тормозного пути. Путь торможения определяется изменением скорости за время торможения. Для корректной оценки совершаемой работы трения необходимо преобразовать выражение (2.16), которое будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} A_i = pB_i \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right), & \text{при } v_0 \neq v_k \\ A_i = pB_i v_0 t_{\text{тр}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \quad (4.4)$$

Математическая модель (4.4) позволяет учитывать совершаемую работу трения в тормозном механизме при торможении с равномерным движением, когда начальная и конечная скорости равны. При условии равных скоростей в процессе

торможения также совершается работа трения, влияние которой отражается на ресурсе элементов ТорС.

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 элемента тормозного механизма по следующим выражениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{A1} = \frac{pB_i \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{1\text{H}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{A1} = \frac{pB_1 v_0 t_{\text{тр}}}{\sum F_{1\text{H}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \\ q_{A2} = \frac{pB_i \left(v_0 t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{2\text{H}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{A2} = \frac{pB_2 v_0 t_{\text{тр}}}{\sum F_{2\text{H}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}. \end{array} \right. \quad (4.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{w1} = \frac{pB_i \left(v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}}{2} \right)}{\sum F_{1\text{H}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{w1} = \frac{pB_1 v_0}{\sum F_{1\text{H}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \\ q_{w2} = \frac{pB_i \left(v_0 \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{тр}}}{2} \right)}{\sum F_{2\text{H}}}, \text{ при } v_0 \neq v_{\text{к}}, \\ q_{w2} = \frac{pB_2 v_0}{\sum F_{2\text{H}}}, \text{ при } v_0 = v_{\text{к}}, \end{array} \right. \quad (4.6)$$

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

Значение комплексного параметра ТМ (при коэффициенте трения ТК $\mu = 0,3$) и геометрических параметров представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Значения параметров тормозных механизмов

Ось автомобиля	Ширина ТК, см	Длина ТК, см	Угол ТК, °	Суммарная площадь ТК $\sum F_n$, см ²	Комплексный параметр B , см ²
Передняя	5,8	13	60	313,2	16,6
Задняя	4,1	10	60	183,6	4,1

Для определения установившегося замедления $j_{уст}$ были выполнены: оценка и сравнение рассчитываемого математически (по полученным данным при каждом торможении) замедления через производную скорости $a = v'(t)$ 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 представлены на рисунке 4.4.

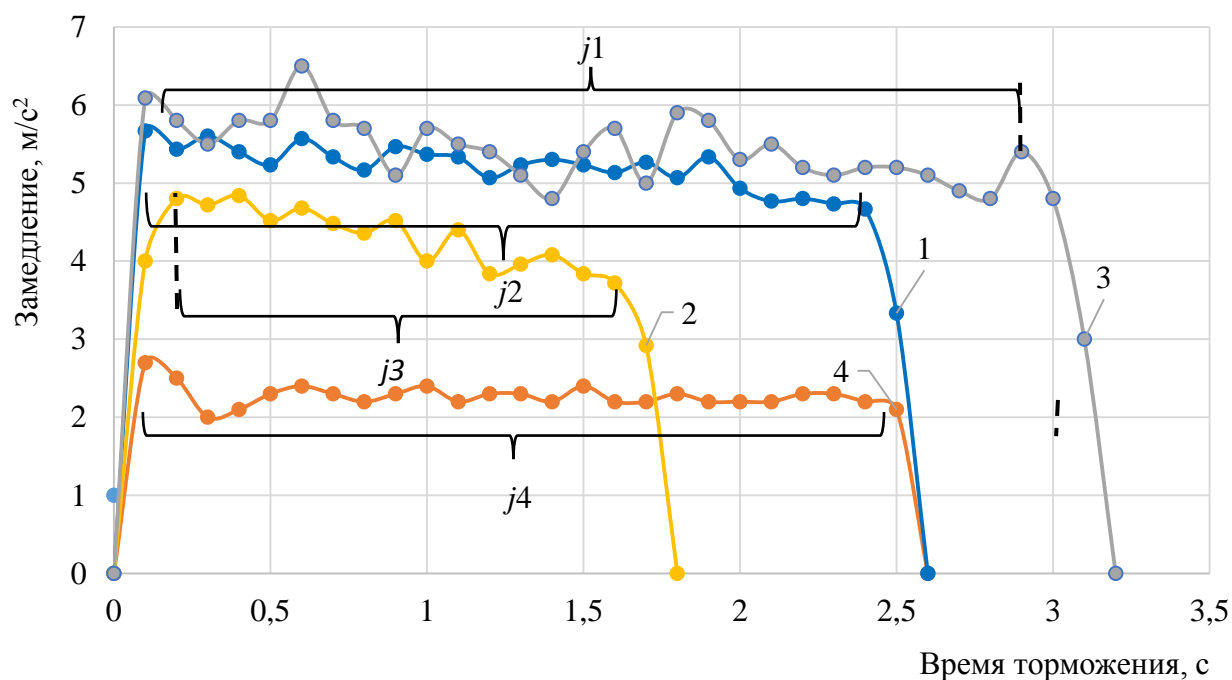


Рисунок 4.4 – Оценка замедления деселерометром «Эффект»

Интервалы $j1 - j4$ на рисунке 4.4 характеризуются, как установившемся замедлением 1–4 группы торможений соответственно. В исследовании установлено, что преобладающее большинство рабочих циклов TopC происходит для снижения скорости, поэтому оценивать замедление справедливо на

торможениях не только до полной остановки автомобиля. Параметры проводимых торможений сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Параметры тестовых торможений

№ группы торможения	Установившееся замедление,	Начальная скорость торможения		Конечная скорость торможения	
	м/с ²	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 4.4 и рисунка 4.4 получены с помощью деселерометра «Эффект». Выполним анализ ускорения через производную скорости по тем же значениям параметров тестовых торможений. Результаты отразим на рисунке 4.5.

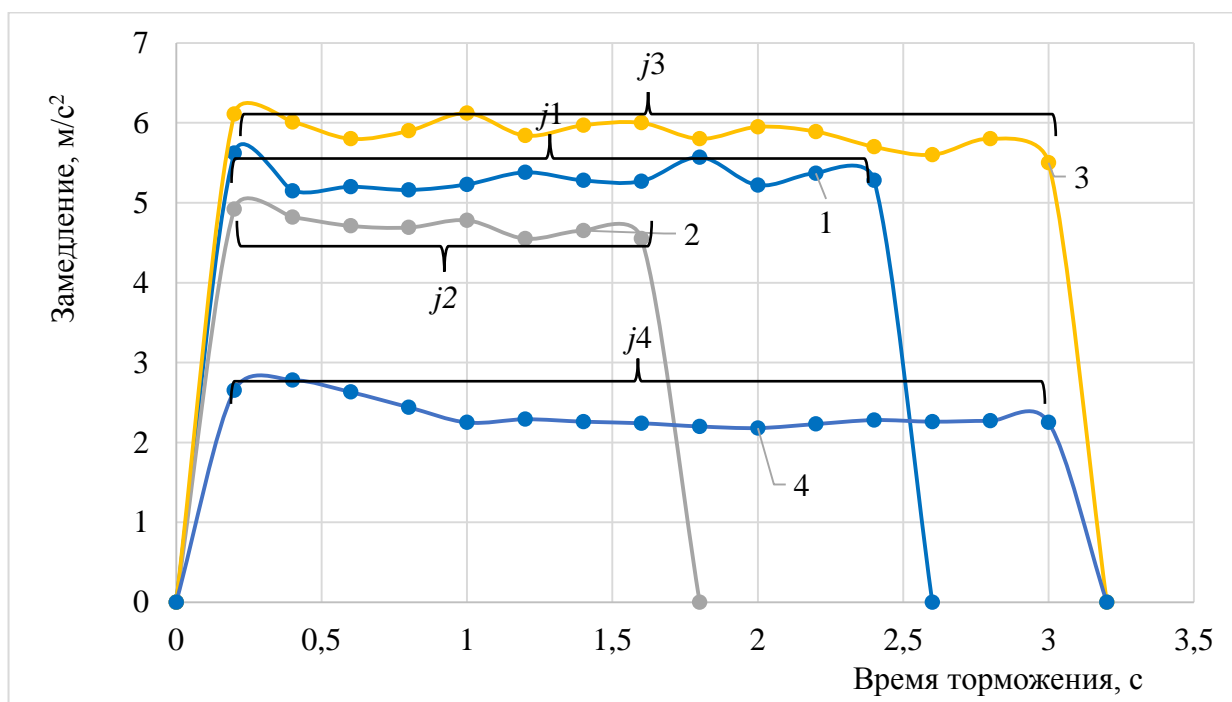


Рисунок 4.5 – Оценка замедления методом математического анализа

Замедления, полученные математическим методом также, как и деселерометром характеризуются интервалом установившегося замедления. Сравним полученные разными способами значения установившегося замедления в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – 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	ССД	
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 точности для технических систем. Т.о. в дальнейших расчетах справедливо применять установившееся замедление, полученное математическим методом на основе значений параметров торможения, полученных с помощью информационно-аппаратной ССД в реальных условиях.

