

На правах рукописи



КОКАРЕВ ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

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

Специальность 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ФГБОУ ВО ВлГУ).

Научный
руководитель:

Кириллов Александр Геннадьевич
кандидат технических наук, доцент

Официальные
оппоненты:

Гребенников Сергей Александрович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
доцент кафедры «Организация перевозок,
безопасность движения и сервис автомобилей»;

Ломакин Денис Олегович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева», и.о. зав.
кафедрой сервиса и ремонта машин;

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»**

Защита состоится 23 апреля 2026г. в 11ч.00мин. на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орёл, пл. Каменская, д.1.

Автореферат разослан «__» _____ 2026г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://vak.gisnauka.ru/adverts-list/advert>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экземплярах направлять в диссертационный совет 99.2.032.03 по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, тел.: +79606476660, e-mail: srmostu@mail.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета, канд. техн.
наук, доцент



Васильева В.В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

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

В трудах рассматривались вопросы общей эффективности тормозной системы по нормативным показателям, но не исследовались вопросы, посвященные оценке эксплуатационной надежности отдельных конструктивных элементов ТорС, прогнозированию их остаточного ресурса, в частности исполнительных элементов колесных тормозных механизмов ТК и ТД. Результаты проведенных ранее исследований существенно улучшили методы диагностирования ТорС на стендах с

беговыми барабанами и обозначили дальнейшие основные направления исследований в области эксплуатационной надежности TopC.

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

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ безопасности дорожного движения с учетом фактора технического состояния легковых автомобилей.

2. Исследовать интенсивность работы тормозной системы в реальных условиях эксплуатации автомобиля.

3. Определить критерий интенсивности работы тормозной системы и его значения.

3. Выполнить анализ экспериментальных данных параметров тормозной системы в процессе торможения и провести их статистическую обработку.

4. Разработать математическую модель рабочего процесса в тормозном механизме с применением метода энергетического анализа процесса торможения.

5. Разработать методику прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы и провести оценку ее эффективности.

Объектом исследования – является тормозная система легковых автомобилей.

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

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

Допущения и ограничения. Возможность применения методики прогнозирования остаточного ресурса допускается для транспортных средств категорий М1 с комплектацией TopC гидравлическим приводом, антиблокировочной системой, задними дисковыми тормозными механизмами и наличием механической коробкой передач в трансмиссии.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. установлена зависимость интенсивности работы тормозной системы автомобиля от условий движения «Город» и

«Трасса», количественная оценка соотношения которых легла в основу дополнительной классификации условий движения;

2. предложены методический подход, алгоритм и программно-инструментальная среда для получения статистических данных энергонагруженности тормозного механизма при торможении в реальных условиях;

3. определены зависимости времени и пути торможения от действующих факторов в процессе торможения на основании регрессионного анализа статистических данных энергонагруженности тормозного механизма;

4. установлено соответствие экспоненциальному закону распределения циклового значения работы трения в тормозном механизме при торможении;

5. получены математические модели для оценки удельной работы трения в тормозном механизме с учетом значений структурных параметров тормозных колодок и дисков, периодичности ТО и интенсивности работы тормозной системы;

6. предложена методика прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы на основе разработанных математических моделей, обеспечивающая требуемый уровень безотказности системы.

Положения, выносимые на защиту:

1. зависимость интенсивности работы тормозной системы от условий эксплуатации, характеризуемых предложенным критерием - коэффициентом условий движения;

2. программно-инструментальная среда для получения статистических данных энергонагруженности тормозного механизма при торможении в реальных условиях эксплуатации, базирующаяся на предложенных методическом подходе и алгоритме;

3. математические модели, описывающие зависимости времени и пути торможения от действующих факторов в процессе торможения;

4. экспоненциальное распределение величины работы трения за рабочий цикл тормозной системы;

5. математические модели для оценки удельной работы трения в тормозном механизме с учетом значений структурных параметров тормозных колодок, тормозных дисков, периодичности ТО и условий движения;

6. методика прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозного механизма на основе метода энергетического анализа процесса торможения с учетом характеристик элементов тормозной системы, условий движения по дополнительной классификации условий движения.

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

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

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

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: п.11 «Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем», п.12 «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации», п. 13 «Жизненный цикл автотранспортных средств, рациональные сроки службы автомобилей и их элементов, технологии их утилизации, инфраструктура по утилизации АТС и отходов их эксплуатации (изношенных шин, отработанных аккумуляторов, нефтепродуктов, спецжидкостей)».

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования применяются в учебном процессе кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управления качеством»

ВлГУ и в ООО «АВТО-МОТОРС» (официальный дилер по реализации, сервисному и гарантийному обслуживанию автомобилей марки КИА в г. Владимир).

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

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

Апробация результатов исследований. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на: II Международной научной конференции молодых ученых «Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения», г. Гродно, Республика Беларусь, 25 мая 2018 г., международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств», г. Владимир (2018, 2021, 2022, 2023), LXXVIII студенческой международной научно-практической конференции. №6(77), г. Новосибирск, июнь 2019 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., международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», г. Орел (2023, 2024, 2025), 83 международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, г. Москва, 27 января – 31 января 2025 года.

