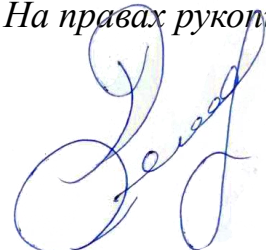


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П.А. КОСТЫЧЕВА»
(РГАТУ)

На правах рукописи



ВОРОБЬЕВ Денис Александрович

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗНОСА ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Специальность: 05. 20. 03 – Технологии и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
Лимаренко Николай Владимирович

Рязань – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Анализ состояния вопроса. Постановка цели и задач исследования	10
1.1. Анализ влияния технического состояния тормозной системы ТС в АПК на безопасность дорожного движения и эффективность технической эксплуатации.....	10
1.2. Понятие износ и специфика его проявления в АПК	13
1.3. Анализ параметров характеризующие степень износа	15
1.4 Анализ способов диагностирования износа тормозной колодки.....	16
1.5. Анализ без стендовых методов диагностирования износа тормозных колодок	20
1.6. Анализ факторов, влияющих на износ тормозных колодок транспортных средств, эксплуатируемых в АПК	26
1.7. Постановка цели и задач исследования	28
2. Теоретические исследования повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации.....	30
2.1. Постановка задачи.....	30
2.2. Физические основы повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации.....	30
2.3. Разработка устройства диагностирования технического состояния тормозной колодки при эксплуатации ТС АПК	38
2.4. Исследование соответствия плотности вероятностей параметров технического состояния тормозной колодки законам статистического распределения.....	41
2.4.1. Проверка гипотезы о соответствии массива данных износа тормозных колодок нормальному закону распределения и закону Вейбулла	50
2.4.2. Рекомендации по использованию вероятностной модели распределения износа тормозных колодок транспортных средств АПК....	55

2.5. Выводы по главе.....	56
3. Программа и методика экспериментальных исследований износа тормозных колодок транспортных средств в АПК	57
3.1. Постановка задачи.....	57
3.2. Концепция и устройство экспериментального стенда	57
3.3. Факторы, условия, параметры и план экспериментального исследования.....	61
3.4. Приборно-программное обеспечение экспериментального исследования.....	63
3.5. Методика эксперимента	70
3.6. Выводы по главе.....	72
4. Результаты экспериментальных исследований износа тормозных колодок транспортных средств в АПК	73
4.1. Постановка задачи.....	73
4.2. Математическая формализация результатов экспериментальных исследований эксплуатационных факторов на износ тормозных колодок ALLIED NIPPON	74
4.3. Анализ влияния эксплуатационных факторов на частоту вращения колеса при торможении	85
4.4. Анализ влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе при торможении.....	88
4.5. Анализ влияния эксплуатационных факторов на удельную мощность при торможении.....	90
4.6. Выводы по главе.....	93
5. Технико-экономическая эффективность применения разработанных решений	94
5.1. Постановка задачи.....	94
5.2. Расчёт годового экономического эффекта и срока окупаемости.....	94
5.3. Бережливое производство на основе применения «Устройства для контроля изнашивания тормозной колодки»	99

5.4. Выводы по главе.....	101
Заключение	102
Список использованных источников	103
Приложение А – Таблицы и справочные данные	121
Приложение Б – Справочные данные и результаты расчётов.....	123
Приложение В – Комплект конструкторской документации экспериментального стенда.....	137
Приложение Г – Статистические характеристики достоверности полученных математических моделей.....	139
Приложение Д – Патенты, акты внедрения, сертификаты	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. 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 Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки». Безопасная и эффективная эксплуатация транспортных средств является специфической и многофакторной задачей. Анализ статистических данных НИЦ ГИБДД МВД России в период с 2018 по 2022 годы показал, что причиной порядка 25 % всех ДТП является отказ рабочей тормозной системы грузового транспорта. Известно, что одним из основных элементов, обеспечивающих эффективность использования тормозной системы являются тормозные колодки. Специфика эксплуатации, которых на транспортных средствах АПК определяется многими факторами: используемыми материалами, стилем вождения, маршрутом, качеством дорожного покрытия, периодичностью технического обслуживания и т.п. Как показал анализ информационных источников, практический опыт, существующие методы диагностирования износа тормозных колодок транспортных средств являются периодическими и не позволяют оценивать её техническое состояние. Соответственно задача разработки способа и устройства, повышающего эффективность оценки технического состояния тормозной колодки является актуальной для науки и техники.

Степень разработанности темы. Исследованию вопросов повышения эффективности эксплуатации тормозных систем транспортных средств АПК посвящены работы следующих учёных: А.Р. Асояна, С.Н. Борычева, Н.В.

Бышова, И.Г. Голубева, П.А. Ионова, В.В. Кузнецова, Н.В. Лимаренко, В.П. Лялякина, Д.А. Никитина, П.В. Сенина, А.А. Солнцева, Г.К. Рембаловича, А.В. Шемякина, И.А. Успенского, И.А. Юхина и других.

Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2019-2022 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» в рамках раздела 3.3 «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и диагностирования».

Цель исследования – разработка метода диагностирования тормозной колодки транспортного средства агропромышленного комплекса.

Задачи исследования:

1. Теоретически исследовать способы диагностирования износа тормозной колодки при эксплуатации ТС.
2. Разработать устройство диагностирования износа тормозных колодок транспортного средства АПК.
3. Разработать методику экспериментальных исследований диагностирования износа тормозных колодок транспортного средства АПК.
4. Провести экспериментальные исследования износа тормозных колодок транспортного средства и математически формализовать их результаты.
5. Оценить экономический эффект созданного технического решения.

Объект исследования – износ тормозной колодки транспортного средства АПК.

Предмет исследования – диагностирование износа тормозной колодки транспортного средства АПК.

Научная новизна работы:

- способ и устройство измерения износа тормозной колодки;
- математические модели влияния пробега на износ тормозной колодки, давление в тормозной системе и активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении.

Теоретическая значимость работы заключается в получении научно-обоснованного технического решения диагностирования износа тормозных колодок транспортных средств АПК.

Практическая значимость работы состоит в:

- научно-обоснованном техническом решении, определяющим износ тормозных колодок в период эксплуатации ТС;
- оценке технико-экономического эффекта от использования разработанного технического решения, определяющего износ тормозных колодок в период эксплуатации ТС.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования внедрены в производственную деятельность ООО «Автогарант» и используются при диагностировании износа тормозных колодок эксплуатируемых транспортных средств.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием методов электрических измерений не электрических величин, статистического моделирования, теории вероятностей, математической теории планирования эксперимента и регрессионного анализа.

Положения, выдвигаемые на защиту:

- научно-обоснованное техническое решение повышения эффективности эксплуатации тормозных колодок;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния пробега на износ тормозной колодки, давление в тормозной системе и активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении;
- результаты оценки технико-экономического эффекта применения технического решения повышения эффективности эксплуатации тормозных колодок в производственных условиях.

Степень достоверности и апробация результатов. Проведение теоретических и экспериментальных исследований с использованием сертифицированных и поверенных средств измерений позволило получить

обоснованные, достоверные и соответствующие теме диссертации и общим выводам результаты.

Личный вклад соискателя. Состоит в участии в формулировании цели, разработке и конкретизации задач диссертации, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, написании статей.

Апробация результатов исследований. Основное содержание диссертационной работы излагалось, обсуждалось и было одобрено на научно-практических конференциях: национальной научно-практической конференции: «Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса» (ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 12 декабря 2019 года, г. Рязань), 78 научно-методической и научно-исследовательской конференции «Проблемы технической эксплуатации и автосервиса, подвижного состава автомобильного транспорта» (МАДИ, 28-29 января 2020 года, г. Москва), международной студенческой научно-практической конференции: «Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений» (ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 20 февраля 2020 года, г. Рязань), международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта: «Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники» (ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 12 октября 2020 года, г. Рязань), региональной студенческой научно-практической конференции: «Автомобильный транспорт: перевозки, безопасность, прогрессивные технологии» (ФГБОУ ЧГПУ им Яковлева, 26 февраля 2021 года, г. Чебоксары), международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ, доктора технических наук, профессора Н.Н. Колчина: «Совершенствование конструкций и эксплуатации техники» (ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 27 мая 2021 года, г. Рязань).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 11 печатных работах, в том числе: 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 патенте РФ на

изобретение. Объём публикаций составляет 5,1 усл. п. л., из которых лично автору принадлежит – 3,8 усл. п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка источников, включающего 153 наименования, приложений, представленных на 26 страницах. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, включает 24 таблицы и 43 рисунка.

1. Анализ состояния вопроса. Постановка цели и задач исследования

1.1. Анализ влияния технического состояния тормозной системы ТС в АПК на безопасность дорожного движения и эффективность технической эксплуатации

Безопасность движение мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) и транспортных средств (ТС) в АПК является актуальной проблемой, в связи с увеличением её числа и общей интенсификацией движения на дорогах общего пользования.

Одним из путей снижения числа дорожно-транспортных происшествий является повышение эффективности использования тормозных колодок [93, 98, 99, 115]. На рисунке 1.1 приведен результат аналитического исследования дорожно-транспортных происшествий, показывающий важность тормозных конструкций в возникновении ДТП. Одной из основополагающих причин среди всех неисправностей в системах и конструкциях МСХТ и ТС, повлекших ДТП, играет отказ тормозной системы [16, 40, 93, 98, 99, 115].

Тормозная система любого ТС состоит из большого количества элементов, каждый из которых играет важную роль в процессе торможения. Любая неисправность или изменение технических параметров в одном из них может привести к потере управления процессом с потерей динамической активности тормозного привода, что может вызвать дорожно-транспортное происшествие. На рисунке 1.2 показаны результаты статистических исследований по повреждениям и отказам тормозной системы, повлекших за собой ДТП [16, 33, 40-42]. Представленные данные позволяют рассмотреть причины неисправностей и распределить их по уровню влияния на безопасность эксплуатации ТС. Изучение неисправностей и отказов тормозных систем показывают, что причиной их отказов являются динамические и тепловые нагрузки. Тормозная колодка или тормозной диск в процессе торможения интенсивно нагреваются (порядка 500°C и выше) вследствие многократных и затяжных нажатий [33]. Фрикционный материал и тормозной диск при этом свариваются в результате создания высокой температуры в плоскостях пар

трения тормозных колодок. Данные процессы способствуют заклиниванию тормозных колодок ТС и отказу всей тормозной системы.

Анализ исследований [19, 56, 60, 82, 99, 115] показал, что порядка 90 % ДТП имеют место при торможении ТС. Из которых примерно в 40 % случаев водитель не успевает затормозить. Причиной ДТП является нехватка не значительного расстояния, порядка нескольких сантиметров для предотвращения столкновения [115]. Высокие качества тормозных систем должны быть поддержаны своевременной диагностикой неисправностей и разработкой инновационных надежных и эффективных тормозных систем [115]. Разработка и усовершенствование тормозных систем происходит с обязательным учетом основного требования – обеспеченности безопасности движения. Модернизации в настоящее время подвергаются различные тормозные конструкции: электропневматические, гидравлические, пневмогидравлические и пр. [19, 93, 115]. На рисунках 1.1 и 1.2 представлено распределение категориальных причин ДТП представленное на основании анализа и работы [16].

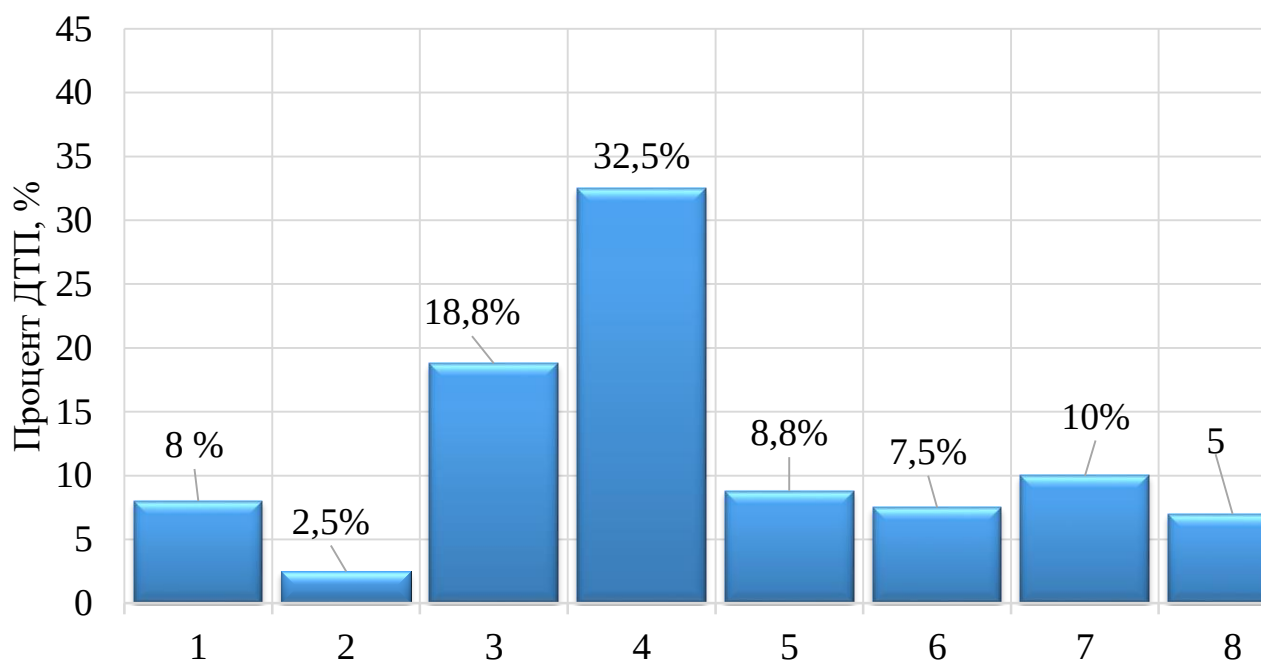


Рисунок 1.1 – Причины ДТП, связанные с неисправностями ТС по элементам: 1 – Рулевые механизмы; 2 – Звуковой сигнализатор; 3 – Обзорные устройства; 4 – Тормозная система; 5 – Световые приборы; 6 – Неисправность трансмиссии; 7 – Изношенная резина; 8 – Дополнительное оборудование.

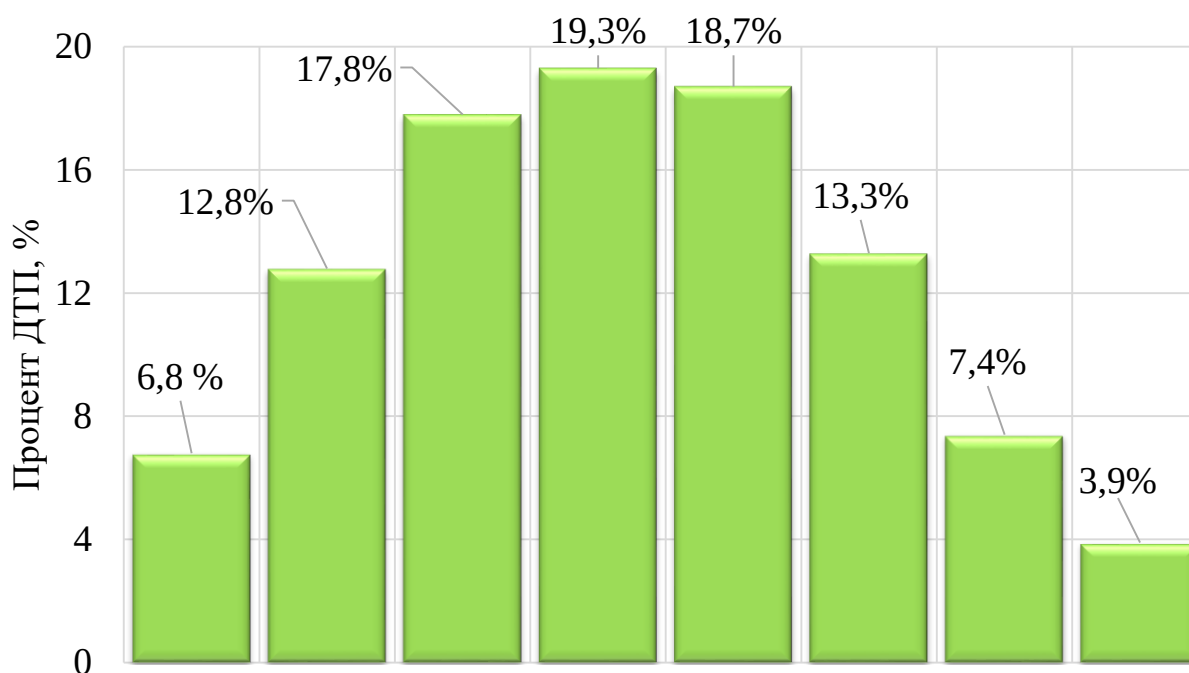


Рисунок 1.2 – Распределение частот ДТП по причине неисправностей элементов тормозной систем ТС:

- 1 – Неисправность вакуумного усилителя, 2 – Наличие воздуха в гидроприводе, 3 – Износ фрикционного материала;
 4 – Неодновременность торможения колес; 5 – Не герметичность шлангов привода; 6 – Внезапное заклинивание колодок; 7 – Неисправности стояночной тормозной системы; 8 – Прочие неисправности.

Процессы протекающих в тормозных системах в различных условиях рассмотрены в работах таких учёных как: Бышова Н.В, Борычева С.Н., Успенского И.А., Кокорева Г.Д., Лимаренко Н.В., Юхина И.А. и других. Данными учёными отмечены теоретические вопросы совершенствования происходящих в тормозных системах транспортных средств в разных условиях эксплуатации. Как показали исследования [19, 25, 26, 34-36, 110-112], а также опыт практической деятельности направленный на определение тормозной эффективности транспортного средства, находящихся в эксплуатации АПК, значительная часть транспортных средств в АПК имеет неисправности тормозной системы. К основным недостаткам относят: повышение тормозного пути, неровное торможение, неравномерный износ фрикционного материала тормозных колодок приводящий к заносу. Доказано, что именно занос ТС является одним из наиболее частых причин ДТП [110-112].

Следует отметить, что внезапный отказ тормозной системы во время движения ТС чаще всего происходит из-за предельного износа тормозной колодки. К другим менее важным отрицательным факторам можно отнести: прорыв диафрагм тормозных камер и утечку воздуха из шлангов тормозного узла. Инженерно-технические специалисты едины во мнении, что своевременное диагностирование позволит минимизировать внезапные отказы тормозной системы МСХТ [23, 24, 113].

При эксплуатации транспортного средства, возрастает роль проведения диагностических работ (техническая проверка) фрикционного материала тормозной колодки во время эксплуатации. Техническая проверка тормозной системы позволяет повысить безопасность движения и производительность работы МСХТ. Это приводит к уменьшению потерь рабочего времени при транспортировке сельскохозяйственного товара.

1.2. Понятие износ и специфика его проявления в АПК

В работах [2, 3, 6, 8, 10, 14, 15, 20, 21, 39, 83, 102, 115], рассмотрены проблемы, связанные с процессами износа тормозных колодок ТС АПК.

Эксплуатация ТС в агропромышленном комплексе требует особого технического подхода. Следует учитывать, что износ рабочих поверхностей деталей механизмов машины во многом зависит от окружающей среды, от погодных условий, от интенсивности эксплуатации, от взаимодействия с трущимися деталями различных материалов (например, растений) [7, 11, 13, 17, 18, 41, 42]. В данном случае может происходить не только механическое воздействие на детали, но и физико-химическое взаимодействие. Как результат подобных процессов происходит потеря технико-экономических показателей. Переход параметра технического состояния тормозного элемента ТС из начального в предельное состояние показано на рисунке 1.3. В соответствии с ГОСТ 27674-88 установлены следующие виды изнашивания в МСХТ которые показаны на рисунке А.1 в приложении А.

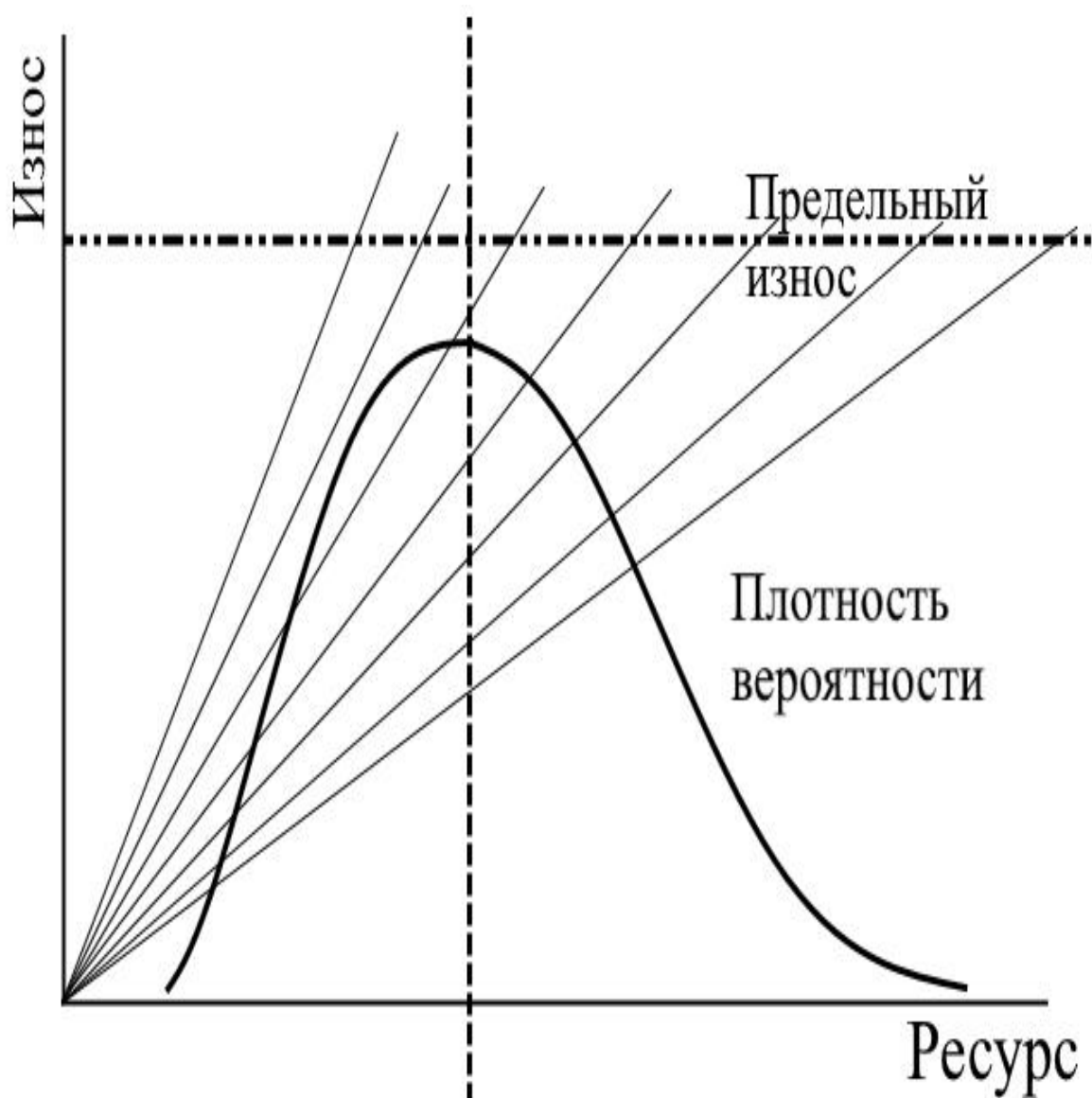


Рисунок 1.3 – Переход параметра технического состояния детали автомобиля из начального в предельное

Процесс изнашивания детали ТС для постепенных отказов тормозной системы при постоянных условиях эксплуатации последовательно происходит через ряд промежуточных состояний (стадии приработки) и стадии установившегося изнашивания [9, 30-32, 37, 38]. Постепенный отказ детали тормозной системы зависит от величины пробега и его ресурса. Постепенные отказы можно предотвратить своевременным проведением ТО, а также с помощью встроенных диагностических датчиков.

1.3. Анализ параметров характеризующие степень износа

В реальных условиях и практической деятельности, изнашивания элементов тормозной системы ТС, эксплуатируемых в АПК зависит от определенного вида работ. Взаимодействие твердых тел относительно движения ТС показано в приложении А, на рисунке А.2.

Показатели трибологической системы фрикционного материала на входе: скорость, давление, температура, путь торможения и пр. Из возмущающих факторов можно отметить: шум, вибрация, биение вращающихся тел. Работа тормозной системы ТС фрикционного материала непосредственно подтверждена действием перечисленных факторов. Разрушение и износ происходит под действием процесса трения и изнашивания, которые являются выходными параметрами [16, 22, 34-37, 44, 48, 61, 64, 83, 90].

Фрикционный износ тормозных колодок можно описать так [83]:

$$U=I \cdot l, \quad (1.1)$$

где I – интенсивность износа, мкм/км;

l – пробег тормозных колодок до полного отказа, км.

Интенсивность износа тормозных колодок зависит от таких факторов представленные на рисунке А.2 приложения А. В процессе торможения параметры и факторы изменяются постоянно, интенсивность износа можно представить в виде формулы:

$$I = \int_0^{\tau} f(p, v_{\text{ск}}, t, K) dt, \quad (1.2)$$

где p – давление в контакте фрикционного материала, МПа;

$v_{\text{ск}}$ – скорость скольжения, км/час;

t – температура в зоне контакта, °С;

K – параметры тормозной колодки, мм.

Для определения температуры в зоне контакта, прибегают к расчетным методам учитывая входные параметры:

$$t=t_0+\int_0^{\tau} f(p,v_{ск},c) d\tau, \quad (1.3)$$

где t_0 – температура в начале торможения, °С;

C – теплоотвод от трения, °С.

В результате приведенного анализа можно сделать следующий вывод, что выходными параметрами для контроля встроенной системы диагностирования являются давление и скорость торможения, а выходным параметром интенсивность износа [70, 92, 130, 132, 134-138]. Зная эти параметры можно достаточно точно определить вид изнашивания сопряжения и разработать мероприятия по повышению его долговечности.

1.4 Анализ способов диагностирования износа тормозной колодки

Предпосылки для разработки методов диагностирования тормозной системы заложены в исследованиях в области технической диагностики транспортных средств. Вопросы технического диагностирования ТС рассмотрены в трудах Бышова Н.В, Борычева С.Н., Успенского И.А., Юхина И.А., Лимаренко Н.В и других.

Рассмотрим современные встроенные средства диагностирования износа тормозных колодок [81, 84, 85, 103, 109, 113, 134-138, 148, 149]. На рисунке 1.4 показаны простейшие устройства контроля технических параметров износа тормозных колодок. На рисунке 1.4 а) показан механический датчик износа тормозной колодки [34]. Принцип работы – на внутреннюю тормозную колодку устанавливается металлическая пластина определенной длины, по мере износа колодки металлическая пластина начинает задевать тормозной диск и подает сигнал об износе. На рисунке 1.4 б) показан электрический датчик износа [34]. Принцип работы – интегрированный датчик помещен внутрь тормозной

колодки. Датчик состоит из пластикового корпуса и металлического стержня (сердечника). При стирании слоя тормозной накладки, тормозной диск доходит до сигнального индикатора и размыкает его, и на панели прибора транспортного средства загорается индикатор износа тормозной колодки. Как показал опыт применения данных технических устройств, что эффективность данных устройств не большая. Данные устройства дают лишь самую общую картину функционирования износа, при этом оценка производится по двум критериям «исправен» или «неисправен» [34, 36-37, 54, 57, 62, 63, 92].



а) механический датчик



б) электронный датчик

Рисунок 1.4 – Современные датчики устройства износа тормозной колодки

На рисунке 1.5 показаны современный двухступенчатый датчики износа тормозных колодок, который устанавливается на средне тоннажные ТС [34]. Конструкция датчика имеет две резистивные электрические цепи, которые проходят внутри пластикового корпуса датчика, параллельно друг другу на разной высоте, эти точки расположены на глубине примерно 6 и 3 мм [34, 36, 37]. Резистивные цепи представлены на рисунке 1.6. Граница 100 % износа (предельного износа) составляет 3 мм. При достижении 100 % износа, блок считывает износ фрикционной накладки и передает информацию на панель

приборов. Сигнал об износе фрикционной накладки представлен на рисунке 1.7 [34, 36, 37, 54, 58, 59, 74-76].

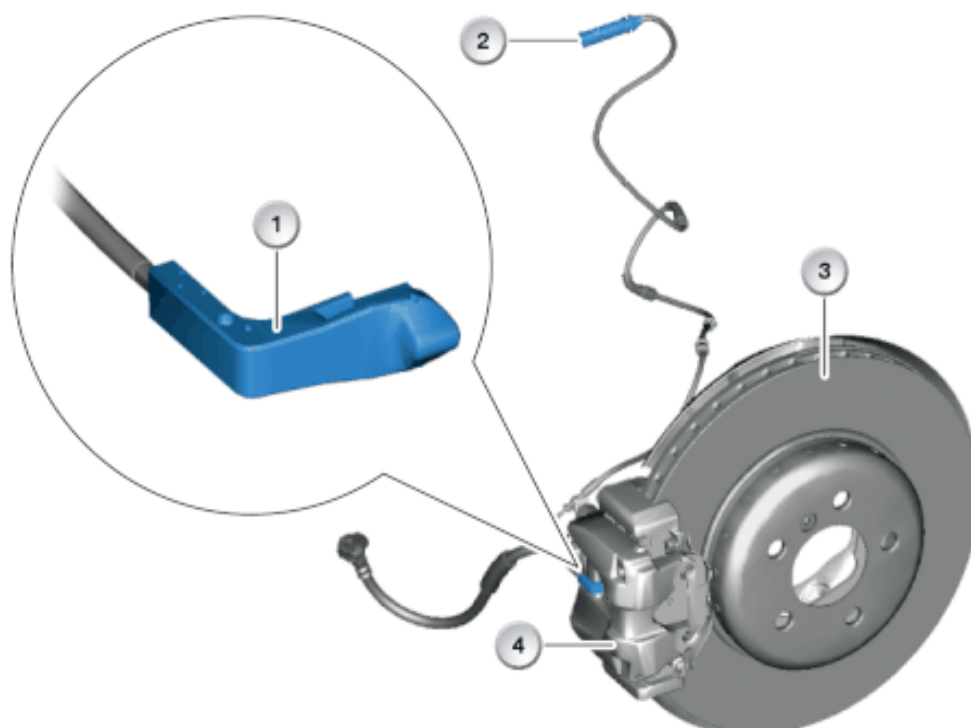


Рисунок 1.5 – Двухступенчатый датчик износа тормозной колодки:
1 – датчик износа тормозной колодки, 2 – полюсное штекерное соединение,
3 – тормозной диск, 4 – суппорт тормозного механизма

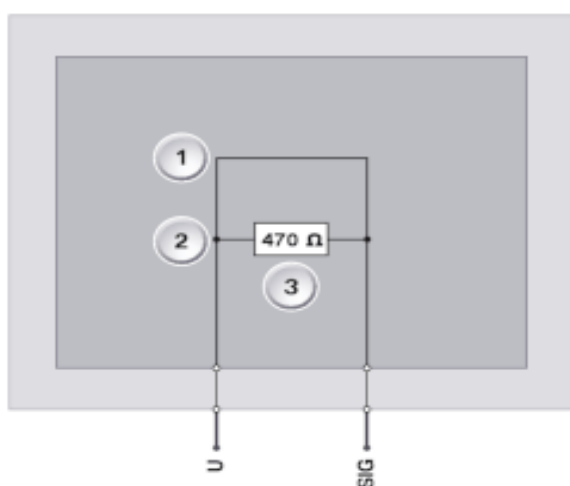


Рисунок 1.6 – Внутреннее соединение двухступенчатого датчика износа тормозной колодки:
1— точка 6мм, 2— точка 4 мм,
3— сопротивление

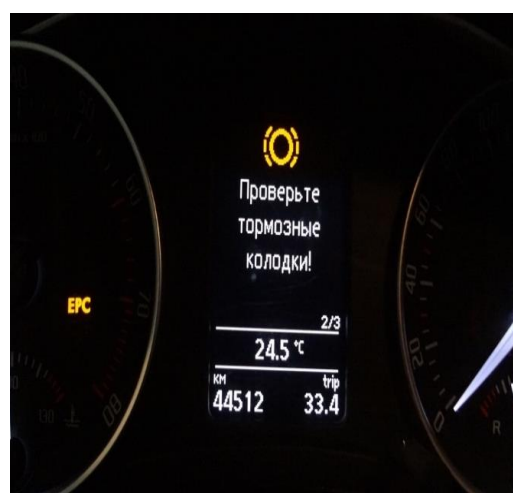


Рисунок 1.7 – Сигнальный индикатор о предельном износе фрикционной накладки тормозной колодки

Как показал опыт, достаточную для практического применения на ТС в АПК, эффективность могут иметь лишь встроенные системы контроля, которые выдают водителю результат контроля в форме общих рекомендаций на всем жизненном цикле. Датчик износа установлен на суппортах и сконфигурирован так, чтобы оповещать о 90% износе тормозных накладок. На рисунке 1.8 показан датчик износа, который установлен в суппорте современного грузового транспортного средства VOLVO FH [36, 37, 46, 54, 55, 58, 59, 90].



Рисунок 1.8 – Датчик износа колодки тормозной системы современного грузового транспортного средства

К недостаткам данного датчика устройства следует отнести невозможность замены колодки без диагностического устройства. После замены тормозных колодок, датчик износа необходимо установить в положение, которое соответствует значению для новых тормозных колодок. В этом случае, датчик

износа необходимо откалибровать с применением специальной программы согласно спецификации транспортного средства и толщины фрикционного материала. Приведенный обзор показывает источники [4, 12, 36, 37, 46, 54, 55, 58, 59, 65, 66, 91, 98], что современный уровень диагностики тормозной системы представляет необходимые средства для решения текущих задач. Однако известные встроенные электронные средства диагностирования не обеспечивают доступность в замене и не пригодны для массовых ТС.

1.5. Анализ без стендовых методов диагностирования износа тормозных колодок

В настоящее время развитие автотранспорта в АПК идет быстрыми темпами с постоянно расширяющимся набором функций и сложными средствами технического обеспечения безопасности ТС, которые требуют соответствующих программ диагностирования. Одним из направлений совершенствования технической эксплуатации автотранспорта является дистанционное и бортовое диагностирование тормозной системы. Значительная часть автоколонн и автотранспортных предприятий (свыше 80%) имеют на балансе не более 80 автомобилей [65-68, 70-73, 97, 118]. В этом случае использование в технологических процессах стационарных и диагностических стендов нецелесообразно по причине значительной стоимости и недостаточной доли их загруженности. Поэтому в малых и средних АПК, не имеющих своей ремонтной базы, предпочтение отдается без стендовым методам диагностирования.

Первоначальной задачей таких систем диагностирования является, повышение точности определения технического состояния тормозной системы по средствам мониторинга и режима работы по прогнозированию остаточного ресурса [117, 121, 140, 141, 147].

В связи с развитием сектора сельскохозяйственной техники и грузового транспорта с широким охватом различных электронных систем установленных на ТС, что сделало необходимым использовать самые передовые технологии в ее диагностировании.

На рисунке 1.9 показан диагностический прибор «Эффект» для проверки эффективности технического состояния тормозной системы ТС методом дорожных испытаний. Прибор устанавливается в кабине ТС, водитель позволяет контролировать такие величины, как замедление и усилие нажатие на педаль тормоза» [147, 151-153]. Прибор оборудован автономной памятью с последовательным подключением к ПК. Результат измерений может быть представлен в графическом или цифровом варианте. Данный контрольно-измерительный прибор может быть использован при контрольно-техническом осмотре ТС на предприятиях АПК, а также в технологическом процессе станций технического осмотра.

К современным бортовым средствам, позволяющим диагностировать тормоза сельскохозяйственного и грузового транспорта непосредственно в дорожных условиях, относится Деселерометр VZM 300 компании «МАНА Maschinenbau Haldenwang» который представлен на рисунке 1.10 [55]. Диагностический прибор устанавливается в кабине ТС, что дает возможность специалисту поверить следующие параметры, такие как, установившееся замедление, усилие нажатие 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 вместе замером замедления» [48, 108]. Далее диагностический прибор корректирует измеряемые величины замедления для компенсации систематической ошибки, вызванной эффектом «клевка». Далее параметры сохраняются.

Определение среднего замедления отображается прямо на дисплее прибора после измерения, поэтому отдельного расчета не требуется в полном соответствии с ГОСТ Р 51709-2001» [61]. Отображенные на экране величины можно распечатать или сохранить параметры на ПК. Пример параметров измерения работы тормозной системы представлены на рисунке 1.11. Диапазон

контролируемых параметров представлен в таблице 1.1 [48, 55, 61].



