

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А.ТИМИРЯЗЕВА»**

На правах рукописи

ЮДЕНИЧЕВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА НЕПРЕРЫВНОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ И
АГРЕГАТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО
ПРОГНОЗИРУЮЩИМ ПАРАМЕТРАМ**

Специальность: 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Варнаков Дмитрий Валерьевич,
доктор технических наук, доцент

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Состояние и направления развития диагностики автотранспортных средств.....	12
1.2 Диагностирование технического состояния автомобиля по прогнозирующим параметрам.....	16
1.3 Анализ методов и способов неразрушающего контроля остаточного ресурса узлов и агрегатов техники.....	24
1.4 Диагностика с применением беспроводных систем передачи данных....	37
1.5 Методика проведения исследований непрерывной диагностики прогнозирующих параметров с использованием беспроводных каналов связи для передачи данных.....	48
1.6 Выводы по главе 1.....	50
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	51
2.1 Теоретические основы технического диагностирования при эксплуатации автотранспортных средств.....	51
2.2 Методология и техническая реализация построения мобильной беспроводной сенсорной сети.....	62
2.3 Применение распределенных сенсорных сетей в задачах технического диагностирования.....	69
2.4 Методы оценки динамики изменения остаточного ресурса узлов и агрегатов техники.....	73
2.5 Выводы по главе 2.....	83
ГЛАВА 3 ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	85
3.1 Математический аппарат планирования эксперимента.....	85

3.2 Методика планирования эксперимента.....	92
3.3 Результаты эксперимента.....	94
3.4 Выводы по главе 3.....	102
ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	104
4.1 Оценка надежности технических средств непрерывной диагностики....	104
4.2 Разработка методики автоматического диагностирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств.....	108
4.3 Стратегия повышения эффективности технического сервиса автотранспортных средств путем управления запасами.....	112
4.4 Оценка экономического эффекта внедрения непрерывного диагностирования узлов и агрегатов автотранспортных средств.....	121
4.5 Выводы по главе 4.....	127
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Анализ эксплуатации техники показывает, что значительная часть возникающих отказов и неисправностей приходится на двигатели. В этих условиях значительно возрастают вопросы надежности техники, как важнейшего фактора эффективности решения стоящих задач.

При этом особое внимание необходимо уделять стадии эксплуатации автомобильной техники. Ведущую роль при этом занимает деятельность, направленная на обеспечение назначенного ресурса двигателей автотранспортных средств, что достигается как обеспечением оптимальных условий эксплуатации, предусмотренных техническими требованиями заводов изготовителей, так и проведением своевременного качественного технического обслуживания и ремонта.

Интегрирование современных датчиков и микропроцессорных устройств в двигатели открывает возможности для создания бортовых систем прогнозирования, обеспечивающих оперативный мониторинг эксплуатационной надежности. Предлагаемая система, ориентированная на контроль и прогнозирование параметрической надежности двигателей в особых режимах работы, включает в себя систему оперативного контроля, принимающую корректирующие решения, и информационную систему для оптимизации периодичности технического обслуживания. Её алгоритм работы предполагает сбор эксплуатационных данных, оценку рабочих параметров двигателя, оперативный контроль состояния моторного масла и принятие корректирующих мер [10].

Таким образом, одним из перспективных направлений исследований в данной области является развитие системы технического обеспечения, эксплуатации и восстановления автотранспортных средств в области оперативной оценки эксплуатационной надежности двигателей автотранспортных средств, применяемых в агропромышленном комплексе.

Техническое состояние автомобилей, их узлов, агрегатов и деталей

меняется в процессе эксплуатации в результате различных процессов старения (износ, усталость, коррозия и т.д.). При этом происходят изменения в диагностических параметрах. Выявление закономерностей изменения диагностических параметров позволяет прогнозировать техническое состояние транспортных средств (их деталей, узлов и агрегатов) и повышать эффективность их использования (рекомендации по повышению надежности, обоснование диагностических параметров и критериев, разработка методов и средств технического диагностирования, периодичность технического обслуживания и (корректировке номенклатуры).

Общая цель контрольно-диагностических работ - получение информации о техническом состоянии автомобиля, его отдельных агрегатов, узлов и деталей для принятия решений по технической эксплуатации автомобиля.