Публикации. Всего по теме исследования автором опубликовано 15 статей, 5 из которых опубликованы в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Получено 2 свидетельства

о государственной регистрации права интеллектуальной собственности (программы ЭВМ). Получен патент на полезную модель «Тормозной стенд для отладки системы сбора данных при торможении».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, приложений. Работа включает 33 таблицы, 74 рисунка. Список литературы состоит из 122 источников. Диссертационная работа представлена в виде рукописи, выполненной на 173 страницах машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, научная новизна, задачи и методы исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации.

В первой главе рассмотрена безопасность дорожного движения в России и за рубежом. Проведен анализ ДТП, связанных с отказами ТопС. Проанализировано влияние физических процессов на техническое состояния элементов тормозной системы. Рассмотрены основные неисправности и причины отказов ТопС. На основании статистической информации определены элементы, лимитирующие надежность ТопС.

Во второй главе рассмотрены методы диагностирования тормозной системы автомобиля, которые оценивают эффективность работы тормозной системы в целом, но не предоставляют информации о техническом состоянии ее элементов. Встроенные средства контроля технического состояния ТМ ориентированы только на ТК и информируют о моменте, когда уже необходимы технические воздействия, что затрудняет организационные процессы в работе автосервисных предприятий и создает определенные трудности для автовладельцев.

В автомобилях корейских автопроизводителей *Hyundai/Kia* применяются дисковые тормозные механизмы с однопоршневыми суппортами. Тормозные колодки для дисковых ТМ изготавливаются из различных материалов и маркируются в соответствии со стандартами *ECE R-90* и *SAE J661*, обозначающим соответствие требованиям качества. В маркировке присутствуют буквенные обозначения (*GF, CC* и прочие), отражающие значение коэффициента трения μ в зависимости от материалов изготовления ($C = 0,15; D = 0,15 - 0,25; E = 0,25 - 0,35; F = 0,35 - 0,45; G = 0,45 - 0,55; H = 0,55 - 0,8$), который оказывает влияние на их ресурс. Передние и задние ТД производятся из

чугуна, имеющий установленное значение теплопроводности и твердости, которые соответствуют требованиям международного стандарта *SAE J431*.

При движении автомобиль обладает кинетической энергией, которая гасится ТормС методом теплонагруженного преобразования в ТМ. Метод теплонагруженного преобразования основан на взаимодействии ТК с ТД. При их контакте тратится значительная часть энергии на отделение микрочастиц материала с поверхности, за счет чего толщина фрикционного материала элементов ТМ уменьшается. ТД совершают вращательное движение с угловой скоростью равной угловой скорости колеса ω и пропорциональной поступательной скорости движения автомобиля v_a . При силовом взаимодействии элементов ТМ в процессе трения происходит диссипация энергии поступательного движения автомобиля через выполненную работу трения $dA_{\text{тр}}$:

$$dA_{\text{тр}i} = pB_i dS, \quad (1)$$

где p – давление в приводе тормозного механизма, kH/m^2 ; B_i – комплексный параметр тормозного механизма, m^2 ; dS – путь автомобиля за время трения пары колодка-диск, m .

Комплексный параметр тормозного механизма i -ой оси оценивается значениями конструктивных параметров элементов ТМ.

$$B_i = F_{\text{ци}} \frac{r_{\text{тп}i}}{r_{\text{д}}} K_3 \eta, \quad (2)$$

где $F_{\text{ци}}$ – площадь цилиндра тормозного суппорта i -ой оси, m^2 ; $r_{\text{тп}i}$ – средний радиус трения тормозных дисков и колодок i -ой оси, m ; $r_{\text{д}}$ – динамический радиус колеса, m ; K_3 – коэффициент эффективности дисковых тормозных механизмов, принимается равным коэффициенту трения μ ; η – коэффициент полезного действия тормозного механизма.

Путь автомобиля dS в процессе торможения формируется в условиях изменения скорости $v(t)$ за время торможения t . Изменение $v(t)$ оценивается замедлением $j(t)$ автомобиля $j(t) = v'(t)$. Во

временном интервале процесса торможения замедление $j(t)$ – величина переменная до момента стабилизации его значения на уровне $j_{\text{уст}}$ (рис. 1).

Изменение скорости при замедлении $j(t)$ можно найти:

$$v(t) = v_0 \pm j(t)t, \quad (3)$$

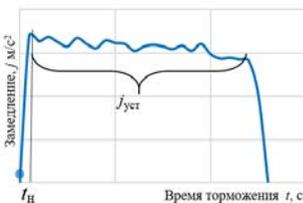


Рисунок 1 – Зависимость замедления от времени торможения

где v_0 – начальная скорость при торможении, м/с; $j(t)$ – замедление при торможении в момент времени t . Тогда путь автомобиля S за время торможения t будет зависеть от изменения скорости v в каждый момент времени t :

$$\Delta S = \int_0^t v(t)dt = \int_0^t (v_0 \pm j(t)t)dt. \quad (4)$$

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

$$\Delta A_{\text{тпи}} = pB_i \int_0^t (v_0 \pm j(t)t)dt = pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уср}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) \quad (5)$$

Приращение температуры тормозного механизма при торможении (без учета теплоотдачи в окружающую среду):

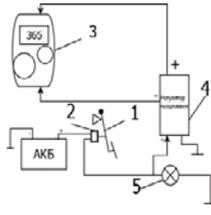
$$\Delta T_i = \frac{A_{\text{тпи}}}{2c_i m_i}, \quad (6)$$

где c_i – теплоемкость материала тормозного диска, кДж/(кг °С); m_i – масса тормозного диска, кг. При этом, в эксплуатационных режимах служебного торможения температура рабочих поверхностей ТД и ТК не превышает условий, влекущих изменения зависимости, приведенной на рис. 1. Уровень энергонагруженности ТМ существенно влияет на изменение значения структурного параметра (толщины) ТД и ТК. От значения структурного параметра ТД и ТК зависит ресурс ТМ при эксплуатации в разных условиях.