Рисунок 1.9 – Прибор «Эффект» для диагностирования тормозов методом ходовых испытаний



Рисунок 1.10 – Деселелометр VZM 300

Фамилия/Фирма: Улица Индекс, гор. Телефон Дата контроля: Время контроля: Состояние загрузки:	Номерной знак км пробега Дата регистрации Изготовитель Тип автомобиля Номер кузова: Число осей: 2																																															
Тест	Пределы	Результаты																																														
Тест схождения колес																																																
Передняя ось - 2 м/км Задняя ось + 16 м/км	<= 7 исправно 7 - 12 Предел выше 12 неисправен	Тест ПО исправна Тест ЗО неисправна																																														
Тест тормозов																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Тормозная сила</th> <th rowspan="2">Разность</th> <th colspan="2">Овальность</th> </tr> <tr> <th>слева</th> <th>справа</th> <th>слева</th> <th>справа</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Передняя ось</td> <td>3,55 кН</td> <td>3,76 кН</td> <td>6 %</td> <td>0,08 кН</td> <td>0,09 кН</td> </tr> <tr> <td>Стояночный тормоз</td> <td>1,43 кН</td> <td>2,51 кН</td> <td>43 %</td> <td>-,- кН</td> <td>-,- кН</td> </tr> <tr> <td>Задняя ось</td> <td>3,28 кН</td> <td>3,26 кН</td> <td>1 %</td> <td>0,08 кН</td> <td>0,11 кН</td> </tr> <tr> <td>Окончательный результат статичный</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Общ.уд.торм.сила Рабочий тормоз</td> <td></td> <td>--- %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Общ.уд.торм.сила Стояночный тормоз</td> <td></td> <td>--- %</td> <td>Общий вес</td> <td></td> <td>----- кг</td> </tr> </tbody> </table>		Тормозная сила		Разность	Овальность		слева	справа	слева	справа	Передняя ось	3,55 кН	3,76 кН	6 %	0,08 кН	0,09 кН	Стояночный тормоз	1,43 кН	2,51 кН	43 %	-,- кН	-,- кН	Задняя ось	3,28 кН	3,26 кН	1 %	0,08 кН	0,11 кН	Окончательный результат статичный						Общ.уд.торм.сила Рабочий тормоз		--- %				Общ.уд.торм.сила Стояночный тормоз		--- %	Общий вес		----- кг	Передняя ось Разн. > 20 % неисправно Овал. > 200 Н неисправно Стояночный тормоз Разн. > 50 % неисправно Овал. > 200 Н неисправно Задняя ось Разн. > 20 % неисправно Овал. > 200 Н неисправно УТС РТ < 53 % неисправно СТ < 16 % неисправно	ПО Разность ОК Овальность ПО слева ОК Овальность ПО справа ОК СТ Разность ОК ЗО Разность ОК Овальность ЗО слева ОК Овальность ЗО справа ОК
		Тормозная сила			Разность	Овальность																																										
	слева	справа	слева	справа																																												
Передняя ось	3,55 кН	3,76 кН	6 %	0,08 кН	0,09 кН																																											
Стояночный тормоз	1,43 кН	2,51 кН	43 %	-,- кН	-,- кН																																											
Задняя ось	3,28 кН	3,26 кН	1 %	0,08 кН	0,11 кН																																											
Окончательный результат статичный																																																
Общ.уд.торм.сила Рабочий тормоз		--- %																																														
Общ.уд.торм.сила Стояночный тормоз		--- %	Общий вес		----- кг																																											

Рекомендации: Сделать ревизию тормозной системы перед. и зад (передние держат зажатые), задние не тормозят, сделать проверку сход-развал.

Рисунок 1.11 – Параметры работы тормозной системы

Таблица 1.1 – Диапазон контролируемых параметров деселелометром VZM 300

№ п/п	Наименование характеристик	Значение
1	Диапазон измерений ускорения при замедлении, м/с ²	1-10
2	Пределы относительной допускаемой погрешности Измерения ускорения при замедлении, %	±4
3	Диапазон измерений усилий на педаль тормоза, кН	0-1
4	Пределы относительной допускаемой погрешности Измерения усилия на педаль тормоза, %	±7
5	Диапазон измерений давлений в тормозной системе, МПа	0,65-0,85
6	Пределы относительной допускаемой погрешности измерения давления в тормозной системе, %	±5

Контроль тормозной системы может быть интегрирован и автоматизирован в простое использование, а также в надежное и экономическое решение. Компания Worldwide разработала и внедрила решения 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, в рамках промежуточных проверок безопасности автотранспорта в АПК. Показания и параметры отображаются в соответствующих полях на цифровом дисплее. В режиме регистратора данных 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 1.12.



Рисунок 1.12 – Деселерометр Bowmonk 801

Измерение. Общие положения проведения измерений описаны в работах [122, 127-129, 145]. 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, после как самодиагностика завершена, транспортное средство необходимо привести в движение. Измерение проводится при скорости

40 км/ч, затем транспортное средство замедляется до тех пор, пока оно не остановится с помощью собственной тормозной системы. Как только транспортное средство будет полностью остановлено, устройство сгенерирует 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. Описание отчета представлен на рисунке 1.13. Технические характеристики прибора представлены в таблице 1.2.

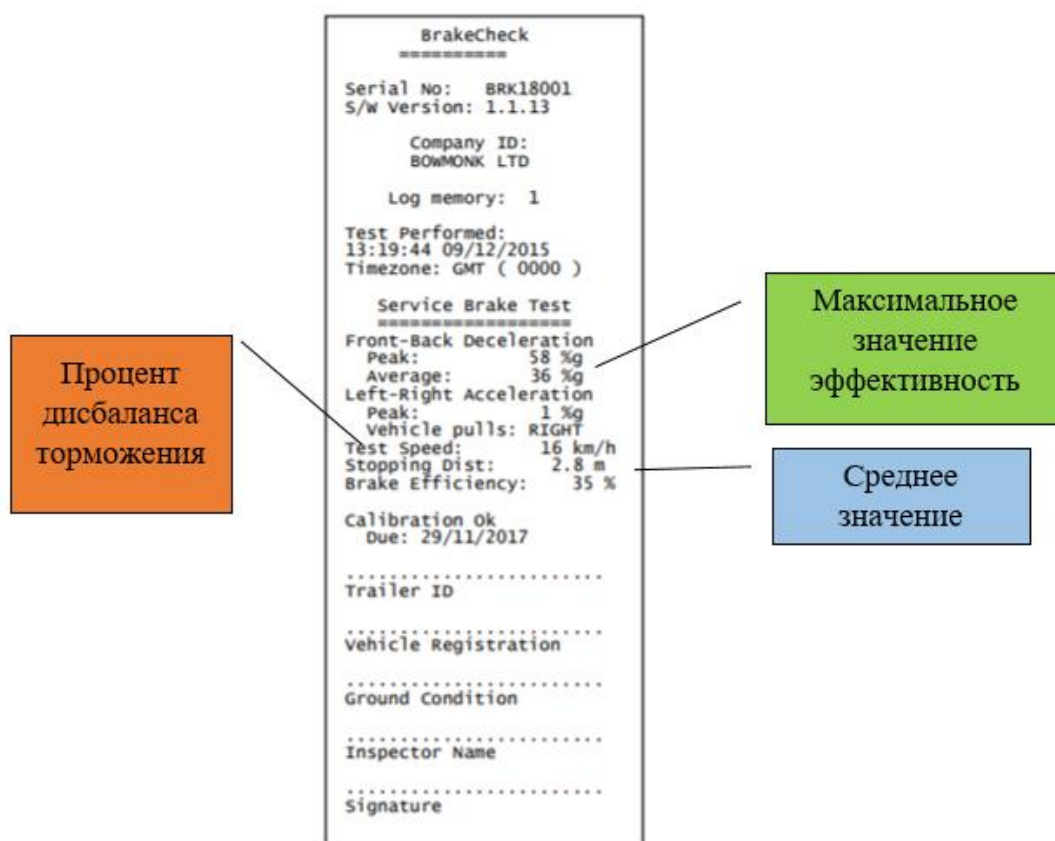


Рисунок 1.13 – Проверка рабочей тормозной системы

Таблица 1.2 – Диапазон контролируемых параметров деселерометра Bowmonk 801

№ п/п	Наименование характеристик	Значение
1	Диапазон измерений ускорения при замедлении, м/с ²	1-20
2	Пределы относительной допускаемой погрешности	±3

продолжение таблицы 1.2

	Измерения ускорения при замедлении, %	
3	Диапазон измерений усилий на педаль тормоза, кН	0-5
4	Пределы относительной допускаемой погрешности Измерения усилия на педаль тормоза, %	± 6
5	Диапазон измерений давлений в тормозной системе, МПа	0,25-0,85
6	Пределы относительной допускаемой погрешности измерения давления в тормозной системе, %	± 5

Таким образом, на сегодняшний день, отсутствуют методы без стендового диагностирования, например, момента износа фрикционного материала тормозной колодки на всем периоде эксплуатации транспортного средства, когда за минимальный промежуток времени, в автоматическом режиме определяется текущее значение параметров с выводом информации на приборную панель автомобиля [47, 57, 72].

1.6. Анализ факторов, влияющих на износ тормозных колодок транспортных средств, эксплуатируемых в АПК

В различных условиях эксплуатации износ транспортного средства будет разным. На интенсивность износа автомобиля в АПК влияют факторы, которые делят на две группы, эксплуатационные и эксплуатационно-производственные. Эксплуатационно – производственные факторы (регулируемые факторы) играют важную роль в эффективном поддержании ТС в исправном техническом состоянии. Регулируемые факторы оказывают существенное влияние на продление срока службы ТС. Если общепринятые эксплуатационно-производственные факторы, это Межгосударственные стандарты системы ТО и Р [50, 80, 95, 99], то жизненный цикл транспортного средства в АПК зависит от условий эксплуатации (факторы нерегулируемые).

К нерегулируемым факторам относятся;

- погодные условия;
- дорожные условия;
- тип транспортных работ.

Нерегулируемые факторы оказывают значительное влияние на параметрический износ узла (детали), при этом снижается активная безопасность ТС, маневренность и т.д. Износ ТС, работающих в контакте со средой, обрабатывание почв, изнашиваются быстрее чем в обычных условиях эксплуатации. Температура окружающей среды и почвы, на которой производятся транспортные работы негативно влияют на детали тормозной системы. Высокая температура окружающей среды делает металл мягче снижая его износостойкость, а резиновые уплотнения теряют свою эластичность.

Если рассматривать механический состав, то воздушно – абразивная среда в агрессивных сельскохозяйственных условиях влияет на загрязнение воздушного фильтра ДВС [94, 101, 106, 108]. Для эффективного сжигания заряда топлива необходимо подать в камеру сгорания определенный заряд воздуха. Независимо какой двигатель, бензиновый или дизельный, воздух берется из атмосферы. При засорении воздушного фильтра забор и дальнейшая подача в нужном количестве происходит с нарушением режима, что приводит к преждевременному износу поршневой группы ДВС. Практика эксплуатации ТС, автомобили – самосвалы, специальные автомобили, самоходные шасси, показывает, что они подвергаются сильной засоренности по всем основным деталям (узлам) трения, при этом происходит перманентное абразивное изнашивание [116, 119, 125, 142]. Абразивные воздействия влияют преждевременный износ уплотнений (манжетов), воздушных шлангов тормозной системы, это приводит к утечке воздуха и тормозной жидкости, при этом смазочные материалы загрязняют почву нефтепродуктами.

В результате выше изложенного можно сказать, что на износ деталей машин в сельском хозяйстве оказывает влияние множество факторов [116, 150,], такие как нагрузочные работы, природно – климатические, повышенная запыленность. Поэтому, наиболее доступным путем снижения износа узлов и деталей ТС является продувка сжатым воздухом уплотнений всех мест возможного проникновения пыли, и эта рекомендация приобретает особое значение для транспортных средств эксплуатирующихся в АПК.

1.7. Постановка цели и задач исследования

На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы:

- высокий уровень аварийности на дорогах РФ объективно показывает проблему технического состояния тормозной системы, что является социально технической проблемой;
- эффективным способом повышения уровня диагностирования технического состояния тормозного элемента, является увеличение информативности износа фрикционной накладки, в значительной степени, определяющей безопасность движения автомобиля на дорогах общего пользования;
- существующие методы диагностирования износа фрикционной накладки не позволяют определить износ на всем жизненном цикле тормозной колодки. Отдельные разработки позволяют оценить износ тормозной колодки, когда остаточный ресурс фрикционного материала достиг критического износа;
- для эффективной информативности определения износа фрикционной накладки необходима разработка нового устройства, позволяющего определять износ фрикционной пары на всем пути эксплуатации тормозной колодки.

На основании проведенного анализа состояния вопроса была сформулирована цель исследования – разработка метода диагностирования тормозной колодки транспортного средства агропромышленного комплекса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Теоретически исследовать способы диагностирования износа тормозной колодки при эксплуатации ТС.
2. Разработать устройство диагностирования износа тормозных колодок транспортного средства АПК.
3. Разработать методику экспериментальных исследований диагностирования износа тормозных колодок транспортного средства АПК.
4. Провести экспериментальные исследования износа тормозных колодок транспортного средства и математически формализовать их результаты.

5. Оценить экономический эффект созданного технического решения.

Объект исследования – износ тормозной колодки транспортного средства АПК.

Предмет исследования – диагностирование износа тормозной колодки транспортного средства АПК.

2. Теоретические исследования повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации

2.1. Постановка задачи

Как показал анализ состояния вопроса, проведённый в главе 1 диагностирование технического состояния тормозной колодки и его исследование является достаточно сложным многопараметрическим процессом. Эффективность технического состояния складывается из параметров материалов тормозной колодки, правильности её установки на транспортное средство, опыта эксплуататора, маршрута эксплуатации, климатических условий, соответствия периодичности технического обслуживания транспортного средства и других факторов. Систематизация и учёт при эксплуатации перечисленных факторов требует теоретического обоснования основ метода оценки технического состояния тормозной колодки при эксплуатации, что и является целью настоящего раздела. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать физические основы диагностирования технического состояния тормозной колодки при эксплуатации;
- разработать устройство диагностирования технического состояния тормозной колодки при эксплуатации;
- исследовать соответствие плотности вероятностей параметров технического состояния тормозной колодки законам статистического распределения Гаусса и Вейбулла.

2.2. Физические основы повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации

Как уже говорилось ранее, в реальных условиях эксплуатации на интенсивность износа фрикционного материала тормозной колодки влияет большое количество факторов [10, 27, 35, 54, 62, 63, 78], охарактеризовать

которое можно дифференциальной функцией распределения пробега до отказа $f(t)$ которая представлена на рисунке 2.1.

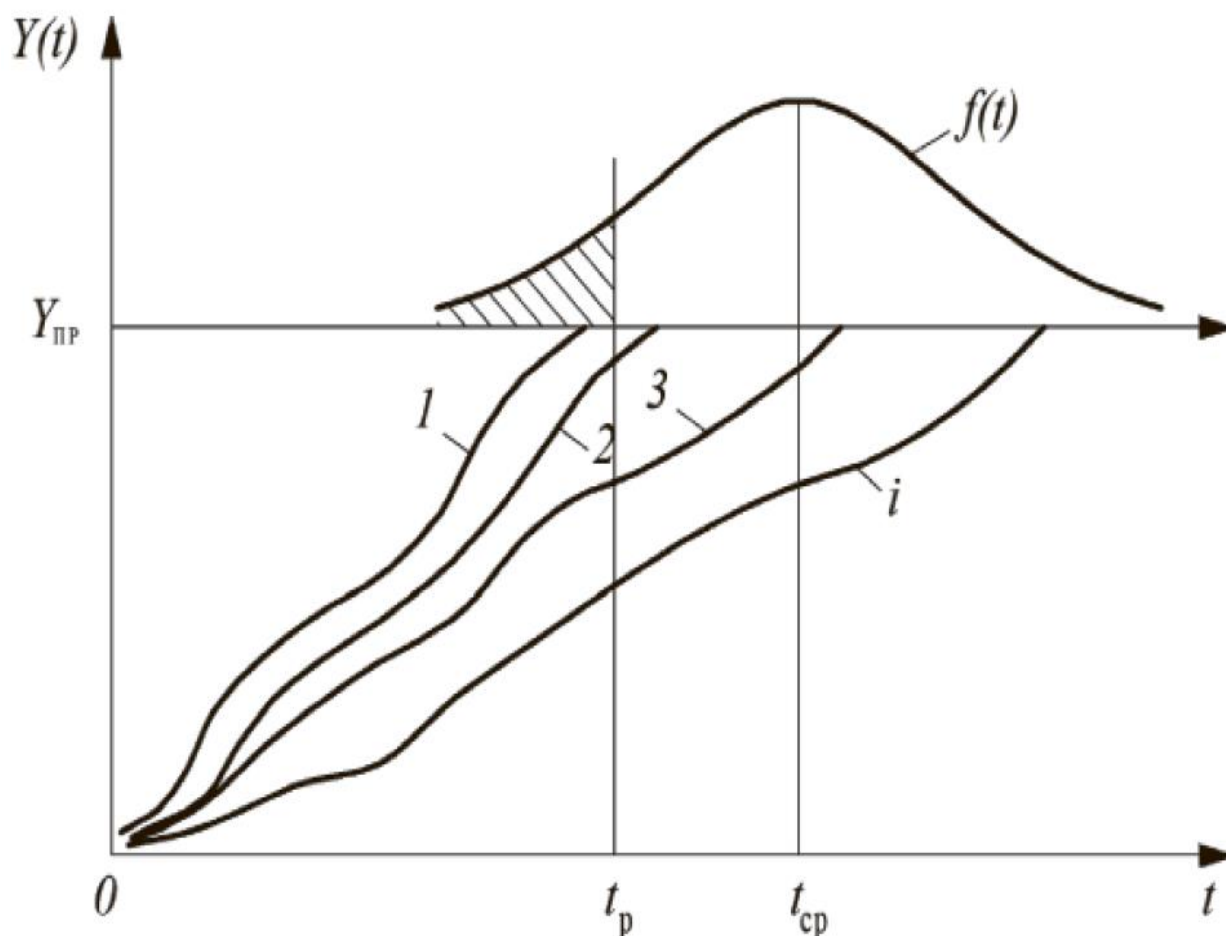


Рисунок 2.1 – Распределение пробега до отказа

На стадии проектирования транспортного средства в качестве прогнозируемого ресурса износа тормозных колодок указывается средний пробег, $t_{\text{ср}}$ – пробег транспортного средства до предельного износа $Y_{\text{пр}}$. Предельное состояние износа тормозной колодки достигается Y_t при пересекании $Y_{\text{пр}}$ установленное статистической наработкой. Фактический момент достижения предельного износа тормозных колодок может варьироваться из-за влияния определенных условий эксплуатации. Соответственно, ресурс тормозных колодок можно считать только случайной величиной он может быть описан вероятностной моделью. В качестве вероятностной модели правильнее использовать плотность распределений,

наработку на износ фрикционного материала, от начала установки до предельного износа. В этом случае выражение ресурс тормозных колодок можно определить выражением:

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt, \quad (2.1)$$

где $f(t)$ где плотность распределения до предельного состояния.

Так как, тормозная система транспортного средства относится к изделиям, к которым предъявляют повышенные требования, в качестве прогнозируемого ресурса износа тормозных колодок может быть использован гамма – процентный ресурс t_{γ} , значение ресурса износа с заданной вероятностью γ . При заданной функции распределения ресурса тормозной колодки γ – процентный ресурс можно найти из выражения [79]:

$$1 - \int_0^{\gamma} f(t) dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (2.2)$$

Одним из самых существенных недостатков использования гамма – процентного ресурса показывает, что на практике износ фрикционного материала отличается от теории [79]. В результате такой метод планирования ТО приводит к значительному недоиспользованию расходных материалов (тормозных колодок).

Современные методы прогнозирования износа элементов тормозной системы можно выделить на две группы [5, 86, 114, 123, 139, 143]:

1. Метод экспертных оценок – сущность метода заключается в обработке и анализе мнений специалистов технических служб. Эксперты технических служб обосновывают свою точку зрения из собственного опыта и анализа наработок на отказ узлов и механизмов транспортных средств.

2. Статистический метод – сущность метода основана на анализе динамики объекта прогнозирования с учётом изменения во времени (экстраполяция).

Наиболее распространенный метод прогнозирования износа тормозных колодок является статистический, который предусматривает следующие этапы оценки:

- оценка состояния толщины фрикционного материала с помощью контрольно – измерительного оборудования;

- разработку аналитического уравнения, описывающего закономерность изменения элемента тормозной системы при определенном периоде наработки (пробега);

- с помощью экстраполяции определение закономерности изменения во времени (пробега).

На практике, во многих АПК измерением остаточного ресурса износа тормозных колодок никто не занимается, а замену производят в период очередного ТО, поэтому, с помощью экстраполяционного метода можно адекватно спрогнозировать техническое состояние элемента и реализацию его ресурса при наработке (пробега) на всем периоде эксплуатации. Также, отклонение диагностических параметров.

Экстраполяционный метод является одним из самых распространенных и наиболее разработанных среди всей совокупности методов прогнозирования. Экстраполяция является достаточно простой в реализации и понимании, что делает её актуальной во многих практических случаях прогнозирования.

С электрической точки зрения эффективность функционирования любого измерительного контура характеризуется временем отклика, а также минимизацией его систематических погрешностей. Обеспечить это условие можно путём введения измерительного контура в согласованный режим, при котором происходит согласование общего сопротивления, характеризующего нагрузку колебательного R_H с сопротивлением источника питания [135]:

$$R_H = R_{BH} + R_{ПР}, \quad (2.3)$$

где R_{BH} – внутреннее сопротивление измерительного контура, Ом:

$$R_{BH} = \frac{\rho_{BH} \cdot l_{BH}}{A_{BH}}, \quad (2.4)$$

где ρ_{BH} – удельное сопротивление измерительного контура без учёта датчика, Ом·м;

l_{BH} – длина измерительного контура без учёта датчика, м;

A_{BH} – площадь сечения проводника измерительного контура без учёта датчика, м².

R_{PP} – сопротивление проводника датчика, Ом:

$$R_{PP} = \frac{\rho_{PP} \cdot l_{PP}}{A_{PP}}, \quad (2.5)$$

где ρ_{PP} – удельное сопротивление материала проводника, Ом·м;

l_{PP} – длина проводника, м;

A_{PP} – площадь сечения проводника, м².

R_{PP} – сопротивление проводника датчика, Ом.

Установлено, что для диагностирования текущего состояния тормозной колодки необходимо понимание её износа исходя из толщины. Установлено, что в зависимости от изменения толщины тормозной колодки должна изменяться соответствующая индикация [135].

Преимуществом данного режима измерительного контура является обеспечение наиболее рациональных параметров электрического состояния измерительного контура. Под электрическим состоянием будем понимать следующие параметры: сила тока и напряжение в цепи измерительного контура, а также полезную мощность [135].

Напряжение в цепи измерительного контура при согласовании сопротивлений источника и измерительного контура определяется [135]:

$$U_{\text{СОГЛ}} = \frac{E}{2} = \frac{U_{\text{ТИК}}}{2}, \quad (2.6)$$

где $U_{\text{ТИК}}$ – напряжение в цепи колебательного контура при тарировке измерительного канала, В.

Зная силу тока и напряжение измерительного контура определим его полезную мощность, которая в данном режиме должна быть максимальной [135]:

$$P_{\text{Н}} = P_{\text{Нmax}} = \frac{U_{\text{ТИК}}^2}{4(R_{\text{ВН}} + R_{\text{ПР}})}. \quad (2.7)$$

Общеизвестно, что величина сопротивления проводника измерительного контура прямо пропорциональна произведению удельного сопротивления материала на его длину и обратно пропорциональна площади его сечения. При этом проводник измерительного контура обладает реактивными частотозависимыми составляющими, проявляемыми в виде паразитных ёмкостей и индуктивностей. Взаимосвязь данных составляющих определяется по закону Ома [135]:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{\frac{A_{\text{стор}}}{q}}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}}, \quad (2.8)$$

где E – электродвижущая сила, созданная в цепи измерительного контура, В;

Z – полное сопротивление измерительного контура, Ом;

$A_{\text{стор}}$ – работа сторонних сил необходимая для перемещения электрического заряда, Дж;

q – минимально допустимая величина электрического заряда, подвергаемая перемещению в измерительном контуре при согласованном режиме, Кл;

R – омическое сопротивление измерительного контура, Ом;

f – циклическая частота колебаний электрического тока в цепи измерительного контура, Гц;

L – индуктивность измерительного контура, Гн;

C – ёмкость измерительного контура, Ф.

Как показал анализ информационных источников [135, 136], эффективность работы измерительных систем подобного класса для прогнозирования их технического состояния и упрощения его представления, информативным является рассмотрение индуктивности и ёмкости измерительного контура как пренебрежимо малых величин. Соответственно, в дальнейшем будем рассматривать только влияние активной части измерительного контура, обладающей резистивными свойствами. Обобщённое описание мостовой измерительной схемы представлено в приложении Б.1.

Поскольку адекватно формализовать процесс износа тормозной колодки с помощью моделей аналитической природы не представляется возможным, то для повышения точности и достоверности при интерпретации экспериментальных данных используем метод статистического моделирования, в частности, аппроксимации функций, применение которого описано в работах [87, 88, 96, 135]. Для реализации поставленных задач были проведены предварительные экспериментальные исследования и макетное моделирование, результаты которых представлены в работах [34-39, 135].

В ходе проведённых исследований получено полиномиальное уравнение первого порядка, позволяющее определить сопротивление проводника измерительного контура в зависимости от уровня износа тормозных колодок ГАЗ-A21R33(NEXT) [135]:

$$y = -0,452x + 5,4237. \quad (2.9)$$

Данная зависимость необходима для тарировки измерительного канала макетного образца. Графическая интерпретация модели (2) представлена на рисунке 2.2.

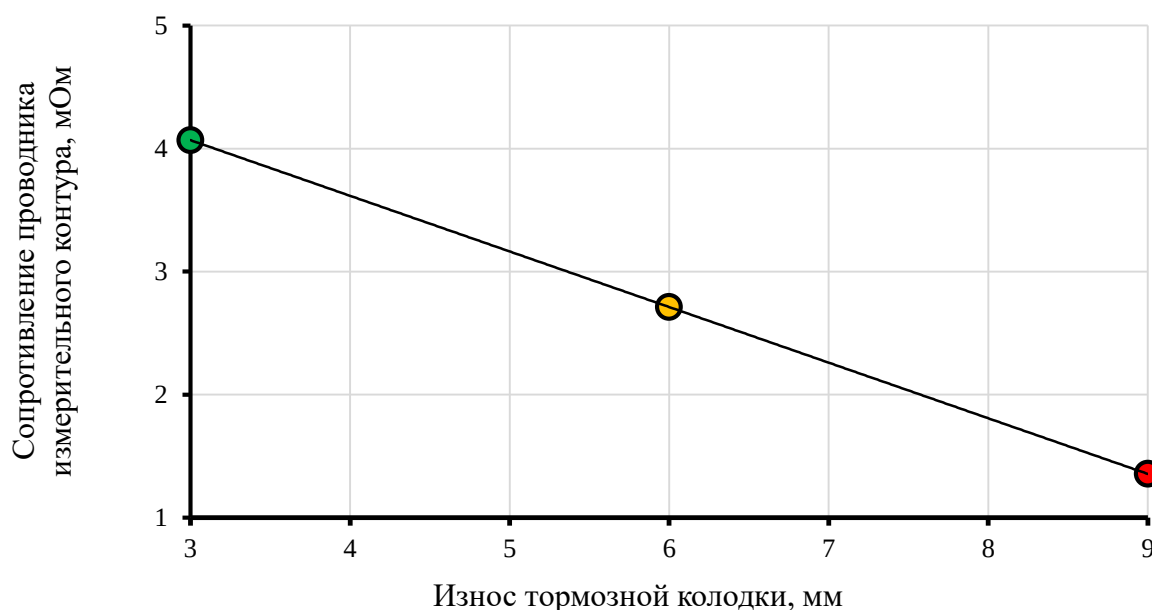


Рисунок 2.2 – Зависимость сопротивления проводника измерительного контура от износа тормозной колодки ГАЗ-A21R32(NEXT)

Анализ полиномиального уравнения (2.9) и графической зависимости (рис. 2.2) показал следующее [135]:

- уравнение (2.9) в виде полинома первого порядка адекватно по критерию Фишера, характеризует зависимость сопротивления проводника измерительного контура автомобиля от износа тормозной колодки при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент корреляции при этом составляет $r = 0,99$;
- с увеличением износа тормозной колодки автомобиля ГАЗ-A21R33 (NEXT) сопротивление проводника измерительного контура падает;
- обоснована возможность применения схмотехнического измерительного решения в виде моста Грютцмахера при необходимости автоматизации предлагаемого измерительного контура износа тормозной колодки

2.3. Разработка устройства диагностирования технического состояния тормозной колодки при эксплуатации ТС АПК

На основании проведённых теоретических исследований [17, 18, 27, 77, 91, 104, 105] были предложены следующие технические решения, позволяющие решить эту проблему с помощью предлагаемого изобретения (патент на изобретение №2758530). Сущность предполагаемого изобретения состоит в том, что выполнение датчика износа составным – из последовательно чередующихся проводящих и непроводящих электричество частей, проводящие части которого соединены через световые индикаторы с аккумулятором транспортного средства, позволяет отслеживать процесса износ тормозной колодки транспортного средства непосредственно в процессе его эксплуатации. При этом твердость и/или толщина электропроводящих частей датчика может быть подобрана в соответствии с градацией «допустимый», «приемлемый» и «критический» износ.

Технический результат достигается тем, что в элементе тормозной системы мобильного транспортного средства, содержащем датчик износа, выполненный в форме кольцевых зубцов конической формы типа "ёрш", каждый кольцевой зубец конической формы отделяется от соседнего диэлектрическим слоем, и соединяется изолированным электрическим проводом со световым индикатором, второй выход которого подсоединен к положительному полюсу аккумулятора транспортного средства.

Конструктивное исполнение элемента тормозной системы, сигнализации об износе фрикционной накладки показан на рисунке 2.3. Устройство состоит из тормозного диска 1, контактирующего (при торможении) с тормозной колодкой 2, в теле которой жестко закреплен датчик износа 3, прослоенный в поперечном направлении путем чередования диэлектрического 4, 5 и ферромагнитных слоев 6, 7, 8, при этом каждый из ферромагнитных слоев 6, 7, 8 соединен изолированными проводами 9, 10, 11 с одним концом сигнального индикатора 12, 13, 14, соответственно, другой конец которых подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15. Токопроводящие сердечники изолированных проводов 9, 10, 11 соединены с соответствующими им ферромагнитными слоями 6, 7, 8,

например, посредством припоя ПОС-61. Индикаторы 12, 13, 14 располагаются в зоне непосредственной видимости водителя транспортного средства [104, 105, 135, 136].

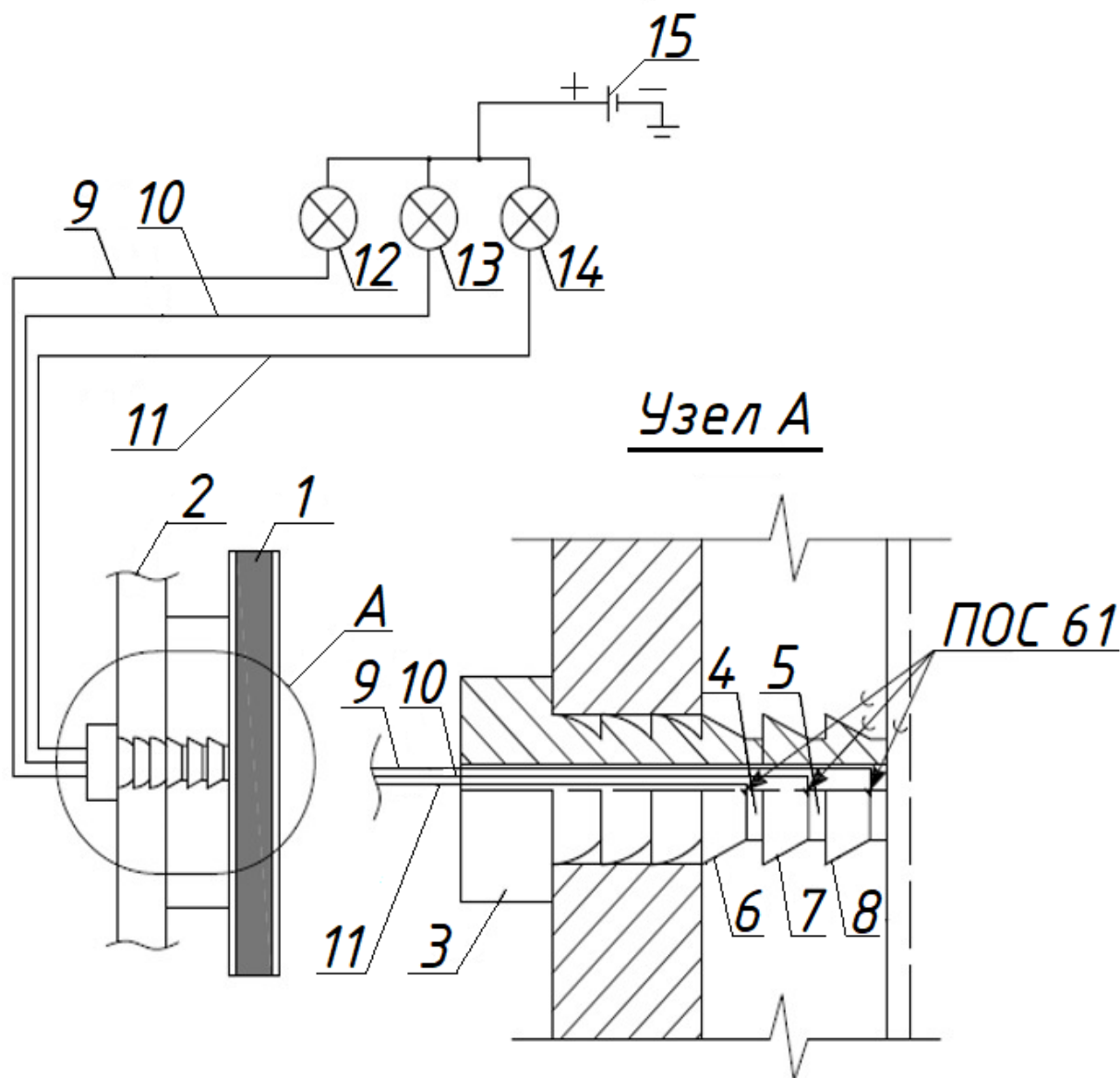


Рисунок 2.3 – Контактный датчик измерения величины тормозной колодки
 1 – Тормозной диск; 2 – Тормозная колодка, 3 – Датчик износа, выполненный наборным в форме шайб с кольцевыми зубцами конической формы типа «Ёрш»; 4, 5 – Диэлектрические слои;
 6, 7, 8 – ферромагнитные слои; 9, 10, 11 – Изолированные провода;
 12, 13, 14 – Сигнальные индикаторы; 15 – Аккумулятор

Работа устройства осуществляется следующим образом: при торможении транспортного средства тормозная колодка 2 прижимается суппортом (на рисунке не показан) к тормозному диску 1, при этом в непосредственный контакт с

торцевой поверхностью тормозного диска 1 входит ферромагнитный слой 8 датчик износа 3, соединенный изолированным проводом 9 с сигнальным индикатором 12, выход которого подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15, замыкая тем самым электрическую цепь, в результате чего сигнальный индикатор 12 начинает светиться [104, 105, 135, 136].

По мере износа тормозной колодки 2 и, соответственно, ферромагнитного слоя 8 датчика износа 3, наступает момент, когда толщина ферромагнитного слоя 8 становится равной нулю и электрическая цепь, включающая провод 9, сигнальный индикатор 12 и аккумулятор 15, размыкается – в результате сигнальный индикатор 12 перестает светиться при торможении транспортного средства [104, 105, 135, 136].

Тонкий и мягкий диэлектрический слой 5 датчика износа 3 достаточно быстро истирается при трении о торцевую поверхность тормозного диска 1, после чего в непосредственный контакт с тормозным диском 1 входит следующий ферромагнитный слой 7 датчика износа 3, соединенный изолированным проводом 10 с сигнальным индикатором 13, выход которого подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15, замыкая тем самым электрическую цепь, в результате чего сигнальный индикатор 13 начинает светиться [104, 105, 135, 136].

По мере износа тормозной колодки 2 и, соответственно, ферромагнитного слоя 7 датчика износа 3, наступает момент, когда толщина ферромагнитного слоя 7 становится равной нулю и электрическая цепь, включающая провод 10, сигнальный индикатор 13 и аккумулятор 15, размыкается – в результате сигнальный индикатор 13 перестает светиться при торможении транспортного средства [104, 105, 135, 136].