Применив значения конструктивных параметров элементов ТопС (таблица 3.9), определим средние значения энергетических характеристик торможения по выражениям 4.6 – 4.8. Результаты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Средние значения характеристик за рабочий цикл ТопС

Энергетическая характеристика торможения	Ось автомобиля	
	Передняя	Задняя
Работа трения A_i , кДж	3,33	0,86
Удельная работа трения q_{Ai} , Дж/см ²	10,63	4,46
Мощность трения W_i , кВт	1,14	0,29
Удельная мощность трения q_{wi} , Вт/см ²	3,65	1,55

При каждом рабочем цикле тормозной системы, совершаемая работа трения сопровождается термическими процессами. В соответствии с формулой (2.20) определяется 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 4.7.

Таблица 4.7 - Значения температур нагрева при торможении

Характеристика	Обозначение	Передняя ось	Задняя ось
Работа, совершаемая в тормозных механизмах, кДж	A_i	3,33	0,86
Теплоемкость тормозного диска, кДж/(кг·°С)	c_i	540	540
Масса тормозного диска, кг	m_i	7,02	3,9
Приращение температуры нагрева	ΔT	157	71

Так как не учитывалась теплоотдача в окружающую среду и охлаждение в момент срабатывания ABS, то допускаем принятие поправочного коэффициента для расчета приращения температуры торможения равного 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. При торможении коэффициент трения μ сначала увеличивается, а затем снижается до исходного значения при достижении температуры нагрева 240 °С, после чего продолжает снижаться. Опытным путем получена информация о среднем арифметическом значении времени трения при торможении, которое составляет 2,82 с, а нагрев тормозных дисков и колодок в передней оси составляет 157 °С, задней оси 71 °С. По полученным значения температуры нагрева элементов TopC при торможении, коэффициент трения можно принимать как $\mu = const$.

Рабочий цикл тормозной системы характеризуется значением удельной работы, совершаемой в тормозном механизме. От значения выполняемой работы зависит величина износа тормозных колодок и тормозных дисков.

Удельный износ элементов TopC определяется по выражению:

$$q_{Ui} = \frac{U_{maxi}}{N}, \quad (4.7)$$

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

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

N – количество рабочих циклов, рц.

Сопоставляя выражения (4.5 – 4.7), получим энергетическую интенсивность изнашивания J_{qA1} , показывающую необходимое значение удельной работы трения для совершения износа:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{qA1} = \frac{q_{A1}}{q_{U1}} = \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 t_{\text{ТР}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{ТР}}^2}{2} \right) N}{F_{1H} U_{max1}}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_1 v_0 t_{\text{ТР}} N}{F_{1H} U_{max1}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \\ J_{qA2} = \frac{q_{A2}}{q_{U2}} = \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 t_{\text{ТР}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{ТР}}^2}{2} \right) N}{F_{2H} U_{max2}}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_2 v_0 t_{\text{ТР}} N}{F_{2H} U_{max2}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \end{array} \right. \quad (4.8)$$

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

После периода наблюдений за процессом торможения, конструктивные параметры на пробеге 154061 км имеют значения, представленные в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Значения конструктивных параметров элементов ТопС

Ось автомобиля	Элемент ТопС	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	12,95	12,86	4,64	-	-

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	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 тормозной системы зависит от соотношения режимов эксплуатации автомобиля, оценивающийся K_K . Эксплуатация автомобиля осуществляется с определенным интервалом наработки 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 период 15000 на износ ТД и ТК сказывается влияние смешанных режимов эксплуатации (таблица 3.5) и совершаемая работа в тормозных механизмах. Для оценки совершаемой удельной работы в межсервисный интервал, воспользуемся выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{A1}^{\text{МСИ}} = q_{A1} \cdot L_{\text{ТО}} \cdot K_K = \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 t_{\text{ТР}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{ТР}}^2}{2} \right)}{F_{1\text{Н}}} L_{\text{ТО}} K_K, \text{ при } v_0 \neq v_K, \\ \frac{pB_1 v_0 t_{\text{ТР}}}{F_{1\text{Н}}} L_{\text{ТО}} K_K, \text{ при } v_0 = v_K \end{cases} \\ q_{A2}^{\text{МСИ}} = q_{A2} \cdot L_{\text{ТО}} \cdot K_K = \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 t_{\text{ТР}} \pm j_{\text{уст}} \frac{t_{\text{ТР}}^2}{2} \right)}{F_{2\text{Н}}} L_{\text{ТО}} K_K, \text{ при } v_0 \neq v_K, \\ \frac{pB_2 v_0 t_{\text{ТР}}}{F_{2\text{Н}}} L_{\text{ТО}} K_K, \text{ при } v_0 = v_K \end{cases} \end{array} \right. \quad (4.9)$$

где $L_{\text{ТО}}$ – межсервисный интервал технического обслуживания.

Выражение (4.9) позволяет оценить количество необходимой удельной работы, совершаемой ТМ при торможении за период межсервисного интервала с учетом смешанных режимов эксплуатации. Выполним расчет удельной работы трения для МСИ в 15000 км для различных значений K_K и сведем результаты в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Значения удельной работы в МСИ

Коэф-т Кокарева, K_K	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	79,3	130,8	182,3	233,7	285,2	336,7	388,2	439,7	491,2
Удельная работа задней оси $q_{A2}^{МСИ}$, кДж/см ²	33,1	54,5	76,0	97,5	119,0	140,4	161,9	183,4	204,8

Остаточная толщина рабочих тел элементов ТорС оценивается измерительными приборами. Значение остаточной толщины будет способствовать оценке и прогнозированию остаточного ресурса элементов ТорС. С помощью энергетического анализа определим остаточную удельную работу. Выражением, определяющим значение остаточной удельной работы, является:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{A1}^{ост} = J_{qA1}(Y_{\phi1} - Y_{пред1}) = \begin{cases} \frac{pB_1 \left(v_0 t_{тр} \pm j_{уст} \frac{t_{тр}^2}{2} \right) N}{F_{1н} U_{max1}} (Y_{\phi1} - Y_{пред1}), & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_1 v_0 t_{тр} N}{F_{1н} U_{max1}} (Y_{\phi1} - Y_{пред1}), & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \\ q_{A2}^{ост} = J_{qA2}(Y_{\phi2} - Y_{пред2}) = \begin{cases} \frac{pB_2 \left(v_0 t_{тр} \pm j_{уст} \frac{t_{тр}^2}{2} \right) N}{F_{2н} U_{max2}} (Y_{\phi2} - Y_{пред2}), & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_2 v_0 t_{тр} N}{F_{2н} U_{max2}} (Y_{\phi2} - Y_{пред2}), & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \end{array} \right. , \quad (4.10)$$

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

Толщина рабочих тел имеет номинальное значение (новое состояние), фактическое (после периода эксплуатации) и предельное значение (при достижении которого необходимо назначать технические воздействия – замену элемента). Во время эксплуатации в тормозном механизме выполняется работа

трения, оказывающая влияние на изменение толщины рабочего тела элемента ТорС. Графическая зависимость толщины и удельной работы трения представлена на рисунке 4.6.

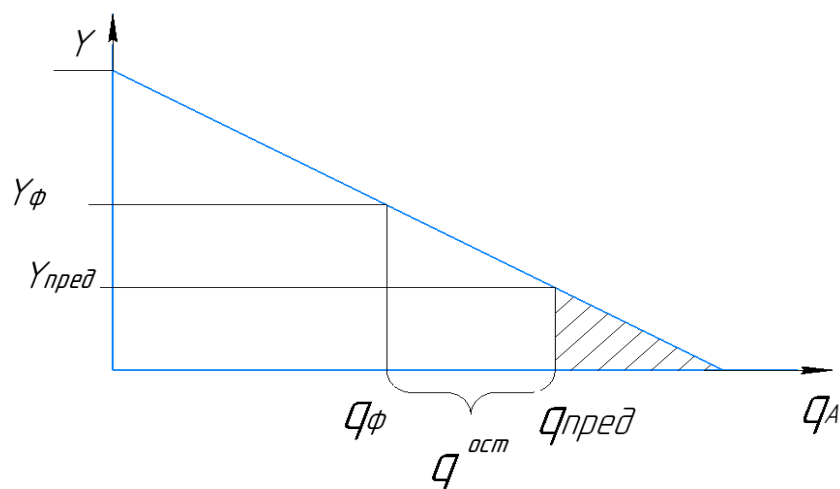


Рисунок 4.6 – Схема зависимости толщины рабочего тела элемента ТорС от удельной работы трения

Рисунок 4.4 демонстрирует изменение остаточной удельной работы трения от толщины рабочего тела тормозной колодки и тормозного диска.

С учетом фактической толщины ТД и ТК и параметров при торможении (таблица 3.9 и 3.10) полученные величины по выражениям 4.7 – 4.10 будут иметь значения, отраженные в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Значение энергетических показателей тормозной системы.