В третьей главе рассмотрены как условия эксплуатации автомобилей, так и категории дорог по ГОСТ Р 52398-2005, на которых проводились исследования. Во Владимирской области расположены автомобильные дороги общего пользования различного значения, общая



а)



б)

Рисунок 2 – Внешний вид а) и схема подключения счетчика б): 1 – педаль тормоза, 2 – концевик педали тормоза, 3 – счетчик, 4 – регулятор напряжения, 5 – лампа стоп-сигнала

протяженность которых превышает 5000 км (от I до V категории). Для оценки интенсивности работы ТопС было применено специальное техническое устройство – счетчик рабочих циклов (р.ц.), интегрированный в электрическую цепь ТопС на исследуемом автомобиле *Kia ceed* (рис. 2). Удельное значение

интенсивности работы ТорС определяется:

$$q = N/L, [\text{р.ц./км}] \quad (7)$$

где N – количество рабочих циклов ТорС, р.ц.; L – пробег, км.

Оценка удельного значения рабочих циклов ТорС осуществлялась на дорогах I и II категорий условий эксплуатации. Анализ результатов интенсивности работы ТорС с учетом категорий дорог показывает, что существенное отличие удельных значений интенсивности работы ТорС заметно только между I и V категорией дорог (таблица 1).

Таблица 1 – Интенсивность работы ТорС на дорогах

Категория дорог	Идентификационный номер дороги	Интенсивность работы ТорС, $q_{N_i}^{cp}$
I	М-7 «Волга», Р - 132, 24К-155, 24К-346,	0,1 р.ц./км
II	17 Р - 1, 24К-090, 24К-111,	0,1 р.ц./км
III	17 А - 2, 17 К - 2, 17 К - 3, Н-036, Н-106	0,4 р.ц./км
IV	17 К - 12, 17 К - 17, К-081,	1,6 р.ц./км
V	17 Н -370, 17 Н -427, Н-168	6,8 р.ц./км

С учетом условий эксплуатации и интенсивности работы ТорС предложены конкретизированные условия движения автомобиля: «Город» и «Трасса», которые опираются на «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (рис.3).

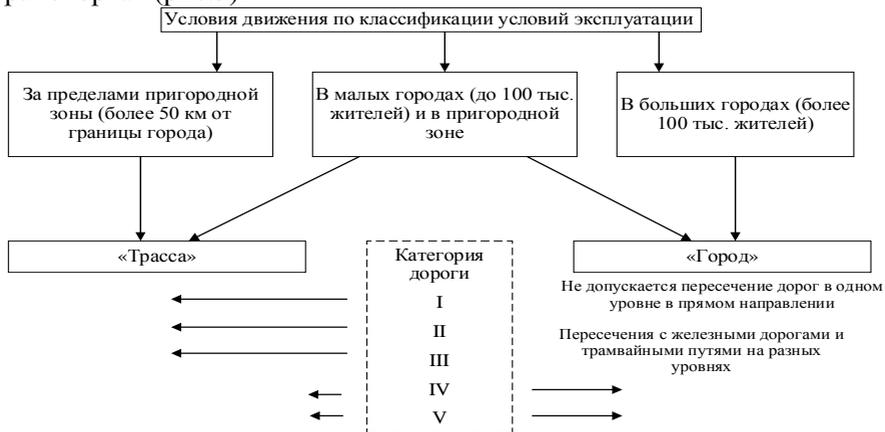


Рисунок 3 – Конкретизация условий движения «Город» и «Трасса»

К условиям «Город» предлагается относить эксплуатацию в административных границах населенного пункта, обозначенного

дорожными знаками белого фона и численностью более 1000 человек. К условиям «Трасса» - эксплуатацию по всем региональным, федеральным трассам, скоростным дорогам и пр. за пределами административных границ населенных пунктов.

За период наблюдения на интервале пробега более 25000 км было совершено около 120000 р.ц., что позволило определить зависимость интенсивности работы ТопС от предложенных условий движения, результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения интенсивности работы ТопС

Условие движения	Наработка		Количество срабатываний ТопС		Интенсивность работы ТопС q_{Ni} , р.ц./км
	L_i , км	%	N_i , р.ц.	%	
«Город»	14356	56,78	114954	96,29	8,01
«Трасса»	10927	43,22	4426	3,71	0,41
Итого	25283	100	119380	100	-

Для оценки интенсивности работы ТопС с разным количественным соотношением условий «Город» и «Трасса» введен специальный критерий – коэффициент условий движения $K_{уд}$, который определяется количеством рабочих циклов ТопС и наработкой автомобиля в соответствии с предложенным выражением (7). Обработывая, полученные в реальных условиях эксплуатации значения общего количества рабочих циклов ТопС $N = 119380$ и наработку $L = 25283$ км, получим: $K_{уд} = \frac{N}{L} = \frac{119380}{25283} = 4,72$ р.ц./км. Введенный коэффициент условий движения $K_{уд}$ показывает интенсивность работы ТопС с соотношением условий движения автомобиля в разных пропорциях. Оценка значений критерия при заданных количественных соотношениях условий движения осуществлялась на основе результатов

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

где L – принятая наработка, км;
 i – принятый процент пробега в режиме «Город», %.