Далее процессы износа диэлектрического слоя 4 датчика износа 3 и ферромагнитного слоя 6 повторяются в описанной выше последовательности. В результате износа последнего ферромагнитного слоя 6 индикатор 14, соединенный с ним проводом 11, перестает светиться вследствие разрыва электрической цепи «слой 6-провод 11-индикатор 14-аккумулятор 15», и водитель

транспортного средства принимает решение о замене тормозной колодки 2 на новую. На рисунке 2.4 представлен общий вид экспериментального образца устройства с уровнями индикации.

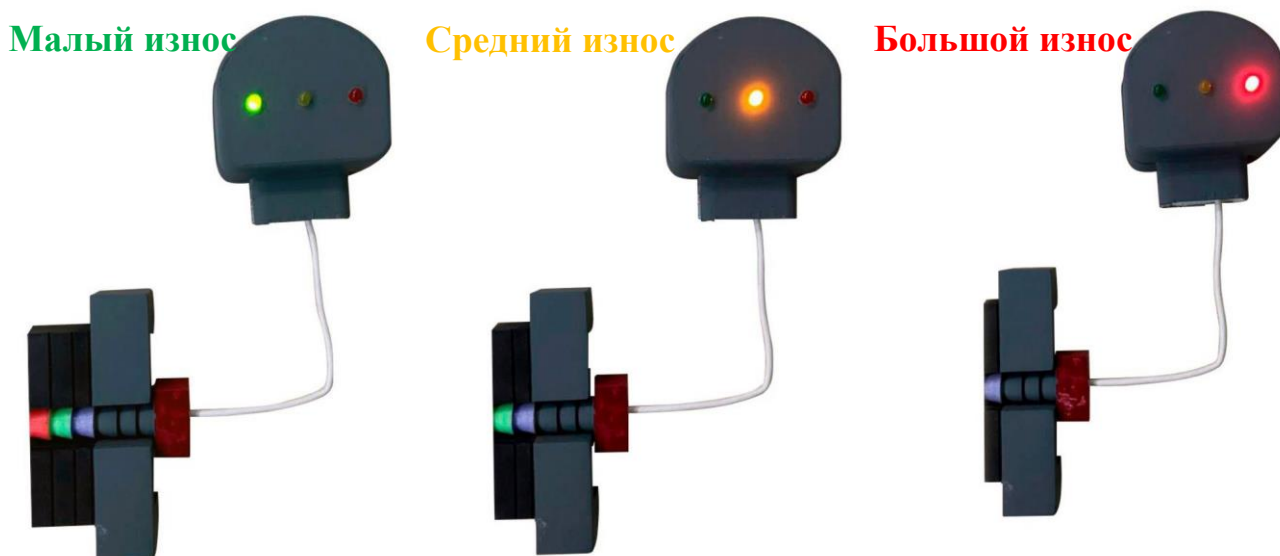


Рисунок 2.4 – Общий вид экспериментального образца

Градация износа тормозной колодки 2, оцениваемая по отключению индикаторов 12,13,14, может быть выполнена, например, по шкале «малый износ», «средний износ», «большой износ», соответственно.

Таким образом, предлагаемый элемент тормозной систем информирует водителя о степени износа тормозной колодки 2 на протяжении времени ее эксплуатации.

2.4. Исследование соответствия плотности вероятностей параметров технического состояния тормозной колодки законам статистического распределения

Вероятностно – статистическая модель – это вероятностная модель, значения отдельных параметров которой оцениваются по результатам наблюдений (исходным статистическим данным).

Вероятностно – статистические модели хорошо применимы для анализа и

прогноза износа технических систем транспортного средства в условиях действия законов больших чисел, выявлении статистических закономерностей.

Для решения задачи по прогнозированию износа деталей и узлов транспортных средств наибольшее значение имеют законы распределения случайных величин: нормального распределения и распределения Вейбулла [28, 45, 51, 133].

На характер функционирования износа деталей тормозной системы существенным образом влияют случайные факторы, поэтому их износ описывается вероятностными законами, что отражается на числовых характеристиках и процессах эксплуатации. Именно числовые параметры износа имеют распределение вероятностей износа. Для формирования вероятностной модели износа детали тормозной системы служат экспериментальные данные параметров эксплуатации детали. Далее строится гистограмма плотности распределений, после чего выдвигается гипотеза, которая проверяется по критерию Пирсона. Выбор одного из указанных распределений производится с учетом смешанного коэффициента вариации ν_c : если $\nu \leq 0,30$, то выбирают закон нормального распределения, если $\nu > 0,50$, – закон распределения Вейбулла. Если значения коэффициента вариации находятся в интервале $0,30 - 0,50$, тогда выбирают закон, который лучше совпадает с подобным распределением информации [133].

Для формирования вероятностной модели прогнозирования износа тормозных колодок было принято решение осуществить проверку гипотезы соответствия сформированного массива данных зависимости характера отказов от пробега о их нормальном законе распределения.

Для нормального закона теоретическое распределение плотности вероятностей имеет вид [133]:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.9)$$

где x – переменная, для которой высчитывается значение функции, т.е. плотность вероятности;

π – соотношение длины окружности и его диаметра,

e – основание натурального логарифма

m – математическое ожидание;

σ^2 – дисперсия воспроизводимости;

Для распределения Вейбулла теоретическое распределение плотности вероятностей имеет вид [51, 133]:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x-c}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x-c}{a} \right)^b}, \quad (2.10)$$

где a – масштабный параметр, определяющий «вытянутость» или сжатость распределения по оси абсцисс;

b – параметр вершины, определяющий положение вершины кривой плотности распределения;

c – параметр смещения (сдвига);

Закон Вейбулла в большинстве случаев используют для моделирования с убывающей и постоянной интенсивностью отказов. Закон Вейбулла может применен к наработке до отказа, для измерения количества цикла отказов, пробега до отказа, механическое напряжение или аналогичные непрерывные параметры должны быть зафиксированы для всех объектов. Распределение ресурса может быть смоделировано даже в том случае, когда не все объекты отказали. Распределение Вейбулла занимает одно из самых важных мест среди распределений безотказной работы. Уникальность распределения Вейбулла состоит в том, что оно позволяет охватить весь жизненный цикл функционирования исследуемых на надёжность технологических объектов.

Закон нормального распределения (закон Гаусса). Классическое нормальное распределение суммы одинаково распределенных величин

является наиболее универсальным, удобным и широко применяемым для изучения [51, 133].

Исходя из этого, при правильной оценке случайной величин в ТЭА возможно спрогнозировать стихийного события (отказа детали) к объективному предвидению износа детали с определенной вероятностью, что позволяет подготовить индивидуальный план замены изношенной детали в соответствии с реальными условиями эксплуатации.

Подготовка к исходным данным моделирования износа элементов тормозной системы транспортного средства является основополагающим этапом, от грамотного построения которого зависят все последующие результаты.

Построение вероятностной модели невозможно без активного применения статистических замеров подконтрольной детали автомобиля, призванных выявить закономерности изменения износа фрикционного материала и спрогнозировать срабатывание датчика износа тормозной колодки в процессе эксплуатации [28, 45, 51, 133].

Установление процесса определения износа тормозных колодок ТС и оценки их ресурса разрабатывалось для применения на УДС г. Рязани и Рязанской области. Также метод прогнозирования может использоваться на других УДС промышленных, и сельскохозяйственных районных центрах, с похожими климатическими условиями [28, 45, 51, 133].

Выбор маршрута движения производился исходя из назначения автомобиля и направлений грузоперевозок [126]. Маршруты, реализуемые в ходе накопления статистической информации представлены на рисунках 2.5 ... 2.7.

Первый маршрут: Рязань – Спас-Клепики – Касимов – Рязань длиной 320 км. 10 км., имеют грунтовое покрытие, 12 км асфальтированное с выбоинами, остальные 298 км. проходили по асфальтированному покрытию с удовлетворительным состоянием.

Второй маршрут. Рязань – Михайлов – Скопин – Кораблино – Рязань длиной 320 км. из них – 25 км. имеют грунтовое покрытие, 20 км покрытие с гравием или щебнем, 5 км. асфальтобетонные, между распределительными центрами

остальные 270 км. проходили по асфальтированному покрытию с удовлетворительным состоянием.

Третий маршрут. Рязань – Луховицы – Озеры – Зарайск – Рязань длиной 270 км. весь маршрут проходил по асфальтированному покрытию с удовлетворительным состоянием.

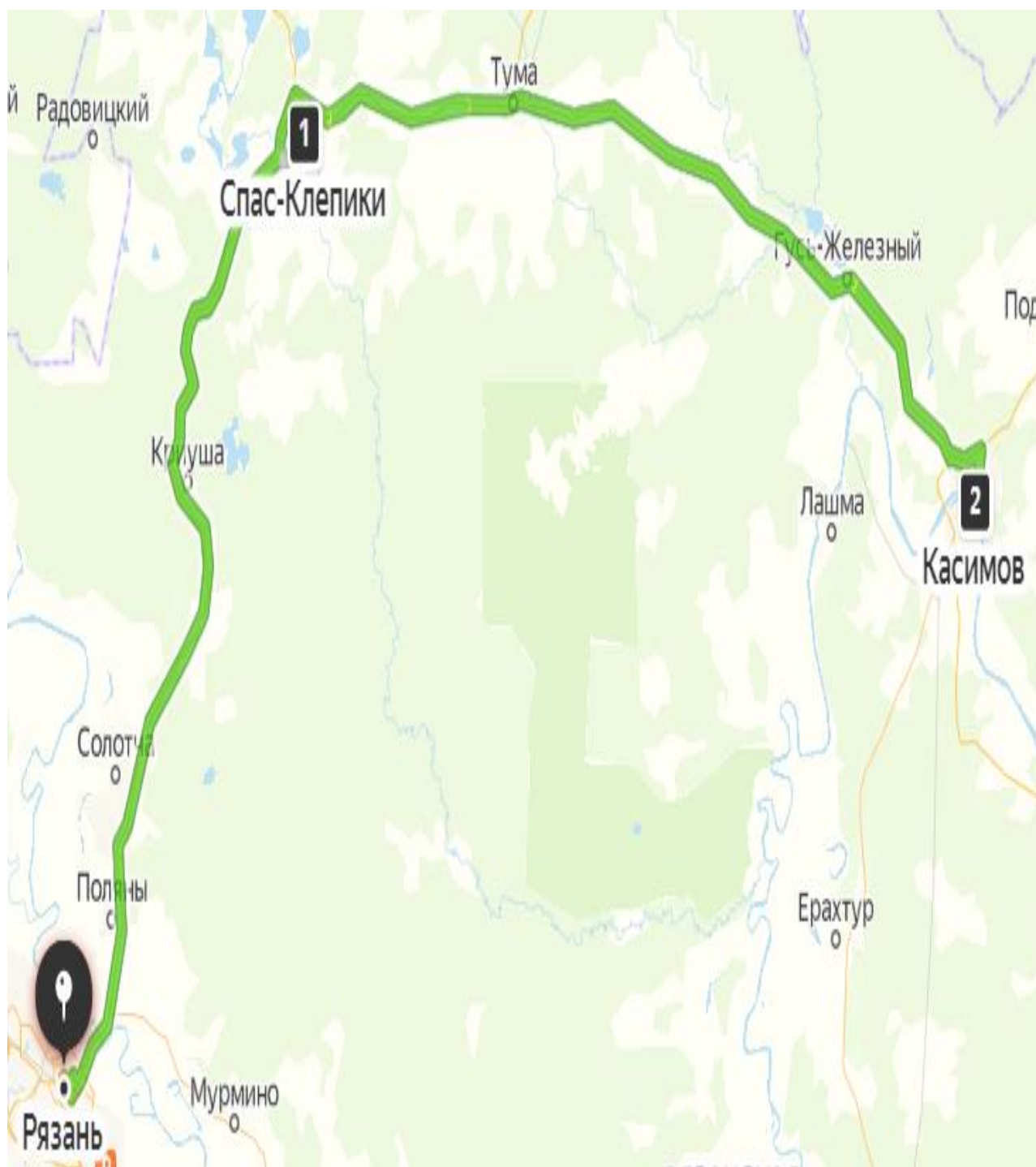


Рисунок 2.5 – Схема первого маршрута для накопления статистических данных

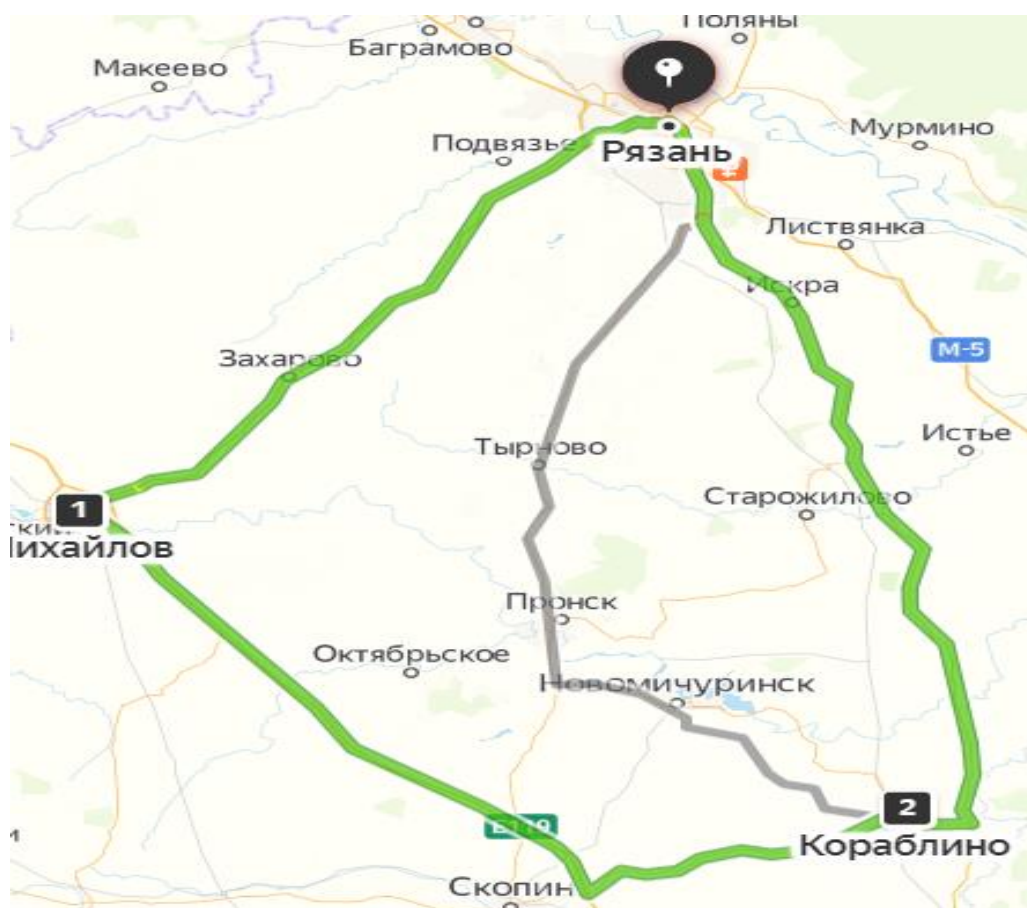


Рисунок 2.6 – Схема второго маршрута для накопления статистических данных

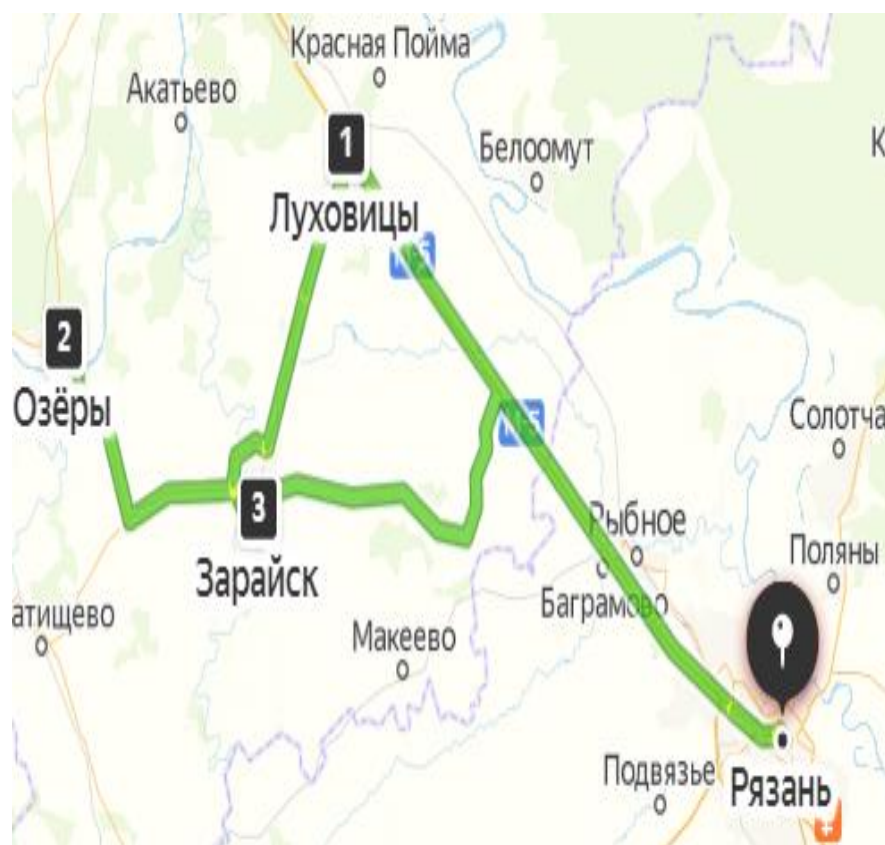


Рисунок 2.7 – Схема третьего маршрута для накопления статистических данных

Выбор автомобиля (ГАЗ – А21R33) и метода для исследования износа фрикционного материала в УДС определен следующими критериями выбора:

- испытание целесообразнее проводить на грузовом среднетоннажном автомобиле, т.к. исследуемый метод должен найти применение, в основном на грузовых автомобилях, используемых в АПК;

- испытание проводить экономичнее, т. к. при этом меньше расходуется материалов, топлива;

- выбор марки транспортного средства был обусловлен высокой долей загруженности и точно выдержанного интервала пробега, а также возможностью измерений толщины фрикционного материала через заданный интервал пробега;

- применение прямого (контактного) метода диагностирования. Данный метод подразумевает непосредственное (контактное) измерение параметров тормозного элемента. К преимуществу данного метода отнести: точность измерения через определенный интервал пробега, наглядность, достоверность прогнозирования, достаточно простой инструмент для измерения параметров.

Подготовка трех автомобилей к проведению статистических испытаний включала в себя комплекс технических работ, подготовку транспортного средства с прохождением в полном объеме технического обслуживания (ТО – 2).

В транспортные средства были установлены тормозные колодки производства «ALLIED NIPPON». Установка производилась согласно требованием руководства по эксплуатации подконтрольных транспортных средств. Перед установкой был произведен замер толщины фрикционного материала.

Оценка толщины фрикционного материала во время эксплуатации оценивалась ремонтной службой предприятия при возвращении автомобиля в гараж, каждые 1500 км.

Техническое состояние деталей рабочей тормозной системы во время эксплуатации оценивалась по входным параметрам (возмущение) представленных на рисунках 2.8...2.9.

Заключительная часть экспертизы подконтрольных тормозных колодок проводилась по снижению эффективности торможения или по завершению исследования. Оценку поверхности трения тормозной колодки и толщину фрикционного материала оценивали согласно эксплуатационной документации транспортного средства и ГОСТ 33997-2016, ГОСТ Р 54783-2011.

Согласно исходным данным можно сделать расчет и анализ плотности вероятностей износа тормозных колодок в зависимости от пробега автомобиля и маршрута. Исходные данные представлены в приложении Б.

Метрологическое обеспечение – это применение научно- организационных основ, испытательного и вспомогательного оборудования, необходимых средств и методик выполнения измерений, для достижения установленной точности измерений при заданной доверительной вероятности.

Одно из важнейших метрологических основ – это точность измерений. Она характеризуется близостью исследуемых параметров измеряемой величины к истинным значениям.

При выборе метода и инструмента принимали во внимание следующие критерии:

- точность результата измерения,
- надежность и достоверность полученной оценки,
- простота технической реализации (оценки),
- измеряемая величина.

Наиболее точным при определении величины износа фрикционного материала является прямой метод, абсолютный [49].

Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно. Например, измерение длины детали при помощи штангенциркуля, микрометра. Для оценивания погрешности прямых измерений используют подходы, описанные в ГОСТ Р 8.736-2011 [128].

Простым способом для измерения физической величины фрикционного материала является метод измерения с помощью микрометрического прибора и высокоточного инструмента (штангенциркуля). В рамках исследуемого объекта

для измерения физической величины был выбран микрометрический прибор, так как предел измерения штангенциркуля до 0,1 мм (существуют модели до 0,02 мм, но точность их низка), микрометр измеряет до 0,01 мм и более точен.

Исследуемый объект измерялся с помощью микрометра в пяти точках, четыре из которых расположены по контуру и одна в центре исследуемого объекта. Схема замеров оценки износа тормозных колодок описанным методом представлена на рисунках 2.7 и 2.8 [133].

В объеме проведенного наблюдения, замеры производились по принципу многократного измерения, где измерение физической величины, есть результат которого полученный из нескольких друг за другом измерений [133].



Рисунок 2.8 – Общий вид тормозной колодки с обозначением контрольных точек оценки износа:

1, 2, 3, 4, 5 – точки оценки износа тормозной колодки автомобиля ГАЗель
6 – микрометр МК 0-50мм, ГОСТ6509-60

На рисунке 21 измеряемый объект зажимается между измерительными поверхностями пятки и винта, далее осуществляется замер.



Рисунок 2.9 – Расположение микрометра относительно тормозной колодки

2.4.1. Проверка гипотезы о соответствии массива данных износа тормозных колодок нормальному закону распределения и закону Вейбулла

Как уже говорилось ранее, на предприятие эксплуатируются автомобили ГАЗ – А21R32. Для оценки эффективности работы транспортных средств на предприятии необходим показатель учитывающий техническое состояние автомобиля (техническое состояние тормозного механизма) и экономическую целесообразность замены тормозных колодок в контролируемом режиме. Такой показатель будем принимать как величину износа фрикционного материала. Для определения случайной величины износа фрикционного материала и применение технического решения, необходимо найти теоретический закон распределения случайной величины, опираясь на эмпирическое распределение этой величины, полученное в результате выборочного наблюдения подконтрольных транспортных средств [133].

Для оценки вероятности событий:

$$X < x_0, \quad X > x_0, \quad x_1 < X < x_2, \quad (2.11)$$

где X – толщина тормозной колодки (мм), являющаяся случайной величиной, необходимо знать закон распределения последней. В работе [51, 52, 133] приведены методики получения выборок значений с.в. X для различных пробегов. На основе этих данных для каждой выборки (пробега) были рассмотрены два теоретических закона распределения – нормальный и закон Вейбулла – и восстановлены (оценены) их параметры.

В случае нормального распределения, закон распределения (т.е. вероятность того, что с.в. X примет значение, меньшее заданного X):

$$F_N(x) = \int_{-\infty}^x f_N(\eta) d\eta, \quad (2.12)$$

где функция плотности вероятностей:

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.13)$$

Модель (2.13) имеет два параметра a (среднее значение) и σ (стандартное или среднеквадратическое отклонение).

В случае распределения Вейбулла, закон распределения:

$$F_W(x) = \int_{-\infty}^x f_W(\eta) d\eta, \quad (2.14)$$

где функция плотности:

$$f_W(x) = \begin{cases} \frac{\beta}{\gamma} \left(\frac{x}{\gamma}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\gamma}\right)^{\beta}}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

имеет два параметра $\gamma > 0$ и $\beta > 0$.

Выборки и результаты соответствия их статистической оценки плотностей вероятностей законам распределения Гаусса и Вейбулла представлены в приложении Б.2.

Проверим с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии рассматриваемой выборки по X нормальному распределению. Итак, выдвинем две гипотезы: H_0 : нормальное распределение – является функцией распределения X и H_1 : нормальное распределение – не является функцией распределения X . Исходя из сформулированных гипотез примем:

$$\alpha = \langle x \rangle \approx 3,2049, \sigma = S_{\text{нечсм}} \approx 0,2006. \quad (2.16)$$

В таблице 2.1 представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице 2.1, наблюдаемое значение χ^2 -критерия: $\chi^2_{\text{набл}} \approx 309.04$

В свою очередь, для числа степеней свободы [53]:

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6. \quad (2.17)$$

и уровня значимости $\alpha = 0,05$ критическое значение χ^2 -критерия: $\chi^2_{\text{крит}} \approx 12.59$.

Таблица 2.1 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_N(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	2,9655	57	0,9756	38,93	8,3906
2	3,0985	79	1,7280	68,95	1,4663
3	3,2315	95	1,9716	78,67	3,3910
4	3,3645	40	1,4493	57,83	5,4950
5	3,4975	12	0,6863	27,38	8,6419
6	3,6305	6	0,2094	8,35	0,6633
7	3,7635	6	0,0411	1,64	11,5685
8	3,8965	3	0,0052	0,21	37,5025
9	4,0295	2	0,0004	0,02	231,9202
Сумма					309,0393

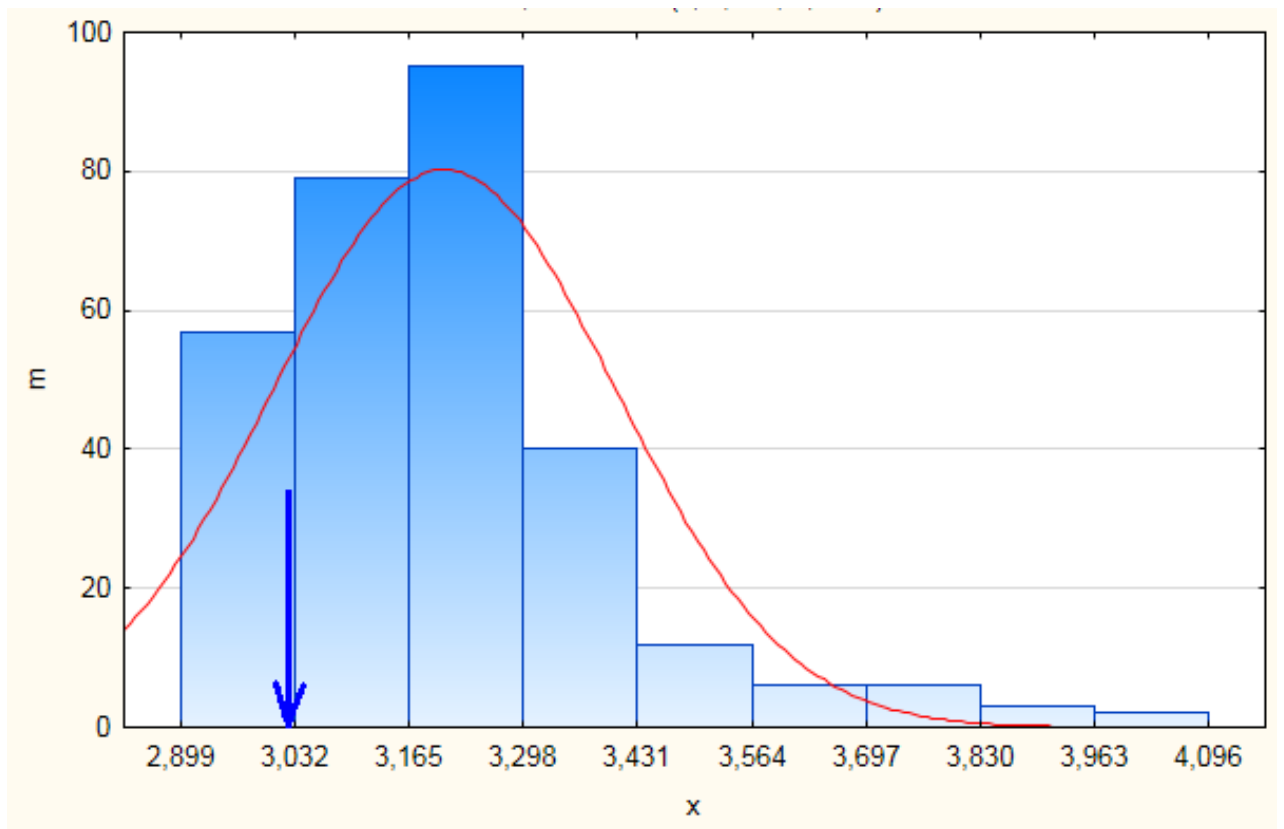


Рисунок 2.10 – Эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению

Как видно, имеет место $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{крит}}$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ гипотеза H_0 о нормальном распределении с.в. X отвергается, а конкурирующая гипотеза H_1 принимается. На рисунке 2.9 представлены эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению.

Проверим теперь с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии распределения Вейбулла данным экспериментальной выборки. Итак, выдвинем две гипотезы: H_0 : распределение Вейбулла – является функцией распределения с.в. X ; H_1 : распределение Вейбулла – не является функцией распределения с.в. X . Мы полагаем (метод максимального правдоподобия): $\gamma \approx 3.3037$, $\beta \approx 13.2525$.

Таблица 2.2 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_w(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	2,9655	57	0,8410	33,56	16,3759
2	3,0985	79	1,1924	47,58	20,7550
3	3,2315	95	1,4510	57,90	23,7802
4	3,3645	40	1,4038	56,01	4,5776
5	3,4975	12	0,9598	38,30	18,0574
6	3,6305	6	0,3884	15,50	5,8203
7	3,7635	6	0,0715	2,85	3,4653
8	3,8965	3	0,0041	0,16	49,2692
9	4,0295	2	0,0000	0,00	2383,7361
Сумма					2525,8370

В таблице 2.2 представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице 2.2, наблюдаемое значение χ^2 -критерия: $\chi^2_{\text{набл}} \approx 2525.84$ [53].

В свою очередь, для числа степеней свободы [53]:

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6 \quad (2.18)$$

и уровня значимости $\alpha=0,05$ критическое значение χ^2 -критерия: $\chi^2_{\text{крит}} \approx 12.59$.

Как видно, для с.в. X имеет место $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{крит}}$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотеза H_0 о распределении Вейбулла с.в. X отвергается, а конкурирующая гипотеза H_1 принимается. На рисунке 2.10 представлены эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий распределению Вейбулла [53].

На рисунках 2.10 и 2.11 стрелкой отмечены значение натуральных испытаний для рассматриваемых пробегов (среднее значение): $x_{\text{н.и.}} = 3$.

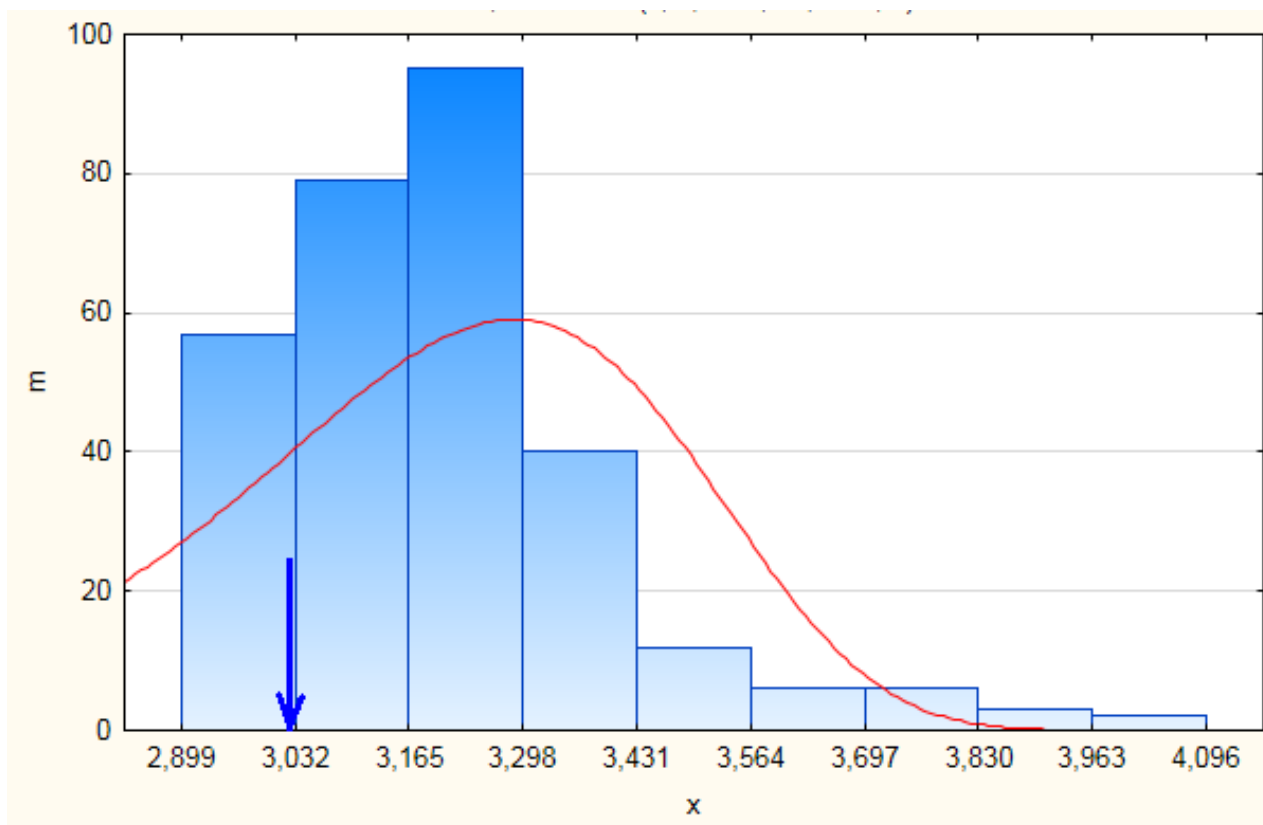


Рисунок 2.11 – Эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий распределению Вейбулла

Итак, подтвердив правильность выдвинутой гипотезы с помощью известных критериев согласия, можно использовать результаты распределения для практической деятельности. Согласно предложенной статистике и обработки результатов это привело к (а) к сглаживанию эмпирических распределений (очевидный и ожидаемый эффект) и (б) к «нормализации» или «вейбуллизации» распределений. Предложенная выборка гипотезы о нормальном распределении и распределении Вейбулла подтвердилась на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

2.4.2. Рекомендации по использованию вероятностной модели распределения износа тормозных колодок транспортных средств АПК

Для построение вероятностной модели распределения износа тормозной колодки можно выделить: наличие случайности; воспроизводимость условий: условия получения независимых результатов на одном и том же маршруте, для одних и тех же образцов тормозных колодок; макроусловия во время

эксперимента всё время одинаковы и воспроизводимость такая, что эффект случайности не меняется и всегда действует на эксперимент одинаковым образом; устойчивость частот: если много раз воспроизводить один и тот же эксперимент и в результате его реализации наступает событие $n(A)$.

2.5. Выводы по главе

1. Обоснованы физические основы повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации путём оценки её сопротивления электрическим измерением.

2. Установлено, что наиболее представительным параметром, определяющим техническое состояние тормозной колодки, является её толщина.

3. Разработано и защищено патентом РФ №2758530 устройство диагностирования износа тормозной колодки при эксплуатации ТС в АПК.

4. Доказано, что наиболее эффективными методами исследования и последующего моделирования износа тормозной колодки являются статистические.

5. Исследовано соответствие плотности вероятностей износа тормозной колодки законам статистического распределения Гаусса и Вейбулла. Доказано соответствие рассматриваемых выборок обоим законам распределения, что подтверждает возможность адекватного применения математической теории планирования эксперимента при дальнейших исследованиях.

3. Программа и методика экспериментальных исследований износа тормозных колодок транспортных средств в АПК

3.1. Постановка задачи

Актуальность диагностирования текущего состояния тормозных колодок нацелена на разработку методов и средств получения данной информации об объекте, что позволит определить состояние, спрогнозировать ресурс безотказной работы тормозного узла, а также вносить некоторые корректировки в его эксплуатацию. Согласно [1, 69, 100, 124, 144], наиболее эффективным является проведение экспериментальных исследований направленных на получение новых зависимостей. Целью настоящего экспериментального исследования является разработка методики и инструментария обеспечивающих эффективное исследование износа и диагностирование текущего состояния тормозных колодок ALLIED NIPPON автомобилей ГАЗ-А21R33.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать концепцию и имитационную модель экспериментального стенда, а также пакет конструкторской документации позволяющий его изготовить;
- изготовить экспериментальный стенд и обосновать выбор приборно-метрологического обеспечения;
- разработать методики экспериментальных исследований диагностирования текущего состояния износа тормозных колодок автомобилей;
- обосновать выбор плана экспериментального исследования и форму полинома, формализующего данные зависимости;
- провести в соответствии с разработанными методиками натурные экспериментальные исследования.