Характеристика	Тормозные колодки		Тормозные диски	
	Передняя ось	Задняя ось	Передняя ось	Задняя ось
Коэффициент Кокарева K_k	4,72			
Предельное значение $Y_{пред}$ (мм)	7	7	20	8,4
Номинальное значение $Y_{ном}$ (мм)	17,5	16,5	23	10
Фактическое значение Y_ϕ (мм)	12,86	10,92	22,15	9,76
Фактический износ U , мм	4,64	2,24	0,28	0,26
Удельный износ q_{Ui} , мм 10^{-5}	8,156	3,12	0,39	0,362
Энергетическая интенсивность изнашивания J_{qA1} , (кДж/см ²)/мм	55,3	60,4	1157,2	520,6
Остаточная удельная работа трения $q_{Ai}^{ост}$, кДж/см ²	324,01	236,9	3645,06	707,9

Основываясь на теории надежности получим энергетическое условие прогнозирования остаточного ресурса элементов TopC по значению удельных работ:

$$q_{Ai}^{мси} = \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 t_{тр} \pm j_{уст} \frac{t_{тр}^2}{2} \right) L_{ТО} K_K}{F_{iH}}, \text{ при } v_0 \neq v_K \\ \frac{pB_i v_0 t_{тр} L_{ТО} K_K}{F_{iH}}, \text{ при } v_0 = v_K \end{cases}$$

$$q_{Ai}^{ост} = \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 t_{тр} \pm j_{уст} \frac{t_{тр}^2}{2} \right) N}{F_{iH} U_{maxi}}, \text{ при } v_0 \neq v_K \\ \frac{pB_i v_0 t_{тр} N}{F_{iH} U_{maxi}}, \text{ при } v_0 = v_K \end{cases}$$

(4.11)

при $q_{Ai}^{ост} > q_{Ai}^{мси}$.

В соответствии с условием 4.11 отобразим графически на рисунке 4.7 расчетные значения удельной работы трения в межсервисный интервал для передних тормозных колодок. Для остальных элементов TopC сравнительный анализ удельных работ представлен в приложении Е.

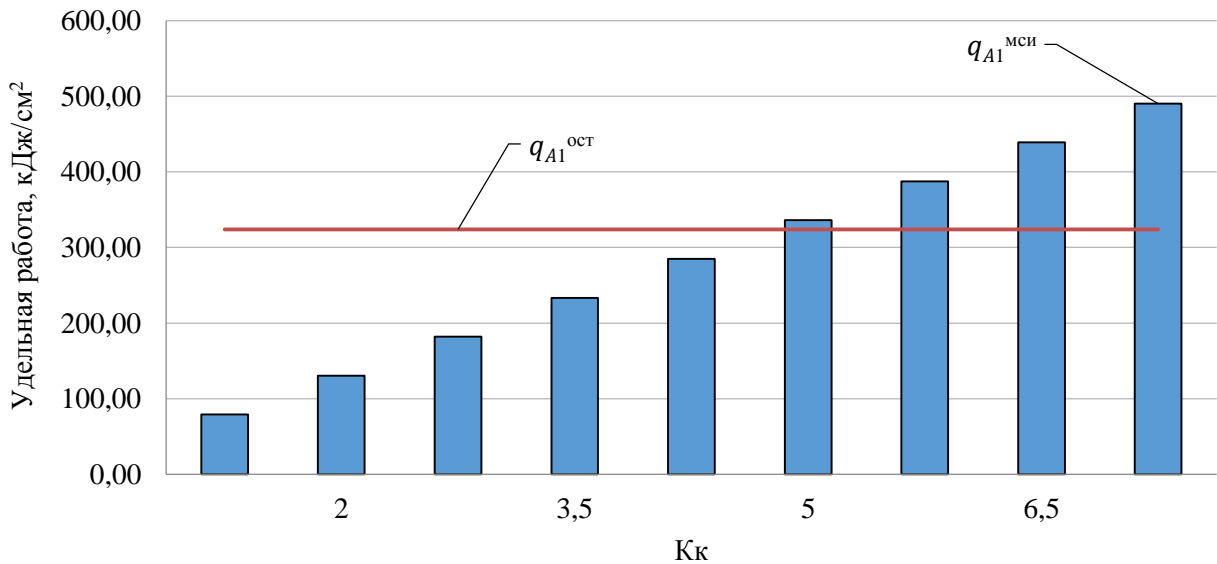


Рисунок 4.7 – Сравнительный анализ остаточной и межсервисной удельной работы трения в тормозном механизме передней оси

По приведенному рисунку можно сделать вывод, что остаточной толщины передних тормозных колодок 11,64 мм будет достаточно для эксплуатации автомобиля с коэффициентом Кокарева, значение которого равно 4,59, что соответствует 55% или 8300 км наработки в режиме «Город» и 45% или 6700 км в режиме «Трасса». Эксплуатация с рассматриваемыми конструктивными параметрами ТК передней оси и K_k выше 4,59 не будет соответствовать истине выражения 4.11.

В процессе диссертационного исследования выдвинуто предложение о дополнительной классификации условий движения (ДКУД). Рекомендованы следующие условия движения автомобилей: I. Поездки выходного дня за город; II. Работа – дом – загород; III. Работа – дом; IV. Такси, курьерские службы и пр.

Результаты энергетического анализа элементов ТМ автомобиля *Kia c'eed* с учетом дополнительной классификации условий и режимов движения представлены в таблице ниже.

Таблица 4.11 – Результаты энергетического анализа работы трения ТМ

Режим эксплуатации	Коэффициент Кокарева									
	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, $q_{A1}^{мси}$	79,14	130,54	181,95	233,36	284,76	336,17	387,57	438,98	490,39	
Остаточная удельная работа передних ТК, $q_{A1}^{ост}$	324,01									
Остаточная удельная работа передних ТД, $q_{A1}^{ост}$	2487,9									
Удельная межсервисная работа в заднем ТМ, $q_{A2}^{мси}$	33,06	54,53	76,00	97,48	118,95	140,42	161,90	183,37	204,84	
Остаточная удельная работа задних ТК, $q_{A2}^{ост}$	236,9									
Остаточная удельная работа задних ТД, $q_{A2}^{ост}$	707,9									

Результаты сравнения показателей $q_{A1}^{ост}$ и $q_{A1}^{мси}$ таблицы 4.9. дают основания утверждать, что остаточного ресурса передних тормозных колодок будет достаточно для эксплуатации второй группы ДКУД (Работа – дом - загород). Толщины передних, задних тормозных дисков и задних колодок хватит для эксплуатации автомобиля в любых условиях и режимах движения. Схема прогнозирования остаточного ресурса элементов TopC представлена на рисунке 4.8.