работы ТопС по предложенной системе уравнений (8), которая легла в основу программы ЭВМ для определения значений критерия $K_{уд}$.

Проведенные исследования показали, что средняя наработка на отказ ТК равна 55,65 тыс. км при уровне безотказной работы 0,95. Это соответствует соотношению условий движения автомобиля в

пропорции: 50% в условиях «Город» и 50% в условиях «Трасса». Значение критерия $K_{уд}=4,21$. В случае, когда эксплуатация в условиях «Город» будет преобладать над эксплуатацией в условиях «Трасса», значение $K_{уд}$ будет больше 4,21. Вероятность отказа ТормС превысит значение 0,05, что недопустимо по требованиям к надежности узлов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля (рис.4). Аналогичная схема оценки вероятности отказа применима и для ТД, средняя наработка на отказ которого составила 178 тыс. км с учетом вышеописанных соотношений условий движения.

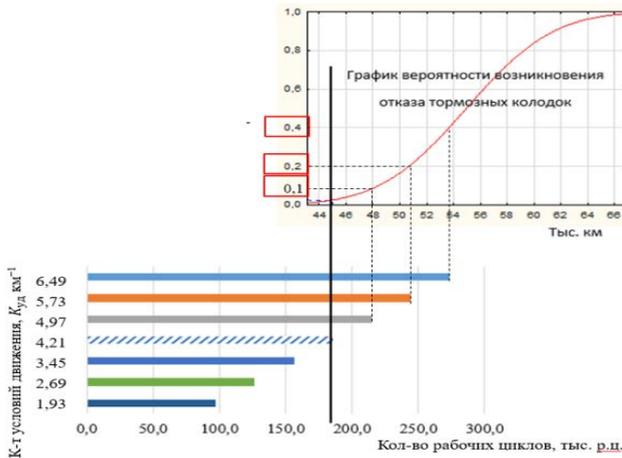


Рисунок 4 – Схема оценки вероятности отказа ТК

Установлено, что для ТД и ТК информации о количестве рабочих циклов N недостаточно для прогнозирования их остаточного ресурса. Безотказное состояние ТД и ТК зависит от их структурного параметра – остаточной толщиной рабочего тела. Поэтому предлагается для оценки безотказного состояния ТД и ТК учитывать следующие параметры: - изменение скорости автомобиля в процессе торможения, $\Delta v(t)$; - силу, действующую на тормозную колодку, зависящей от давления тормозной жидкости в гидравлическом приводе p ; - время, в течение которого осуществлялось трение пары колодка-диск, $t_{тр}$. Методический подход для получения значений указанных параметров опирается на применение разработанного программно-технического комплекса сбора данных (КСД) при торможении. С целью снижения трудоемкости дорожных испытаний был разработан лабораторный тормозной стенд, на котором

выполнялась тарировка датчиков и отладка работы КСД по разработанному алгоритму (рис. 5).

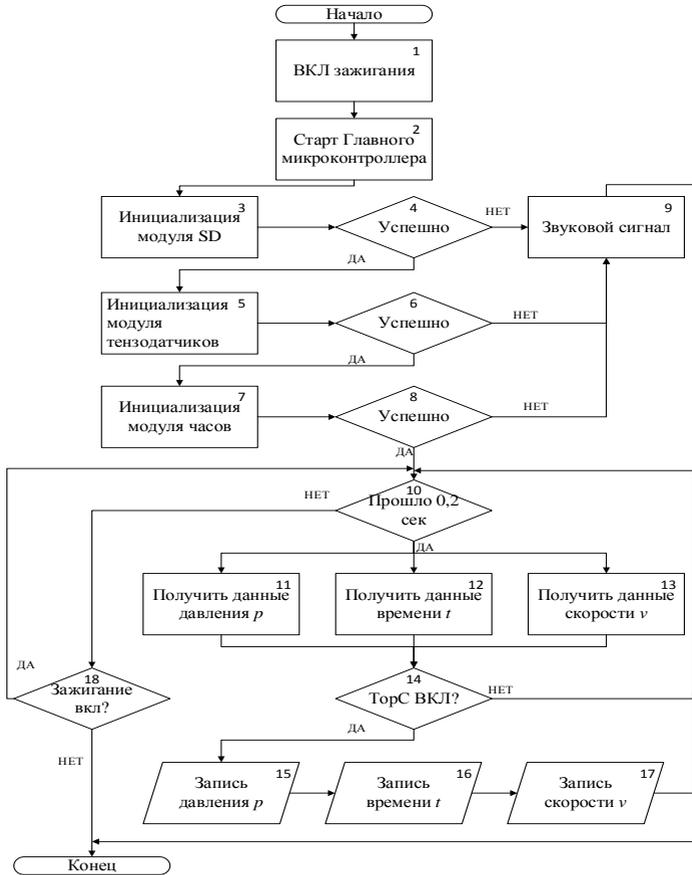


Рисунок 5 – Алгоритм получения статистических данных

Разработанный стенд защищен патентом на полезную модель. Настроенный КСД был интегрирован на автомобиль для получения значений параметров при торможении в реальных условиях эксплуатации. Перед началом исследования процесса торможения было выполнено ТО ТорС в соответствии с НТД и осуществлен контроль параметров ее элементов с использованием контрольно-измерительных приборов по ГОСТ Р 8.674-2009. В ходе проведения экспериментального исследования значения фиксировались в цифровом коде электронного сигнала, которые потом преобразовывались программным методом в значения в соответствии с принятой системой измерения (p -кН/м², v -м/с,

t-с). Всего за период наблюдения наработки в 15700 км с применением КСД было зафиксировано более 15 млн записей параметров.