3.2. Концепция и устройство экспериментального стенда

Разработка концепции и имитационной модели экспериментального стенда производилась на основании анализа информационных источников [15, 17, 36-

39, 89, 135, 136]. Обобщённо концепцию и устройство экспериментального стенда можно представить, как: рабочий орган, привод и приборно-метрологическое обеспечение.

После разработки структурной, функциональной, кинематической схем и их экспертной оценки была создана конструкторская документация необходимая для изготовления объекта.

Разработка пакета конструкторской документации осуществлялась с использованием системы автоматического проектирования Solid Works. Преимуществом данного пакета является возможность кинематизации модели с учётом масса-инерционных характеристик и последующим имитационным моделированием.

Спроектированная в пакете Solidworks имитационная 3D-модель экспериментального стенда представлена на рисунке 3.1. Соответствующий ей пакет конструкторской документации необходимый для сборки и концептуального представления в упрощённом виде представлен в приложении В, на рисунках В.1...В.3.

В процессе моделирования производилась разработка основных конструктивных элементов (тормозной узел, развесовка стенда, подбор электродвигателя и прочее).

Разработанный экспериментальный стенд состоит из асинхронного электродвигателя, манометра тормозного давления, рабочего тормозного цилиндра, привода тормозного штока, тормозного суппорта, тормозного диска, вала с самоустанавливающимися подшипниками, пружины тормозного привода, непосредственно тормозного привода, тормозной педали и каркаса рамного типа.

Компоновка и принцип действия экспериментального стенда следующие: каркас сварной из профильной квадратной трубы 10 необходим для крепления электродвигателя, тормозного узла и основных рабочих органов. Электродвигатель закрепляют на отдельном квадратном профиле двумя болтами М10. Также с помощью этих болтов производится натяжение приводного ремня.

Движение колеса происходит с помощью трехфазного электрического двигателя LENZE 1, который выдает через редуктор и ременную передачу 1410 мин^{-1} .

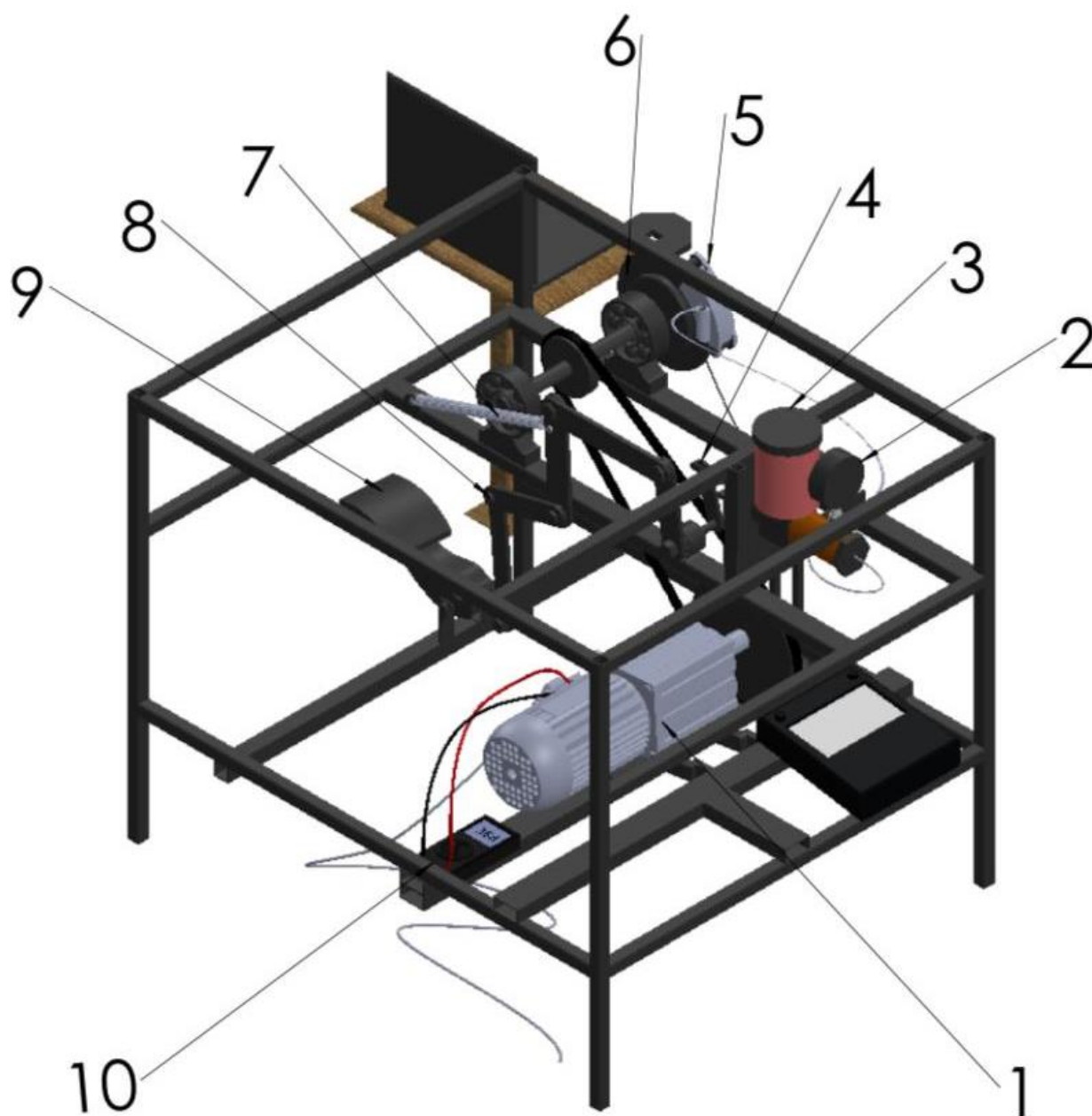


Рисунок 3.1 – Имитационная 3D модель экспериментального стенда в пакете Solidworks: 1 – Электродвигатель; 2 – Манометр тормозного давления; 3 – Рабочий тормозной цилиндр; 4 – Привод тормозного штока; 5 – Тормозной суппорт; 6 –Тормозной диск; 7 – Пружина тормозного привода; 8 – Тормозной привод; 9 – Тормозная педаль; 10 – Рама

Тормозная система экспериментального стенда приводится в действие нажатием на педаль тормоза 9, которая располагается в безопасном месте экспериментальной установки. Усилие ноги экспериментатора передается на шток рабочего тормозного цилиндра 3, давление тормозной жидкости по тормозным трубкам передается к тормозному суппорту колеса 5. За счет сил трения, возникающих между тормозной колодкой и тормозным диском, осуществляется торможение колеса.

После того как усилие на тормозную педаль прекращается, колодка возвращается на исходную позицию. После разработки 3D модели и комплекта конструкторской документации был изготовлен экспериментальный стенд. Общий вид изготовленного экспериментального стенда представлен двумя проекциями на рисунках 3.2 и 3.3.



Рисунок 3.2 – Общий вид изготовленного экспериментального стенда
(проекция 1)



Рисунок 3.3 – Общий вид изготовленного экспериментального стенда
(проекция 2)

Данный экспериментальный стенд с помощью электроизмерительных приборов приведенных в разделе 3.4 позволит исследовать и контролировать текущие параметры износа тормозных колодок, наиболее представительным из которых является сила тока, которая связана с изменением сопротивления тормозной колодки, ее геометрических параметров (толщины) вызванным текущим износом. Тахометра позволит фиксировать обороты колеса.

После разработки концепции и изготовлении экспериментального стенда перейдем к обоснованию выбора факторов, уровней их варьирования, а также параметров, определяющих качество его функционирования.

3.3. Факторы, условия, параметры и план экспериментального исследования

В качестве объекта экспериментального исследований был взят дисковый тормозной механизм (тормозная колодка). Параметры, величины представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры тормозной колодки ГАЗ-A21R33

№ п/п	Измеряемый параметр	ГАЗ-A21 R33 (NEXT)
1	Длина	150 мм
2	Ширина	50 мм
3	Толщина	12 мм

В экспериментальном исследовании использовались безасбестовые тормозные колодки производителя ALLIED NIPPON. Безасбестовые тормозные колодки являются наиболее перспективными с точки зрения эксплуатации в жёстких условиях сельскохозяйственных маршрутов. Комбинация каждой смеси, в качестве армирующего материала используют стальную вату, медную или латунную стружку, или полимерные материалы. В лабораторных испытаниях было задействовано 9 пар тормозных колодок. Результаты выходной величины девяти комплектов тормозных колодок с трех автомобилей ГАЗ-A21R32 которые эксплуатировались на маршрутах Рязанской области представлены в приложении 1,2,3. Описание маршрутов представлены в разделе 2.3.1.

Большая часть эксплуатационных отказов тормозной системы проявляется постепенно, при изменении параметров. Экспериментальными контролируемыми параметрами в лабораторных исследованиях могут быть непосредственно измеряемые величины тормозной колодки (величина износа фрикционного материала), а также другие эксплуатационные показатели, такие как давление в тормозном приводе (мПа) и пробег (км). Контролируемые параметры экспериментального исследования представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры экспериментального исследования

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, размерность
1	Частота вращения при торможении	$U_1, \text{мин}^{-1}$
2	Давление в тормозной системе	$U_2, \text{мПа}$
3	Активная мощность электродвигателя стенда при торможении	$U_3, \text{кВт}$

Для повышения эффективности экспериментального исследования, т.е. получения наилучшего результата при минимальном числе повторностей было принято решение использовать математическую теорию планирования эксперимента. В качестве плана эксперимента был выбран полнофакторный G-оптимальный план Бокса-Бенкена, матрица которого в кодированных переменных представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Матрица 3-х факторного плана Бокса-Бенкена в кодированных переменных

№ опыта	Факторы			Параметры		
	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	-1	-1	-1	– // –	– // –	– // –
2	-1	0	1	– // –	– // –	– // –
3	-1	1	0	– // –	– // –	– // –
4	0	-1	1	– // –	– // –	– // –
5	0	0	0	– // –	– // –	– // –
6	0	1	-1	– // –	– // –	– // –
7	1	-1	0	– // –	– // –	– // –
8	1	0	-1	– // –	– // –	– // –
9	1	1	1	– // –	– // –	– // –

Согласно анализа работ [1, 29, 69, 133, 135, 136], установлено, что в качестве наиболее перспективного полинома, формализующего исследуемые взаимосвязи может быть выбрана линейная модель вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i ,$$

где b_0 , b_i – коэффициенты, характеризующие силу влияния свободных, линейных эффектов членов уравнения.

3.4. Приборно-программное обеспечение экспериментального исследования

С целью реализации предлагаемого экспериментального исследования был специально подобран ряд измерительных приборов, обеспечивающий одновременную регистрацию ряда процессов в экспериментальной установке.

Комплекс приборов содержит периферийную сеть из датчиков и коммуникаций, соединяющих их с ПК.

Бортовая измерительная сеть включает набор приборов и датчиков с соответствующими штуцерами для подключения к электрической системе экранированными проводниками. На рисунке 3.4 представлена схема размещения комплекса аппаратуры на экспериментальном стенде для регистрации процессов износа тормозной колодки [34-38, 43, 49].

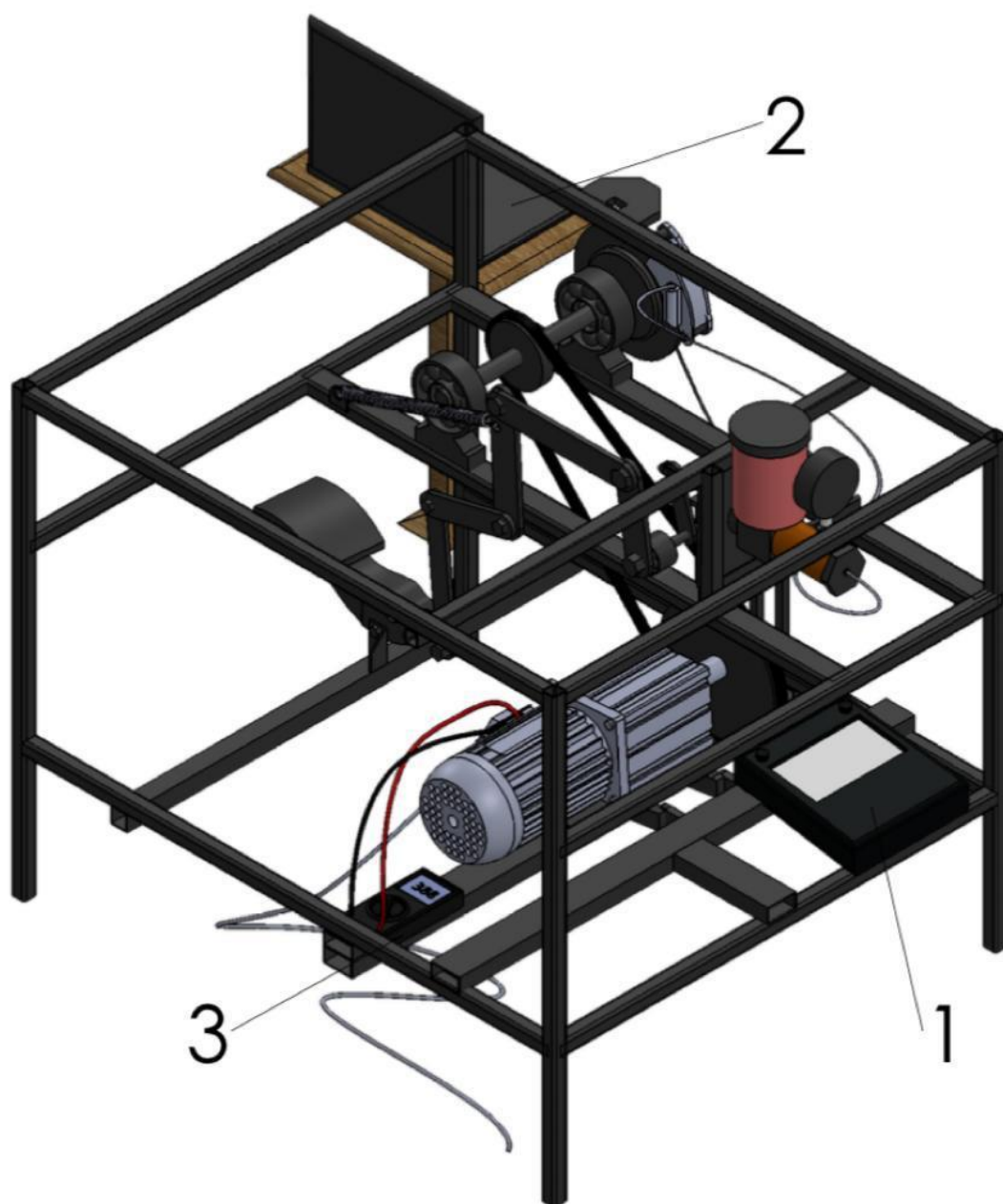


Рисунок 3.4 – Схема размещения комплекса аппаратуры:

1 – Амперметр АМТД-2-РР; 2 – ПК с интерфейсной программой UNIT interface v2.01; 3 – Цифровой мультиметр KBT KT 830L PROLINE

На основе контролируемых процессов были выбраны следующие датчики и программы:

1. Измерительный прибор (тахометр) числа оборотов колеса UNIT-372;
2. Цифровой мультиметр KBT KT 830L PROLINE 79127;
3. Амперметр AMTD-2-RP;
4. Интерфейсная программа UNIT interface v.2.01.

Использование наиболее простых датчиков и программ в данном случае правомерно. Такие датчики и программы имеют собственные пределы измерений и не требуют дополнительной усилительно – преобразовательной аппаратуры. Они в наибольшей мере отвечают требованию минимума затрат на встроенные средства на момент проведения исследования.

На экспериментальном стенде установлено контрольно–измерительное устройство UNIT-372 с помощью которого измеряется частота вращения автомобильного колеса. Контрольно-измерительное устройство UNIT-372 представлено на рисунке 3.5. Показатели измеряются в определенных единицах – об/мин. Принцип работы лазерного тахометра основан на измерении частоту вращения с помощью лазерного луча, отраженного от обода колесного диска.



Рисунок 3.5 – Измерительный прибор числа оборотов колеса UNIT-372

Технические характеристики прибора представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики прибора UNIT-372

№ п/п	Характеристики	Значения
1	Частота обработки	005-255 сек
2	Тип датчика	Лазер
3	Измерительное расстояние	50-200 мм
4	Измерение в диапазоне	от 10 до 99999 об/мин
5	Точность измерений	0.04%
6	Память измерений в режимах	MAX, NIN, AVE, ZERO

Место расположение измерительного прибора показано на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Место расположения измерителя оборотов UNIT-372

Передача данных с измерительного устройства UNIT-372 на компьютер производится с помощью интерфейсной программы UNIT interface v. 2.01, специально разработанной для работы с тахометром UNIT-372.

Чтобы использовать интерфейсную программу UNIT interface v. 2.01 необходимы следующие аппаратные средства и программное обеспечение:

- компьютер с процессором 80486 или более высоким и монитор с минимальным разрешением 640 x 480 пиксел,
- Windows Microsoft 95 или выше,
- 8 мб оперативной памяти,
- Минимальное свободное пространство 10МБ на жестком диске,
- Мышь или другое устройство управления позицией, поддерживаемое
- Windows.

Последовательность действий при передаче данных:

1. Подключение тахометра к компьютеру через интерфейсный кабель;
2. Запуск программы UNIT interface v. 2.01;
3. Создание рабочего файла измерений;
4. Указание имени файла и места на диске, куда должна быть помещена информация;
5. Включение тахометра. Светодиод объект в режиме Count, прибор накапливает, рассчитывает и отображает количество оборотов;
6. Передача данных проведенных испытаний передается на ПК в интерфейсную программу (представлена на рисунке 3.7).

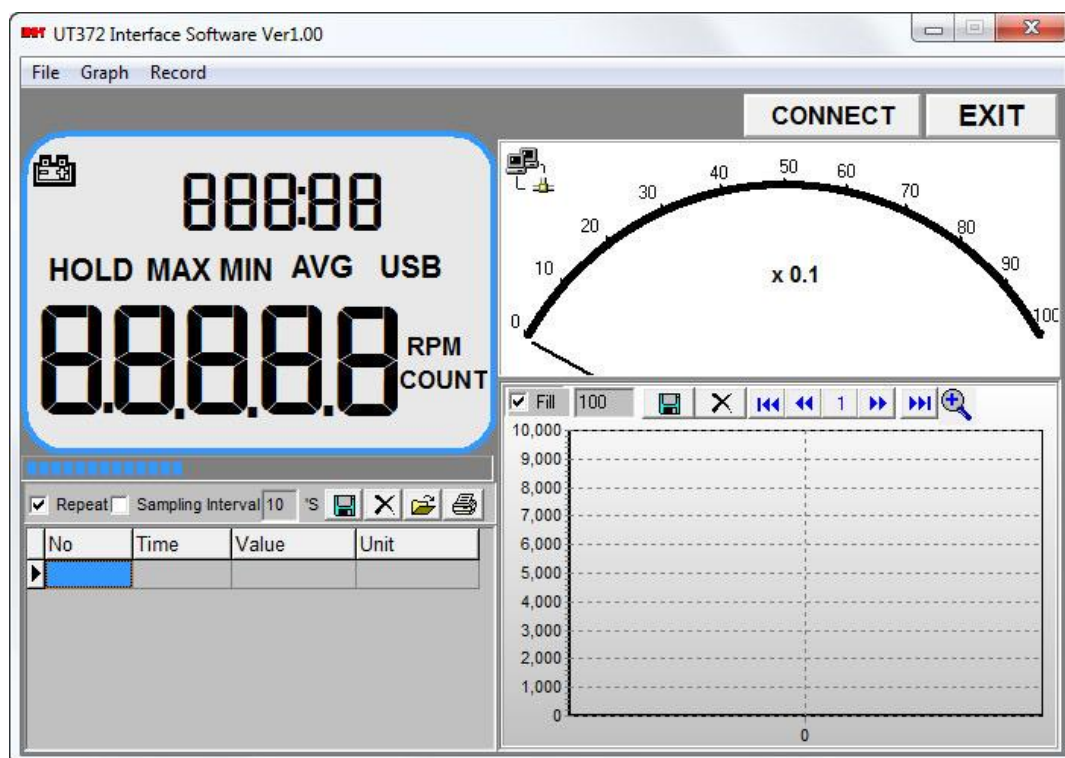


Рисунок 3.7 – Интерфейсная форма программы UNIT interface v2.01

Важным параметром, который учитывали при выборе контрольно-измерительного прибора UNIT-372, является рабочий диапазон скорости и точность устройства, которая задаётся в единицах, таких как $\pm$ RPM.

С помощью данной программы и контрольно-измерительного инструмента достигается высокая производительность измерений, поскольку результаты измерений могут контролироваться непосредственно в процессе записи.

Для измерения силы постоянного тока входной электрической цепи применяли цифровой амперметр AMTD-2-R P представленный на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Цифровой амперметр AMTD-2-RP

Технические характеристики амперметра представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Технические характеристики цифрового амперметра AMTD-2-RP

№ п/п	Характеристики	Значения
1	Диапазон измерений	0 до 5 А
2	Класс точности	0,5
3	Испытательное напряжение	2 кВ
4	Рабочее положение	горизонтальное

Для измерения напряжения фазных обмоток электродвигателя использовался цифровой мультиметр КВТ КТ830L, представленный на рисунке 3.9. Для

измерения показателей напряжения, мультиметр и амперметр необходимо подключить параллельно с источником электроэнергии [107].



Рисунок 3.9 – Цифровой мультиметр KBT KT 830L

Принцип работы цифрового мультиметра основывается на применении аналого-цифрового преобразователя двойной интеграции, реализуемого на применении контроллера [107]. За счет преобразователя происходит сравнение входного сигнала с опорным. Технические характеристики цифрового мультиметра представлены в таблице 3.6 [107].

Таблица 3.6 – Технические характеристики мультиметра KBT KT 830L

№ п/п	Характеристики	Значения
1	Тип изображения	цифровой
2	Диапазон измерения постоянного тока	20 мА ... 10 А
3	Диапазон измерения сопротивления тока	200 Ом ... 20 МОм
4	Диапазон измерения переменного напряжения	20 ... 600 В
5	Диапазон измерения постоянного напряжения	20 ... 600 В
6	Разрядность дисплея, количество знаков	2000

Изготовленный экспериментальный стенд совместно с описанным приборно-метрологическим обеспечением позволяет контролировать обороты колеса,

создавать необходимое количество (частоту) циклов торможения; а также параметры электрического состояния привода.

3.5. Методика эксперимента

Так как технологический процесс работы на экспериментальной установке связан с использованием электропривода, все операции проведены согласно технике безопасности. В ходе проведения экспериментальных исследований также элементы использовались методик разработанные следующими авторами [10, 62, 87, 88, 96, 100, 120, 133, 135, 136]. Перед проведением экспериментального опыта, проводилась подготовка и подключение электроизмерительного инструмента, внешний осмотр установки. Для эксперимента были подготовлены тормозные колодки разной величины 10 мм, 7 мм, 3 мм. Тормозные колодки разных величин показаны на рисунке 3.10.



3 мм



7 мм



10 мм

Рисунок 3.10 – Экспериментальные тормозные колодки ALLIED NIPPON

Процесс измерения частоты вращения с использованием программного пакета UNIT interface v2.01 представлен на рисунке 3.11.

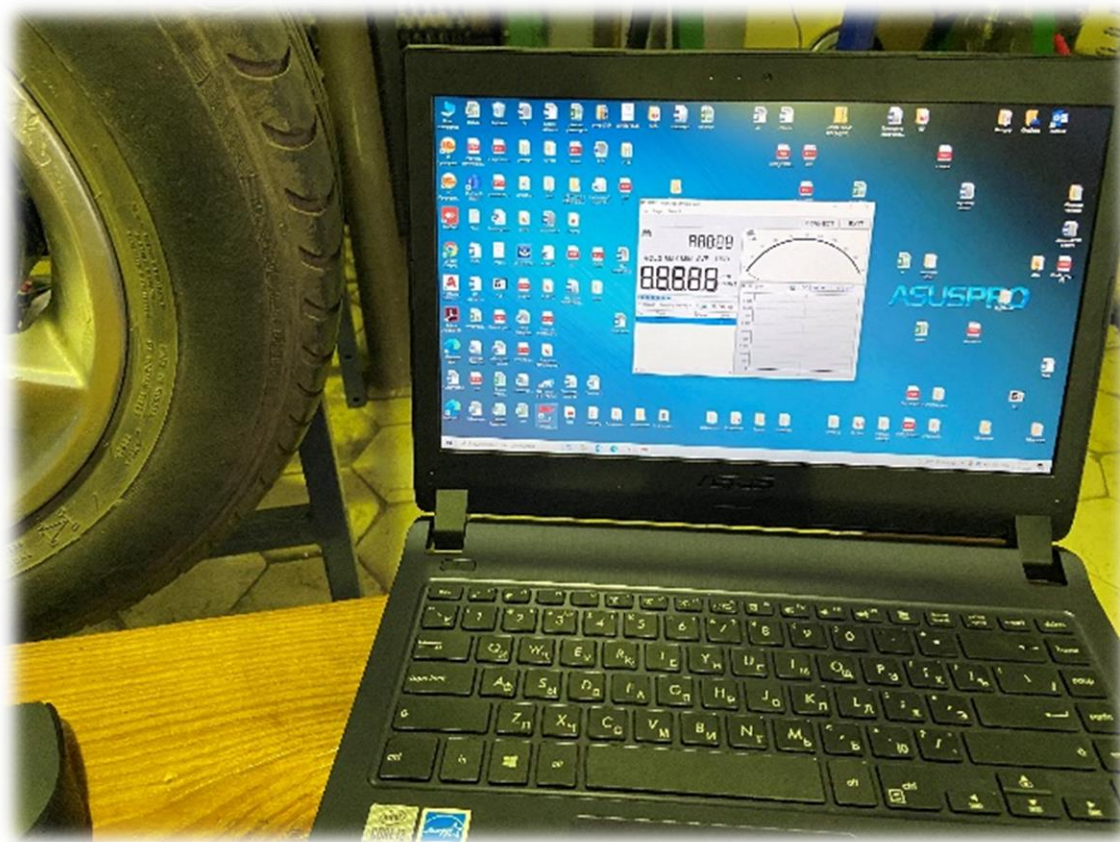


Рисунок 3.11 – Программа UNIT interface v 2.01

После включения экспериментального стенда колесо вращается, программа UNIT interface v2.01 фиксирует обороты колеса от 0 до 1412 об/мин, педаль тормоза находится в верхнем положении, давление в тормозной системе равно нулю. Под воздействием на педаль тормоза рабочего органа, тормозная жидкость под давлением подается в тормозной суппорт, что создает давление на рабочую поверхность от 0,2 до 0,6 мПа. Далее происходит затормаживание колеса. При помощи установленных приборов на экспериментальном стенде контролируем данный процесс. Через 1...2 сек, после прекращения воздействия тормозного усилия на колесо, экспериментальный стенд останавливаем с последующим снятием колеса и замены тормозных колодок. Необходимое количество опытов для каждой тормозной колодки проводится согласно плана эксперимента.

3.6. Выводы по главе

1. Разработана концепция и имитационная модель экспериментального стенда в пакете Solid Works. Создан комплект конструкторской документации необходимый для изготовления экспериментального стенда.

2. Изготовлен экспериментальный стенд для износно-фрикционных испытаний тормозных колодок в лабораторных условиях. Выбрано соответствующее приборно-метрологическое обеспечение.

3. Разработаны методики экспериментальных исследований диагностирования текущего состояния износа тормозной системы автомобилей с использованием экспериментального стенда, обоснованы факторы и диапазоны их варьирования, а также параметры, характеризующие качество функционирования.

4. Обоснован выбор плана экспериментального исследования и форма используемого формализующего исследуемые зависимости полинома.

5. В соответствии с разработанными методиками и трёх факторным планом Бокса-Бенкена проведены натурные экспериментальные исследования 3-х комплектов тормозных колодок ALLIED NIPPON.

4. Результаты экспериментальных исследований износа тормозных колодок транспортных средств в АПК

4.1. Постановка задачи

После разработки методики исследований, создании стенда, выбранных факторов, условий и параметров, инструментов и приборно-метрологического обеспечения были проведены эксперименты. Целью экспериментальных исследований являлся поиск зависимостей выбранных факторов на рассматриваемые параметры. Для повышения достоверности результатов, использовалась математическая теория планирования эксперимента. Применение данной теории позволило получить более точный результат при минимальном числе повторностей сочетаний факторов. Для достижения поставленной цели в данной главе необходимо решить следующие задачи:

- провести математическую формализацию результатов экспериментальных исследований эксплуатационных факторов на износ тормозных колодок выбранного типа;
- проанализировать влияние эксплуатационных факторов на частоту вращения колеса при торможении;
- проанализировать влияние эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе при торможении;
- проанализировать влияние эксплуатационных факторов на удельную активную мощность при торможении в рамках лабораторного стенда;
- определить соответствия износа тормозных колодок соответствующей индикации разработанного технического средства.

Экспериментальные исследования проводились с тремя комплектами тормозных колодок ALLIED NIPPON, взятых из эксплуатации в производственных условиях с пробегами: 36 250 км., 42 100 км., 51 200 км., 57 050 км., 63 150 км., 72 250 км., 78 000 км., 87 100 км., 96 300 км. Данные пробеги набирались при эксплуатации технического средства в соответствии с маршрутом № 1. Описанном в разделе 2.4.

4.2. Математическая формализация результатов экспериментальных исследований эксплуатационных факторов на износ тормозных колодок ALLIED NIPPON

Факторы и уровни их варьирования при исследовании износа тормозных колодок ALLIED NIPPON представлены в таблице 4.1. Области варьирования факторов выбраны в соответствии с анализом результатов исследований [34-38, 135].

Таблица 4.1 – Факторы и уровни их варьирования при исследовании их износа

№ п/п	Кол-во компл.	Наименование фактора	Обозначение, размерность	Уровень варьирования		
				Верхний + 1	Средний 0	Нижний – 1
1	1-комплект тормозных колодок	Толщина тормозной колодки	X_1 , мм	10,2	7,2	3,0
2		Плотность материала тормозной колодки	X_2 , кг/м ³	7,5	10,6	25,5
3		Пробег	X_3 , км	36250	42100	51200
1	2-комплект тормозных колодок	Толщина тормозной колодки	X_1 , мм	9,7	7,0	3,0
2		Плотность материала тормозной колодки	X_2 , кг/м ³	7,9	10,9	25,5
3		Пробег	X_3 , км	57050	63150	72250
1	3-комплект тормозных колодок	Толщина износа тормозной колодки	X_1 , мм	9,8	7,3	2,7
2		Плотность материала тормозной колодки	X_2 , кг/м ³	7,8	10,5	28,3
3		Пробег	X_3 , км	78000	87100	96300

В таблице 4.2 представлены результаты экспериментальных исследований влияния уровня износа тормозной колодки, плотности её материала, а также пробега на параметры характеризующие её эксплуатационные свойства. Данная таблица представляет собой матрицу планирования Бокса-Бенкена в натуральных переменных с действительными значениями откликов, которая является исходной для последующей статистической обработки результатов. Первый комплект тормозных колодок ALLIED NIPPON имел пробеги 36 250 км., 42 100 км., 51 200 км. Эксплуатация осуществлялась в условиях маршрута № 1, в течении 6 месяцев. В качестве технического средства использовался автомобиль ГАЗ-Next. Количество водителей которого в процессе набора статистического материала, составляло 3 человека, водительский стаж которых был 3,5 года; 35 и 18 лет.

В экспериментальном исследовании использовались три комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON с различным уровнем эксплуатационного износа. В таблице 4.2 представлены результаты использования 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON.

Таблица 4.2 – Матрица планирования результатов экспериментального исследования 1-го комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON в натуральных переменных и действительные значения откликов

№ опыта	Кол-во компл.	Факторы			Параметры		
		X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	1-комплект тормозных колодок	3,0	25,5	51200	996,00	0,28	8,50
2		3,0	10,6	36250	1010,00	0,72	22,00
3		3,0	7,5	42100	967,00	0,30	18,00
4		7,2	25,5	51200	995,00	1,38	6,50
5		7,2	10,6	36250	1020,00	0,62	24,00
6		7,2	7,5	42100	966,00	0,20	16,00
7		10,2	25,5	51200	985,00	1,28	4,50
8		10,2	10,6	36250	1010,00	0,52	22,00
9		10,2	7,5	42100	956,00	1,30	14,00

Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась с использованием программного пакета Statistica в соответствии с описанными в разделе 3.2 условиями. В ходе проведения предварительных отсеивающих экспериментальных исследований, а также анализа результатов [35-39, 135, 136], было установлено, что все рассматриваемые факторы в приведённых диапазонах обладают статистической значимостью, соответственно для оценки достоверности полученных массивов данных и их формализации линейными регрессионными моделями будем использовать коэффициент множественной регрессии R^2 , а также общую ошибку аппроксимации. Ошибка аппроксимации представляет собой абсолютную разницу остатков с величиной аппроксимированного полученной моделью отклика. Данная величина выражается в процентах и позволяет наглядно оценить казуальность полученных оценок коэффициентов, варьируемых x_1 , x_2 , x_3 на частоту вращения колеса при торможении Y_1 . Достоверность применения данного алгоритма подтверждается практическим опытом описанном в работах [87, 88, 94, 135, 136, 148].

После статистической обработки результатов экспериментальных исследований были получены математические модели влияния эксплуатации на износ тормозных колодок ALLIED NIPPON 1-го комплекта.

Частота вращения колеса при торможении Y_1 , мин⁻¹, представленная после исключения не значимых факторов в натуральных переменных:

$$Y_1 = 1191,286 - 0,912x_1 + 4,701x_2 - 0,006x_3, \quad (4.1)$$

полученная в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований в виде уравнения (4.1), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,98$. Статистические характеристики уравнения (4.1) представлены в таблице 4.3, а в таблице 4.4 представлены вероятностные характеристики модели (4.1).

Таблица 4.3 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на частоту вращения колеса при торможении 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов, оказывающих влияние на отклик	Уровень износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	19,5327	0,6169	0,4361	0,0006
2	<i>t</i> -статистика	60,9893	-1,4789	10,7798	-10,9725
3	<i>P</i> -значение	0,0002	0,1992	0,0001	0,0001
4	Нижние 95%	1141,0756	-2,4982	3,5803	-0,0075
5	Верхние 95%	1241,4964	0,6735	5,8225	-0,0047
6	Нижние 95,0%	1141,0756	-2,4982	3,5803	-0,0075
7	Верхние 95,0%	1241,4964	0,6735	5,8225	-0,0047

Таблица 4.4 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение частоты вращения колеса при торможении с использованием 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	995,47	0,53	0,12	5,56	0,3
2	1016,80	-6,80	-1,57	16,67	
3	966,47	0,53	0,12	27,78	
4	991,64	3,36	0,78	38,89	
5	1012,97	7,03	1,63	50,00	
6	962,64	3,36	0,78	61,11	
7	988,90	-3,90	-0,90	72,22	
8	1010,23	-0,23	-0,05	83,33	
9	959,90	-3,90	-0,90	94,44	

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели. Обработка влияния варьируемых факторов на последующие отклики осуществлялась согласно аналогичной методике, что влияние давления в тормозной системе при торможении.

Давление в тормозной системе U_2 , мПа, при использовании первого комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$U_2 = 0,77292 + 0,08310x_1 + 0,02916x_2 - 0,00001x_3, \quad (4.2)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.2), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,87$. Статистические характеристики уравнения (4.2) представлены в таблице 4.5, а в таблице 4.6 представлены вероятностные характеристики модели (4.2).

Таблица 4.5 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	0,802035005	0,025331436	0,017907945	0,0000229
2	t -статистика	0,963702889	3,280665843	1,628473248	-0,7442723
3	P -значение	0,379455485	0,021938385	0,164353326	0,4901898
4	Нижние 95%	-1,288773163	0,017987447	-0,016871229	-0,0000758
5	Верхние 95%	2,834620065	0,148220504	0,075196448	0,0000418
6	Нижние 95,0%	-1,288773163	0,017987447	-0,016871229	-0,0000758
7	Верхние 95,0%	2,834620065	0,148220504	0,075196448	0,0000418

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Активная мощность привода станда при торможении U_3 , кВт, представленная после исключения не значимых факторов в натуральных переменных, при использовании первого комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$U_3 = 65,266 - 0,356x_1 + 0,003x_2 - 0,0011x_3, \quad (4.3)$$

Таблица 4.6 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давления в тормозной системе 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	0,89	-0,21	-1,21	5,55	14
2	0,71	0,18	0,99	16,66	
3	0,52	-0,02	-0,14	27,77	
4	1,24	0,26	1,45	38,88	
5	1,06	0,05	0,26	50,00	
6	0,87	-0,15	-0,86	61,11	
7	1,49	-0,04	-0,24	72,22	
8	1,31	-0,22	-1,25	83,33	
9	1,12	0,18	1,00	94,44	

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.3), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,97$. Статистические характеристики уравнения (4.2) представлены в таблицах 4.7, а в таблице 4.8 представлены вероятностные характеристики модели (4.3).