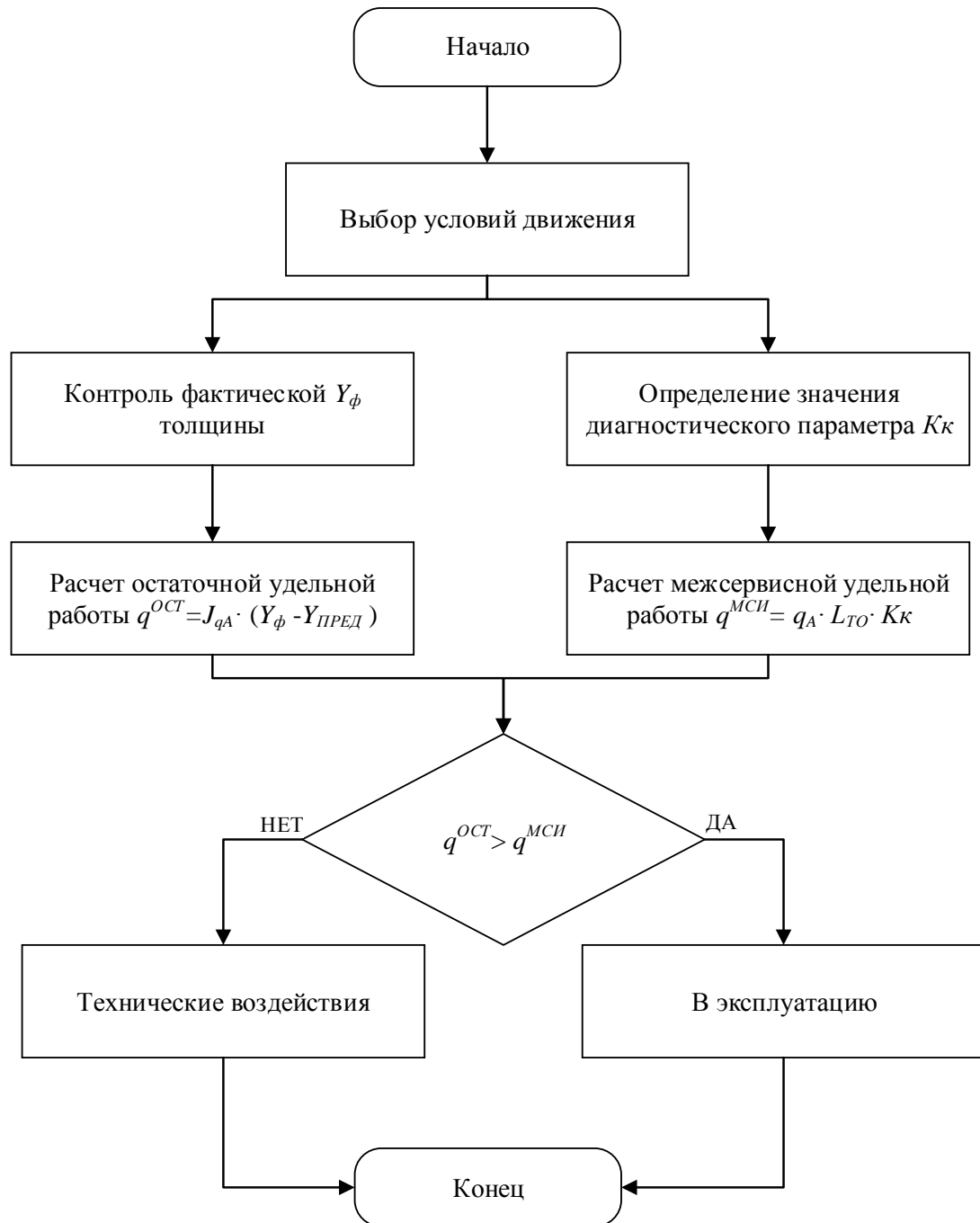


Рисунок 4.8 – Схема методики прогнозирования остаточного ресурса элементов TopC

Рассмотренная схема методики прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы является обоснованием для принятия решения 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.

4.3 Экономический эффект от результатов исследования

Корректность оценки остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисках 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 3 года на техническое обслуживание $c_{уд}^{ТО}$ и запасные части $c_{уд}^{ЗЧ}$ (рисунок 4.9).

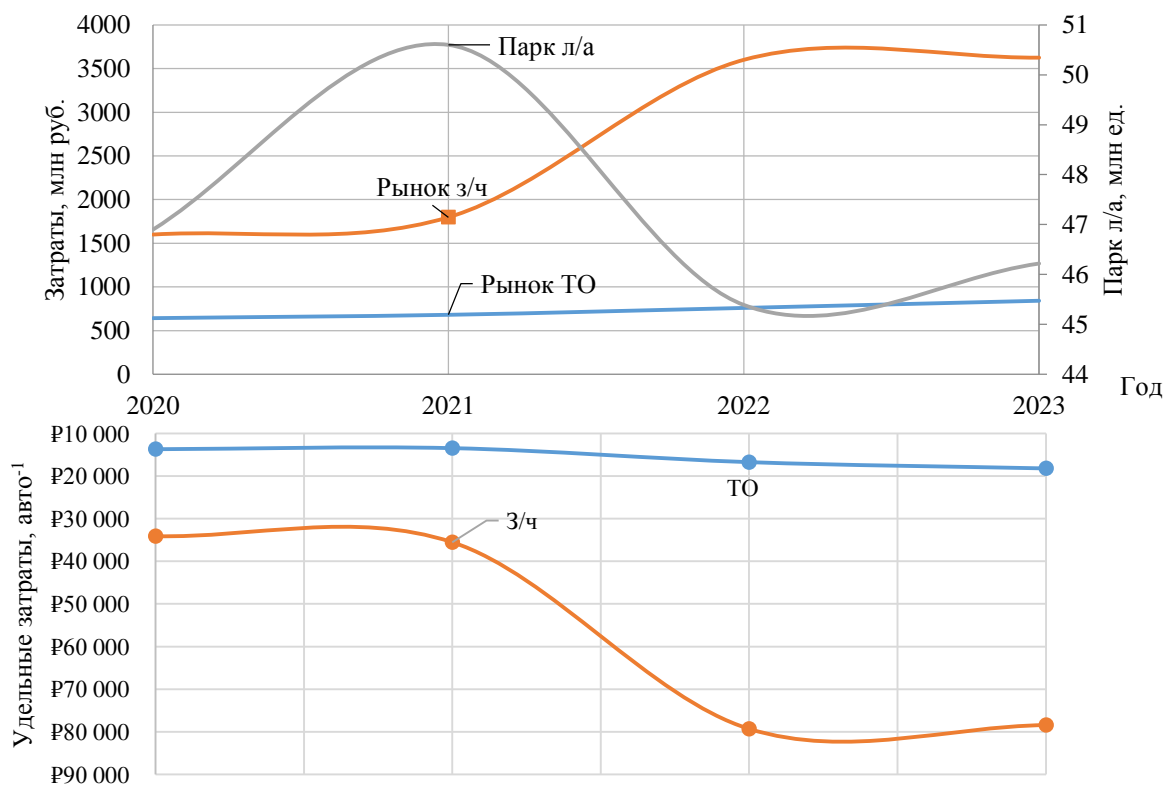


Рисунок 4.9 – Динамика затрат автовладельцев

Графики затрат на автомобильные запасные части и техническое обслуживание (рисунок 4.7) представлены удельными показателями, т.е. тыс. руб./автомобиль, которые определялись емкостью соответствующих затрат C^{TO} 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., показатели 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 элементы тормозной системы.

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) может необъективно выполнить оценку остаточного ресурса и принять решение о замене элемента, который в разных условиях движения способен удовлетворять выражению 4.11 и находится в эксплуатации. Назначение несвоевременной замены работоспособного элемента снижает общую техническую эксплуатацию автомобиля и увеличивает показатели финансовых затрат.

На конец 2023 года минимальная стоимость комплекта C_k передних тормозных колодок для *Kia ceed* марки *TRW GDB 3450* с учетом конъюнктуры рынка составляет 3611 руб., а задних 3015 руб. [121, 122]. Номинальное значение $Y_{ном}$ толщины новых тормозных колодок *TRW GDB 3450* передней оси составляет 17,5 мм, предельное значение $Y_{пред}$ составляет 7,0 мм. Рабочая толщина $Y_{раб}$ тормозных колодок *TRW GDB 3450* 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:

$$q_{C_{ki}}^{\text{НОМ}} = \frac{C_{ki}}{Y_{\text{НОМ}i}}. \quad (4.12)$$

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 $L^{\text{ТО}}=15000$ 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 интервал наработки $L^{\text{ТО}}$, $U_i^{\text{ТО}} = \frac{Y_{\text{раб}i}}{N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}}}$. 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:

$$\varepsilon_i = \frac{q_{C_{ki}}^{\text{НОМ}} \cdot U_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} \cdot L^{\text{ТО}}}{N_{\text{ОСТ}i}^{\text{ТО}} \cdot L^{\Gamma}} = \frac{\frac{C_{ki}}{Y_{\text{НОМ}i}} \cdot \frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} \cdot \frac{Y_{\text{раб}i}}{N_{\text{НОМ}i}^{\text{ТО}}} \cdot L^{\text{ТО}}}{\frac{q_{Ai}^{\text{ОСТ}}}{q_{Ai}^{\text{МСИ}}} - N_{\text{РЕК}}^{\text{ТО}} \cdot L^{\Gamma}}, \quad (4.13)$$

где L^{Γ} – годовой пробег, км.

После соответствующих преобразований, выражение (4.13) примет вид:

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

Результаты расчета экономической эффективности применения методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС представлены в приложении Ж. Анализ приложения Ж показывает, что экономия на автомобиль при годовом пробеге $L^{\Gamma} = 15000$ км на передних и задних тормозных колодках марки *TRW GDB 3450* на автомобиль составит в среднем:

- для эксплуатации в I группе ДКУД – 556,18 руб.;
- во II группе – 327,26 руб.;
- в III группе – 424,68 руб.

Выводы по главе

С помощью программы *Statistica* установлены взаимосвязи параметров при торможении. Получены трехмерные графические модели и полиномы второго порядка. Плотность распределения частоты удельной работы трения в тормозных механизмах определена путем статистического метода обработки информации. Табличное значение критерия $X_{\text{табл}}^2$ при уровне значимости $\alpha=0,03$ и степеней свободы $S = 8$ составляет 17,01. Опытное значение $X_{\text{опыт}}^2$ для передней оси равно 6,71 и для задней оси составляет 8,36. Условие принятия предположения о распределении работы трения по экспоненциальному закону выполняется, $X_{\text{опыт}}^2 < X_{\text{табл}}^2$.

Средние значения удельной работы трения составляют для передней оси 3,33 Дж/см², для задней оси 0,83 Дж/см². С учетом средних значений параметров при торможении, с которыми осуществляется 75% всех рабочих циклов TopC, 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. Установленные значения энергонагруженности не влияют на изменение процесса изнашивания.