Достоверная информация позволяет принимать оптимальные решения по техническому воздействию на отдельные узлы и агрегаты транспортного средства, что повышает эффективность работы технических служб и автомобильного транспорта.

Работы по осмотру и диагностике составляют около 30 % трудозатрат на техническое обслуживание, а вместе с регулировочными работами - 17 20% трудозатрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Кроме того, трудоемкость этих работ выше, когда ремонтируются отдельные узлы или агрегаты. Но самое главное, что необходимость ремонта и регламент технического обслуживания выявляются по результатам контрольно-диагностических работ, то есть практически общее количество технических мероприятий определяется качеством выполнения этих задач. Поэтому в настоящее время развитие всей системы технического обслуживания и ремонта автомобилей направлено на совершенствование методов и средств технического диагностирования.

Техническое диагностирование является эффективным инструментом управления надежностью машин в эксплуатации. Теоретические основы

диагностирования машин заложены в научной дисциплине, известной как "диагностика". Существует тесная взаимосвязь между технической диагностикой и теорией надежности. Диагностика обеспечивает информационную базу, необходимую для управления эксплуатационной готовностью и надежностью машин. Кроме того, ремонтпригодность, являющаяся характеристикой надежности, характеризует приспособленность объекта (машины и ее компонентов) к диагностированию.

Техническое диагностирование автомобилей — это изучение, установление и классификация отказов и неисправностей узлов и агрегатов, симптомов этих отказов и неисправностей, разработка методов и средств их выявления с целью определения профилактических и ремонтных мероприятий, необходимых для поддержания высокой надежности объекта и прогнозирования ресурсов, требуемых для его полноценного функционирования. Это одна из отраслей науки об утилизации. В данном случае диагностику можно описать как процесс определения и оценки технического состояния объекта без его демонтажа на основе совокупности выявленных диагностических симптомов.

В общем процессе диагностирования выделяют три этапа. На первом этапе технического диагностирования проводится анализ информации о надежности транспортного средства, который включает в себя процесс оперативного исследования изменений технического состояния объекта.

На втором этапе на основе инженерного анализа определяются допуски и предельные отклонения параметров технического состояния объекта, выбирается метод диагностирования, система диагностирования комплектуется необходимым оборудованием и формируется оценка технического состояния объекта.

Третий этап диагностического прогнозирования предполагает предсказание будущего поведения объекта на основе закономерности изменения его технического состояния, формирование выводов об ожидаемом сроке службы основных элементов и установление периодичности их замены,

регулировки и т.д.

Целью прогнозирования технического состояния может быть определение исправного (работоспособного) состояния объекта или вероятности того, что исправное состояние объекта будет поддерживаться в заданном интервале времени с заданной вероятностью интервал времени (ресурс).

Прогнозирование определяется как вероятностное, научно обоснованное суждение о будущей вероятности какого-либо явления, его возможном состоянии и (или) альтернативных методах и сроках их реализации. В настоящее время разрабатывается несколько трендов для выявления закономерностей изменения диагностических параметров. Прогнозирование также относится к определению того, как долго автомобиль будет нормально функционировать до достижения предельного состояния, указанного в технической документации. При проведении диагностики определяется, будет ли автомобиль нормально функционировать до следующего обслуживания или ремонта. На практике прогнозирование заключается в определении периодичности обслуживания (диагностики), определении времени работы до следующего ремонта и определении критериев прогнозной диагностики. При этом основной задачей диагностики является достижение максимальной эффективности по заранее выбранным критериям.

Актуальность темы исследования заключается в необходимости разработки мероприятий, способов и технических средств диагностики и прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств.

Степень разработанности темы. Вопросами оценки надежности и прогнозирования изменения технического состояния сельскохозяйственных машин занимался ряд авторов:

Голубев И.Г., Дидманидзе О.Н., Ерохин М.Н., Крагельский И.В., Курочкин В.Н., Митягин В.А., Петрашев А.И., Простоквашин В.Г., Прохоренков В.Д., Пучин Е.А., Синявский И.А., Рязанов В.Е., Северный А.Э., Тельнов Н.Ф., Уютов С.Ю., Щукин А.Р., Яковлев Б.П.

Научная задача заключается в разработке метода прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств, основанного на нелинейных моделях деградации параметров, с применением беспроводных систем передачи данных.