Таблица 4.7 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность привода стенда при торможении 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	4,70815	0,14870	0,10512	0,00013
2	<i>t</i> -статистика	13,86244	-2,39929	0,36278	-8,33626
3	<i>P</i> -значение	0,00004	0,06168	0,73160	0,00041
4	Нижние 95%	53,16378	-0,73903	-0,23209	-0,00146
5	Верхние 95%	77,36915	0,02547	0,30837	-0,00077
6	Нижние 95,0%	53,16378	-0,73903	-0,23209	-0,00146
7	Верхние 95,0%	77,36915	0,02547	0,30837	-0,00077

Таблица 4.8 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность привода стенда мощность при торможении 1-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 1-го комплекта колодок ALLIED	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	7,855759	0,644241	0,618603	7,855759	5,86
2	24,02243	-2,02243	-1,94194	24,02243	
3	17,35576	0,644241	0,618603	17,35576	
4	6,357288	0,142712	0,137032	6,357288	
5	22,52396	1,476045	1,417305	22,52396	
6	15,85729	0,142712	0,137032	15,85729	
7	5,286952	-0,78695	-0,75563	5,286952	
8	21,45362	0,546381	0,524638	21,45362	
9	14,78695	-0,78695	-0,75563	14,78695	

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Методика обработки полученных данных для 2-го комплекта тормозных колодок была аналогична.

Второй комплект тормозных колодок ALLIED NIPPON имел пробеги 57 050 км., 63 150 км., 72 250 км.

Эксплуатация осуществлялась в условиях маршрута № 2, в течении 6 месяцев. В качестве технического средства использовался автомобиль ГАЗ-NEXT. Количество водителей которого в процессе набора статистического материала, составляло 3 человека, водительский стаж которых составлял 5, 9 и 13 лет.

Далее рассмотрим результаты экспериментальных исследований 2-го комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON. В таблице 4.9 представлена матрица планирования 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкена в натуральных переменных. Данная таблица представляет собой матрицу планирования Бокса-Бенкена в натуральных переменных с действительными значениями откликов и содержит исходные данные для последующей статистической обработке результатов.

Таблица 4.9 – Матрица планирования результатов экспериментального исследования 2-го комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON в натуральных переменных и действительные значения откликов

№ опыта	Кол-во компл.	Факторы			Параметры		
		X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	2-комплект тормозных колодок	3,0	25,5	72250	1009,00	0,53	7,50
2		3,0	10,9	57050	971,00	0,75	20,90
3		3,0	7,9	63150	1016,00	0,36	16,80
4		7,0	25,5	57050	1008,00	1,35	5,40
5		7,0	10,9	63150	981,00	0,97	22,90
6		7,0	7,9	72250	1015,00	0,58	14,70
7		9,7	25,5	63150	998,00	1,25	3,40
8		9,7	10,9	72250	971,00	0,90	20,90
9		9,7	7,9	57050	1005,00	1,11	12,70

Частота вращения колеса при торможении Y_1 , мин⁻¹, представленная после исключения не значимых факторов в натуральных переменных при использовании второго комплекта:

$$Y_1 = 832,806 - 0,912x_1 - 8,874x_2 + 0,004x_3, \quad (4.4)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.4), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,97$. Статистические характеристики уравнения (4.4) представлены в приложении Г, в таблице Г.1, а в таблице Г.2 представлены вероятностные характеристики модели (4.4).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Давление в тормозной системе Y_2 , мПа, при использовании второго комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$Y_2 = 0,67350 + 0,07660x_1 + 0,02872x_2 - 0,00001x_3, \quad (4.5)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.5), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,85$. Статистические характеристики уравнения (4.5) представлены в приложении Г, таблице Г.3, а в таблице Г.4 представлены вероятностные характеристики модели (4.5).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели. Активная мощность привода стенда при торможении Y_3 , кВт, представленная после исключения не значимых

факторов в натуральных переменных, при использовании второго комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$Y_3 = 64,665 - 0,366x_1 + 0,058x_2 - 0,0011x_3, \quad (4.6)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.6), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,97$. Статистические характеристики уравнения (4.6) представлены в приложении Г таблицах Г.5, а в таблице Г.6 представлены вероятностные характеристики модели (4.6). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Далее рассмотрим результаты экспериментальных исследований 3-го комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON. В таблице 4.10 представлена приложение матрица планирования 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкена в натуральных переменных. Данная таблица представляет собой матрицу планирования Бокса-Бенкена в натуральных переменных с действительными значениями откликов и является исходными данными для последующей статистической обработке результатов.

Третий комплект тормозных колодок ALLIED NIPPON имел пробеги 78 000 км., 87 100 км., 96 300 км. Эксплуатация осуществлялась в условиях маршрута № 3, в течении 6 месяцев. В качестве технического средства использовался автомобиль ГАЗ-NEXT. Количество водителей которого в процессе набора статистического материала, составляло 3 человека, водительский стаж которых был 4 года; 8 и 11 лет.

Таблица 4.10 – Матрица планирования результатов экспериментального исследования 3-го комплекта тормозных колодок ALLIED NIPPON в натуральных переменных и действительные значения откликов

№ опыта	Кол-во компл.	Факторы			Параметры		
		X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1		9,8	7,8	78000	1006,00	0,49	14,20
2		9,8	10,5	96300	969,00	0,69	28,00

продолжение таблицы 4.10

№ опыта	Кол-во компл.	Факторы			Параметры		
		X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
3	3-комплект тормозных колодок	9,8	28,3	87100	1013,00	0,30	23,70
4		7,3	7,8	96300	1005,00	1,31	12,30
5		7,3	10,5	87100	978,00	0,91	30,00
6		7,3	28,3	78000	1012,00	0,52	21,80
7		2,7	7,8	87100	996,00	1,21	10,30
8		2,7	10,5	78000	969,00	0,84	28,00
9		2,7	28,3	96300	1003,00	1,05	19,80

Частота вращения колеса при торможении Y_1 , мин⁻¹, представленная после исключения не значимых факторов в натуральных переменных при использовании третьего комплекта:

$$Y_1 = 831,307 - 0,830x_1 - 2,851x_2 + 0,004x_3, \quad (4.7)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.7), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,97$. Статистические характеристики уравнения (4.7) представлены в приложении Г, таблице Г.7, а в таблице Г.8 представлены вероятностные характеристики модели (4.7). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Давление в тормозной системе Y_2 , мПа, при использовании третьего комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$Y_2 = 0,58738 + 0,07660x_1 + 0,02960x_2 - 0,00002x_3, \quad (4.8)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.8), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,85$. Статистические характеристики уравнения (4.8) представлены в приложении Г,

таблице Г.9, а в таблице Г.10 представлены вероятностные характеристики модели (4.8). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

Активная мощность привода станда при торможении U_3 , кВт, представленная после исключения не значимых факторов в натуральных переменных, при использовании третьего комплекта колодок ALLIED NIPPON:

$$U_3 = 72,172 - 0,347x_1 + 0,054x_2 - 0,0011x_3, \quad (4.9)$$

полученное в ходе статистической обработки результатов экспериментальных исследований уравнение (4.9), которое адекватно по критерию Фишера характеризует зависимость исследуемых факторов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, при коэффициенте множественной регрессии Фишера $R^2 = 0,97$. Статистические характеристики уравнения (4.9) представлены в приложении Г, таблице Г.11, а в таблице Г.12 представлены вероятностные характеристики модели (4.9).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверности и статистической значимости полученной модели.

4.3. Анализ влияния эксплуатационных факторов на частоту вращения колеса при торможении

После математической формализации результатов экспериментальных исследований влияния износа тормозной колодки, плотности её материала и пробега на частоту вращения колеса станда при торможении, были представлены соответствующие графические интерпретации. Учитывая, что процесс изменения частоты вращения колеса при торможении является сложным и многофакторным, а математические модели, описывающие его представленные в разделе 4.2, делают это с некоторой долей допущения. Поэтому было принято решение использовать алгоритм интерполяции данных. Алгоритм интерполяции подробно описан в работах [1, 29, 51, 69, 133, 135, 136]. Его суть заключается в

уточнении имеющегося массива данных путём введения в него нелинейных составляющих. Интерполяция полученных математических моделей позволила повысить их до квадратичной степени. Графическая интерпретация полученных результатов с учётом интерполяции представлена на рисунках 4.1...4.2.

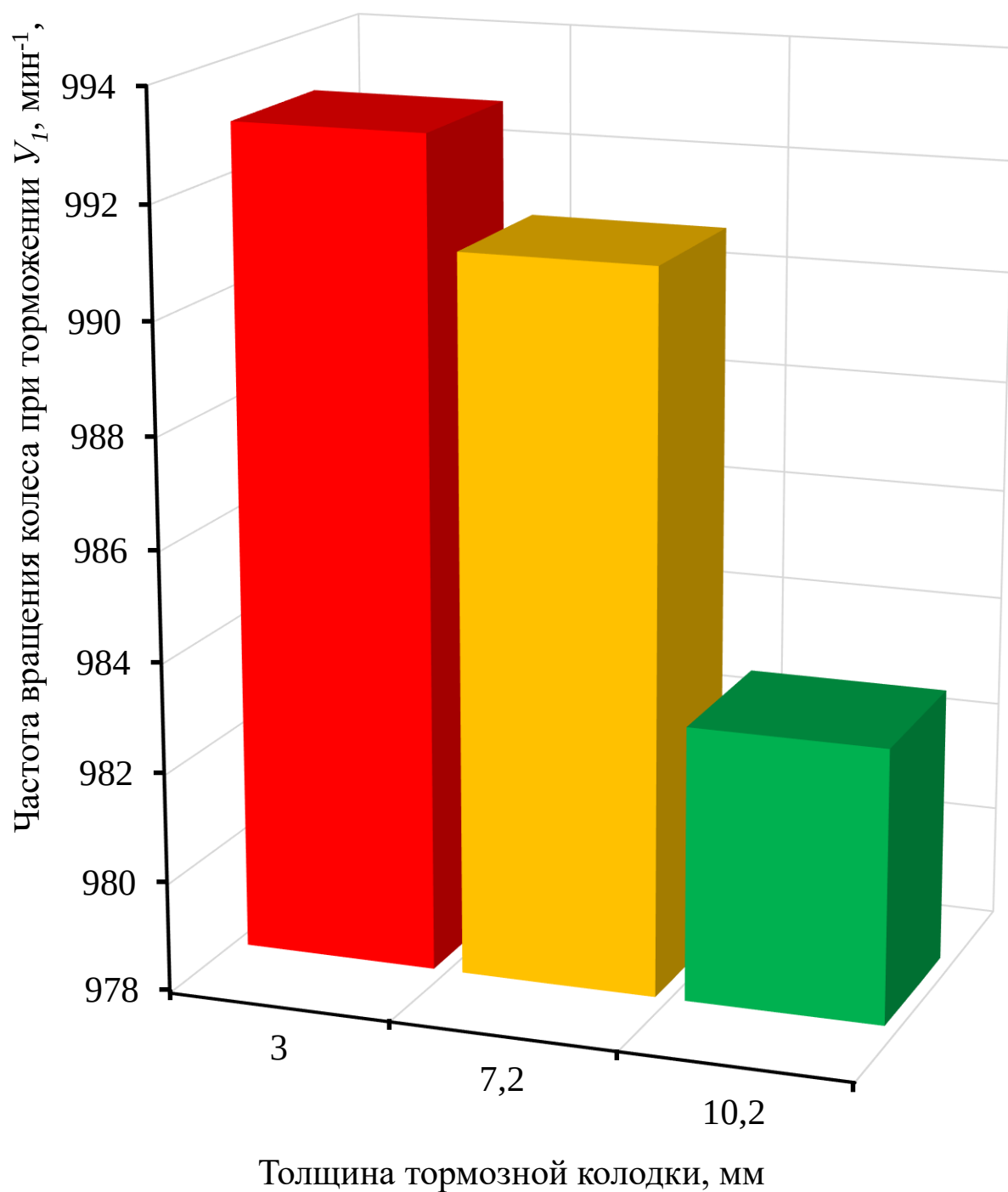


Рисунок 4.1 – Зависимость частоты вращения колеса при торможении от толщины износа тормозной колодки

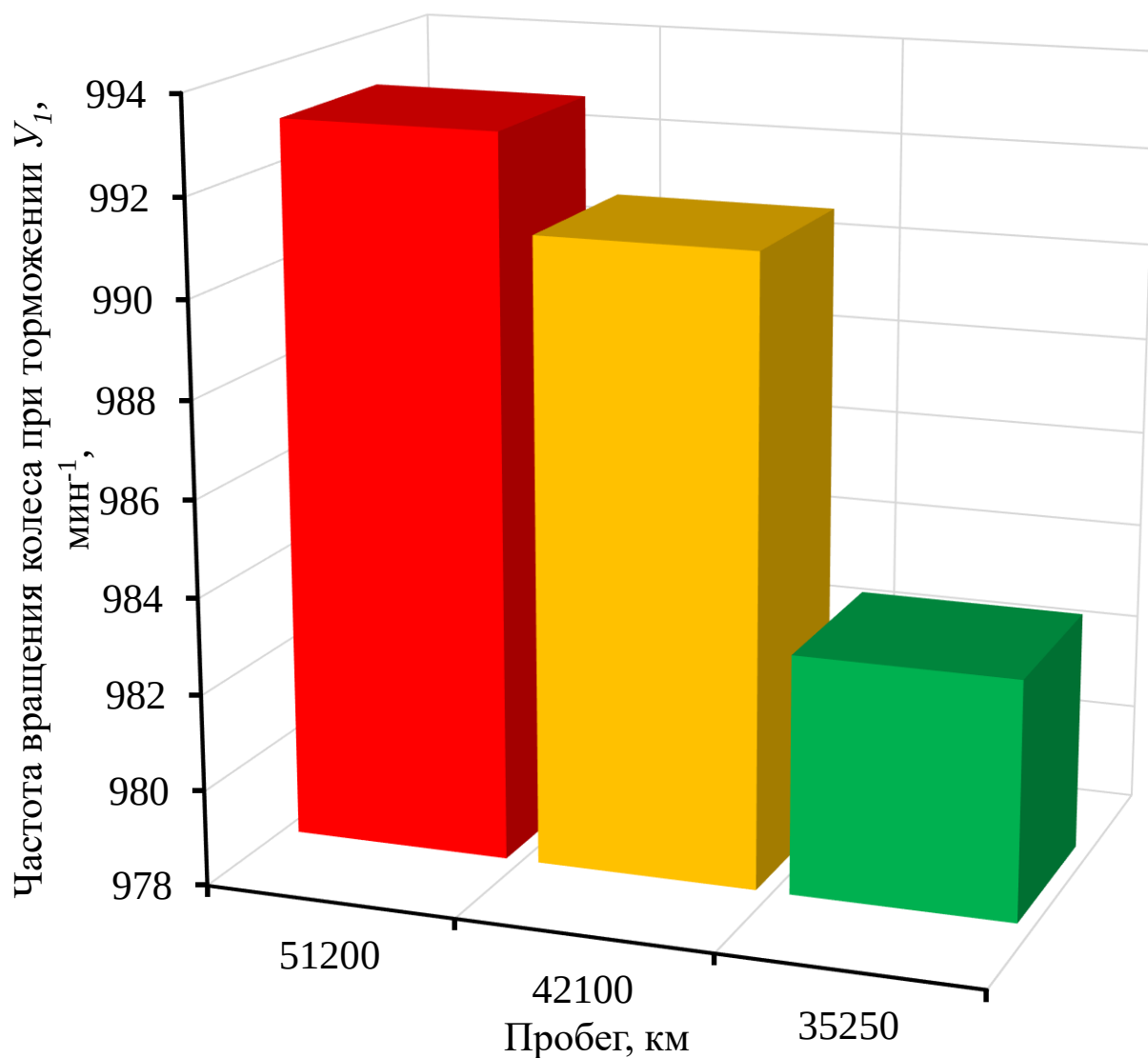


Рисунок 4.2 – Зависимость частоты вращения колеса при торможении от пробега тормозной колодки

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.1 позволил установить, что частота вращения колеса экспериментального стенда при торможении нелинейно зависит уровня износа тормозной колодки, наибольшая частота вращения колеса наблюдается при износе 3...7 мм, что соответствует «красному» уровню индикации.

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.2 позволил установить, что частота вращения колеса экспериментального стенда при торможении нелинейно зависит от пробега тормозной колодки, наибольшая частота вращения колеса наблюдается при пробегах 42 100 км. и 51 300 км., что также соответствует «красному» и «жёлтому» уровням индикации.

4.4. Анализ влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе при торможении

После математической формализации результатов экспериментальных исследований влияния износа тормозной колодки, плотности её материала и пробега на давление в тормозной системе стенда при торможении, были представлены их графические интерпретации. Учитывая, что процесс изменения давления в тормозной системе при торможении является сложным и многофакторным, а математические модели, описывающие его и представленные в разделе 4.2 делают это с некоторой долей допущения. Поэтому было принято решение также использовать алгоритм интерполяции данных. В данном случае интерполяция полученных математических моделей также позволила повысить их до квадратичной степени. Графическая интерпретация полученных результатов с учётом интерполяции представлена на рисунках 4.3...4.4.

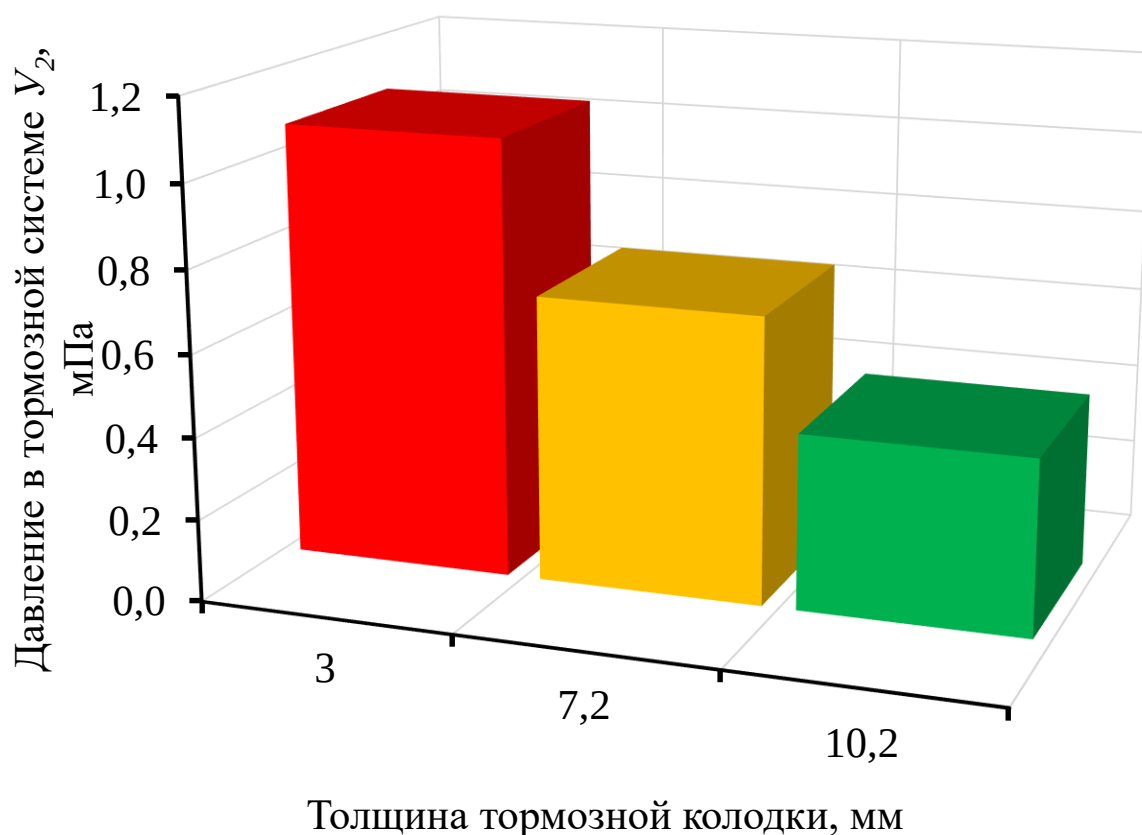


Рисунок 4.3 – Зависимость давления в тормозной системе от толщины износа тормозной колодки

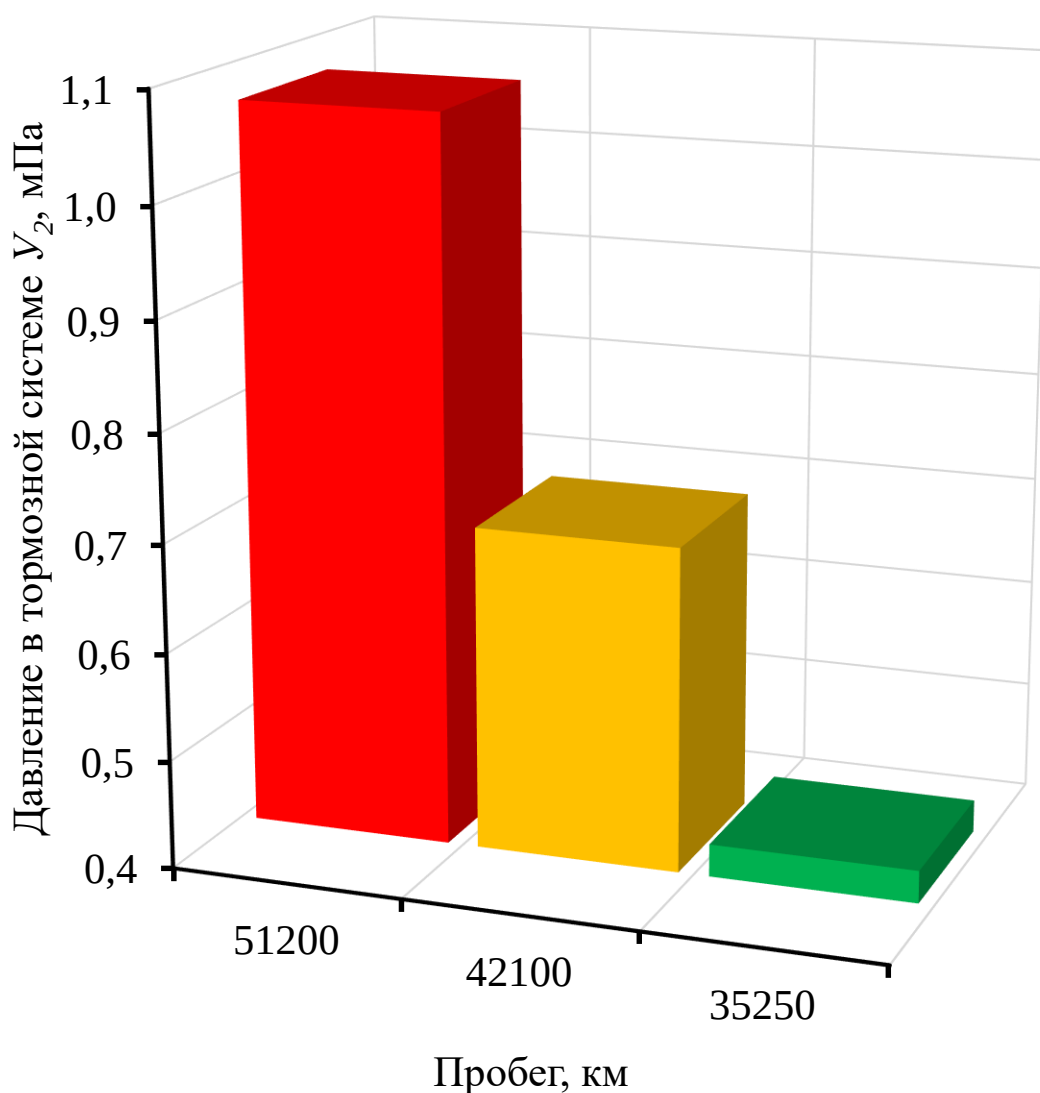


Рисунок 4.4 – Зависимость давления в тормозной системе от пробега

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.3 позволил установить, что давление при торможении в системе экспериментального стенда не линейно зависит износа тормозной колодки.

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.4 позволил установить, что давление при торможении в системе экспериментального стенда не линейно зависит от пробега тормозной колодки. Отметим, что для уточнения природы влияния необходимо проведение дополнительных исследований, по оценке силы влияния отдельных факторов. Обобщив результаты проведённых исследований и их интерполяции приведём их графическую интерпретацию на рисунке 4.5.

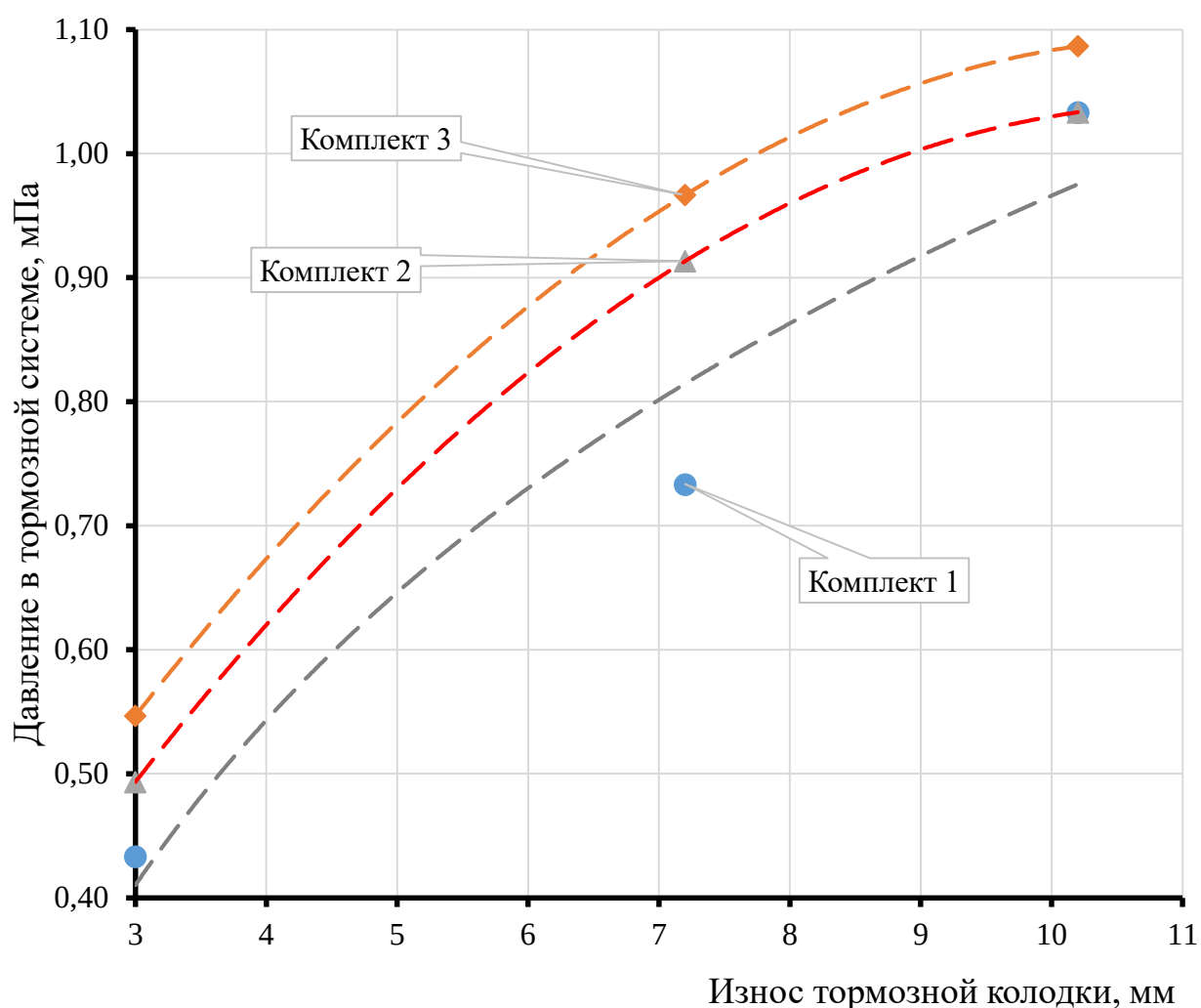


Рисунок 4.5 – Зависимость давления в тормозной системе от износа тормозной колодки ALLIED NIPPON

Анализ данных на рисунке 4.5 позволяет сделать вывод о некотором распределении эксплуатационных свойств тормозных колодок ALLIED NIPPON используемых в процессе экспериментальных исследований.

4.5. Анализ влияния эксплуатационных факторов на удельную мощность при торможении

После математической формализации результатов экспериментальных исследований влияния износа тормозной колодки, плотности её материала и пробега на активную мощность, затрачиваемую стендом при торможении, были представлены их графические интерпретации. Учитывая, что процесс изменения активной мощности при торможении является сложным и многофакторным, а

математические модели описывающие его представленные в разделе 4.2 делают это с некоторой долей допущения было принято решение также использовать алгоритм интерполяции данных. В данном случае интерполяция полученных математических моделей также позволила повысить их до квадратичной степени. Графическая интерпретация полученных результатов с учётом интерполяции представлена на рисунках 4.6...4.7.

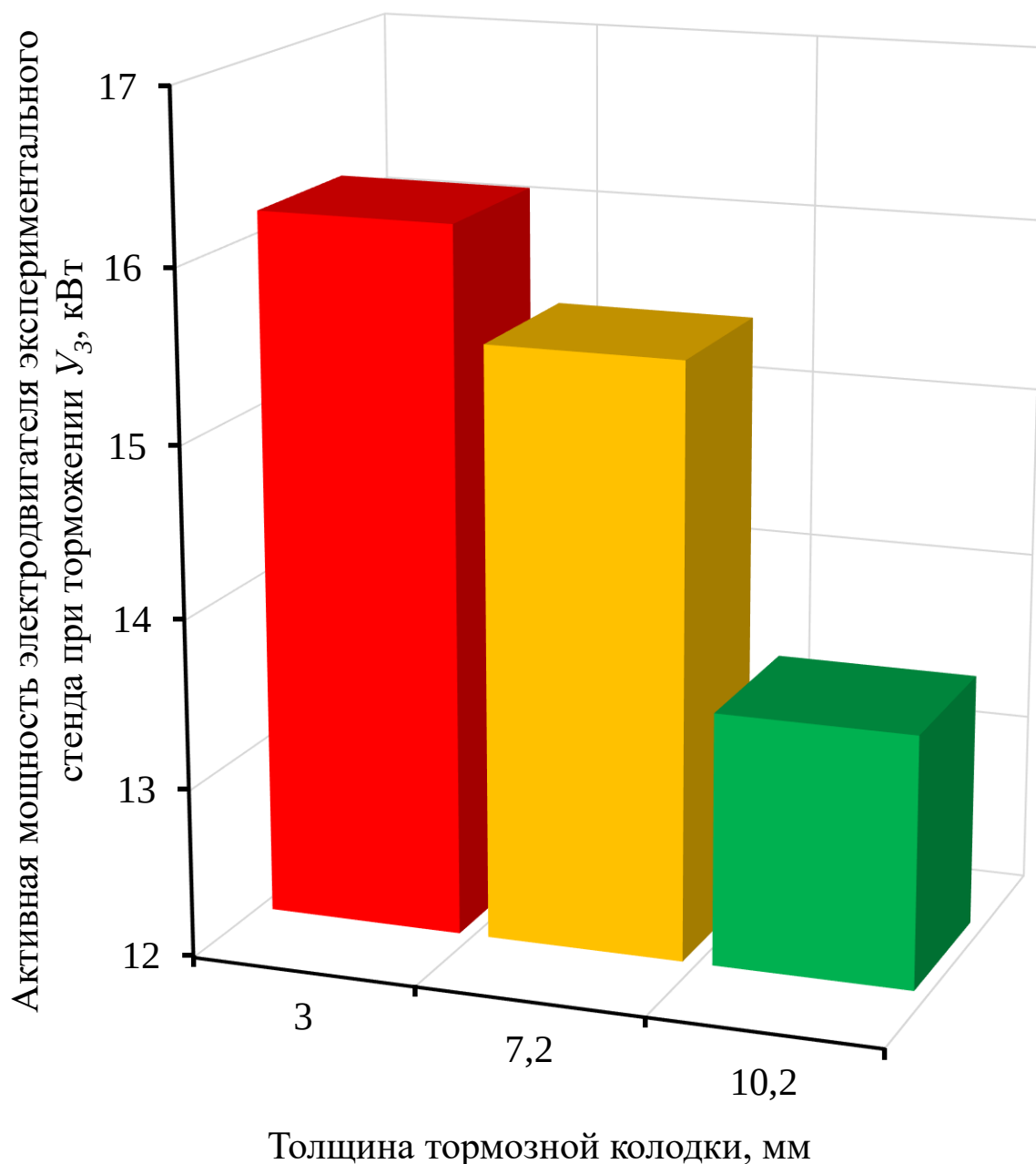


Рисунок 4.6 – Зависимость активной мощности электродвигателя экспериментального стенда при торможении от толщины тормозной колодки

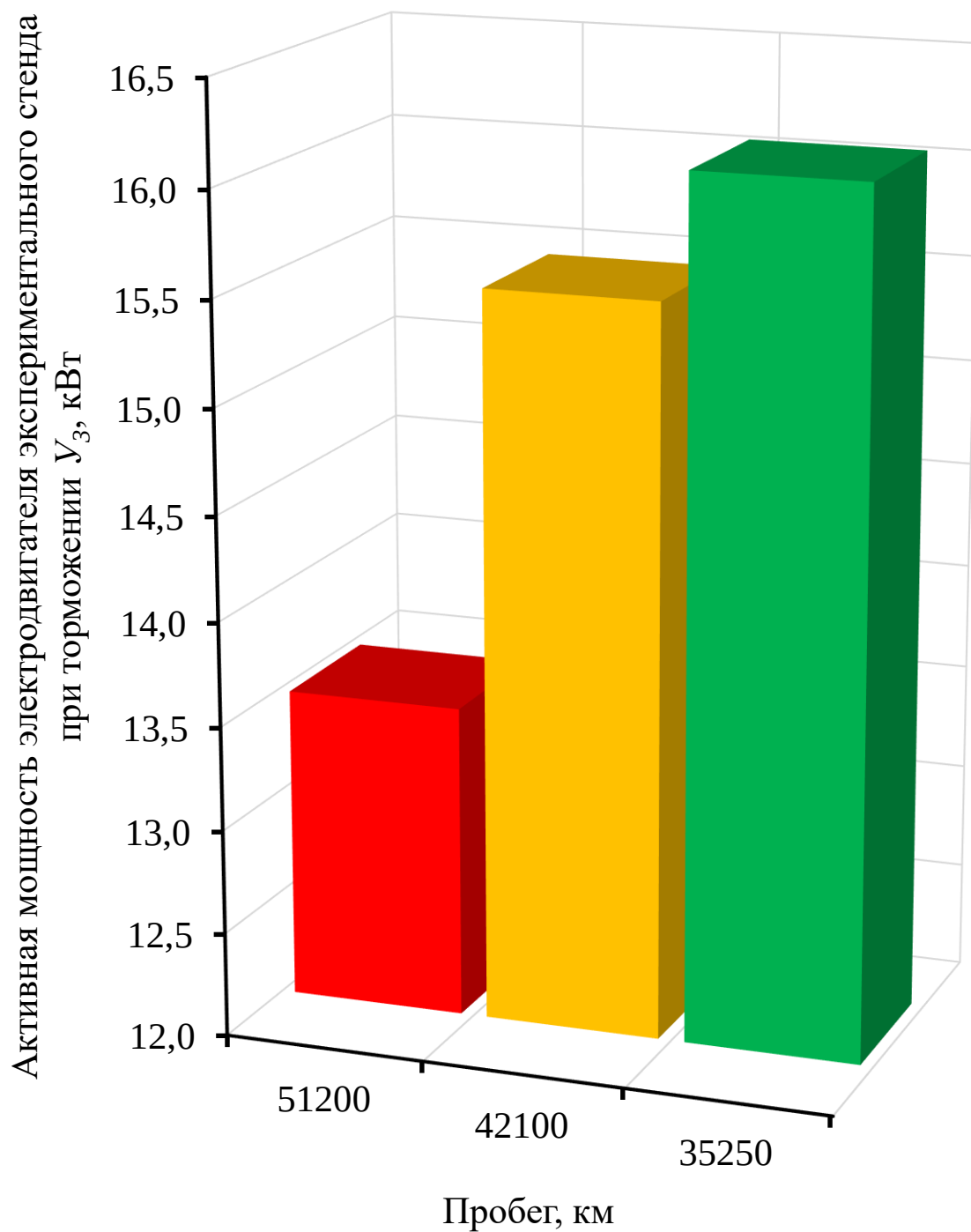


Рисунок 4.7 – Зависимость активной мощности электродвигателя экспериментального стенда при торможении от пробега

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.6 позволил установить, что удельные затраты активной мощности стенда при торможении не линейно зависят износа тормозной колодки.