Установлено, что допустимой рабочей толщины ТК равной 4,64 мм будет достаточно для эксплуатации во второй группе условий движения или соотношении режимов эксплуатации 55% - «Город» и 45% «Трасса». Корректные оценка технического состояния элементов ТМ и прогнозирование остаточного ресурса обеспечивают более высокий уровень работоспособности тормозной системы путем обоснованного решения о назначении технических воздействий.

Принятие во внимание методики прогнозирования ресурса элементов ТМ способствует более полному его использованию и сокращению финансовых затрат

в год от 327,26 руб. до 556,18 руб. на автомобиль при среднегодовом пробеге 15000 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования, реализованные в оперативной оценке технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса ТД и ТК способствуют повышению работоспособности ТопС и эффективности технической эксплуатации автомобилей. Диссертационное исследование основано на анализе энергонагруженности тормозного механизма при эксплуатации автомобиля в реальных условиях. Основные научно-практические результаты заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ безопасности дорожного движения, по результатам которого установлено, что в год в ДТП погибает до 637 человек из-за потери работоспособности ТопС. Увеличение стоимости запасных частей негативно влияет на финансово-экономические показатели в сфере технической эксплуатации автомобилей. Техническое состояние элементов ТМ имеет решающее значение в оценке эффективности работы всей ТопС. Существующая нормативно-техническая документация не регламентирует методы оценки остаточного ресурса элементов ТопС.

2. Исследована интенсивность работы ТопС на дорогах ЦФО с I по V категории, которая характеризуется количеством рабочих циклов за км пробега. Существенное различие в количестве рабочих циклов ТопС на разных категориях дорог наблюдается только между I и V категориями и составляет 0,1 и 6,8 р.ц./км соответственно. Предложена классификация режимов эксплуатации автомобиля: «Город», «Трасса». Установлено, что работоспособность тормозных дисков и колодок зависит от интенсивности работы ТопС при различных соотношениях предложенных режимов эксплуатации. Предлагается производить оценку соотношения предложенных режимов эксплуатации с помощью специального коэффициента Кокарева.

3. Введенный коэффициент Кокарева K_K назначен в качестве диагностического параметра и позволяет оценивать интенсивность работы ТопС в смешанных режимах эксплуатации автомобиля, оказывающих влияние на ресурс

элементов ТопС. Обоснованные значения K_K изменяются от 1,17 для эксплуатации автомобиля 10% в режиме «Город» и 90% в режиме «Трасса» и до 7,25 для эксплуатации 90% в режиме «Город» и 10% в режиме «Трасса».

4. Разработана информационно-аппаратная система сбора данных при торможении, позволяющая фиксировать значения параметров при торможении с частотой 5 Гц или 72000 значений за один час эксплуатации. Достоверность результатов исследования обеспечивается массивом данных более 5 млн. значений каждого параметра и электронных компонентов ССД на отладочном тормозном стенде, защищенным патентом на полезную модель. Полученный массив данных обрабатывался специально разработанной программой, написанной на языке *Python*;

5. Разработана математическая модель энергетического анализа процесса торможения для оценки остаточного ресурса ТК и ТД. Остаточная удельная работа $q_{Ai}^{ост}$ трения зависит от остаточной толщины элементов ТМ. Межсервисная удельная работа $q_{Ai}^{МСИ}$ трения оценивается значением диагностического параметра и межсервисным интервалом технического обслуживания автомобиля. Определено, что при остаточной толщине передних ТК *Kia c'eed* 11,64 мм значение остаточной удельной работы ТМ передней оси будет $q_{A1}^{ост}=684,5$ кДж/см². Значение $q_{A1}^{ост}$ превосходит значение $q_{A1}^{МСИ}$ только в I и II группе дополнительной классификации условий движения. Для эксплуатации в III и IV группе ДКУД требуется замена передних ТК.

6. Выполнена оценка эффективности методики прогнозирования ресурса элементов ТМ. Экономия финансовых ресурсов в год составляет от 327,26 до 556,18 руб. на один автомобиль при среднегодовом пробеге 15000 км за счет более полной реализации ресурса элементов ТопС.

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 2022. Информационно-аналитический обзор год / К.С. Баканов, П.В. Ляхов, А.С. Айсанов [и др.]. – Москва : ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2022. – 40 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_2023/ (дата обращения: 01.08.2023).
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://avtostat-info.com/News/11473> (дата обращения: 01.08.2023).

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: 01.08.2023).

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. 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.
21. 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.
22. Аринин И.Н. Диагностирование технического состояния автомобиля. / И.Н. Аринин. - М.: Транспорт, 1978. 176 с.
23. 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.
24. 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.
25. ГОСТ 33997-2016 Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки (с Поправкой) : дата введения 2018-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 79 с.
26. 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.

27. 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.

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

29. 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.

30. . 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.

31. 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.

32. 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.

33. WABCO Customer Centre [Электронный ресурс] / URL: <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/> (дата обращения 21.04.2023).

34. WABCO DI-2 - автосканер для автомобилей [Электронный ресурс] <https://docviewer.yandex.ru/view/> (Дата обращения 21.04.2024).

35. Willms, J. Bremsverhalten dreigliedriger Lastzuge mit verschiedenen Bremssystemen: Diss. - Hannover, 1996. -126 S.
36. Деселерометр МАНА VZM-300 [Электронный ресурс] <https://www.maha.ru> (Дата обращения 21.04.2024).
37. 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.
38. Проверка пневматического тормозного привода WABCO [Электронный ресурс] <http://inform.wabco-auto.com/> (Дата обращения 21.10.2023).
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. Паньчев, 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. Абдулманатов, 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: 01.06.2023).

91. Трасса М7 «Волга» / [Электронный ресурс] // Портал об автодорогах : [сайт]. — URL: <https://avtorosdor.ru/trassa-m7-volga/> (дата обращения: 01.06.2023).

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%7C010

000002651769_2651769%7Ccid%7C60323483%7Cgid%7C4964168835%7Caid%7C12539844521%7Csrc%7Csearch_none&utm_campaign=Y_dinamicheskaya&utm_content=text9_ya&utm_term=&yclid=334201870022082559 (дата обращения: 21.07.2023).

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-atsp-ads1115/> (дата обращения: 21.07.2023).

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: 10.03.2023.)

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: <http://microtensor.ru/catalog/mikroelektronnyye-tenzopreobrazovateli-izbytochnogo-davleniya/serii-mp/MP%201-1A-6...150--...> (дата обращения: 11.08.2023).

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: 20.11.2023).

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: 20.11.2023).

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. . Информация о товаре TRW GDB3450 - Колодки тормозные / [Электронный ресурс] // Автомобильный интернет-портал продажи автозапчастей AUTODOC : [сайт]. — URL: <https://www.autodoc.ru/man/20/part/gdb3450> (дата обращения: 08.10.2023).

122. Колодки тормозные дисковые, комплект "Cotec" TRW GDB3450 / [Электронный ресурс] // Автомобильный интернет-портал продажи автозапчастей EXIST.RU : [сайт]. — URL: <https://exist.ru/Catalog/Goods/18/14/57E075EB> (дата обращения: 08.10.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022619257

Определение коэффициента Кокарева

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), Нуждин Роман Владимирович (RU)*

Заявка № 2022615236

Дата поступления 25 марта 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 19 мая 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

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 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 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: 429646001305136426994430734407
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 сапфиновая 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%