В четвертой главе определены характеристики параметров процесса торможения. Для обработки значений электрических сигналов и детализации каждого параметра торможения была использована среда программирования на языке *Python*. Обработанные значения параметров при торможении в реальных условиях были проанализированы с помощью пакета программного продукта *Statistica 13.0*. По результатам обработки экспериментальных данных определена зависимость времени трения в тормозном механизме с учетом действующих факторов (путь за время торможения - м; давление тормозной жидкости - кН/м²), математическая модель которой имеет вид:

$$t_{\text{тр}} = 0,6279 + 0,0571x_1 - 0,0007y_1 - 0,000061x_1^2 + 0,000027x_1y_1 + 0,00000013y_1^2, \quad (9)$$

где x_1 – путь автомобиля за время трения; y_1 – давление тормозной жидкости. Коэффициент детерминации модели (9) имеет значение $R^2 = 0,83$, что позволяет считать ее значимой.

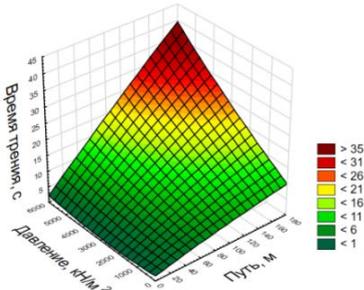


Рисунок 6 – Время трения параметров в процессе торможения со временем трения до 3,6 с располагаются в зеленой зоне, не достигая критической красной зоны. Зависимость пути, за который произошло изменение скорости при торможении с учетом факторов (время трения - с; давление тормозной жидкости - кН/м²) описывается математической моделью:

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

где x_2 – давление тормозной жидкости; y_2 – время трения. Коэффициент детерминации модели имеет значение $R^2 = 0,82$, что свидетельствует о значимости выражения (10). Графическая интерпретация выражения 10 представлена на рисунке 7.

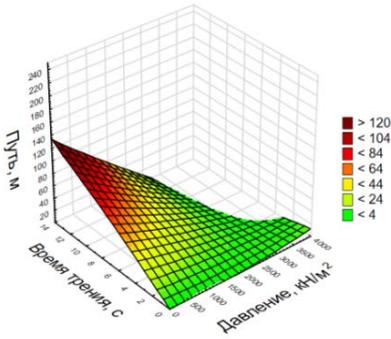


Рисунок 7 – Путь трения

Результат обработки экспериментальных данных показывает, что работа трения за рабочий цикл ТорС распределяется по экспоненциальному закону (рис. 8), функция плотности вероятности которого имеет вид:

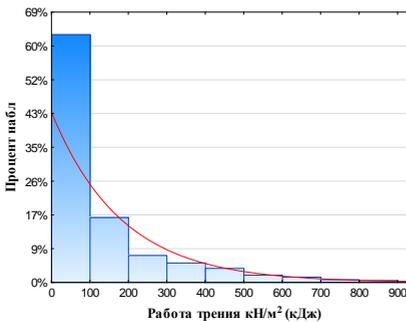


Рисунок 8 – Распределение работы трения за цикл ТорС

В процессе торможения начальная v_0 и конечная v_k скорости могут быть одинаковы (например, торможение с уклона) $v_0 = v_k$. Тогда оценка величины совершаемой работы трения в тормозном механизме при торможении происходит за тормозной путь, который определяется скоростью за каждый интервал времени трения $\Delta t_{\text{тр}}$. В виду того, что конструктивные параметры ТМ передней и задней оси различаются, то целесообразно принимать во внимание удельные значения энергетических характеристик, относящихся к суммарной площади рабочей поверхности накладок ТК по следующим выражениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{Ai} = \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right)}{\sum F_{iH}}, \text{ при } v_0 \neq v_k \\ q_{Ai} = \frac{pB_i v_0 \Delta t_{\text{тр}}}{\sum F_{iH}}, \text{ при } v_0 = v_k, \end{array} \right. \quad (12)$$

Путь оценивается изменением скорости движения автомобиля при торможении. Анализ изменения скорости автомобиля при торможении позволяет сделать вывод, что 75% р.ц. ТорС осуществляется за путь, пройденный автомобилем в процессе торможения, который не превышает 24 м, что соответствует только зеленому цвету шкалы.

Результат обработки

где q_{A1}, q_{A2} – удельная работа трения ТМ передней и задней оси.