Анализ интерполированной зависимости, представленной на рисунке 4.7 позволил установить, что удельные затраты активной мощности стенда при торможении не линейно зависят от пробега тормозной колодки, наибольшие затраты наблюдаются при пробегах 42 100 км. и 51 200 км., что соответствует «жёлтому» и «красному» уровням индикации. Отметим, что для уточнения природы данных воздействий необходимо проведение дополнительных исследований, по оценке силы влияния отдельных факторов.

4.6. Выводы по главе

1. Математически формализованы результаты экспериментальных исследований влияния толщины материала тормозной колодки, а также пробега на износ тормозных колодок ALLIED NIPPON, получены линейные регрессионные модели.

2. Установлено, что износ тормозной колодки и пробег оказывают существенное влияние на частоту вращения вала колеса при торможении, что подтверждается статистической значимостью соответствующих оценок коэффициентов в моделях.

3. Установлено, что износ тормозной колодки, её материал и пробег оказывают существенное влияние на давление в тормозной системе экспериментального при торможении, что подтверждается статистической значимостью соответствующих оценок коэффициентов в полученных математических моделях.

4. Установлено, что износ тормозной колодки и её пробег оказывают существенное влияние на удельные затраты активной мощности электродвигателя экспериментального стенда при торможении, что подтверждается статистической значимостью соответствующих оценок коэффициентов в полученных математических моделях.

5. Технико-экономическая эффективность применения разработанных решений

5.1. Постановка задачи

Для расчёта технико-экономической эффективности проведённого исследования используем метод приведённых затрат, основанный на нормативных документах ГОСТ 20779-81 и ГОСТ 34393-2018, методика применения которых описана в [53, 78, 131, 146]. Расчёт будем проводить на базе сравнения используемых решений с вновь разработанным, на базе производственных мощностей ООО «Автогарант».

Целью настоящего раздела является расчёт экономического эффекта от применения разработанных технических решений направленных на диагностирование технического состояния тормозной колодки с определением срока их окупаемости.

В качестве базового варианта сравнения примем тормозные колодки производителя ALLIED NIPPON с датчиком износа тормозной колодки фирмы АТЕ.

5.2. Расчёт годового экономического эффекта и срока окупаемости

Результаты внедрения показали, что экономический эффект достигается за счёт увеличения уровня безопасности автомобиля при его эксплуатации, а также снижения затрат на эксплуатацию путем определения момента наступления предельного износа тормозных накладок и повышения полноты использования их ресурса [104]. Кроме того, снижается риск отказа в связи с возможностью непрерывной диагностики технического состояния тормозной системы транспортного средства, что существенно снижает трудовые затраты.

В настоящее время, при отсутствии единых тарифов на использование транспортных средств в перевозках сельскохозяйственной продукции, в условиях рыночной экономики, доходная ставка по Рязанской области на 1 км. пробега среднетоннажного ТС составляет $P = 27$ руб/км., а себестоимость

эксплуатации - в среднем составляет $S = 22,7$ руб/км., (данные на конец 2021 года) [94]. Себестоимость эксплуатации одного транспортного средств в сельском хозяйстве представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Себестоимость эксплуатации транспортного средства

Заработная плата	840000 р	Из расчета 2 водителя на ТС
ТО и ТР	79000р	Из расчета 5 ТО в год эксплуатации
Пробег ТС/год	97200км	– // –
ГСМ/год	686000р	– // –
Страхование + налог	50000р	– // –
Амортизация ТС/год	480000р	Из расчета эксплуатации ТС 3 года
Расход ГСМ	14 л/100 км	– // –
Стоимость ДТ/1 л	49р	Стоимость на конец 2020г.

Тарифный простой транспортного средства по группе компаний при перевозке продукции сельхозназначения по Рязанской области составляет 1200 руб/ч.

Часовая тарифная ставка при проверке контрольно-диагностических работ тормозной системы, а также технического обслуживания у официального дилера АВТОГАЗ составляет 1100 руб/ч.

На сегодняшний день существует несколько основных подходов, позволяющих на практике оценить эффективность внедрения «Устройства для контроля изнашивания тормозной колодки» [104, 105]. В общем случае, экономическая эффективность складывается из прямой и косвенной экономии. Косвенная экономия позволяет диагностировать с наименьшей трудоемкостью и производить контроль избегая механических средств технического диагностирования. Прямой метод - затраты простоя транспортного средства в зоне контрольно-диагностических работ.

Экономическую эффективность определяли с учетом тех факторов, которые зависят от внедряемого устройства диагностирования, а именно изменение стоимости норма/часа при простое в зоне технического обслуживания, а также

полноты определения текущего износа тормозной колодки в процессе эксплуатации автомобиля.

Суммарная экономическая эффективность внедрения технического устройства может быть рассчитана по формуле:

$$\mathcal{E} = (S_1 - S_2)W - k * \epsilon_H \quad (5.1)$$

где S_1 и S_2 – где себестоимость эксплуатации ТС до и после внедрения предлагаемого технического решения диагностирования,

W – годовой объём транспортной работы, т/км,

K – капитальные вложения в изготовление датчика устройства,

ϵ_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений :
 $\epsilon_H = 0,15$.

Стоимость нормо-часа общеремонтных работ по проверке износа тормозных колодок в период межсервисного ТО (в течении года) определим по формуле:

$$OPR_{TC} = C_{H/ч} t_{пр} n_{пр} \quad (5.2)$$

где $C_{H/ч} = 1100$ н/ч – средняя ставка нормо-часа общеремонтных работ;

$t_{пр} = 1$ ч = трудоемкость проверки степени износа тормозных колодок:

$n_{пр}$ – количество проверок текущего износа тормозных колодок.

Количества проверок текущего износа фрикционного материала тормозной колодки определяем из расчета 1 проверка на каждые 10 000 км.

Стоимость проверки текущего износа тормозных накладок на одном автомобиле составит:

$$OPR_{TC} = 1100 * 1 * 10 = 11000 \text{ т. р.} \quad (5.3)$$

В диагностику тормозной системы входит проверка технического состояния тормозной системы, профилактическая проверка тормозной жидкости, моечные работы перед заездом в ремонтную зону.

Тарифный простой транспортных средств для контрольно-диагностических работ тормозных накладок одного автомобиля составит:

$$D_{\text{тр.кол}} = P_{\text{тс}} t_{\text{пр}} n_{\text{пр}} \quad (5.4)$$

где $P_{\text{тс}}$ – 1200 р/1 н/ч –тарифный простой автомобиля,

$t_{\text{пр}}$ – 1 ч = трудоемкость текущего износа тормозных колодок,

$n_{\text{пр}}$ – количество проверок текущего износа тормозных колодок.

Данная сумма издержек исчисляется:

$$D_{\text{тр.кол}} = 1200 * 1 * 10 = 12000 \text{ т. р.} \quad (5.5)$$

Расчет нижней границы ценового диапазона на производство «Устройства для контроля изнашивания тормозной колодки» [104, 105], будем определять из затрат на внедрение опытного образца и сравнение с серийным устройством.

Суммарные затраты на внедрения технического устройства представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Затраты на внедрения технического устройства

Наименование	до внедр.	после внедр.
тормозная колодка	3500р	4052р
датчик износа тормозной колодки	480р	552 р
панель приборов автомобиля ГАЗель	6800р	7820р
Проводка, монтаж жгута проводки		5000р
Клемма соединительная		300р
	10780р	17724р

Расчет экономической эффективности от внедрения диагностики тормозной системы приведен в таблице 5.3 и показан на рисунке 5.1.

Таблица 5.3 – Экономический эффект от внедрения технического устройства

Показатели	Един. измерения	До внедр	После внедр
количество автомобилей	шт.	1	1
среднесуточный пробег	км.	270	270
месячный пробег	т.км.	8100	8100
годовой пробег	т.км.	97200	97200
стоимость норма-часа для проверки тормозной системы	год/т.руб	11000	
Издержки транспортной компании за возврат автомобиля с линии	год/т.руб	12000	
стоимость оборудования	т.руб	11780	17724
тормозные колодки	комп.	5	4
стоимость тормозных кол.	т.руб	17500	14000
затраты на 1 км	руб.	5,6	3,1
Итого		57800	31724

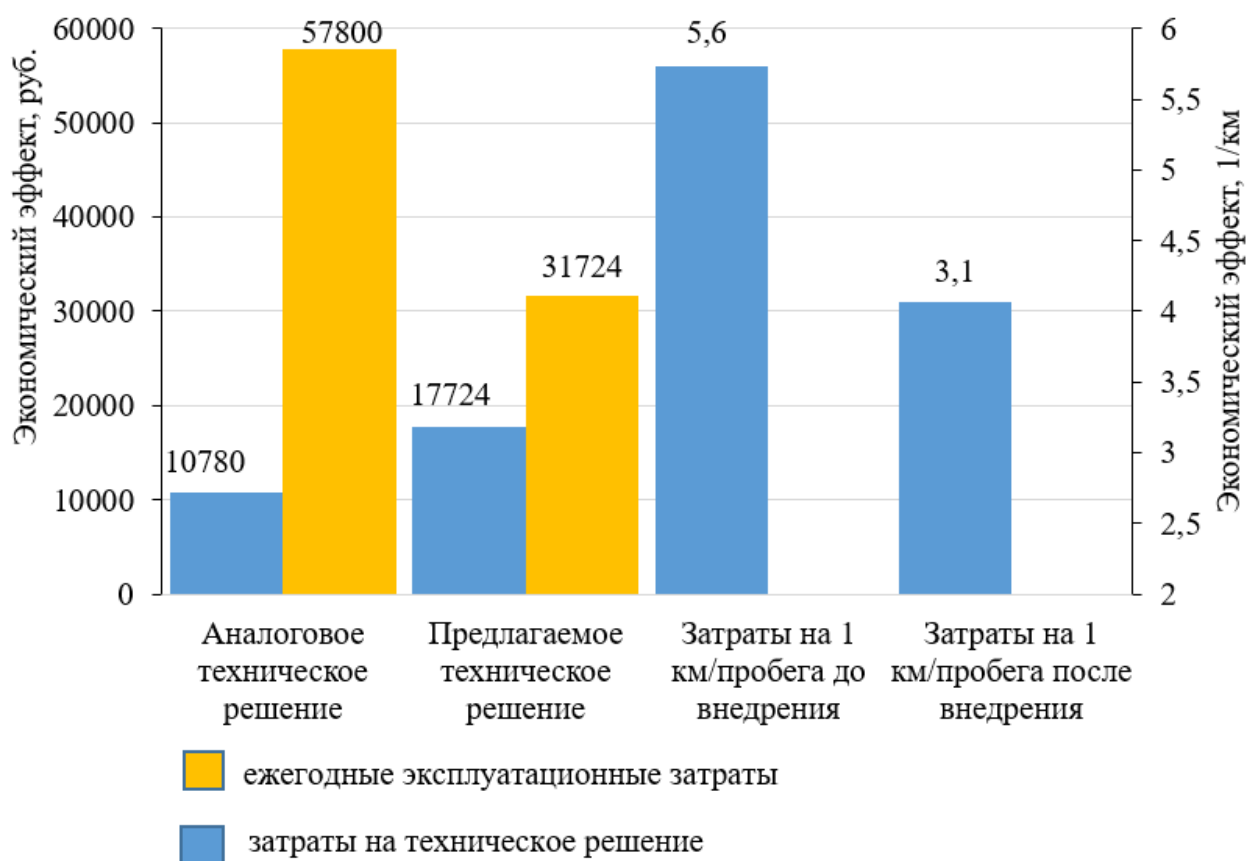


Рисунок 5.1 – Экономический эффект от внедрения технического устройства

Как отмечалось ранее, экономический эффект от технического устройства можно получить при внедрении комплексной диагностики в дорожные условия

т.е., полностью исключить простой автомобиля при выполнении диагностических операций.

На основании вышеизложенного максимальная эффективность от использования «Устройства информирования водителя о предельном износе тормозных накладок» без использования дополнительных диагностических мероприятий составит 3,1 руб./км. на 1 автомобиль, так как при использовании стандартного датчика износа тормозных колодок составит 5,6 руб./км.

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$C_{\text{ок.}} = \frac{K}{\Gamma_{\text{пр}}} = \frac{16872}{26076} = 0,7 \text{ года} \quad (5.6)$$

где K – капитальные вложения на изготовление устройства;

$\Gamma_{\text{пр}}$ – годовая прибыль.

Срок окупаемости контрольно-измерительного прибора составит 10,5 месяцев

5.3. Бережливое производство на основе применения «Устройства для контроля изнашивания тормозной колодки»

В настоящее время идеи бережливого производства в сельхозпредприятиях обретают особую актуальность. В процессе эксплуатации транспортного средства затрачиваются материальные, временные, а также трудовые ресурсы на поддержание транспортного средства в технически исправном состоянии. Суть бережливого производства нацелена на сбережение продуктов труда и эффективное применение технических устройств в области диагностики автотранспорта при котором конечный потребитель будет готов платить за увеличение ценности нового технического решения за счет сокращения время простоя в зоне ТР и устранения потерь при перевозке продукции сельхозназначения. На основе статистических данных по внедрению технического устройства приведенных в главе 4, можно сказать, что оно способствует оптимизации расходов бизнеса, следовательно, можно

рассматривать как метод бережливого производства. Процесс бережливого производства носит комплексный характер и достигается с помощью устранения всех видов потерь, в том числе с учётом концепции бережливых отходов лома тормозных колодок. Отработанные тормозные колодки дисковых тормозных систем относятся к отходам V класса опасности, имеют токсичность, и должны быть утилизированы.

Обращение лома тормозных колодок рассчитывается по формуле:

При использовании наработке замены по ТО:

$$M = \sum N_i * n_i * m_i * L_i / L_{hi}, \quad (5.7)$$

при использовании датчика износа тормозных колодок:

$$M = \sum N_i * n_i * m_i * L_i / L_{hi}, \quad (5.8)$$

где N_i — количество машин, шт.;

n_i — количество накладок тормозной системы, шт.;

m_i — вес комплекта тормозных накладок, кг.;

L_i — средний пробег транспортного средства, тыс. км/год;

L_{hi} — нормы пробега подвижного состава до замены тормозных колодок, тыс.

Таблица 5.4 – Утилизация лома тормозных колодок

Автомобиль	Кол-во автомобилей, шт.	Кол-во тормозных накладок установл. на автомобиль, шт.	Масса тормозной колодки, кг.	Среднегодовой пробег, тыс. км.	Масса отработанных тормозных накладок, кг.
ГАЗ-A21R33	1	20	0,63	100	1260
ГАЗ-A21R33	1	16	0,63	100	1008

Из таблицы 5.4 можно выделить концепцию бережливого производства (бережливых отходов) как сокращение объёмов отходов на 20 %. За счет

снижения этого объема можно повысить уровень экологических показателей, что несомненно повысит уровень экономических показателей [53, 78, 131, 146].

5.4. Выводы по главе

На основании проведённой оценки технико-экономической эффективности разработанных технических решений получен годовой экономический эффект в 26500 руб., при сроке окупаемости 10,5 месяцев.

Заключение

1. Теоретически исследованы способы повышения эффективности технического состояния тормозной колодки при эксплуатации. Установлено, что наиболее перспективным является измерение износа тормозной колодки путём электрического измерения её износа.

2. Разработано и защищено патентом РФ №2758530 устройство диагностирования износа тормозных колодок транспортных средств АПК.

3. Разработаны методики экспериментальных исследований диагностирования износа тормозных колодок транспортных средств АПК с помощью созданного устройства.

4. Проведены экспериментальные исследования влияния эксплуатационных факторов на износ тормозных колодок транспортных средств. Получены математические модели, формализующие влияние пробега на износ тормозной колодки, давление в тормозной системе и активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении.

5. Техничко-экономический эффект от применения созданного технического решения с одного транспортного средства составил 26 500 рублей.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности эксплуатации тормозных колодок транспортных средств в АПК необходимо использовать методы постоянного диагностирования их износа.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие научные исследования необходимо продолжить в области интеллектуализации и цифровизации контроля текущего состояния износа тормозных колодок транспортных средств АПК.

Список использованных источников

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Акимов, В.В. Интерактивная диагностика мобильной техники в сельском хозяйстве. Международный научный журнал / В.В. Акимов, Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев [и др.] // - 2017. - № 2. - С. 131-132.
3. Акимов, В.В. Перспективные методы диагностирования систем мобильной техники в сельском хозяйстве / В.В. Акимов, В.В. Фокин, Р.В. Безносюк [и др.] // Международный научный журнал. - 2017. - № 2. - С. 100-105.
4. Альмеев, Р.И. Расчётная оценка прочности диска переднего тормоза / Р.И. Альмеев, В.В. Савельев, И.К. Данилов, Г.М. Полищук, А.Р. Асоян // Моделирование систем и процессов. - 2020. Т. 13. - № 3. - С. 4-9.
5. Андропов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для ВУЗов / А.М. Андропов, Е.А. Копытов, Л.Я. Гринглаз. – СПб.: Питер. – 2004. – 461 с.
6. Антонов, Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. - М.: Машиностроение, 1978. - 216 с.
7. Апатенко, А.С. Информационный банк параметрических данных для контроля ресурсного нагружения элементов технических систем технологических машин / А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина, А.В. Миронов, О.А. Ступин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2021. - № 7. - С. 24-29.
8. Апатенко, А.С. Комбинирование методов теории рисков при контроле технического состояния технологических машин на мелиоративных работах / А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2020. - № 8. - С. 26-31.
9. Апатенко, А.С. Механизм распознавания состояния конструктивных элементов технологических машин / А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2020. - № 12. - С. 23-28.

10. Асоян, А.Р. Снижение износа юбок поршней двигателей внутреннего сгорания / А.Р. Асоян, А.С. Горшков, А.Х. Израелян // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. - 2020. Т. 21. - № 3. - С. 175-180.

11. Атяшкин, Е.Л. Стратегии технической эксплуатации, технического обслуживания и ремонта автомобилей / Е.Л. Атяшкин // Вопросы эффективности машиностроения и автомобильного транспорта / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1994. – С. 51-55.

12. Афанасьев, Л.Л. Конструктивная безопасность автомобилей / Л.Л. Афанасьев, А.Б. Дьяков, И.И. Веремеенко. - М.: Машиностроение, 1983. – 216 с.

13. Баженов, Ю.В. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Фундаментальные исследования: науч. жур. - 2015. - № 1. - С.16-21.

14. Балабаева, И.А. Дисковые тормозные механизмы для грузовых автомобилей / И.А. Балабаева // Автомобильная промышленность. – 1986. - №9. – С. 36-37.

15. Безносюк, Р.В. Повышение надежности техники в сельском хозяйстве на основе применения систем непрерывного диагностирования / Р.В. Безносюк, В.В. Фокин, Н.В. Бышов [и др.] // Международный научный журнал. - 2017. - № 2. - С. 112-116.

16. Борисов А.И. Влияние тормозных систем автомобилей на безопасность движения / Борисов А.И, Галактионов А.Ю, Исаев М.В // Вестник КРСУ. - Бишкек, - 2007. - №7 (12). - С.50-53.

17. Бортник, А.В. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутрихозяйственных перевозках в АПК / А.В. Бортник, И.А. Успенский, И.А. Юхин, В.А. Волченкова // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 9 (267). – С. 33-36.

18. Бортник, А.В. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутрихозяйственных перевозках в АПК / А.В. Бортник, И.А. Успенский, И.А. Юхин [и др.] // Техника и

оборудование для села. - 2019. - № 9 (267). - С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-9-33-36.

19. Бочаров, Е.В. Безопасность дорожного движения / Е.В. Бочаров [и др.]. Справочник. - М.: Транспорт, 1983. – 284 с

20. Бурак, П.И. Анализ наработки на отказ зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов / П.И. Бурак, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2022. - № 5 (299). - С. 27-31.

21. Бурак, П.И. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках реализации ведомственного проекта "Техническая модернизация агропромышленного комплекса" / П.И. Бурак, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2021. - № 6 (288). - С. 2-5.

22. Бурак, П.И. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники / П.И. Бурак, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 10 (268). - С. 2-5.

23. Бышов, Н.В. Исследование распределения плотности вероятностей патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза / Н. В. Бышов, Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский [и др.] // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 4 (56). – С. 215-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.

24. Бышов, Н.В. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 38-39.

25. Бышов, Н.В. Пути дальнейшей модернизации транспортных средств для АПК / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 123. - С. 142-168.

26. Бышов, Н.В. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12 (87). – С. 179-184.

27. Васильев, С.Е. Комплект накладок с индикаторами износа для тормозных колодок барабанных тормозов автомобилей / С.Е. Васильев // Патент на изобретение 2760821 С1, 30.11.2021. Заявка № 2021110383 от 13.04.2021.

28. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – 5-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 448 с.

29. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974. – 192 с.

30. Войтенко, В.А. Исследование силового взаимодействия в дисковом тормозе с плавающей тормозной колодкой / В.А. Войтенко // Бюллетень транспортной информации. - 2018. - № 10 (280). - С. 15-19.

31. Войтенко, В.А. Комплексная модель тепловых процессов и процессов изнашивания в дисковом тормозе с плавающей тормозной колодкой / В.А. Войтенко // Инновационный транспорт. – 2018. – № 3 (29). – С. 58-65.

32. Войтенко, В.А. Особенности износа, тепловых процессов и шума дискового тормоза с плавающей тормозной колодкой / В.А. Войтенко // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: сб. мат. XVIII Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 5-8.

33. Волошин, Г.Я. Анализ дорожно-транспортных происшествий / Г.Я. Волошин, В.П. Мартынов, А.Г. Романов. - М.: Транспорт, 2008. – 240 с.

34. Воробьев, Д.А. Обзор методов диагностирования керамических тормозных дисков автомобиля / Д.А. Воробьев, И.А. Успенский, И.А. Юхин [и др.] // Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений: Материалы Международной студенческой научно-практической конференции, ФГБОУ ВО РГТУ. - Рязань, - 2020. - С. 223-228.

35. Воробьев, Д.А. Оценка износа тормозных дисков из композиционных материалов / Д.А. Воробьев, М.А. Горетова, И.А. Успенский, О.В. Филюшин // Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной

техники: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта. ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань. – 2020. – С. 169-173.

36. Воробьев, Д.А. Совершенствование механизма обнаружения и устранения неисправностей сельскохозяйственной техники / Д.А. Воробьев // Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса. Материалы национальной научно-практической конференции, ФГБОУ ВО РГАТУ. - Рязань, - 2020. - №3. - С.94-98.

37. Воробьев, Д.А. Средства диагностирования тормозной системы автомобиля керамики / Д.А. Воробьев, И.А. Успенский // Совершенствование конструкций и эксплуатации техники: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ, доктора технических наук, профессора Н.Н. Колчина. Рецензируемое научное издание. ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань. – 2021. – С.101-104.

38. Воробьев, Д.А. Фрикционная стабильность современной тормозной системы / Д.А. Воробьев // Автомобильный транспорт: перевозки, безопасность, прогрессивные технологии: Материалы Региональной студенческой научно-практической конференции, ФГБОУ ЧГПУ им Яковлева. – Чебоксары. – 2021. – С. 14-19.

39. Воробьев, Д.А. Эксплуатационная проверка тормозной системы на полуприцепе в АПК / Д.А. Воробьев, И.А. Успенский // Совершенствование конструкций и эксплуатации техники: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ, доктора технических наук, профессора Н.Н. Колчина. ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань. – 2021. – С. 37-42.

40. Герасимова, Е.Б. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие/ Е.Б. Герасимова, Б. И. Герасимов. – Москва: Инфа-М, 2010. - 226 с.- (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-003299-3.

41. Гержоков, В.И. Техническое состояние автомобилей и безопасность движения / В.И. Гержоков, И.С. Госяков, В.Д. Гардермая - Киев: Техника, 1978. -148 с.
42. Гернер, В.С. Исследование режимов контроля эффективности действия тормозных механизмов автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. - Харьков, 1970.- 174 с.
43. Герц, Е.В. Расчет пневмоприводов: Справочное пособие / Е.В. Герц, Г.В. Крайняя. - М.: Машиностроение, 1975. - 272 с.
44. Гительман, Д.А. Повышение долговечности автотракторных двигателей применением трибопрепаратов / Д.А. Гительман, В.П. Лялякин, Н. Машрабов, А.К. Ольховацкий // АПК России. - 2018. Т. 25. - № 2. - С. 254-257.
45. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: уч. пособие для ВУЗов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк. – 2003. – 479 с.
46. Голубев, И.Г. Возможности технологий 3D-сканирования при ремонте сельскохозяйственной и лесохозяйственной техники / И.Г. Голубев, В.В. Быков, М.И. Голубев, И.А. Спицын // Технический сервис машин. - 2020. - № 2 (139). - С. 21-28.
47. 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.
48. Голубенко, В.М. Исследование надежности тормозных систем автомобилей в эксплуатации: Дисс.... канд. техн. наук. - М., 1978. - 197 с.
49. Гомберг, Б.Н. Электрические двигатели небольшой мощности : учебное пособие для вузов / Б.Н. Гомберг, В.И. Нагайцев, Е.Л. Чепурнов - Москва: Издательский дом МЭИ, - 2014. - 183 с.
50. ГОСТ 18322-2016. Межгосударственный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: изд-во стандартиформ, 2017. – 14 с.
51. ГОСТ Р 50779.27-2017. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных – М.: изд-во стандартиформ, 2017. – 62 с.

52. ГОСТ Р 50779.27-2017. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных: - М.: изд-во стандартиформ, 2017. - 62 с.
53. Грибовский, С.В. Оценка стоимости недвижимости: учеб. пособ / С.В. Грибовский; Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов (ФИНЭК). – Санкт-Петербург: изд-во Маросейка, 2009. – 432 с.
54. Датчик износа передних колодок [Электронный ресурс] <https://www.newtis.info/> (Дата обращения 17.10.2019).
55. Деселерометр МАНА VZM-300 [Электронный ресурс] <https://www.maha.ru> (Дата обращения 01.10.2019).
56. Джонс, И.С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия / И.С. Джонс - М.: Машиностроение, 1979. - 208 с.
57. Диагностика тормозной системы [электронный ресурс] <https://www.v-techuk.com/> (Дата обращения 12.01.2021).
58. Диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса автомобилей. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://wheelnews.ru/diagnostirovanie-i-prognozirovanie-ostatochnogo-resursa-avtomobiley/> – Заглавие с экрана.
59. Диагностирование и регулирование тормозных систем автомобилей "КамАЗ" и автобусов "Икарус" на роликовых тормозных стендах. Киев: Из-во "Знание" УССР, 1990. - 19 с.
60. Дьяченко, С.Ф. Состояние и перспективы развития системы обеспечения безопасности дорожного движения / С.Ф. Дьяченко, В.И. Компанцев, А.И. Борисов, Н.В. Семененко, О.М. Шабанова // Вестник КРСУ, 2005. – Т. 5. – №2. – С. 101–112
61. Ежов, И.В. Исследование надежности тормозных систем грузовых автомобилей ЗИЛ в эксплуатационных условиях: Дисс. ... канд. техн. наук.-Л., 1970. -203 с.
62. Ерасов, И.А. Влияние разницы скорости износа передних и задних тормозных колодок автомобиля на допустимую величину отклонения коэффициента сцепления передних и задних колёс / И.А. Ерасов, Ю.И. Молев,

А.Д. Стрижак, Д.Н. Прошин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9-3. – С. 450-454.

63. Ерасов, И.А. Влияние разницы скорости износа передних и задних тормозных колодок автомобиля на допустимую величину отклонения коэффициента сцепления передних и задних колёс / И.А. Ерасов, Ю.И. Молев, А.Д. Стрижак [и др.] // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 9-3. - С. 450-454.

64. Ерошенко, В.О. Обоснование выбора технологии 3D-формообразования высокопрочных лопаток турбин / В.О. Ерошенко, А.Р. Асоян // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2021. - № 1. - С. 35-39.

65. Журавлёв, В.Ф. О “парадоксе” тормозной колодки / В.Ф. Журавлёв // Доклады Академии наук. - 2017. Т. 474. - № 3. - С. 301-302. DOI: 10.7868/S0869565217150075.

66. Журавлев, С.Ю. Основы надежности машин: учеб. пособие / С.Ю. Журавлев. – Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2021 – 251 с.

67. Зайцева, М.М. Диагностика неисправности по внешнему виду тормозных колодок автомобиля / М.М. Зайцева, А.В. Напханюк // Инженерный вестник Дона. - 2018. - № 1 (48). - С. 52.

68. Зайцева, М.М. Неравномерный износ тормозных колодок автомобиля. Причины и рекомендации по устранению неисправности / М.М. Зайцева, А.К. Новикова, Ф.С. Копылов, [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2 (49). – С. 62-68.

69. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

70. Иванов, В.П. Исследование износа коленчатых валов автомобильных двигателей и инновационные технологии их восстановления / В.П. Иванов, Т.В. Вигерина, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2018. - № 2. - С. 34-37.

71. Иванова, Т.Б. Экспериментальное исследование динамики тормозной колодки / Т.Б. Иванова, Н.Н. Ермакова, Ю.Л. Караваев // Доклады Академии наук. - 2016. Т. 471. - № 4. - С. 421-424. DOI: 10.7868/S0869565216340089.

72. Индикт, Е.А. Эксплуатационная надежность грузовых автомобилей / Е.А. Индикт, В.А. Черняйкин. - М: НИИАвтопром, 1977. - 98 с.

73. Иншаков, А.П. Особенности диагностики блоков управления двигателей на основе системы Android / А.П. Иншаков, А.Н. Кувшинов, И.И. Курбаков [и др.] // Сельский механизатор. - 2020. - № 12. - С. 40-42.

74. Ионов, П.А. Исследование влияния давления в системе управления на работоспособность и долговечность объемного гидропривода SAUER DANFOSS серии 90 / П.А. Ионов, А.М. Земсков, А.В. Столяров, С.В. Тимохин // Технический сервис машин. - 2020. - № 4 (141). - С. 54-63.

75. Ионов, П.А. Методика динамической оценки технического состояния объемных гидроприводов / П.А. Ионов, П.В. Сенин, С.В. Пьянзов, А.В. Столяров, А.М. Земсков // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 5 (263). - С. 26-31.

76. Ионов, П.А. Разработка стенда для оценки технического состояния объемных гидроприводов с гидравлическим нагружающим устройством / П.А. Ионов, П.В. Сенин, С.В. Пьянзов [и др.] // Инженерные технологии и системы. - 2019. Т. 29. - № 4. - С. 529-545.

77. Каленов, В.П. Разработка системы обеспечения работоспособности электронных систем управления двигателем автомобиля эксплуатации: дисс. канд. тех. наук / Ю.В. Баженов; ВлГУ им Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир, 2019. – 164 с.

78. Кирпиевич, Ю.Д. Расчет экономического эффекта от использования микропроцессорной системы бортового диагностирования степени износа тормозных накладок / Ю.Д. Кирпиевич // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. - Минск, - 2007. - №3. - С.40-46.

79. Каленов, Владимир Павлович. Разработка системы обеспечения работоспособности электронных систем управления двигателем автомобиля в эксплуатации : диссертация кандидата технических наук : 05.22.10 / Каленов Владимир Павлович; Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). - Владимир, 2018. - 164 с.

80. Кисуленко, Б.В. Оценка устойчивости и управляемости автомобилей: вклад России и перспективы реализации / Б.В. Кисуленко, В.А. Бочаров // Автомобильная промышленность. – №1, 2008. – С. 34 – 37.

81. Кокарев, О.П. Прогнозирование износа и определения остаточного ресурса тормозных дисков и колодок автомобилей / О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Д.Ю. Орлов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020615682, 29.05.2020. Заявка № 2020614465 от 19.05.2020.

82. Коноплянко, В.И. Организация и безопасность дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.

83. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

84. Кривошея, Ю.В. Математическая модель динамического процесса в системе "Тормозной диск - вращающаяся тормозная колодка" / Ю.В. Кривошея // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2018. - № 2 (45). - С. 52-62.

85. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Е. С. Кузнецова. - М.: Транспорт, 1991. - 413 с.

86. Леонов, О.А. Повышение эффективности метрологического обеспечения жизненного цикла сельскохозяйственной техники / О.А. Леонов, Н.Ж. Шкаруба, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 12 (282). - С. 38-40.

87. Лимаренко, Н.В. Влияние температуры на параметры работы индуктора, используемого при обеззараживании материалов / Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров // Известия ВУЗов. Пищевая технология. - 2016. - № 1. - С. 88-91.

88. Лимаренко, Н.В. Обоснование параметров активатора обеззараживания стоков животноводческих предприятий: дисс. канд. тех. наук / В.П. Жаров; ФГБОУ ВО ДГТУ. – Ростов-на-Дону, 2018. – 160 с.

89. Ломов, П.О. Совершенствование метода устройства основания путем усиления грунтов набивными сваями в раскатанных скважинах: дисс. канд. тех. наук / А.Л. Ланис; ФГБОУ ВО СГУПС. – Новосибирск, 2016. – 167 с.

90. Лялякин, В.П. Восстановление деталей машин - важное направление импортозамещения в агропромышленном комплексе / В.П. Лялякин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2019. - № 9. - С. 3-5.

91. Малоглазов, А.В. Устройство электрической сигнализации износа тормозной колодки / А.В. Малоглазов, Б.А. Логинов, С.А. Жеглов, Г.С. Андриевский // Патент на полезную модель RU 31267 U1, 27.07.2003. Заявка № 2002117456/20 от 02.07.2002.

92. Малюков, А.А. Научные основы стендовых испытаний автомобилей на активную безопасность // Дисс. докт. техн. наук. - Л., 1984. – 347 с.

93. Маркетинговое автомобильное агентство [электронный ресурс] <https://www.narinfo.ru/> (Дата обращения 11.01.2021)

94. Марусин, А.В. Совершенствование диагностирования плунжерных пар ТНВД автотракторных дизелей: дисс. канд. тех. наук / А.В. Марусин; ФГОУ ВО «СГТУ им. Гагарина Ю.А.». – Уфа, 2016. – 137 с.

95. Меликсетян, Г.Н. Технология изготовления тормозных колодок из фрикционных композитов бастенит-9 / Г.Н. Меликсетян // Вестник Национального политехнического университета Армении. Metallurgy, materials science, non-ferrous metallurgy. - 2017. - № 2. - С. 49-57.

96. Месхи, Б.Ч. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б.Ч. Месхи, Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. - 2017. - № 4 (Т. 18). - С. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.

97. Морозов, С.М. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации

измерений / С.М. Морозов, К.А. Кузьмин, Л.И. Кочеткова [и др.] // Аграрный научный журнал. - 2019. - №4. - С. 87-89. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp87-89.

98. Научный центр безопасности дорожного движения [электронный ресурс] <https://нцбдд.мвд.рф/ресурсы/аналитические-обзоры-состояния-безопасно/> (Дата обращения 11.01.2021)

99. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2018 году. Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. - 180 с

100. Никитин, Д.А. Влияние температурной деформации деталей цилиндропоршневой группы ДВС на силовое взаимодействие сопряжения кольцо - гильза цилиндра / Д.А. Никитин, А.Р. Асоян, С.В. Снарский, П.Д. Никитин, С.А. Туроверов // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. труд. по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. - 2021. - С. 283-290.

101. Никитин, Д.А. Причины отказов турбокомпрессоров и рекомендации по ремонту узлов уплотнения / Д.А. Никитин, Г.Д. Межецкий, А.С. Денисов, А.Р. Асоян, П.Д. Никитин, В.В. Чекмарев // Аграрный научный журнал. - 2017. - № 10. - С. 50-54.

102. Орешников, В.В. Инструментарий комплексного обоснования стратегий среднесрочного развития региона на основ адаптивно-имитационного моделирования: дисс. канд. тех. наук / М.М. Низамутдинов; ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – Уфа, 2015. – 164 с.

103. Осипов, Г.В. Метод диагностирования тормозных механизмов автомобиля: дисс. канд. тех. наук: 22.12.04 / В.И. Васильев; ГУ ВПО КГУ. – Тюмень, 2004. – 142 с.

104. Пат. 2452880, МКП F16D 66/02 (2006.01); F16D 66/08 (2006.01); Устройство информирования водителя о предельном износе тормозной

накладки/Успенский И.А., Юхин И.А., Борычев С.Н. [и др]; - Оpubл. 10.06.2012, бюл. №16.