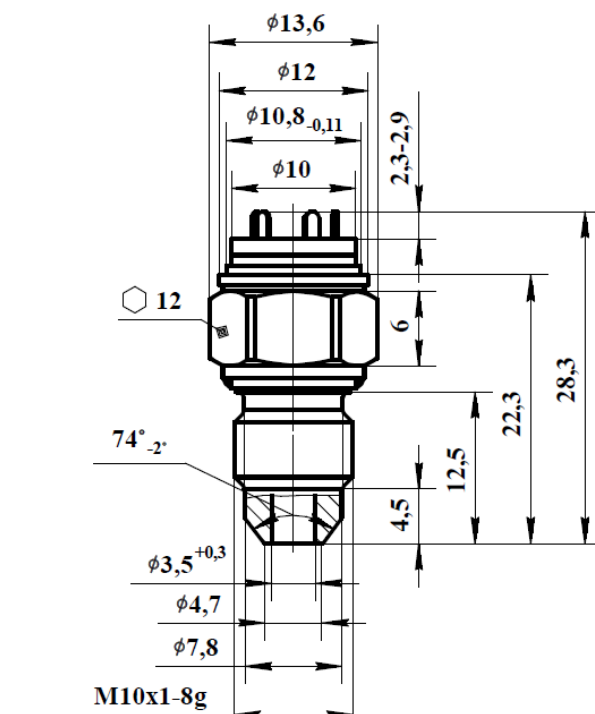
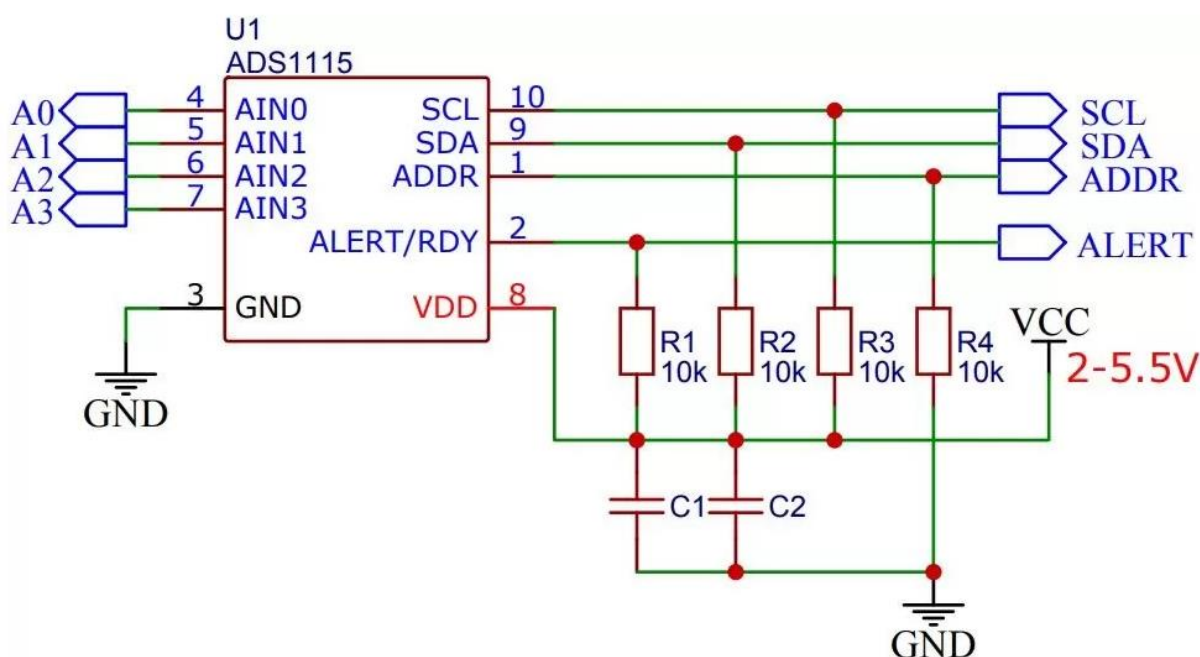


Рисунок Б.1 – Габаритные и присоединительные размеры

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*.

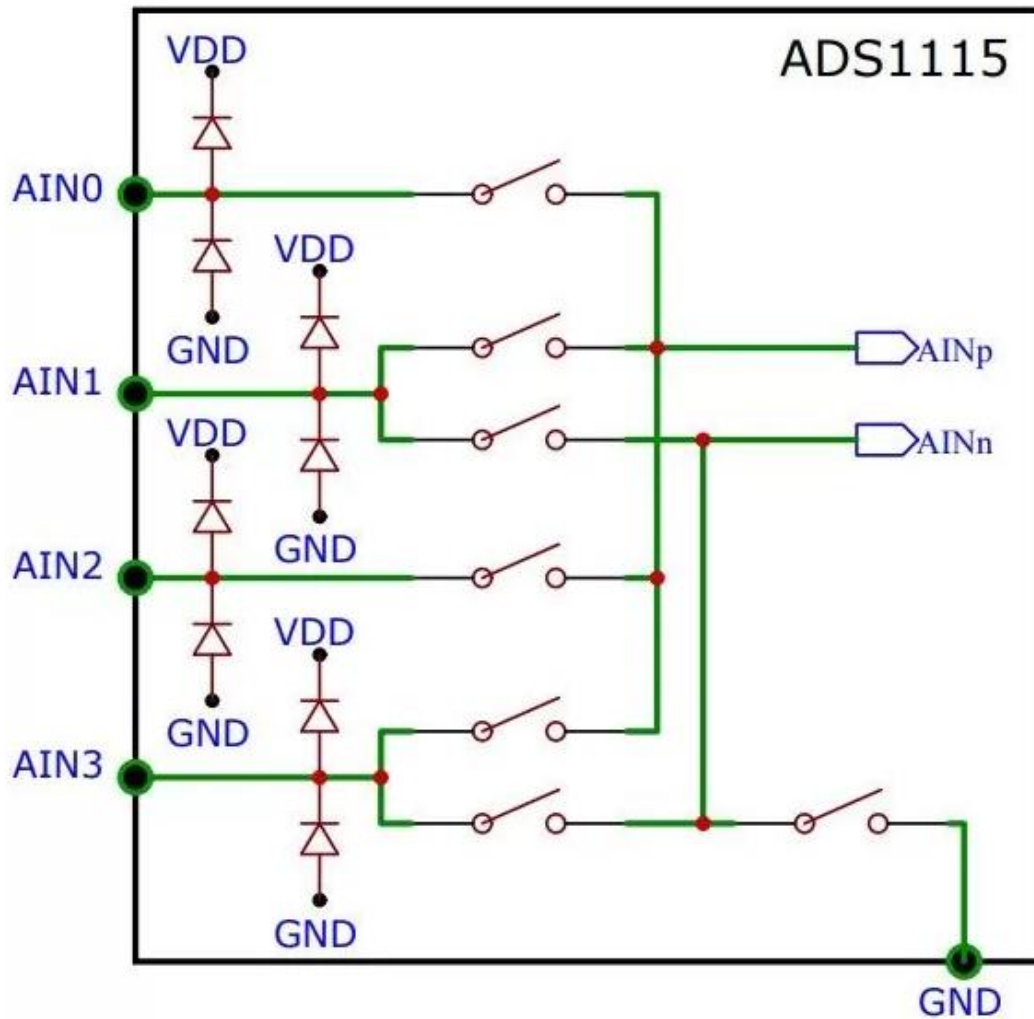
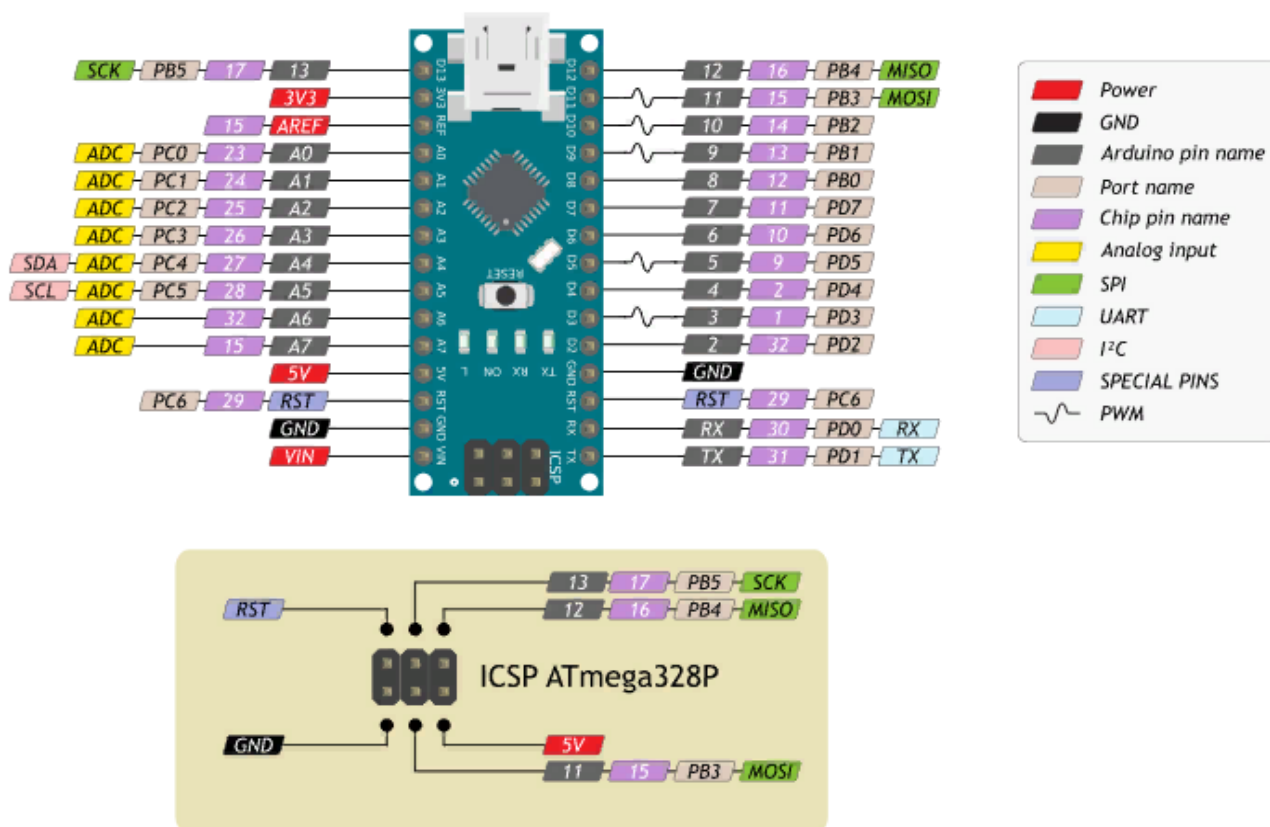


Рисунок В.2 – Структурная схема чипа ADS1115

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*).