В процессе торможения начальная v_0 и конечная v_k скорости могут быть одинаковы (например, торможение с уклона) $v_0 = v_k$. Тогда оценка величины совершаемой работы трения в тормозном механизме при торможении происходит за тормозной путь, который определяется скоростью за каждый интервал времени трения

Полученные в процессе статистического и математического анализа средние значения энергетических характеристик за рабочий цикл ТорС, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения параметров при торможении

Параметр	Ось автомобиля	
	Передняя	Задняя
Работа трения A_i , кДж	100,44	26,59
Удельная работа трения q_{A_i} , кДж/см ²	0,38	0,13
Мощность трения W_i , кВт	32,27	8,54
Удельная мощность трения q_{W_i} , кВт/см ²	0,16	0,04
Приращение температуры нагрева, °С	157	71

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

Удельный износ элементов ТорС определяется по выражению:

$$q_{Ui} = \frac{U_{maxi}}{N}, [\text{мм/р. ц.}] \quad (13)$$

где q_{Ui} – удельный износ элемента ТМ за рабочий цикл i -ой оси автомобиля, U_{max} – максимальное значение линейного износа элемента ТорС i -ой оси автомобиля; N – количество рабочих циклов ТорС.

Энергетическая интенсивность изнашивания J_{qA1} , показывающая значение удельной работы трения для совершения износа 1 мм элемента:

$$J_{qAi} = \frac{q_{Ai}}{q_{Ui}} = \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{\text{тр}} \pm j_{\text{уст}} \frac{\Delta t_{\text{тр}}^2}{2} \right) N}{\sum F_{\text{ин}} U_{\text{maxi}}}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_i v_0 \Delta t_{\text{тр}} N}{\sum F_{\text{ин}} U_{\text{maxi}}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \quad (14)$$

Эксплуатация автомобиля осуществляется с определенной периодичностью ТО (межсервисный интервал - МСИ). МСИ регламентирован заводом-изготовителем и для автомобилей марки *Kia* категории М1, которые эксплуатируются в умеренном климатическом районе, составляет 15000 км. За установленный МСИ $L_{\text{ТО}}$ эксплуатация автомобиля может проходить в смешанных условиях, которые оцениваются в исследовании критерием $K_{\text{уд}}$. Оценка необходимой удельной работы трения $q_{Ai}^{\text{МСИ}}$ в предстоящий МСИ определяется по предложенной математической модели:

$$q_{Ai}^{мси} = \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{тр} \pm j_{уст} \frac{\Delta t_{тр}^2}{2} \right)}{\sum F_{iH}} \cdot L_{ТО} \cdot K_{уд} \quad (15)$$

где $L_{ТО}$ – межсервисный интервал.

Фактическое значение структурных параметров Y_{ϕ} элементов ТопС оценивается при ТО измерительными приборами и учитывается при

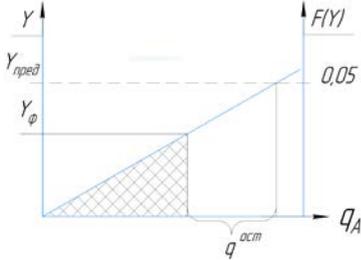


Рисунок 9 - Схема оценки остаточной удельной работы

энергетическом анализе прогноза ресурса элементов с учетом вероятности безотказной работы. Для ТК и ТД установлены предельные значения остаточной толщины $Y_{пред}$, соответствующие требуемому уровню безотказности $F(Y) = 0,05$ (рис.9). Предлагается оценивать остаточную удельную работу в допустимом интервале

безотказной работы по математической модели:

$$q_{Ai}^{ост} = \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{тр} \pm j_{уст} \frac{\Delta t_{тр}^2}{2} \right) N}{\sum F_{iH} U_{maxi}} \cdot (Y_{\phi i} - Y_{пред i}), \quad (16)$$

где $Y_{\phi i}, Y_{пред i}$ – фактическое и предельное значения толщины рабочего тела элемента ТМ i -ой оси автомобиля, мм.

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

$$q_{Ai}^{мси} = \begin{cases} \frac{pB_i \left(v_0 \Delta t_{тр} \pm j_{уст} \frac{\Delta t_{тр}^2}{2} \right) L_{ТО} K_{уд}}{\sum F_{iH}}, & \text{при } v_0 \neq v_k \\ \frac{pB_i v_0 \Delta t_{тр} L_{ТО} K_{уд}}{\sum F_{iH}}, & \text{при } v_0 = v_k \end{cases} \quad (17)$$

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

В процессе диссертационного исследования выдвинуто предложение о дополнительной классификации условий движения (ДКУД) автомобилей: I) Поездки выходного дня; II) Работа-дом-загород; III) Работа – дом; IV) Такси, курьеры и пр. (табл. 4). ДКУД формировалась на основе опыта частных автовладельцев методом социального опроса на различных предприятиях автосервиса.

Таблица 4 – Соотношения условий движения по ДКУД

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

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

Результаты расчета удельных работ трения в ТМ исследуемого автомобиля с учетом ДКУД представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительный анализ работы трения в ТМ

Диагностический параметр	Коэффициент условий движения $K_{уд}$									
	1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25	
Дополнительная классификация условий движения (ДКУД)	I. Поездки выходного дня за город			II. Работа – дом -загород		III. Работа – дом		IV. Такси, курьерские службы и пр.		
Удельная межсервисная работа передних ТМ, $q_{д1}^{МС}$ (кДж/см ²)	6669	11001	15333	19665	23997	28329	32661	36993	41325	
Остаточная удельная работа передних ТК, $q_{д1}^{СТ}$ (кДж/см ²)	24620 ($Y_{\phi} = 11,64$ мм)									
Остаточная удельная работа передних ТД, $q_{д1}^{СТ}$ (кДж/см ²)	69063 ($Y_{\phi} = 22,15$ мм)									
Удельная межсервисная работа задних ТМ, $q_{д2}^{МС}$ (кДж/см ²)	2282	3764	5246	6728	8210	9692	11174	12656	14138	
Остаточная удельная работа задних ТК, $q_{д2}^{СТ}$ (кДж/см ²)	16420 ($Y_{\phi} = 10,92$ мм)									
Остаточная удельная работа задних ТД, $q_{д2}^{СТ}$ (кДж/см ²)	52931 ($Y_{\phi} = 9,76$ мм)									