105. Пат. 2758530, МКП F16D 66/02 (2006.01); F16D 66/02 (2021.01); Элемент тормозной системы мобильного транспортного средства/Успенский И.А., Юхин И.А., Воробьев Д.А. [и др]; – Оpubл. 29.10.2021, бюл. № 31.

106. Перелыгина А.А. Устройства для повышения эффективности диагностирования тормозных систем автомобилей на площадочных тормозных стендах / А.А. Перелыгина, Т.А. Буркова, А.А. Чекулин // Научный альманах. - 2017. - № 5-3 (31). - С. 107-108. DOI: 10.17117/na.2017.05.03.107.

107. Пошаговая инструкция по использованию мультиметра. Как работать с цифровым мультиметром. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://electroinfo.net/> - Заглавие с экрана.

108. Проверка пневматического тормозного привода WABCO [Электронный ресурс] <http://inform.wabco-auto.com/> (Дата обращения 21.10.2019).

109. Пьянзов, С.В. Разработка программного обеспечения стенда для контроля технического состояния объемных гидроприводов / С.В. Пьянзов, П.В. Сенин, П.А. Ионов [и др.] // Инженерные технологии и системы. - 2021. Т. 31. - № 4. - С. 500-517.

110. Родионова, Е.А. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения /Е.А. Родионова, И.А. Успенский, И.А. Юхин [и др.] //Техника и оборудование для села: науч. жур. - 2019. - №7 (265). - С.30-34.

111. Родионова, Е.А. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения / Е.А. Родионова, И.А. Успенский, И.А. Юхин, [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 7 (265). – С. 30-34.

112. Родионова, Е.А. Перспективные направления развития тормозных систем автотракторной техники / С.В. Колупаев, Е.А. Родионова, И.Е. Шубин // Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного

комплекса: материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2019. – С. 275-280.

113. Рынкевич, С.А. Интеллектуальные системы управления тормозами / С.А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. - 2005. - №1. - С. 14-16.

114. Ряднов, А.И. Методы оценки эффективности уборки сельскохозяйственных культур: монография / А.И. Ряднов // Волгоградская гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2008. – 108 с.

115. Сакович, Н.Е. Обеспечение безопасности транспортных работ в сельскохозяйственном производстве за счет снижения аварийности сельскохозяйственной транспортной техники // Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2012. – 397 с.

116. Севрюгина, Н.С. Методика контроля риска отказов при обеспечении технической безопасности эксплуатации транспортно-технологических машин на мелиоративных работах / Н.С. Севрюгина, А.С. Апатенко // Агроинженерия. - 2020. - № 2 (96). - С. 23-28.

117. Севрюгина, Н.С. Повышение ресурсных возможностей технологических машин на мелиоративных работах / Н.С. Севрюгина, А.С. Апатенко, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. - 2022. - № 1 (295). - С. 35-38.

118. Севрюгина, Н.С. Цифровые системы и точность управления работоспособностью технологических машин в природообустройстве / Н.С. Севрюгина, А.С. Апатенко // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 7 (265). - С. 35-38.

119. Сенин, П.В. Оценка технического состояния головок блока цилиндров двигателя 3МЗ-406 и рекомендации по её восстановлению / П.В. Сенин, Н.В. Раков, А.М. Макейкин // Пермский аграрный вестник. - 2019. - № 2 (26). - С. 24-33.

120. Сенин, П.В. Повышение надежности гидросистем тракторов применением мобильной установки для очистки рабочей жидкости / П.В. Сенин, С.А. Величко, А.В. Мартынов, Н.А. Петрищев // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 3. - С. 22-26.

121. Сенин, П.В. Увеличение износостойкости инструмента кузнечного производства путем применения электроискрового покрытия / П.В. Сенин, С.А. Величко, А.В. Мартынов, Е.Г. Мартынова // СТИН. - 2019. - № 12. - С. 16-20.
122. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - Москва : Издательство Юрайт, 2012. - 820 с. - (Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-9916-1454-2.
123. Ситдилов, Ф.Ф. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса / Ф.Ф. Ситдилов, Ю.А. Цой, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 3 (54). – С. 112-115.
124. Смирнов, Н.Н. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов / Н.Н. Смирнов, Ю.М. Чинючин // – М.: Транспорт, 1994. – 256 с.
125. Соцков, Д.А. Повышение активной безопасности автотранспортных средств при торможении // Дисс. док. техн. наук. – М., 1989. – 565 с.
126. Справочник города Рязань. Рязанская область [электронный ресурс] https://ryazan.orgsprav.com/avtotransportnye_predpriyatiya_i_avtobazy.html (Дата обращения 12.01.2021).
127. 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.
128. Степанова, Е.А. Основы обработки результатов измерений: учеб. пособ. /Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов. – Екатеринбург: Урал. федер. ун-т, 2014. – 95 с.
129. Таблицы и значения. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://aspektcenter.ru/> - Заглавие с экрана.
130. Тимофеева, С.И. Повышение активной безопасности автотранспортных средств в эксплуатации, на основе оптимизации распределения и регулирования тормозных сил //Дисс. канд. техн. наук. – Владимир, 2000. – 180 с.
131. Управление экономическими системами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/> – Заглавие с экрана.

132. Успенский, И.А. Анализ методов и средств диагностирования тормозных систем автомобиля / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, И.А. Юхин, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 116. – С. 1051-1072

133. Успенский, И.А. Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко, Д.А. Воробьев, Е.А. Ракул // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - Рязань, - 2021. - №3 (13). - С.111-119.

134. Успенский, И.А. Обзор методов диагностирования износа фрикционных накладок тормозной колодки автомобиля / И.А. Успенский, Д.А. Воробьев, О.В. Филюшин // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса, подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов кафедры ЭАТ и С посвященный 90-летию МАДИ, по материалам 78 научно-методической и научно-исследовательской конференции, МАДИ. – Москва. - 2020. - №3 (31). - С. 86-91.

135. Успенский, И.А. Определение удельного электрического сопротивления сдвига фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса) / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко, Д.А. Воробьев, О.В. Филюшин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 3 (59). - С. 395-405.

136. Успенский, И.А. Оценка состояния износа тормозных колодок / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко, Д.А. Воробьев, О.В. Филюшин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - Рязань. - 2020. - № 3 (47). - С.147-125.

137. Федотов, Е.С. Влияние начальной скорости торможения на износ тормозных колодок / Е.С. Федотов, А.Е. Литвинов, М.В. Стародуб // Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2020. - № 6. - С. 46-51.

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

139. Флейшман, Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Советское радио, 1971. – 224 с.

140. Фомин, А.И. Восстановление коленчатых валов на ремонтных предприятиях республики Мордовия / А.И. Фомин, П.В. Сенин, М.С. Кудряков, И.А. Баранов, А.М. Кулягин // Техника и оборудование для села. -2022. - № 4 (298). - С. 22-26.

141. Фомин, А.И. Комбинированная технология восстановления работоспособности деталей типа "Вал" / А.И. Фомин, П.В. Сенин, В.В. Власкин, М.А. Кургузкин // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 5 (275). - С. 38-41.

142. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка – М.: Мир, 1987. – 208 с.

143. Шарыпов, А.В. Метод диагностирования неравномерности действий тормозов автомобиля // Дисс. канд.техн.наук. – Тюмень, 2004. – 200 с.

144. Шерстнев, А.Н. Конспект лекций по математическому анализ: учеб. пособ. / Шерстнев, А.Н, . – Казань: ФГАОУ ВО Каз.приволжс. федер. ун-т, 2009. – 374 с.

145. Шушкевич, Т.В. Основы теории погрешностей в метрологии: уч. пособие / Т.В. Шушкевич. - Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2017. - 73 с.

146. Энциклопедия бизнес-анализа [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/> – Заглавие с экрана.

147. 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.

148. Asoyan, A. Analysis of strength characteristics in railroad dowels produced by various manufacturers / D. Nikitin, L. Nikitina, A. Asoyan, A. Marusin // Architecture and Engineering. - 2019. T. 4. - № 1. - С. 23-31.

149. Fuller, K.-H. Tribologisches, mechanisches und thermisches Verhalten neuer Bremsenwerkstoffe in Kfz-Scheibenbremsen: Diss.. - Stuttgart, 1997. - 147 S.

150. Nikitin, D.A. Influence of temperature and geometric parameters of elements in a turbocompressor seal assembly on its operability / D.A. Nikitin, P.D. Nikitin, C.A. Turoverov, A.R. Asoyan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019. BRISTOL, 2020. С. 012084.

151. WABCO Customer Centre [Электронный ресурс] / URL: <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/> (дата обращения 07.07.2020).

152. WABCO DI-2 - автосканер для грузовых автомобилей [Электронный ресурс] <https://docviewer.yandex.ru/view/> (Дата обращения 21.02.2020).

153. Willms, J. Bremsverhalten dreigliedriger Lastzuge mit verschiedenen Bremssystemen: Diss. - Hannover, 1996. -126 S.

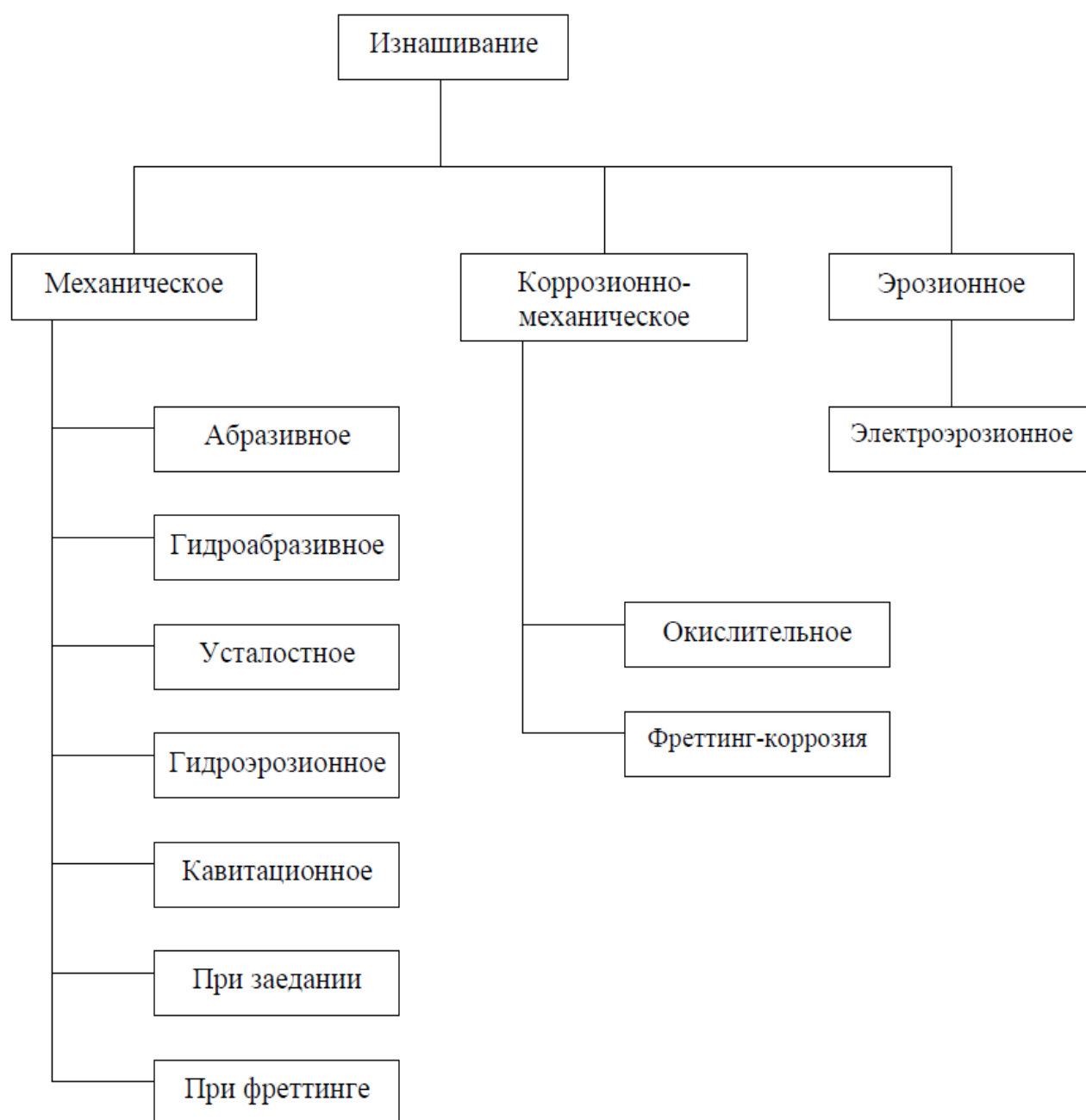


Рисунок А.1 – Виды износа согласно ГОСТ – 27674-88



Рисунок А.2 – Трибосистема. Параметры изнашивания тормозной системы

Приложение Б.1 – Описание мостовой измерительной схемы

Учитывая исключение индуктивной и ёмкостной составляющих измерительного контура, при необходимости автоматизации измерений с последующим преобразованием сигнала из аналоговой формы в цифровую можно осуществить с использованием мостовых измерительных схем. Наиболее приемлемым вариантом является использование моста Грютцмахера, схема которого представлена на рисунке Б.1 [135, 136].

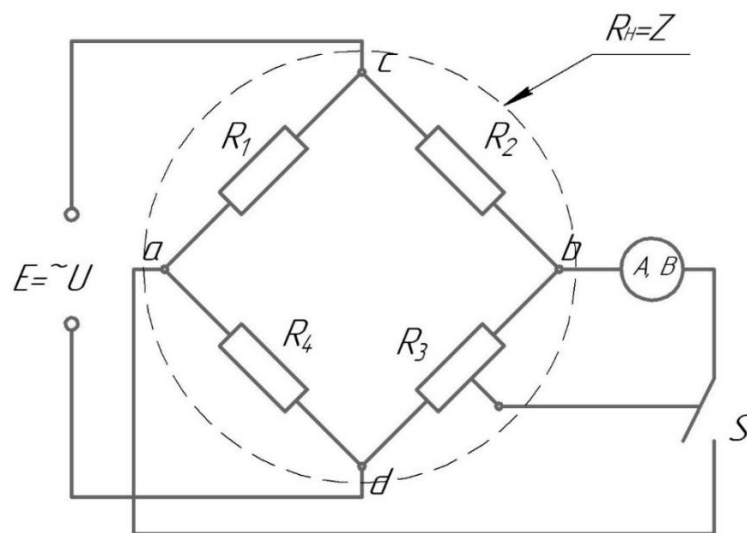


Рисунок Б.1 – Пример схемотехнического решения моста Грютцмахера при автоматизации измерительного контура датчика износа тормозной колодки

Преимуществом данного решения является возможность применения в измерительных контурах ёмкости и индуктивности, величины которых нелинейно зависят от рабочего тока и способны оказывать влияние на параметры его электрического состояния. Применение схемотехнического решения в виде моста Грютцмахера позволяет минимизировать влияние паразитных индуктивностей и ёмкостей на максимизацию величины полезной мощности измерительного контура [135, 136].

Приложение Б.2 – Статистические характеристики распределений плотности вероятностей

Расчетная часть №1. Объединение выборок допустимых износов тормозных колодок подконтрольных транспортных средств на маршрутах № 1,2,3

Дано:

Выборка = Выборка №1 + Выборка №4 + Выборка №7

Объем выборки $n = 300$.

Решение

Минимальное и максимальное значения выборки:

$$x_{\min} = 9.2222, \quad x_{\max} = 10.3940$$

Будем рассматривать интервал с данными границами $x_{\min}$ и $x_{\max}$, который разобьем на $k = 9$ интервалов (согласно правилу Стёрджеса). Длина одного интервала равна

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{10.3940 - 9.2222}{9} \approx 0.1302$$

В таблице Б.1 представлены результаты расчетов «координат» концов и середин интервалов x_i , частот m_i , относительных частот $\omega_i = m_i / n$ и величин значений эмпирической функции распределения.

Таблица Б.1 – Результат расчетов «координат» интервалов и частот

i	концы интервалов		x_i	m_i	ω_i	$F(x_i)$
1	9,2222	9,3524	9,2873	3	0,0100	0,0100
2	9,3524	9,4826	9,4175	20	0,0667	0,0767
3	9,4826	9,6128	9,5477	34	0,1133	0,1900
4	9,6128	9,7430	9,6779	60	0,2000	0,3900
5	9,7430	9,8732	9,8081	76	0,2533	0,6433
6	9,8732	10,0034	9,9383	41	0,1367	0,7800
7	10,0034	10,1336	10,0685	6	0,0200	0,8000
8	10,1336	10,2638	10,1987	36	0,1200	0,9200
9	10,2638	10,3940	10,3289	24	0,0800	1,0000

Таблица Б.2 – Результаты промежуточных расчетов

i	x_i	m_i	$m_i x_i$	$m_i (x_i - \langle x \rangle)^2$
1	9,2873	3	27,8619	0,8928
2	9,4175	20	188,3500	3,4501
3	9,5477	34	324,6218	2,7643
4	9,6779	60	580,6740	1,4403
5	9,8081	76	745,4156	0,0465
6	9,9383	41	407,4703	0,4560
7	10,0685	6	60,4110	0,3332
8	10,1987	36	367,1532	4,8188
9	10,3289	24	247,8936	5,9059
Сумма		300	2949,8514	20,1080
Ср. знач.			9,8328	0,0670

В таблице Б.2 представлены результаты промежуточных расчетов, выполненных на основе данных таблице Б.2. Согласно таблице Б.2 имеем следующее:

Выборочное среднее значение:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i x_i \approx 9.8328$$

Выборочная дисперсия:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i (x_i - \langle x \rangle)^2 \approx 0.0670$$

Несмещенная (исправленная) оценка дисперсии:

$$S_{\text{нecм}}^2 = \frac{n}{n-1} S^2 \approx \frac{300}{300-1} \cdot 0.0670 \approx 0.0673$$

Несмещенная (исправленная) оценка среднеквадратического отклонения:

$$S_{\text{нecм}} = \sqrt{S_{\text{нecм}}^2} \approx \sqrt{0.0673} \approx 0.2593$$

Проверим с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии рассматриваемой выборки по X *нормальному распределению*. Итак, выдвинем две гипотезы:

H_0 : нормальное распределение – является функцией

распределения с.в. X

H_1 : нормальное распределение – не является функцией

распределения с.в. X

Мы полагаем:

$$a = \langle x \rangle \approx 9.8328, \quad \sigma = S_{\text{нечм}} \approx 0.2593$$

В таблице 4 – представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице 5, наблюдаемое значение χ^2 -критерия:

$$\chi^2_{\text{набл}} \approx 71.22$$

В свою очередь, для числа степеней свободы

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$$

и уровня значимости $\alpha = 0.05$ критическое значение χ^2 -критерия:

$$\chi^2_{\text{крит}} \approx 12.59$$

Таблица Б.3 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_N(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	9,2873	3	0,1683	6,57	1,9430
2	9,4175	20	0,4266	16,66	0,6677
3	9,5477	34	0,8405	32,83	0,0417
4	9,6779	60	1,2869	50,27	1,8847
5	9,8081	76	1,5314	59,82	4,3788
6	9,9383	41	1,4163	55,32	3,7068
7	10,0685	6	1,0180	39,76	28,6676
8	10,1987	36	0,5687	22,21	8,5589
9	10,3289	24	0,2469	9,64	21,3734
Сумма					71,2225

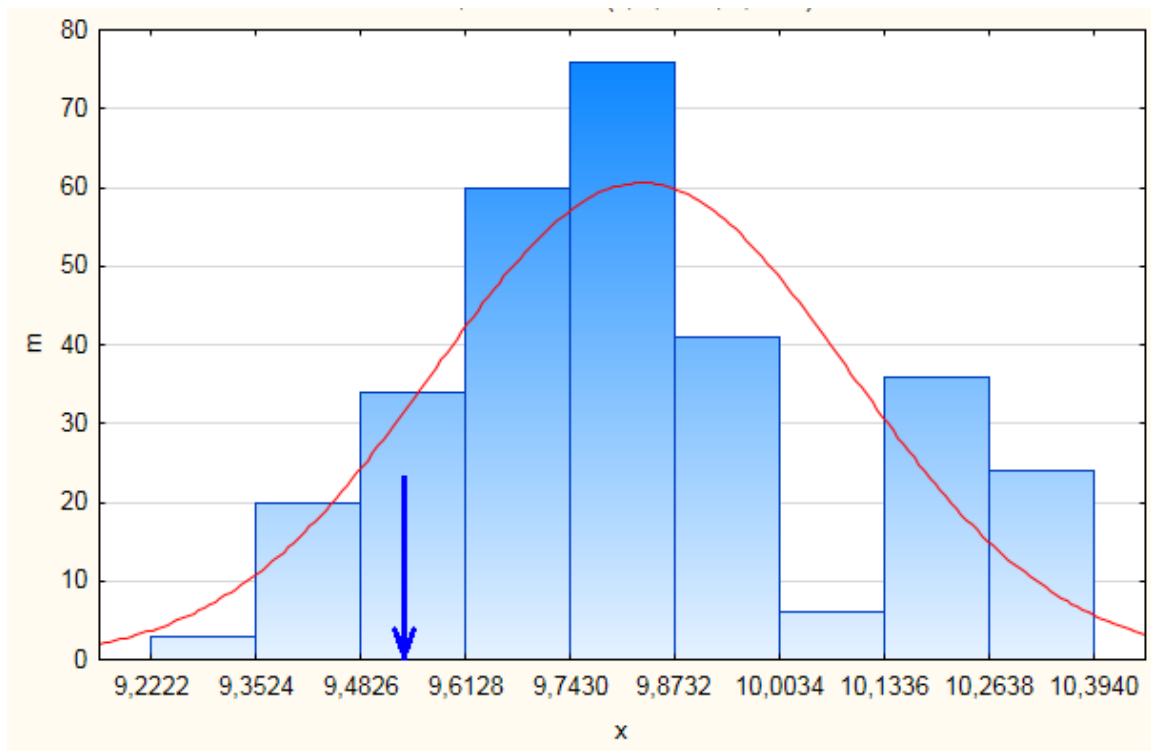


Рисунок Б.2 – эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению.

Как видно, имеет место $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{крит}}$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотеза H_0 о нормальном распределении с.в. X отвергается, а конкурирующая гипотеза H_1 принимается. На рисунке Б.2 представлена эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению.

Проверим теперь с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии **распределения Вейбулла** данным таблице 3. Итак, выдвинем две гипотезы [51, 53]:

H_0 : распределение Вейбулла – является функцией
распределения с.в. X

H_1 : распределение Вейбулла– не является функцией
распределения с.в. X

Мы полагаем (метод максимального правдоподобия): $\gamma \approx 9.9886$, $\beta \approx 47.5513$

Таблица Б.4 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_w(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	9,2873	3	0,1557	6,50	1,8873
2	9,4175	20	0,2890	12,07	5,2052
3	9,5477	34	0,5179	21,63	7,0740
4	9,6779	60	0,8753	36,56	15,0296
5	9,8081	76	1,3382	55,89	7,2338
6	9,9383	41	1,7139	71,59	13,0678
7	10,0685	6	1,6010	66,87	55,4090
8	10,1987	36	0,8510	35,54	0,0059
9	10,3289	24	0,1655	6,91	42,2367
Сумма					147,1494

В таблице Б.4 представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице Б.4, наблюдаемое значение χ^2 -критерия [51, 53]:

$$\chi_{\text{набл}}^2 \approx 147.15$$

В свою очередь, для числа степеней свободы

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$$

и уровня значимости $\alpha = 0.05$ критическое значение χ^2 -критерия:

$$\chi_{\text{крит}}^2 \approx 12.59$$

Как видно, для с.в. X имеет место $\chi_{\text{набл}}^2 > \chi_{\text{крит}}^2$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотеза H_0 о распределении Вейбулла с.в. X отвергается, а конкурирующая гипотеза H_1 принимается. На рисунке Б.3 представлены эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий *распределению Вейбулла* [28, 51, 53].

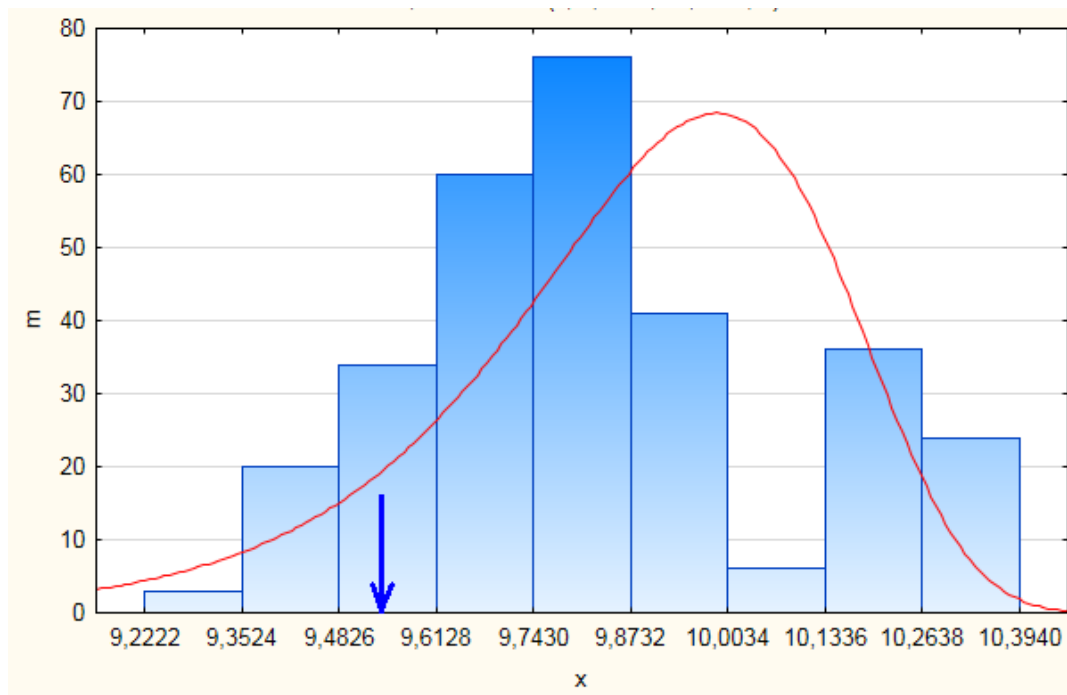


Рисунок Б.3 – эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий распределению Вейбулла.

На рисунке Б.2 и рисунке Б.3 стрелкой отмечено значение натуральных испытаний для рассматриваемых пробегов (среднее значение): $x_{н.и.} = 9.5$

Расчетная часть №2. Объединение выборок предельных износов тормозных колодок подконтрольных транспортных средств на маршрутах № 1,2,3

Дано:

Выборка = Выборка №2 + Выборка №5 + Выборка №8

Объем выборки $n = 300$.

Решение:

Минимальное и максимальное значения выборки:

$$x_{\min} = 6.6990, \quad x_{\max} = 7.8010$$

Будем рассматривать интервал с данными границами $x_{\min}$ и $x_{\max}$, который разобьем на $k = 9$ интервалов (согласно правилу Стёрджеса). Длина одного интервала равна

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{7.8010 - 6.6990}{9} \approx 0.1224$$

В таблице 6 представлены результаты расчетов «координат» концов и середин интервалов x_i , частот m_i , относительных частот $\omega_i = m_i / n$ и величин значений эмпирической функции распределения [28, 51, 53].

Таблица Б.5 – Результат расчетов «координат» интервалов и частот

i	концы интервалов		x_i	m_i	ω_i	$F(x_i)$
1	6,6990	6,8214	6,7602	25	0,0833	0,0833
2	6,8214	6,9439	6,8827	37	0,1233	0,2067
3	6,9439	7,0663	7,0051	53	0,1767	0,3833
4	7,0663	7,1888	7,1276	62	0,2067	0,5900
5	7,1888	7,3112	7,2500	67	0,2233	0,8133
6	7,3112	7,4337	7,3724	35	0,1167	0,9300
7	7,4337	7,5561	7,4949	16	0,0533	0,9833
8	7,5561	7,6786	7,6173	3	0,0100	0,9933
9	7,6786	7,8010	7,7398	2	0,0067	1,0000

Таблица Б.6 – Результаты промежуточных расчетов

i	x_i	m_i	$m_i x_i$	$m_i (x_i - \langle x \rangle)^2$
1	6,7602	25	169,0056	3,4109
2	6,8827	37	254,6587	2,2560
3	7,0051	53	371,2709	0,8213
4	7,1276	62	441,9084	0,0003
5	7,2500	67	485,7500	0,9713
6	7,3724	35	258,0356	2,0641
7	7,4949	16	119,9182	2,1350
8	7,6173	3	22,8520	0,7137
9	7,7398	2	15,4796	0,7446
Сумма		300	2138,8789	13,1173
Ср. знач.			7,1296	0,0437

В таблице Б.6 представлены результаты промежуточных расчетов, выполненных на основе данных таблицы Б.5. Согласно таблице Б.5 имеем следующее.

Выборочное среднее значение:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i x_i \approx 7.1296$$

Выборочная дисперсия:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i (x_i - \langle x \rangle)^2 \approx 0.0437$$

Несмещенная (исправленная) оценка дисперсии:

$$S_{\text{нсм}}^2 = \frac{n}{n-1} S^2 \approx \frac{300}{300-1} \cdot 0.0437 \approx 0.0439$$

Несмещенная (исправленная) оценка среднеквадратического отклонения:

$$S_{\text{нсм}} = \sqrt{S_{\text{нсм}}^2} \approx \sqrt{0.0439} \approx 0.2095$$

Проверим с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии рассматриваемой выборки по X *нормальному распределению*. Итак, выдвинем две гипотезы [28, 51, 53]:

H_0 : нормальное распределение – является функцией
распределения с.в. X

H_1 : нормальное распределение – не является функцией
распределения с.в. X

Мы полагаем:

$$a = \langle x \rangle \approx 7.1296, \quad \sigma = S_{\text{нсм}} \approx 0.2095$$

В таблице Б.7 представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице Б.7, наблюдаемое значение χ^2 -критерия:

$$\chi_{\text{набл}}^2 \approx 11.26$$

В свою очередь, для числа степеней свободы

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$$

и уровня значимости $\alpha = 0.05$ критическое значение χ^2 -критерия:

$$\chi_{\text{крит}}^2 \approx 12.59$$

Таблица Б.7 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_N(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	6,7602	25	0,4023	14,78	7,0743
2	6,8827	37	0,9506	34,92	0,1239
3	7,0051	53	1,5963	58,64	0,5421
4	7,1276	62	1,9046	69,96	0,9061
5	7,2500	67	1,6146	59,31	0,9971
6	7,3724	35	0,9726	35,73	0,0147
7	7,4949	16	0,4162	15,29	0,0330
8	7,6173	3	0,1266	4,65	0,5852
9	7,7398	2	0,0273	1,00	0,9863
Сумма					11,2626

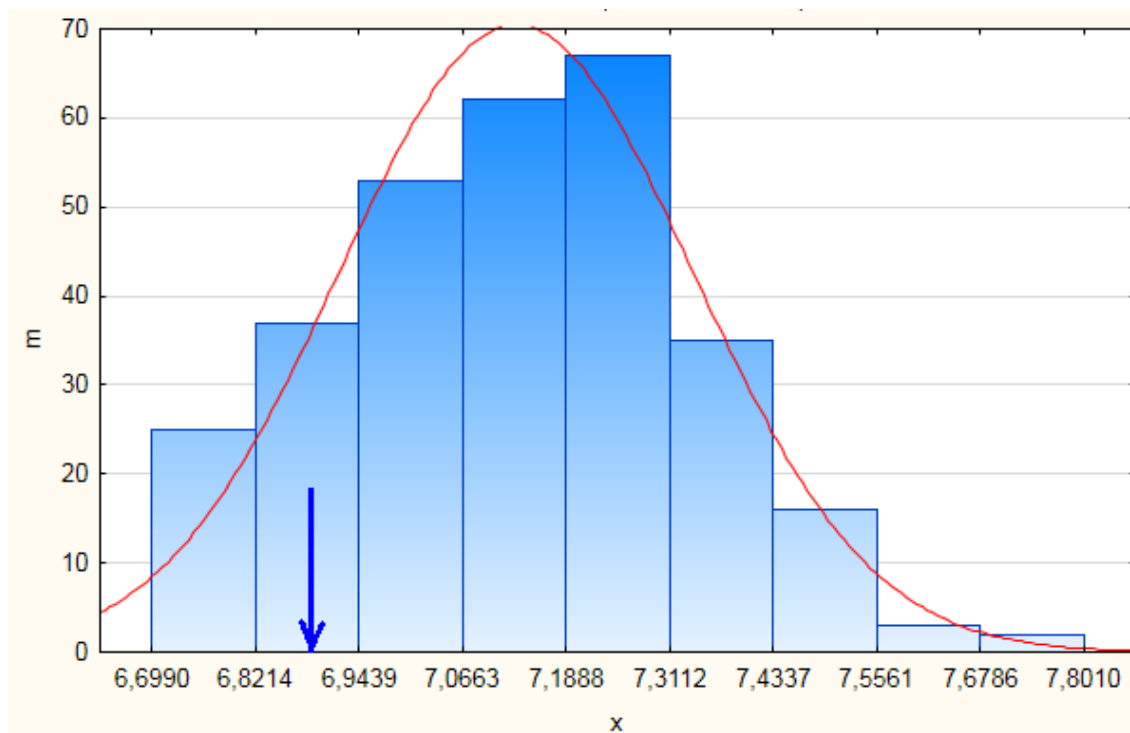


Рисунок Б.4 – Эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению

Как видно, имеет место $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{крит}}$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотеза H_0 о нормальном распределении с.в. X принимается, а конкурирующая гипотеза H_1 отвергается. На рисунке 28 представлены эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий нормальному распределению.

Проверим теперь с помощью χ^2 -критерия Пирсона гипотезу о соответствии **распределения Вейбулла** данным таблице 6. Итак, выдвинем две гипотезы [51, 53]:

H_0 : распределение Вейбулла – является функцией
распределения с.в. X

H_1 : распределение Вейбулла – не является функцией
распределения с.в. X

Мы полагаем (метод максимального правдоподобия):

$$\gamma \approx 7.2262, \quad \beta \approx 33.9582$$

Таблица Б.8 – Результаты промежуточных расчетов, наблюдаемое значение χ^2 -критерия

i	x_i	m_i	$f_w(x_i)$	$m_i^{\text{теор}}$	$\frac{(m_i - m_i^{\text{теор}})^2}{m_i^{\text{теор}}}$
1	6,7602	25	0,4707	17,29	3,4365
2	6,8827	37	0,7795	28,63	2,4457
3	7,0051	53	1,1915	43,77	1,9482
4	7,1276	62	1,5958	58,62	0,1950
5	7,2500	67	1,7120	62,89	0,2690
6	7,3724	35	1,2625	46,38	2,7911
7	7,4949	16	0,4946	18,17	0,2585
8	7,6173	3	0,0669	2,46	0,1203
9	7,7398	2	0,0015	0,06	67,3113
Сумма					78,7756

В таблице Б.8 представлены результаты промежуточных расчетов. Согласно таблице Б.8 наблюдаемое значение χ^2 -критерия:

$$\chi^2_{\text{набл}} \approx 78.76$$

В свою очередь, для числа степеней свободы

$$f = k - m - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$$

и уровня значимости $\alpha = 0.05$ критическое значение χ^2 -критерия:

$$\chi^2_{\text{крит}} \approx 12.59$$

Как видно, для с.в. X имеет место $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{крит}}$, так что на выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ гипотеза H_0 о распределении Вейбулла с.в. X отвергается, а конкурирующая гипотеза H_1 принимается.

$$\chi^2_{\text{набл}} \approx 11.46 \text{ (без выброса)}$$

гипотезу H_0 о распределении Вейбулла с.в. X можно принять. На рисунке Б.5 представлены эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий *распределению Вейбулла* [28, 51, 53].