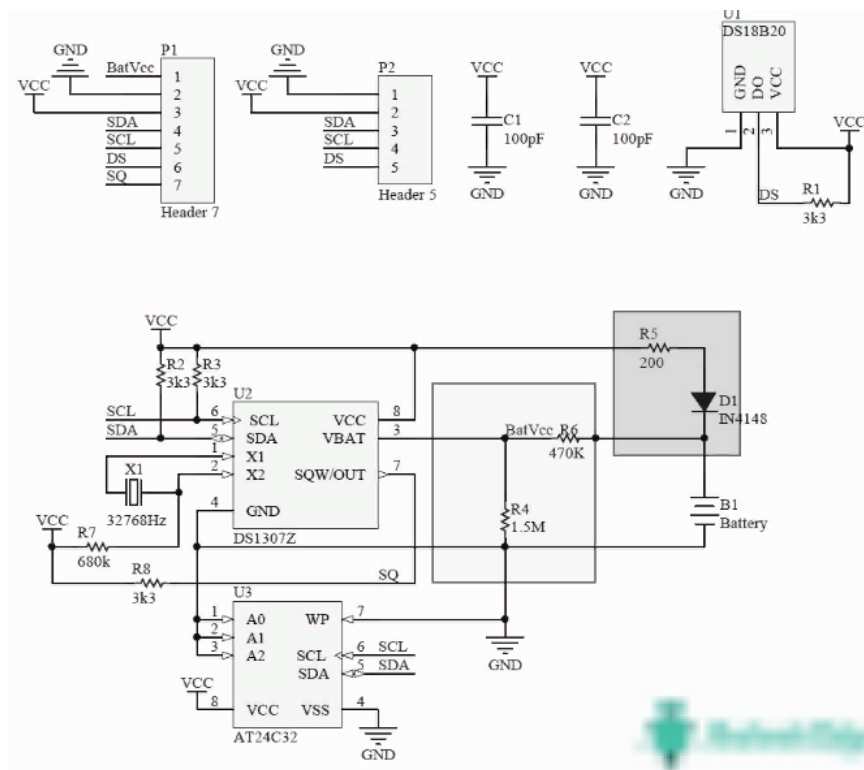
Рисунок В.3 – Внешний вид платы микропроцессора *Arduino Nano*Таблица В.1 – Технические характеристики микропроцессора *Arduino Nano*

№ 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(ed_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 ССД

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

```

import pandas as pd
import os
import math
name_file = '13'
os.getcwd ()
neww_dir = name_file
os.mkdir (neww_dir)
exel_file = name_file + '.csv'
df = pd.read_csv(exel_file, sep = ';')
#df = df.reset_index()
df.describe ()
df.columns
-----
d1, d2, d3 = df.iloc[:,2], df.iloc[:,3], df.iloc[:,4]# инициализация датчиков давления
data, time = df.iloc[:,5], df.iloc[:,6]# инициализация даты и времени
sp = df.iloc[:,0] # инициализация скорости
-----
# Расчет времени
cont_vr =0
vr_set=set()
for stroka in time:
    #print(stroka)
    vrem =int (stroka.split(':')[1]) # выбираю секунды
    cont_vr = (vrem + cont_vr) # складываю секунды
    vse_vr =round (cont_vr/60/5) # определяю 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(a)')
-----
# Количество дней, если запись идет только при наличии давления в приводе
day, z, day_1 =1, 0, 0
day_1 = [] num_d0 = data[0].split('-')[0] # определяю начальную дату, с которой
буду сравнивать последующие
for i in range (0, len (data)):
    num_d = data[i].split('-')[0] # определяю дату каждой строки (i)
    z +=1
    if num_d != num_d0:
        day_1 += 1
        day +=1
        day_1.append((data[i-1], z-1, (f'{round((z-1)/5/60,2)}мин')))
        z =0
        num_d0 = data[i].split('-')[0]
day_1.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_1}')
-----
# Количество нажатий и время работы ТорС
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]) # определяю время (сек) текущее (e)
    ezd2 =int (time[e+1].split(':')[2]) # определяю время (сек) следующее (e+1)
    #print (ezd1, ezd2)

```

```

e_rezult = ezd2 - ezd1 #определяю разницу времени между нажатиями
#print(e_rezult)
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_e +=1 #счетчик нажатий
    #print(time[e], coun_e)
    if coun_e ==1: # нахожу 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]) # нахожу значение давления первого датчика
    d2_0 = list (d2[0:e+1]) # нахожу значение давления второго датчика
    d3_0 =list (d3[0:e+1]) # нахожу значение давления третьего датчика
    coun0 = 0 # обнуляю счетчик для определения начала времени
последующих торможений
    coun00 = 1 # обнуляю (1) счетчик для расчета времени торможения
    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)
    vrem_e =round((coun00 * ch), 1) #время торможения (сек)
    #print(coun0, coun00, vrem_e)
    coun0 = 0
    coun00 = 1
    vrem += vrem_e
    ezd_list.append(f'{coun_e}-{data[e]} {time00} : {time01} ({vrem_e}
сек)') # создаем лист с данными всех ездов

```

```

vrem_e_list.append(vrem_e) # список с длительностью торможения
else:
coun0 +=1
coun00 +=1
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)
-----
# Количество нажатий и время работы TopC. 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
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]) # определяю время (сек) текущее (e)
    ezd2 = int (time[e+1].split(':')[2]) # определяю время (сек) следующее (e+1)
    e_result = ezd2 - ezd1 #определяю разницу времени между нажатиями
    d1_t00 = d1_t00 + (d1[e],) #собираю 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],)
    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) #формирую список с количеством нажатий
    if coun == 1: # нахожу 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,) # формирую
        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 # обнуляю счетчик для определения начала времени
        последующих торможений
        coun00 = 1 # обнуляю (1) счетчик для расчета времени
        торможения
    else: # следующие нажатия
        start_t.append (time[(e - coun0)]) # формирую список с началом
        торможения

```



```

stop_t.append(time[e]) # формирую список с окончаниями
торможения (сек)
#print(time00, time01, coun_e)
time_t.append(round ((coun00 * ch), 1)) # формирую 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)
-----
# Нахожу количество притормаживаний 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)
-----

time_tre = tuple () # нахожу время трения
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))
-----

speed_st, speed_end = tuple (), tuple ()# нахожу начальную и конечную скорость
торможения
for i in speed:
    speed_st = speed_st + (i[0],)
    count =0
    for g in range (len (i)):
        if i[g] > 0:

```

```

        count += 1
    if i[g] >=0:
        speed_end = speed_end + (i[g-1],)
        break
#print(speed_end)
#print(len(speed_end))
-----
# Нахожу замедление
zamedlenie = tuple ()
    for i in range (len (speed)):
        if time_tre[i] !=0:
            count_zam =round (((speed_st[i] *1000) /3600) / time_tre[i], 2)
            zamedlenie = zamedlenie + (count_zam,)
        else:
            count_zam = 0
            zamedlenie = zamedlenie + (count_zam,)
print (len (zamedlenie))
print (max (zamedlenie))
-----
# Нахожу 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))
-----
# Нахожу путь трения
put_tre = tuple ()

```

```

for i in range (len (speed)):
    if time_tre[i] >0:
        count_put_tre =round ((delta_sp[i]*1000/3600) * 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))
-----

# Нахожу среднее давление трения
dav_tor = 40
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))
-----

# Нахожу работу трения
b_1, b_2 = 2.6, 0.7
job_tre, job_tre_1, job_tre_2, job_koef = tuple (), tuple (), tuple (), tuple ()
for i in range (len (speed)):
    job_1 = round (dav_avg[i] * b_1 * delta_sp[i] * time_tre[i] / 2/1000, 2)
    job_2 = round (dav_avg[i] * b_2 * delta_sp[i] * time_tre[i] /2/ 1000, 2)
    job = abs (job_1 + job_2)
    job_tre_1 = job_tre_1 + (job_1,)
    job_tre_2 = job_tre_2 + (job_2,)

```

```

    job_tre = job_tre + (job,)
print (len (job_tre_2))
print (max (job_tre))
-----
#for i in range (len(speed)):
    # print(job_tre_1[i]/job_tre_2[i])
d_dict = {'№ нажатия': coun_t,
          'Дата': data_t,
          'Начало': start_t,
          'Конец': stop_t,
          'Время торможения': time_t,
          'Dat1' : d1_t1,
          'Скорость': speed }
speed_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, км/ч': speed_st,
              'Скорость конца торможения, км/ч': speed_end,
              'Разница скорости, км/ч': delta_sp,
              'Замедление, м/с2': zamedlenie,
              'Путь трения, м': put_tre,
              'Среднее давление, МПа: dav_avg,
              'Работа трения перед, кДж': job_tre_1,
              'Работа трения зад, кДж': job_tre_2,
              'Работа трения, кДж': job_tre }