Область исследований. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса»:

12. Цифровые интеллектуальные технологии, автоматизированные и роботизированные технические средства для агропромышленного комплекса.

20. Методы и технические средства обеспечения надежности, долговечности, диагностики, технического сервиса, технологии упрочнения, ремонта и восстановления машин и оборудования.

22. Организация технического сервиса, ремонта, хранения, рециклинга, утилизации машин и оборудования.

Цель исследования - снижение трудоемкости и повышение оперативности при оценке технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств путем разработки способа непрерывной диагностики параметров с использованием беспроводных каналов связи для передачи данных.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие основные задачи исследования:

1. Проанализировать состояние технических средств и методов диагностики узлов и агрегатов автотранспортных средств.

2. Теоретически обосновать возможность прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов на основе прогнозирующих

параметров.

3. Разработать метод и средство диагностирования с применением беспроводной передачи данных.

4. Разработать математическую модель прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств.

5. Привести практические рекомендации по применению предложенного метода и средств диагностирования с применением беспроводной передачи данных, оценить эффективность их применения.

Границы исследования - диагностические параметры функционирования узлов и агрегатов автотранспортных средств.

Объект исследования – двигатели автотранспортных средств и системы беспроводной передачи данных.

Предмет исследования – оценка количества картерных газов, как прогнозирующий параметр технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателей автотранспортных средств.

Методы исследования: при решении поставленных задач использовались математическое и физическое моделирование; методы планирования эксперимента и статистической обработки результатов измерений; факторный анализ; теория вероятностей; Марковские процессы теории надежности.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке математической модели прогнозирования изменения технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств путем применения средств непрерывной диагностики и беспроводной передачи данных.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в разработке методики построения беспроводной системы непрерывного контроля параметров, характеризующих техническое состояние автотранспортного средства, и позволяющую на основе прогнозирования реализовать техническое обслуживание по фактическому состоянию.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке системы обслуживания автотранспортных средств на основе непрерывной диагностики и прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств, с применением средств беспроводной передачи данных, корректировки регламента обслуживания техники, управления фондом запасных частей с целью снижения материальных затрат и повышения коэффициента готовности.

Реализация результатов исследования

Результаты исследований используются в процессе эксплуатации и при техническом обслуживании автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований рассмотрены и внедрены в ООО "Автогаз Инжиниринг", ОАО "Завод Старт", ООО "ТИМЕР", что подтверждается соответствующими актами.

Результаты исследований используются при подготовке специалистов технического сервиса машин по направлению подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования", "Технический сервис в агропромышленном комплексе".

На защиту выносятся научно обоснованные модели прогнозирования и динамического процесса изменения технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств, в том числе:

1. Математическая модель прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств.
2. Способ и средства диагностирования технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя.
3. Система сбора и передачи диагностических параметров с использованием беспроводных каналов связи для передачи данных.
4. Практические рекомендации по применению предложенного способа и средства диагностирования.

Апробация работы.

Основные результаты исследований докладывались на всероссийских и международных научно-практических конференциях: Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2023. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2023; Чтения академика В.Н. Болтинского, Москва, 2023; IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2023», г. Сургут; XXI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов», Москва, 2023; XII Международная научно-практическая конференция «Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов», Москва, 2023.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 15 научных работах общим объемом 7,72 печатных листа, в том числе в 11 статьях (2 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций) и тезисов докладов, имеется 1 патент РФ на полезную модель, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация включает введение, четыре главы, общие выводы, список используемых источников информации из 178 наименований, в том числе 15 на иностранном языке и приложения на 29 страницах. Объем диссертации – 180 страниц машинописного текста, в том числе 150 страниц основного текста, поясняется 4 таблицами и 36 рисунками.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Состояние и направления развития диагностики автотранспортных средств

При использовании транспортных средств неизбежно происходит деградация их функциональных характеристик и общего технического состояния, что влечет за собой различные неполадки и сбои.

Технический уровень транспортного средства определяется комплексным анализом трех основных компонентов: конструктивного исполнения, производственных возможностей и эксплуатационных характеристик. При этом среди эксплуатационных параметров ключевую роль играют два фундаментальных критерия - надежность и контролепригодность, которые выступают базовыми индикаторами при оценке технического состояния.