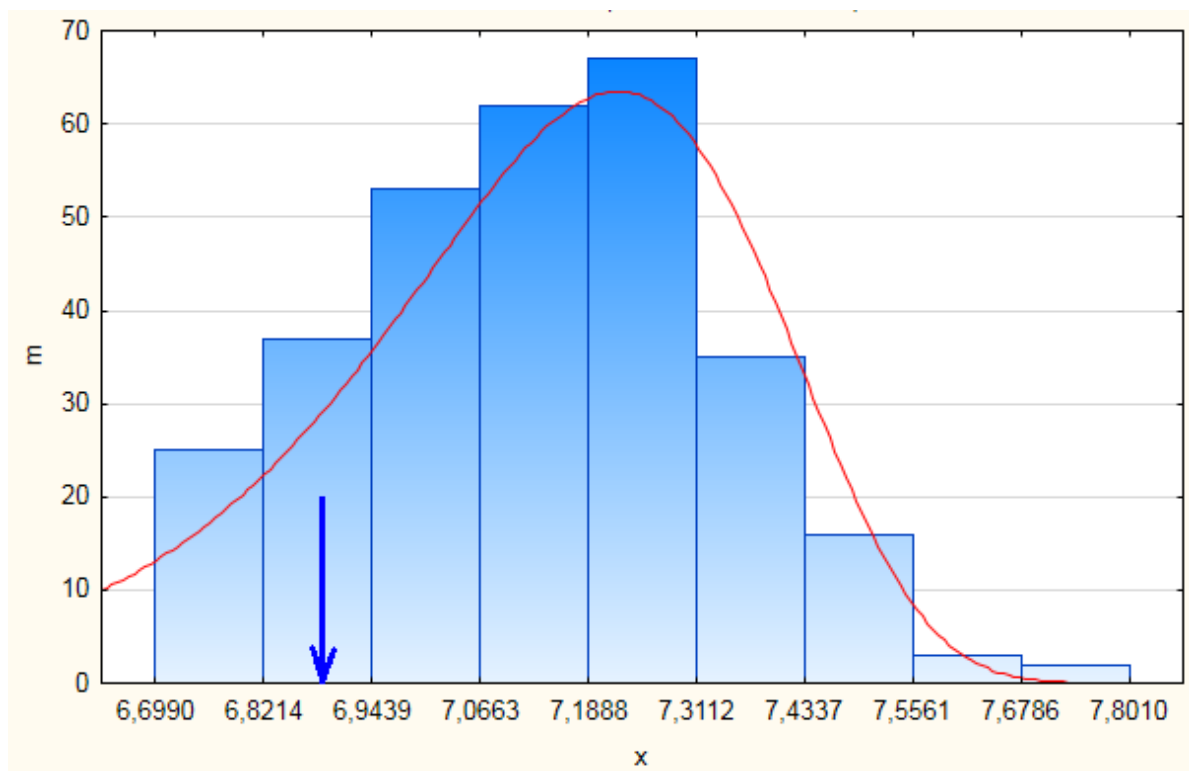


Рисунок 29 – Эмпирическая гистограмма распределения и график функции, соответствующий *распределению Вейбулла*.

На рисунке Б.4 и рисунке Б.5 стрелкой отмечено значение натуральных испытаний для рассматриваемых пробегов (среднее значение): $x_{н.и.} \approx 6.87$.

Расчетная часть №3 Объединение выборок предельных износов тормозных колодок подконтрольных транспортных средств на маршрутах № 1,2,3

Дано:

Выборка = Выборка №3 + Выборка №6 + Выборка №9

Объем выборки $n = 300$.

Решение

Минимальное и максимальное значения выборки:

$$x_{\min} = 2.8990, \quad x_{\max} = 4.0960$$

Будем рассматривать интервал с данными границами $x_{\min}$ и $x_{\max}$, который разобьем на $k = 9$ интервалов (согласно правилу Стёрджеса). Длина одного интервала равна

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{4.0960 - 2.8990}{9} \approx 0.1330$$

В таблице Б.9 представлены результаты расчетов «координат» концов и середин интервалов x_i , частот m_i , относительных частот $\omega_i = m_i / n$ и величин значений эмпирической функции распределения.

Таблица Б.9 – Результат расчетов «координат» интервалов и частот

i	концы интервалов	x_i	m_i	ω_i	$F(x_i)$
1	2,8990	3,0320	2,9655	57	0,1900
2	3,0320	3,1650	3,0985	79	0,2633
3	3,1650	3,2980	3,2315	95	0,3167
4	3,2980	3,4310	3,3645	40	0,1333
5	3,4310	3,5640	3,4975	12	0,0400
6	3,5640	3,6970	3,6305	6	0,0200
7	3,6970	3,8300	3,7635	6	0,0200
8	3,8300	3,9630	3,8965	3	0,0100
9	3,9630	4,0960	4,0295	2	0,0067

Таблица Б.10 – Результаты промежуточных расчетов

i	x_i	m_i	$m_i x_i$	$m_i (x_i - \langle x \rangle)^2$
1	2,9655	57	169,0335	3,2668
2	3,0985	79	244,7815	0,8944
3	3,2315	95	306,9925	0,0672
4	3,3645	40	134,5800	1,0189
5	3,4975	12	41,9700	1,0274
6	3,6305	6	21,7830	1,0868
7	3,7635	6	22,5810	1,8722
8	3,8965	3	11,6895	1,4349
9	4,0295	2	8,0590	1,3599
Сумма		300	961,4700	12,0285
Ср. знач.			3,2049	0,0401

В таблице Б.10 представлены результаты промежуточных расчетов, выполненных на основе данных таблицы Б.9. Согласно таблице Б.10 имеем следующее.

Выборочное среднее значение:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i x_i \approx 3.2049$$

Выборочная дисперсия:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i (x_i - \langle x \rangle)^2 \approx 0.0401$$

Несмещенная (исправленная) оценка дисперсии:

$$S_{\text{нечм}}^2 = \frac{n}{n-1} S^2 \approx \frac{300}{300-1} \cdot 0.0401 \approx 0.0402$$

Несмещенная (исправленная) оценка среднеквадратического отклонения:

$$S_{\text{нечм}} = \sqrt{S_{\text{нечм}}^2} \approx \sqrt{0.0402} \approx 0.2006$$

Приложение В – Комплект конструкторской документации
экспериментального стенда

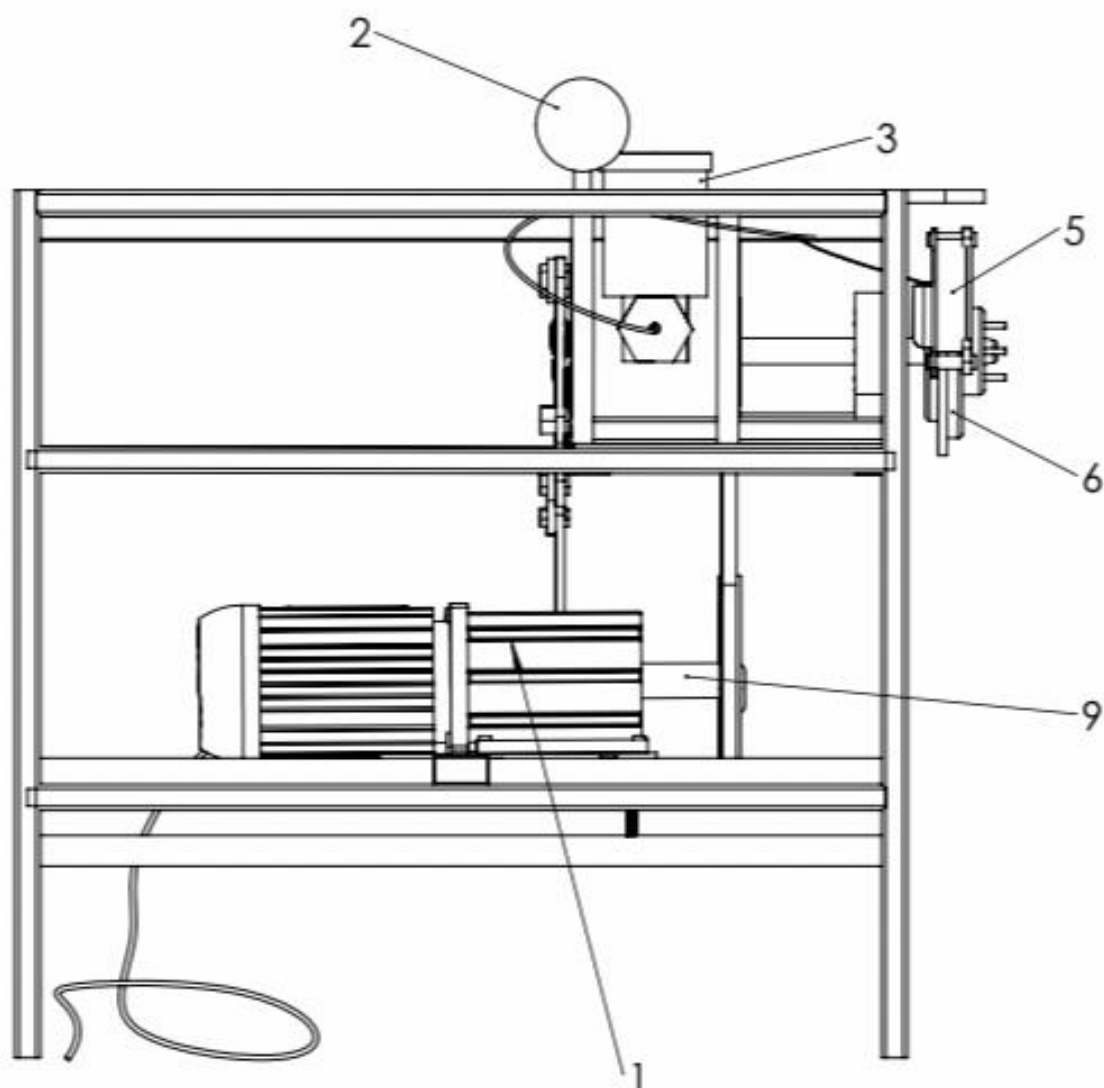


Рисунок В.1 – Общий вид экспериментального стенда сбоку справа

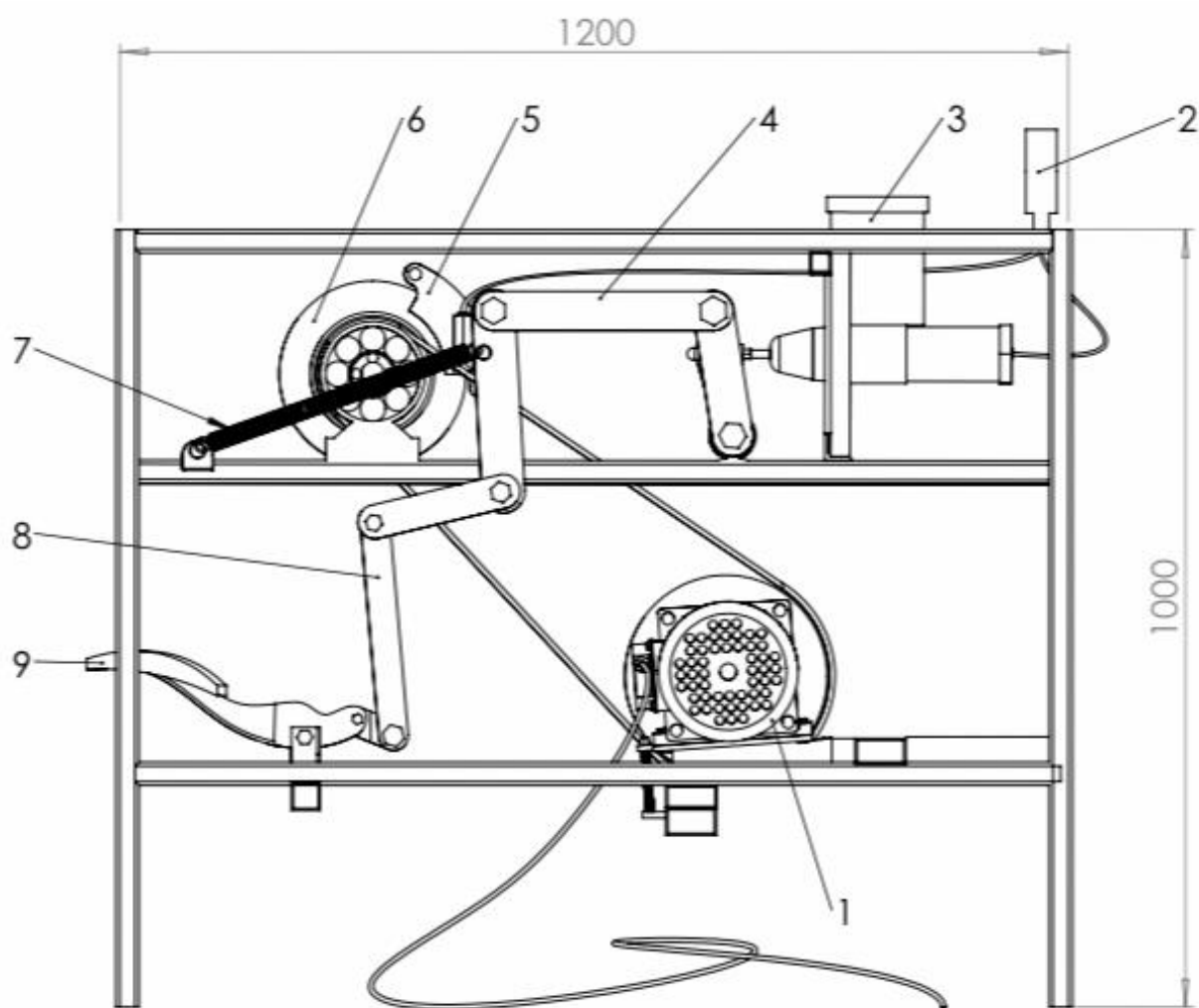


Рисунок В.2 – Общий вид экспериментального стенда сбоку слева

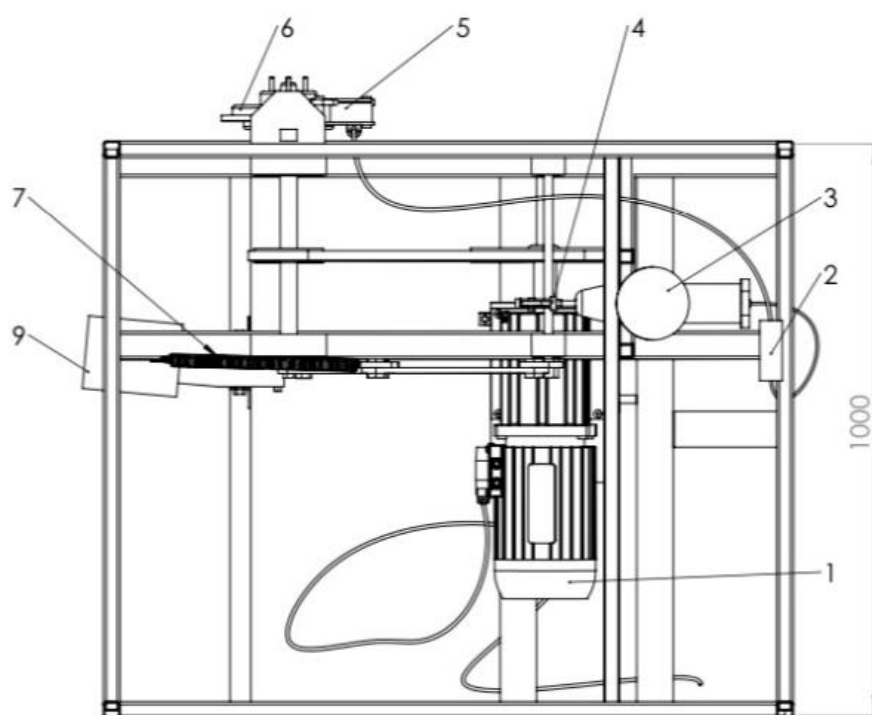


Рисунок В.3 – Общий вид экспериментального стенда сверху

Приложение Г – Статистические характеристики достоверности полученных математических моделей

Таблица Г.1 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на частоту вращения при торможении

2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	19,53	0,62	0,44	0,00
2	t -статистика	42,64	-1,48	-6,59	8,82
3	P -значение	0,00	0,20	0,00	0,00
4	Нижние 95%	782,60	-2,50	-4,00	0,00
5	Верхние 95%	883,02	0,67	-1,75	0,01
6	Нижние 95,0%	782,60	-2,50	-4,00	0,00
7	Верхние 95,0%	883,02	0,67	-1,75	0,01

Таблица Г.2 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 2-го комплекта

колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение частоты вращения при торможении с использованием 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	1008,47	0,53	0,12	5,56	0,33
2	977,80	-6,80	-1,57	16,67	
3	1015,47	0,53	0,12	27,78	
4	1004,64	3,36	0,78	38,89	
5	973,97	7,03	1,63	50,00	
6	1011,64	3,36	0,78	61,11	
7	1001,90	-3,90	-0,90	72,22	
8	971,23	-0,23	-0,05	83,33	
9	1008,90	-3,90	-0,90	94,44	

Таблица Г.3 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	0,67	0,08	0,03	0,00
2	<i>t</i> -статистика	0,82	0,03	0,02	0,00
3	<i>P</i> -значение	0,82	2,96	1,57	-0,74
4	Нижние 95%	0,45	0,03	0,18	0,49
5	Верхние 95%	-1,43	0,01	-0,02	0,00
6	Нижние 95,0%	2,78	0,14	0,08	0,00
7	Верхние 95,0%	-1,43	0,01	-0,02	0,00

Таблица Г.4 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	0,752232416	-0,22223	-1,22743	5,56	16
2	0,582232416	0,167768	0,92661	16,67	
3	0,392232416	-0,03223	-0,17803	27,78	
4	1,073975535	0,276024	1,524533	38,89	
5	0,903975535	0,066024	0,364665	50,00	
6	0,713975535	-0,13398	-0,73997	61,11	
7	1,303792049	-0,05379	-0,2971	72,22	
8	1,133792049	-0,23379	-1,29128	83,33	
9	0,943792049	0,166208	0,917996	94,44	

Таблица Г.5 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	4,7791	0,1509	0,1067	0,0001
2	<i>t</i> -статистика	13,5307	-2,4278	0,5460	-8,3432
3	<i>P</i> -значение	0,0000	0,0595	0,6086	0,0004
4	Нижние 95%	52,3800	-0,7545	-0,2160	-0,0015
5	Верхние 95%	76,9504	0,0216	0,3326	-0,0008
6	Нижние 95,0%	52,3800	-0,7545	-0,2160	-0,0015
7	Верхние 95,0%	76,9504	0,0216	0,3326	-0,0008

Таблица Г.6 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	6,825892	0,674108	0,637665	6,825892	6,70
2	22,95923	-2,05923	-1,9479	22,95923	
3	16,12589	0,674108	0,637665	16,12589	
4	5,286748	0,113252	0,107129	5,286748	
5	21,42008	1,479918	1,399913	21,42008	
6	14,58675	0,113252	0,107129	14,58675	
7	4,18736	-0,78736	-0,74479	4,18736	
8	20,32069	0,579307	0,547989	20,32069	
9	13,48736	-0,78736	-0,74479	13,48736	

Таблица Г.7 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на частоту вращения при торможении 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	17,5938	0,5557	0,3928	0,0005
2	<i>t</i> -статистика	47,2500	-1,4951	-7,2584	9,7069
3	<i>P</i> -значение	0,0000	0,1951	0,0008	0,0002
4	Нижние 95%	786,0809	-2,2592	-3,8612	0,0036
5	Верхние 95%	876,5336	0,5976	-1,8415	0,0062
6	Нижние 95,0%	786,0809	-2,2592	-3,8612	0,0036
7	Верхние 95,0%	876,5336	0,5976	-1,8415	0,0062

Таблица Г.8 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение частоты вращения при торможении с использованием 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	1005,49	0,51	0,13	5,56	0,29
2	975,16	-6,16	-1,58	16,67	
3	1012,49	0,51	0,13	27,78	
4	1002,00	3,00	0,77	38,89	
5	971,67	6,33	1,63	50,00	
6	1009,00	3,00	0,77	61,11	
7	999,51	-3,51	-0,90	72,22	
8	969,18	-0,18	-0,05	83,33	
9	1006,51	-3,51	-0,90	94,44	

Таблица Г.9 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	0,81851	0,02585	0,01828	0,00002
2	<i>t</i> -статистика	0,71763	2,96325	1,61967	-0,71934
3	<i>P</i> -значение	0,50511	0,03140	0,16623	0,50414
4	Нижние 95%	-1,51667	0,01015	-0,01738	-0,00008
5	Верхние 95%	2,69144	0,14306	0,07658	0,00004
6	Нижние 95,0%	-1,51667	0,01015	-0,01738	-0,00008
7	Верхние 95,0%	2,69144	0,14306	0,07658	0,00004

Таблица Г.10 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на давление в тормозной системе 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 3-го комплекта колодок ALLIED	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	0,71	-0,22	-1,23	5,56	18
2	0,52	0,17	0,93	16,67	
3	0,33	-0,03	-0,18	27,78	
4	1,03	0,28	1,52	38,89	
5	0,84	0,07	0,36	50,00	
6	0,65	-0,13	-0,74	61,11	
7	1,26	-0,05	-0,30	72,22	
8	1,07	-0,23	-1,29	83,33	
9	0,88	0,17	0,92	94,44	

Таблица Г.11 – Статистические характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении 2-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№	Параметр	Оценка коэффициента неучтённых факторов оказывающих влияние на отклик	Уровень критического износа тормозной колодки X_1 , мм	Плотность материала тормозной колодки X_2 , кг/м ³	Пробег X_3 , км
1	Стандартная ошибка	4,6394	0,1465	0,1036	0,0001
2	<i>t</i> -статистика	15,5566	-2,3688	0,5217	-8,6976
3	<i>P</i> -значение	0,0000	0,0640	0,6242	0,0003
4	Нижние 95%	60,2466	-0,7238	-0,2122	-0,0015
5	Верхние 95%	84,0982	0,0296	0,3203	-0,0008
6	Нижние 95,0%	60,2466	-0,7238	-0,2122	-0,0015
7	Верхние 95,0%	84,0982	0,0296	0,3203	-0,0008

Таблица Г.12 – Вероятностные характеристики модели влияния эксплуатационных факторов на активную мощность электродвигателя экспериментального стенда при торможении 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON

№ опыта	Смоделированное значение давления в тормозной системе при использовании 3-го комплекта колодок ALLIED NIPPON	Остатки	Стандартные остатки	Процентиль	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	13,58562691	0,614373	0,598672	13,58562691	3,77
2	29,98562691	-1,98563	-1,93488	29,98562691	
3	23,08562691	0,614373	0,598672	23,08562691	
4	12,12782875	0,172171	0,167771	12,12782875	
5	28,52782875	1,472171	1,434547	28,52782875	
6	21,62782875	0,172171	0,167771	21,62782875	
7	11,08654434	-0,78654	-0,76644	11,08654434	
8	27,48654434	0,513456	0,500333	27,48654434	
9	20,58654434	-0,78654	-0,76644	20,58654434	



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **2 758 530** (13) C1

(51) МПК
F16D 66/02 (2006.01)
 (52) СПК
F16D 66/02 (2021.02)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует последнее изменение статуса: 10.11.2021)
 Пошлина: транзитный прох для уплаты пошлины за 1 этап: 22.12.2021 по 21.12.2022. При
 уплате пошлины за 3 год: 1 февраля 2023 года 5-месячный срок с 27.12.2022 по 21.06.2023
 отведен для уплаты пошлины за 3-й год.

(21)(22) Заявка: 2020142266, 21.12.2020 (24) Дата начала отсчета срока действия патента: 21.12.2020 Дата регистрации: 29.10.2021 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 21.12.2020 (45) Опубликовано: 29.10.2021 Бюл. № 31 (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 16299 U1, 20.12.2000. FR 2566495 A1, 27.12.1985. US 2009084638 A1, 02.04.2009. Адрес для переписки: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО РГТУ им. П.А. Костычева, отдел патентования, Безносюк Р.В.	(72) Автор(ы): Воробьев Денис Александрович (RU), Симдянкин Аркадий Анатольевич (RU), Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU), Косаруков Денис Игоревич (RU) (73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)
---	--

(54) ЭЛЕМЕНТ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

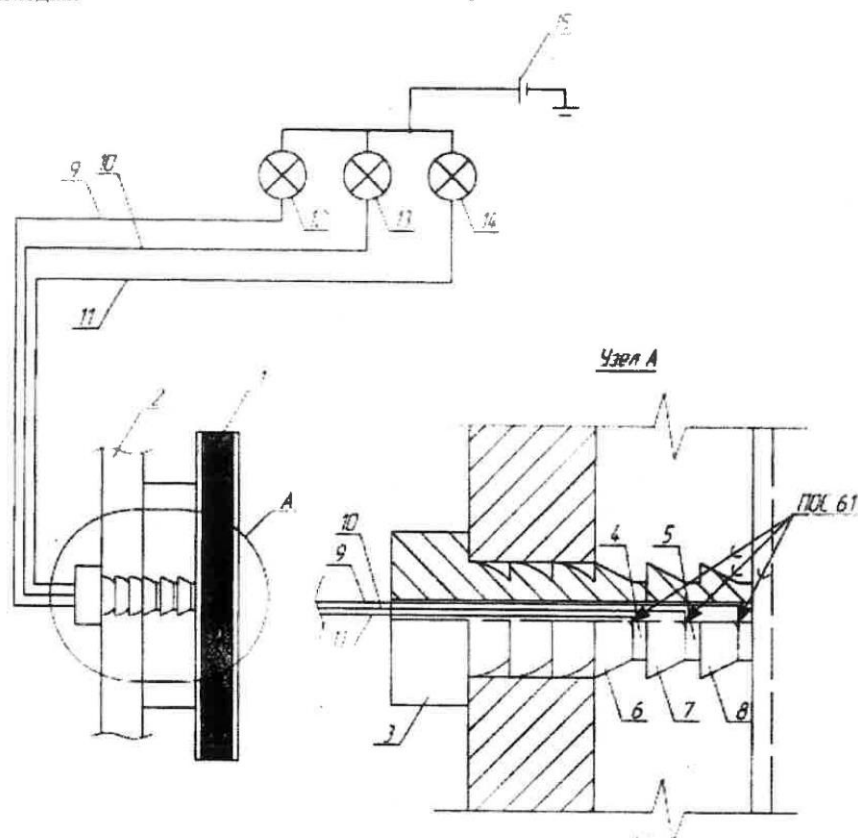
(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам контроля за рабочим состоянием фрикционного слоя колодки дискового тормоза и может быть использовано в тормозных системах мобильной техники. Устройство состоит из тормозного диска, контактирующего (при торможении) с тормозной колодкой, в теле которой жестко закреплен датчик износа, прослоенный в поперечном направлении путем чередования диэлектрических и ферромагнитных слоев, при этом каждый из ферромагнитных слоев соединен изолированными проводами с одним концом сигнального индикатора, соответственно, другой конец которых подсоединен к «плюсу» аккумулятора. Токопроводящие сердечники изолированных проводов соединены с соответствующими им ферромагнитными слоями, например, посредством припоя ПОС-61. Индикаторы располагаются в зоне непосредственной видимости водителя транспортного средства. Технический результат - расширение функциональных возможностей устройства с точки зрения отслеживания процесса износа тормозной

КОЛОДКИ.

1

ил.



Изобретение относится к устройствам контроля за рабочим состоянием фрикционного слоя колодки дискового тормоза и может быть использовано в тормозных системах мобильной техники.

Известен элемент тормозной системы, сигнализирующий об износе фрикционной накладки тормозной колодки дискового тормоза [1]. При определенной степени истирания фрикционной накладки элемент тормозной системы, выполненный из изолированного электрического провода, конец которого заключен в диэлектрический наконечник, закрепляемый на тормозной колодке, вступает в контакт с металлическим вращающимся диском тормоза и замыкает электрическую цепь. Электрический сигнал поступает на электронный блок контроля, на лицевой панели которого включается световая индикация износа фрикционной накладки тормозной колодки.

К недостаткам данного технического решения следует отнести невозможность отслеживания процесса износа в течение всего времени эксплуатации тормозной колодки, а также ненадежное крепление датчика в отверстии колодки.

Известно также техническое решение [2], в котором элемент тормозной системы, содержащий изолированный электрический провод, один конец которого заключен в диэлектрический наконечник, закрепляемый в отверстие на тормозной колодке за счет упругих свойств материала наконечника, а другой конец электрически соединен с индикатором износа, отличающийся тем, что установочная часть диэлектрического наконечника выполнена в форме кольцевых зубцов конической формы типа «ерш»

К недостаткам данного технического решения следует отнести невозможность отслеживания процесса износа в течение всего времени эксплуатации тормозной колодки.

Технический результат предполагаемого изобретения является расширение функциональных возможностей устройства с точки зрения отслеживания процесса износа тормозной колодки.

Сущность предполагаемого изобретения состоит в том, что выполнение датчика износа составным - из последовательно чередующихся проводящих и непроводящих электричество частей, проводящие части которого соединены через световые

индикаторы с аккумулятором транспортного средства, - позволяет отслеживать процесса износ тормозной колодки транспортного средства непосредственно в процессе его эксплуатации. При этом твердость и/или толщина электропроводящих частей датчика может быть подобрана в соответствии с градацией «допустимый», «приемлемый» и «критический» износ.

Технический результат достигается тем, что в элементе тормозной системы мобильного транспортного средства, содержащем датчик износа, выполненный в форме кольцевых зубцов конической формы типа "ерш", каждый кольцевой зубец конической формы отделяется от соседнего диэлектрическим слоем, и соединяется изолированным электрическим проводом со световым индикатором, второй выход которого подсоединен к положительному полюсу аккумулятора транспортного средства.

Конструктивное исполнение элемента тормозной системы, сигнализации об износе фрикционной накладки поясняется фигурой, где введены следующие обозначения:

- 1 - тормозной диск;
- 2 - тормозная колодка;
- 3 - датчик износа, выполненный наборным в форме шайб с кольцевыми зубцами конической формы типа "ерш";
- 4, 5 - диэлектрические слои;
- 6, 7, 8 - ферромагнитные слои;
- 9, 10, 11 - изолированные провода;
- 12, 13, 14 - сигнальные индикаторы;
- 15 - аккумулятор.

Устройство состоит (фиг.) из тормозного диска 1, контактирующего (при торможении) с тормозной колодкой 2, в теле которой жестко закреплен датчик износа 3, прослоенный в поперечном направлении путем чередования диэлектрического 4, 5 и ферромагнитных слоев 6, 7, 8, при этом каждый из ферромагнитных слоев 6, 7, 8 соединен изолированными проводами 9, 10, 11 с одним концом сигнального индикатора 12, 13, 14, соответственно, другой конец которых подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15. Токпроводящие сердечники изолированных проводов 9, 10, 11 соединены с соответствующими им ферромагнитными слоями 6, 7, 8, например, посредством припоя ПОС-61. Индикаторы 12, 13, 14 располагаются в зоне непосредственной видимости водителя транспортного средства.

Работа устройства осуществляется следующим образом: при торможении транспортного средства тормозная колодка 2 прижимается суппортом (на фигуре не показан) к тормозному диску 1, при этом в непосредственный контакт с торцевой поверхностью тормозного диска 1 входит ферромагнитный слой 8 датчика износа 3, соединенный изолированным проводом 9 с сигнальным индикатором 12, выход которого подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15, замыкая тем самым электрическую цепь, в результате чего сигнальный индикатор 12 начинает светиться.

По мере износа тормозной колодки 2 и, соответственно, ферромагнитного слоя 8 датчика износа 3, наступает момент, когда толщина ферромагнитного слоя 8 становится равной нулю и электрическая цепь, включающая провод 9, сигнальный индикатор 12 и аккумулятор 15, размыкается - в результате сигнальный индикатор 12 перестает светиться при торможении транспортного средства.

Тонкий и мягкий диэлектрический слой 5 датчика износа 3 достаточно быстро истирается при трении о торцевую поверхность тормозного диска 1, после чего в непосредственный контакт с тормозным диском 1 входит следующий ферромагнитный слой 7 датчика износа 3, соединенный изолированным проводом 10 с сигнальным индикатором 13, выход которого подсоединен к «плюсу» аккумулятора 15, замыкая тем самым электрическую цепь, в результате чего сигнальный индикатор 13 начинает светиться.

По мере износа тормозной колодки 2 и, соответственно, ферромагнитного слоя 7 датчика износа 3, наступает момент, когда толщина ферромагнитного слоя 7 становится равной нулю и электрическая цепь, включающая провод 10, сигнальный индикатор 13 и аккумулятор 15, размыкается - в результате сигнальный индикатор 13 перестает светиться при торможении транспортного средства.

Далее процессы износа диэлектрического слоя 4 датчика износа 3 и ферромагнитного слоя 6 повторяются в описанной выше последовательности. В результате износа последнего ферромагнитного слоя 6 индикатор 14, соединенный с ним проводом 11, перестает светиться вследствие разрыва электрической цепи «слой 6-провод 11-индикатор 14-аккумулятор 15», и водитель транспортного средства принимает решение о замене тормозной колодки 2 на новую.

Градация износа тормозной колодки 2, оцениваемая по отключению индикаторов 12, 13, 14, может быть выполнена, например, по шкале «начальный износ»,

«допустимый износ», «критический износ», соответственно.

Таким образом, предлагаемый элемент тормозной системы информирует водителя о степени износа тормозной колодки 2 на протяжении времени ее эксплуатации.

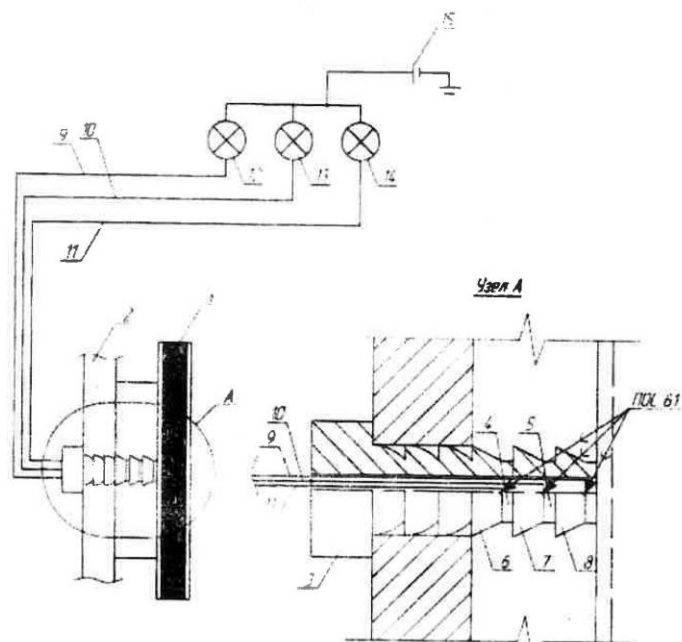
Источники информации

1. Сигнализатор износа передних тормозов автомобиля ВА3-2110. Сборочный чертеж 2110-3501093.

2. Патент №16299 F16D 66/02 (2000.01) Элемент тормозной системы / Большаков В.Н., Андриевский Г.С. Заявка 2000110181/20, 25.04.2000, опубл. 20.12.2000

Формула изобретения

Устройство контроля за рабочим состоянием фрикционного слоя колодки дискового тормоза тормозной системы мобильного транспортного средства, содержащее датчик износа, выполненный в форме кольцевых зубцов конической формы типа "ерш", отличающееся тем, что каждый кольцевой зубец конической формы отделяется от соседнего диэлектрическим слоем и соединяется изолированным электрическим проводом со световым индикатором, второй выход которого подсоединен к положительному полюсу аккумулятора транспортного средства.





«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор
ФГБОУ ВО РГАТУ

С. Н. Борычев

АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской разработки

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного руководителя работы к.т.н. Лимаренко Николая Владимировича, аспиранта кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» Воробьева Д.А., и представители ООО «Автогарант» в лице генерального директора С.А. Борца, составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы на тему: «Повышение эффективности технического состояния тормозной колодки», выполненной на кафедре «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ внедрены в производственную деятельность ООО Автогарант.

Внедрение полученных результатов позволило предприятию получить технико-экономический эффект от применения устройства индикации износа тормозных колодок (защищено патентом РФ на изобретение № 2758530) равный 26 500 рублей при сроке окупаемости 10,5 месяцев.

В научно-исследовательской работе принимали участие:

д.т.н, профессор _____ И.А. Успенский

к.т.н. _____ Н.В. Лимаренко

соискатель _____ Д.А. Воробьев

Представитель ФГБОУ ВО РГАТУ
Научный руководитель работы

Генеральный директор
ООО «Автогарант»

к.т.н. _____ Н.В. Лимаренко

_____ С.А. Борц

М.П. « 24 » _____ 2021 г.

_____ М.П. « 24 » _____ 2021 г.



XXV Московский международный
Салон изобретений и инновационных технологий



«АРХИМЕД 2022»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри
награждается

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

авторы: Воробьев Денис Александрович, Симдянкин Аркадий Анатольевич,
Бышов Николай Владимирович, Борычев Сергей Николаевич,
Успенский Иван Алексеевич, Юхин Иван Александрович,
Безносюк Роман Владимирович, Косоруков Денис Игоревич
за проект: «Элемент тормозной системы мобильного
транспортного средства»

Председатель
Международного Жюри,
академик,
член президиума РАН

С.М. Алдошин

Президент Салона

Д.И. Зезюлин

Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности

Ю.С. Зубов

Россия, Москва, 29.03 - 31.03.2022 г.