```

```
d_df_1 = pd.DataFrame(d_dict)
d_df_1
-----
# Сохраняю датафреймы в эксель
#d_df_1.to_excel(f'{name_file}\dat1.xlsx', sheet_name = 'dat', index = False)
sp_df.to_excel(f'{name_file}\speed_1.xlsx', sheet_name = 'speed', index = False)
df_tor = pd.DataFrame(speed_dict)
df_tor.describe()
df_tor1 = df_tor.describe()
df_tor1
df_tor1.to_excel(f'{name_file}\speed_describe.xlsx', sheet_name='speed', index = False)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Значения геометрических параметров элементов ТопС в период эксперимента

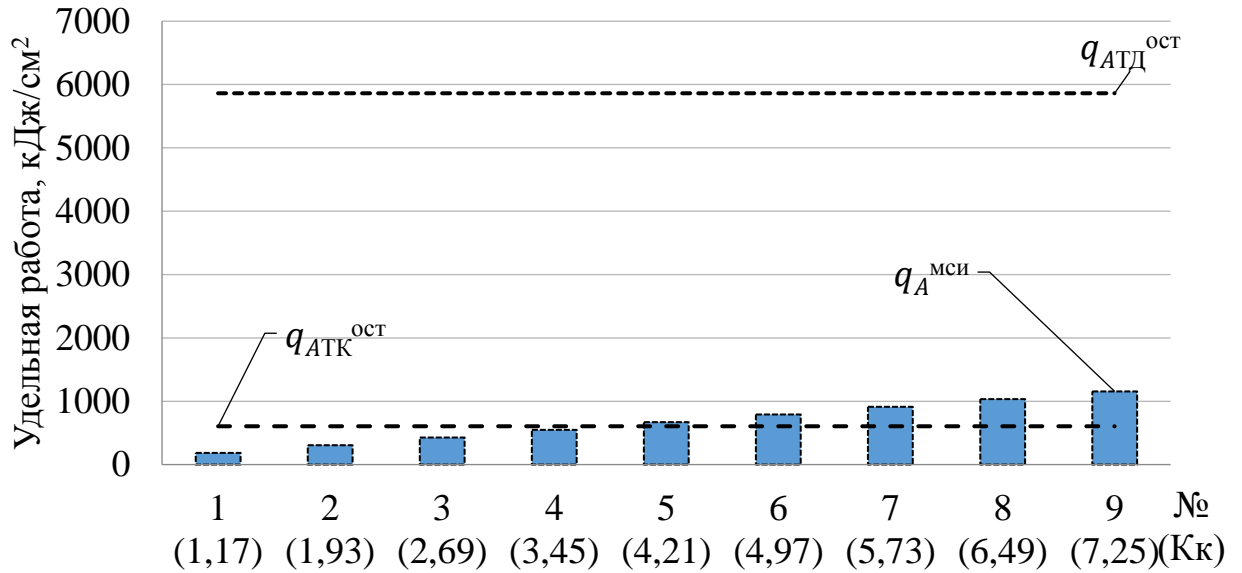
Колесо	Контрольные точки	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км		Износ, мм	Пробег, км	
		131824	154061		131824	154061		131824	154061		131824	154061
		Тормозные колодки						Тормозной диск				
Внутренняя				Внешняя				Толщина			Биение	
Переднее левое	1	17,50	13,63	3,87	17,50	13,45	4,05	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

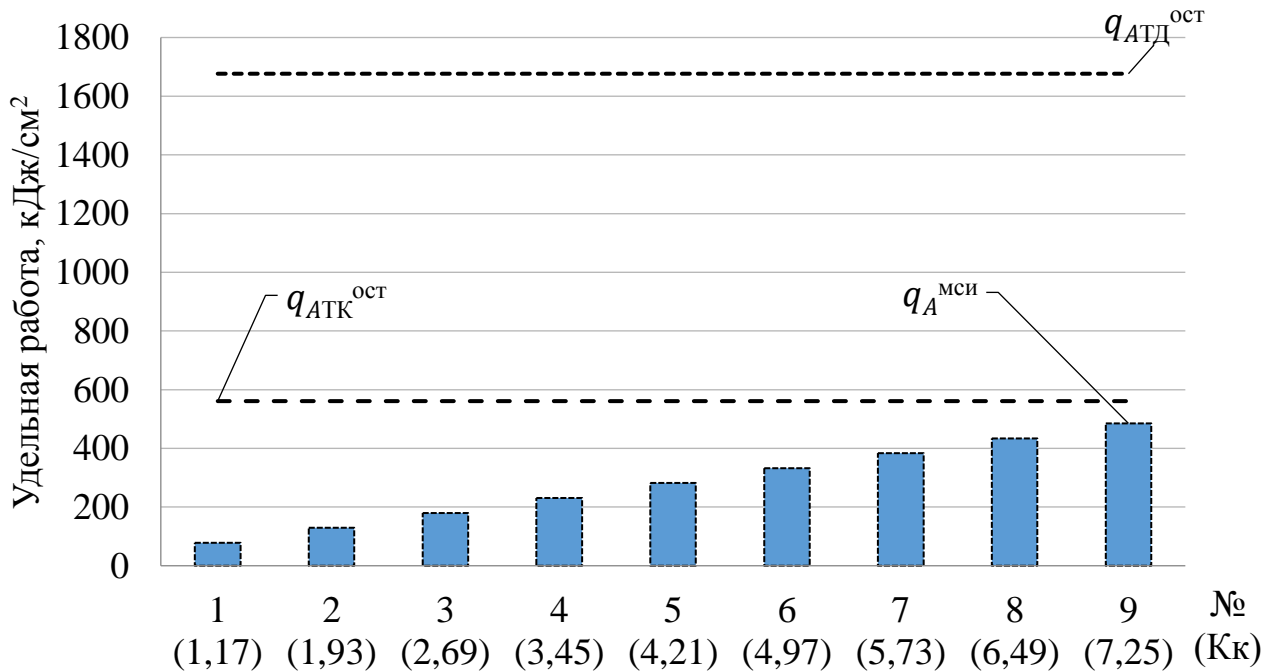
(справочное)

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	
Диагностический параметра (K_k)		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.		3611								
Удельная стоимость ТК $q_{C_{к1}}^{НОМ}$, руб./мм		206,34								
Удельная межсервисная работа $q_{A1}^{МСИ}$, кДж/см ²		79,14	130,54	181,95	233,36	284,76	336,17	387,57	438,98	490,39
Удельная остаточная работа $q_{A1}^{ОСТ}$, кДж/см ²		580,56	580,56	580,56	580,56	580,56	580,56	580,56	580,56	580,56
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 \mathcal{E}_1 , руб.		391,26			-		-		-	
Стоимость ТК $C_{к2}$, руб.		3015								
Удельная стоимость ТК $q_{C_{к2}}^{НОМ}$, руб./мм		182,73								
Удельная межсервисная работа $q_{A2}^{МСИ}$, кДж/см ²		33,06	54,53	76,00	97,48	118,95	140,42	161,90	183,37	204,84
Удельная остаточная работа $q_{A2}^{ОСТ}$, кДж/см ²		574,00	574,00	574,00	574,00	574,00	574,00	574,00	574,00	574,00
Номинальное количество технических обслуживаний $N_{НОМ2}^{ТО}$, ед.		17,36	10,53	7,55	5,89	4,83	4,09	3,55	3,13	2,80
Износ за межсервисный интервал $U_2^{ТО}$, мм		0,55	0,90	1,26	1,61	1,97	2,32	2,68	3,03	3,39
Оставшееся кол-во ТО $N_{ОСТ2}^{ТО}$, ед.		14,36	7,53	4,55	2,89	1,83	1,09	-	-	-
Экономическая эффективность \mathcal{E}_2 , руб.		164,91			327,26		424,68		-	

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. Расстопчина 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

«15» декабря 2023г.



АКТ

Внедрения результатов диссертационного исследования «Обеспечение работоспособности тормозной системы с гидравлическим приводом легковых автомобилей на примере KIA CEED» соискателя Кокарева О.П.

В результате выполнения диссертационного исследования соискателем Кокаревым О.П. на тему «Обеспечение работоспособности тормозной системы с гидравлическим приводом легковых автомобилей на примере KIA CEED» предложен новый подход к проведению технического обслуживания автомобилей категории М1 на примере KIA CEED. Разработанные методики оперативной оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса тормозных колодок и тормозных дисков способствует обеспечению работоспособности тормозной системы за счет более полного использования ресурса тормозных колодок и тормозных дисков.

Комиссия в составе:

Аскерова В.М. – заместителя директора;
 Миронова А. Е. – 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 категории М1.

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

Заместитель директора

Руководитель СТОА

Технический эксперт

/Аскеров В.М./

/Миронов А.Е./

/Юрастов В.В./