Надежность отражает способность транспортного средства сохранять свои функциональные характеристики в течение заданного периода, в то время как контролепригодность определяет удобство и эффективность проведения диагностических процедур. Эти показатели взаимно дополняют друг друга, формируя целостную картину технического уровня машины и позволяя прогнозировать ее эксплуатационный ресурс.

Такой трехкомпонентный подход к оценке обеспечивает всестороннее понимание технического потенциала транспортного средства и позволяет принимать обоснованные решения по его техническому обслуживанию и эксплуатации.

Жизненный цикл надежности транспортного средства охватывает три этапа: проектирование, где она закладывается, производство, где обеспечивается, и эксплуатацию, где поддерживается. Для измерения

надежности применяются четыре основных критерия: способность работать без сбоев, срок службы, удобство ремонта и устойчивость к хранению.

Дефекты и отказы выступают ключевыми индикаторами ремонтпригодности транспортного средства.

Отказ характеризуется как нарушение работоспособности механизма, при котором его эксплуатационные параметры выходят за допустимые пределы, что делает дальнейшее использование технически невозможным или экономически нерациональным. Причинами могут выступать различные факторы: от механического износа контактирующих поверхностей и нарушения целостности компонентов до рассогласования рабочих параметров и необратимых изменений в материалах.

При нарушении работы механизма не всегда происходит его полная остановка. Дефектный элемент зачастую продолжает выполнять свои функции, пусть и не в полном объеме или с определенными нарушениями. Впрочем, пренебрежение даже незначительными сбоями, будь то необычные звуки в подшипниковом узле коленвала, способно спровоцировать фатальный выход из строя всей системы.

Временная динамика развития неисправностей позволяет разделить их на две категории. В первом случае наблюдается медленная деградация рабочих характеристик, когда измеряемые показатели постепенно достигают недопустимых значений. Подобное явление можно проследить на примере снижения производительности двигателей, деградации гидравлических узлов или истончения поверхности колес на железнодорожном транспорте из-за трения.

Внезапные отказы часто возникают вследствие скрытых изменений в структуре материалов, накопления усталостных повреждений или воздействия экстремальных нагрузок и температур. К таким отказам относятся пробой электрической изоляции, выход из строя электронных компонентов и разрушение гидравлических магистралей.

Современное развитие диагностических технологий позволяет переклассифицировать многие внезапные отказы в категорию постепенных. Такая классификация помогает подобрать оптимальные методы выявления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса оборудования.

Этиология технических неисправностей подразделяется на три основных направления. Недочеты в инженерных решениях порождают дефекты конструкционного характера, тогда как погрешности в технологическом процессе сборки и производства проявляют себя на начальных этапах работы механизма. Третья категория сбоев обусловлена несоблюдением регламента эксплуатации оборудования.

Анализ характера неисправностей выявляет их взаимообусловленность либо автономность возникновения. Важно отметить, что долговечность и безотказность транспортной техники существенно повышается при условии раннего обнаружения потенциальных проблем с использованием инновационных средств технической диагностики.

Диагностическая деятельность фокусируется на двух ключевых направлениях: разработке критериев оценки технического состояния и создании методологии идентификации неисправностей. Полученные данные служат основой для прогнозирования остаточного ресурса как целого транспортного средства, так и его отдельных компонентов.

Всесторонняя диагностика обеспечивает комплексную оценку технического состояния, точную локализацию неисправностей, рациональное использование запасных частей и оптимизацию эксплуатационных расходов. Это создает предпосылки для перехода от планового к фактически необходимому обслуживанию, повышая эксплуатационную готовность техники.

Диагностика, в отличие от традиционного контроля, предоставляет объективную количественную оценку технического состояния и позволяет осуществлять оперативное управление им. Она интегрирована в процессы технического обслуживания различных отраслей.

Диагностические процедуры разделяются на функциональные, оценивающие общее состояние транспортного средства, и тестовые, направленные на проверку конкретных узлов и систем. Диагностика также оптимизирует производственные процессы сервисных предприятий, обеспечивая рациональное распределение работ.

Система управления техническим состоянием транспорта представляет собой комплекс профилактических и восстановительных мероприятий. Оптимальными считаются решения, минимизирующие ресурсозатраты при восстановлении работоспособности, а для систем безопасности - обеспечивающие минимальный риск отказа [5].