Сравнение значений $q_{Ai}^{\text{ост}}$ и $q_{Ai}^{\text{мси}}$ даёт основание утверждать, что остаточного ресурса передних ТК будет достаточно для эксплуатации в условиях движения для I и II группы ДКУД. Толщины передних, задних ТД и задних ТК будет достаточно для эксплуатации автомобиля во всех группах ДКУД.

Результаты дополнительного исследования энергонагруженности ТМ на дорогах с разным продольным уклоном отражены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение результатов исследования энергонагруженности ТМ при учете вертикального профиля дороги

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

Анализ значений удельной работы таблицы 6 показывает, что энергонагруженность ТопС на дорогах с продольными углами уклона, на которых реализуется преимущественно равномерное прямолинейное движение, не оказывает существенного влияния на ресурс элементов ТопС. Поэтому методику прогнозирования остаточного ресурса элементов ТопС, основанную на энергетическом анализе, возможно применять в регионах России без горного и гористого рельефа (свыше 1000 м над уровнем моря), т.е. I и II категории условий эксплуатации. Методика прогнозирования остаточного ресурса ТК и ТД, схема алгоритма которой представлена на рисунке 10, способствует реализации полного ресурса ТК и ТД при обеспечении необходимого уровня безотказности всей ТопС, от технического состояния которой в первую очередь зависит безопасность дорожного движения.

На начало 2025 года минимальная стоимость $C_{к1}$ комплекта оригинальных передних тормозных колодок для исследуемого автомобиля с учетом конъюнктуры рынка составляет 7911 руб., а задних $C_{к2} = 5402$ руб. Номинальное значение $Y_{\text{ном1}}$ толщины новых тормозных колодок TRW GDB 3450 составляет 17,5 мм, $Y_{\text{ном2}} = 16,5$ мм, предельное значение $Y_{\text{пред}}$ составляет 7,0 мм.

Для оценки эффективности применения методики прогнозирования остаточного ресурса определим рабочую толщину $Y_{\text{раб}i}$ ТК: $Y_{\text{раб}i} = Y_{\text{ном}i} - Y_{\text{пред}}$. По значениям удельных работ определим

количество (номинальное) ТО $N_{\text{НОМ}}^{\text{ТО}} = q_{\text{Аi}}^{\text{ОСТ}} / q_{\text{Аi}}^{\text{МСИ}}$. Тогда экономическую эффективность Ξ_i найдем по формуле:

$$\Xi_i = (C_{\text{к}} Y_{\text{раб}} L^{\text{ТО}}) / (Y_{\text{НОМ}} N_{\text{НОМ}}^{\text{ТО}} L^{\Gamma}) \quad (18)$$

где L^{Γ} – годовой пробег, км.



Рисунок 10 – Схема методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТормС

Анализ результатов расчета экономической эффективности применения методики прогнозирования остаточного ресурса элементов ТормС показывает, что экономия для одного автомобиля при годовом пробеге $L^{\Gamma} = 15000$ км на оригинальных передних и задних тормозных колодках составит в среднем: - при эксплуатации в I группе ДКУД – 1231,5 руб.; - во II группе – 325,8 руб.; - в III группе – 422,78 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований решена научная и практическая задача, связанная с обеспечением требуемого уровня безотказной работы тормозной системы автомобиля на основе предложенных научно-обоснованного

подхода и методике прогнозирования остаточного ресурса, выявленных закономерностях, математических моделях и программных продуктах, позволяющие повысить безопасность эксплуатации автомобилей.

Основные научно-практические результаты исследования заключаются в следующем:

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

2. Установлена зависимость интенсивности работы ТопС автомобиля от условий движения «Город» и «Трасса», которая оценивается количеством рабочих циклов за 1 км пробега. Экспериментальные исследования проводились на дорогах I и II категорий условий эксплуатации с применением специального технического устройства - счетчика рабочих циклов ТопС. Существенное различие в количестве рабочих циклов ТопС наблюдается только между I и V категориями дорог. Выделены условия движения «Город» и «Трасса», конкретизированные по интенсивности работы ТопС. Предложено производить оценку интенсивности работы ТопС по критерию - коэффициент условий движения $K_{уд}$, рекомендуемые значения которого сформированы в предложенной ДКУД.

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

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

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

5. На основе применения энергетического анализа процесса торможения разработаны математические модели оценки удельных работ трения в ТМ. Остаточная удельная работа $q_{Ai}^{ост}$ трения зависит от остаточной толщины элементов ТМ, которая регламентируется требуемым уровнем безотказной работы. Межсервисная удельная работа $q_{Ai}^{мси}$ трения оценивается с учетом интенсивности работы ТопС и межсервисным интервалом автомобиля. Определено, что для ТМ с конструктивными параметрами исследуемого автомобиля межсервисная удельная работа составляет: - для передней оси в I группе ДКУД 15333 кДж/см², II группе ДКУД 23997 кДж/см², III группе ДКУД 32661 кДж/см², IV группе ДКУД 41325 кДж/см²; - для задней оси в I группе ДКУД кДж/см², II группе ДКУД 8210 кДж/см², III группе ДКУД 11174 кДж/ см², IV группе ДКУД 14138 кДж/ см².