Эффективное управление техническим состоянием реализуется через замкнутую систему, включающую четыре основных компонента: объект управления, диагностический комплекс, управляющий центр и производственную базу. При этом диагностика выступает как самостоятельный элемент этой структуры, обеспечивающий информационную основу для принятия решений.

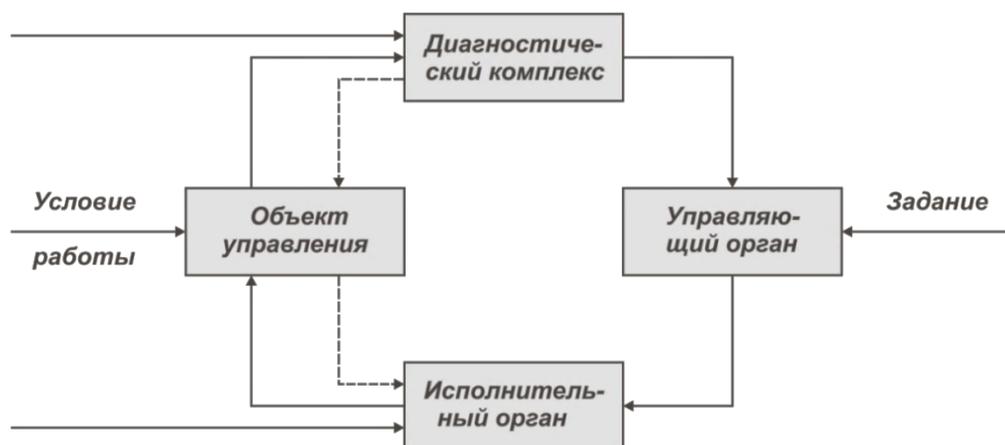


Рисунок 1.1 - Функциональная схема управления техническим состоянием транспортного средства

Контроль технического состояния транспортного парка базируется на многофакторной системе критериев. В основе этой системы лежат ключевые индикаторы работоспособности, интервалы между сервисными мероприятиями, критические пороги диагностируемых величин, допустимые

погрешности измерительных процедур, а также расчетный срок службы техники.

Система управления функционирует на основе двунаправленного взаимодействия. По каналу прямой связи формируются решения о необходимых технических воздействиях, а обратная связь обеспечивает корректировку параметров надежности и эффективности. Диагностика в этой системе выполняет триединую задачу: первичную оценку состояния, поддержку регулировочных работ и контроль качества обслуживания с прогнозированием остаточного ресурса.

Оптимизация диагностического процесса достигается через обоснованный выбор контролируемых параметров, измерительного оборудования, установление эталонных показателей и оптимальных интервалов проверок.

Значительное влияние диагностики на процессы технического обслуживания способствует эволюции системы от планово-предупредительной модели к обслуживанию, основанному на фактическом состоянии транспортных средств.

1.2 Диагностирование технического состояния автомобиля по прогнозирующим параметрам

Определение технического состояния объекта осуществляется посредством специализированного контрольно-диагностического оборудования. Взаимодействие диагностируемого объекта с этим оборудованием формирует целостную диагностическую систему. Процесс диагностики представляет собой циклическое взаимодействие, при котором объект получает входные сигналы и генерирует ответные реакции, подлежащие измерению и анализу.

Стимулирующие сигналы могут поступать как от самого диагностического оборудования, так и от внешних источников,

соответствующих штатному режиму работы объекта. В зависимости от методики подачи этих сигналов диагностические системы подразделяются на функциональные и тестовые, схематическое представление которых отражено на рисунке 1.2.

Такой подход к диагностике позволяет получить комплексную картину технического состояния объекта через анализ его реакций на различные типы воздействий.