6. Предложена методика прогнозирования остаточного ресурса элементов ТМ, учитывающая условия движения автомобиля по ДКУД и характеристики применяемых ТК, которая позволяет управлять техническими воздействиями ТМ, обеспечивая требуемый уровень безотказности ТопС. Определено, что при фактической толщине передних ТК исследуемого автомобиля $Y_{\phi 1}=11,64$ мм и значении $K_{уд}=4,72$, значение остаточной удельной работы $q_{A1}^{ост}=24620$ кДж/см², которое превосходит значение межсервисной удельной работы для передней оси $q_{A1}^{мси}$ только в I и II группе ДКУД. Для эксплуатации в III и IV группе требуется замена передних ТК. Оценка эффективности методики прогнозирования остаточного ресурса ТК показывает, что

экономия финансовых ресурсов в год составляет от 325,8 до 1231,5 руб. на один автомобиль при среднегодовом пробеге 15000 км за счет более полной реализации ресурса элементов TopC.

**Основные результаты диссертационного исследования
опубликованы в работах:**

– в изданиях перечня ВАК:

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

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

3 Кокарев, О. П. Оценка ресурса элементов тормозной системы / О. П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Р.В. Нуждин // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-3(82). – С. 16-23.

4 Кокарев, О.П. Реализация ресурса элементов тормозной системы в эксплуатации / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-1 (86). – С. 83-90. – ISSN 2073-7432.

5 Кокарев, О.П. Энергонагруженность тормозной системы автомобилей категории М1 на дорогах с разным продольным уклоном / О.П. Кокарев // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-2(89). – С. 110-112– ISSN 2073-7432.

– патенты РФ:

6. Автоматизированная система оценки износа систем транспортных средств: свидетельство регистрации программы ЭВМ № 2019662723/ О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Ю. Орлов. - №: 2019619979: заявл. 12.08.2019; опубл. 02.10.2019.

7. Прогнозирование износа и определения остаточного ресурса тормозных дисков и колодок автомобиля: свидетельство регистрации программы ЭВМ № 2020615682/ О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Ю. Орлов. - № 2020614465: заявл. 19.05.2020; опубл. 29.05.2020.

8. Кокарев О.П. Патент на полезную модель № 221477 Российская Федерация, МПК В60Т 17/22 G01L 5/28 G01М 17/00. Тормозной стенд отладки системы сбора данных при торможении/ О.П. Кокарев, А.Г.

Кириллов, Р.В. Нуждин. - № 2023119203; заявл. 19.07.2023 : опубл. 08.11.2023.

прочие публикации:

9. Кокарев, О.П. Методика выбора обобщенного параметра диагностирования автомобиля / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов // Состояние и перспективы развития социально-культурного и технического сервиса . – Бийск : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2014. – С. 95-98.

10. Кокарев, О. П. Влияние насыщенности парка автомобилей на безопасность дорожного движения / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Е.В. Кокарева [и др.] // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств . – Владимир : ВлГУ, 2018. – С. 50-53.

11. Кокарев, О.П. Определение доминирующих марок автомобилей на вторичном рынке России / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Е.В. Кокарева // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения . – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2018. – С. 119-122.

12. Кокарев, О.П. Обзор датчиков определения предельного износа тормозной колодки / О.П. Кокарев, А.Д. Цыганков, Д.А. Новожилов // Студенческий : электронный журнал. – URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/6\(77\)](http://www.sibac.info/archive/Technic/6(77)). – Дата публикации: 2019.

13. Кокарев, О.П. Исследование влияния применяемых тормозных колодок с разными коэффициентами трения / О.П. Кокарев, А.Д. Цыганков // Студенческий : электронный журнал. – URL: [https://sibac.info/archive/journal/student/3\(89_2\)](https://sibac.info/archive/journal/student/3(89_2)). – Дата публикации: 2020.

14. 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 имени И.С. Тургенева, 2020. – С. 269-275.

15. Кокарев, О.П. Калибровка тензодатчика давления в тормозном механизме / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, М.В. Латышев // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств . – Владимир : ВлГУ, 2021. – С. 41-47.

16. Кокарев, О.П. Термонагруженность элементов тормозной системы при торможении / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств . – Владимир : ВлГУ, 2023. – С. 38-43.

17. Кокарев, О.П. Интерактивный стенд прогнозирования ресурса элементов тормозной системы на основе новых положений

энергетического анализа процесса торможения автомобиля / О.П. Кокарев, А.Ю. Шеленбергер // Международный научно-практический журнал ENDLESS LIGHT IN SCIENCE. – 2025. – № 1. – С. 278-285.

Кокарев Олег Петрович

Обеспечение безотказной работы тормозной системы автомобилей
категории М1 при реализации ресурса ее элементов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Подписано в печать

Усл. печ. л. 1,5	Тираж 100 экз.	Формат 60x84/24
------------------	----------------	-----------------

Отпечатано во Владимирском государственном университете
имени А.Г и Н.Г Столетовых (ВлГУ)
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.