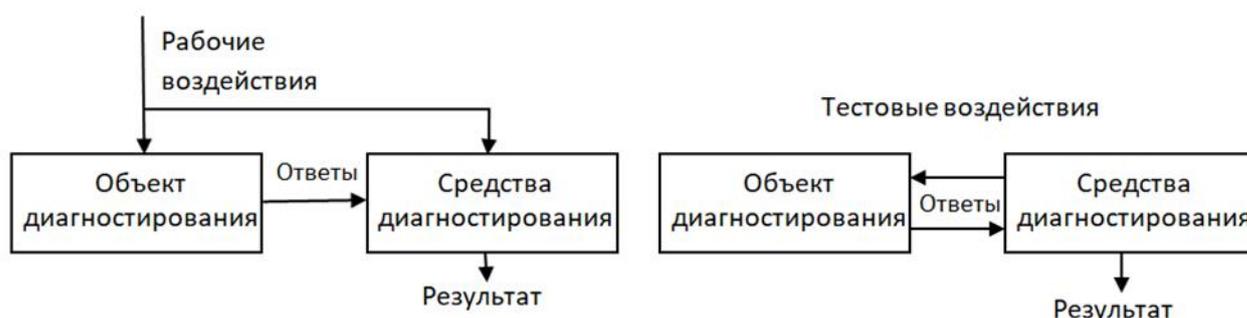


Рисунок 1.2 - Функциональные схемы систем диагноза технического состояния автомобиля

Техническая диагностика автомобилей нацелена на создание эффективных методов оценки технического состояния как всего транспортного средства, так и его отдельных компонентов.

Внедрение диагностических систем на автотранспортных предприятиях позволяет оптимизировать управление техническим состоянием автопарка. Это обуславливает необходимость формирования комплексных диагностических систем управления.

Диагностические системы, предназначенные для проверки работоспособности и поиска неисправностей, классифицируются по нескольким критериям. По масштабу обследования они делятся на общие и локальные. По способу взаимодействия с объектом выделяют функциональные и тестовые методы, которые могут применяться как по отдельности, так и совместно. По типу оборудования различают универсальные, специализированные, встроенные и внешние средства диагностики. По уровню автоматизации системы подразделяются на

автоматические, автоматизированные и ручные.

При разработке диагностической системы учитываются такие факторы, как точность диагностики и глубина поиска неисправностей. Эти параметры определяются с учетом надежности компонентов, особенно критичных для безопасности, возможности контроля и восстановления, а также экономической эффективности диагностического процесса.

Для оценки технического состояния автомобиля используются структурные параметры - физические величины, установленные производителем в технической документации. Эти параметры определяют взаимосвязь элементов автомобиля и его общую функциональность.

Особую роль играют прогнозирующие параметры, которые не только характеризуют текущее техническое состояние по косвенным признакам, но и служат основой для создания прогностических моделей изменения технического состояния транспортного средства.

Эффективность диагностических параметров определяется их чувствительностью к изменениям технического состояния.

Количественная оценка технического состояния механизмов опирается на систему диагностических параметров, охватывающих начальные, критические и промежуточные значения при регламентированной частоте контроля. Актуальное состояние агрегатов определяется через сравнительный анализ полученных данных с эталонными показателями, которые могут быть как общепринятыми, так и специфичными для конкретного производителя.

Анализ остаточного эксплуатационного потенциала транспортного средства до достижения им критического состояния составляет суть прогностического подхода. Такая методика позволяет выстроить индивидуальную стратегию обслуживания для каждого автомобиля, что существенно эффективнее применения усредненных нормативов.

Рациональная организация технического обслуживания требует синергии диагностических данных с их прогнозной динамикой. На практике это воплощается в определении оптимальных сроков диагностики и

превентивных нормативов, базирующихся на теоретических основах надежности с учетом экономической целесообразности.

Прогнозирование может осуществляться по различным критериям, включая усталостную прочность, износ, вибрационные характеристики, состав масла и экономические показатели.

Существуют три основные группы методов прогнозирования:

- Экспертные оценки, основанные на анализе мнений специалистов
- Моделирование, использующее теорию подобия для переноса результатов с модели на реальный объект.

- Статистические методы, преимущественно использующие экстраполяцию для выявления закономерностей изменения параметров во времени.

Диагностические данные являются фундаментальным элементом в системе контроля технического состояния автомобильного парка. Основополагающей целью диагностики выступает обеспечение оптимальных эксплуатационных характеристик транспортных средств. Это достигается путем точной идентификации необходимых сервисных и ремонтных мероприятий для каждой конкретной машины в текущий момент эксплуатации.

Такой индивидуализированный подход к техническому обслуживанию, базирующийся на актуальных диагностических показателях, позволяет эффективно восстанавливать рабочие параметры автомобиля и поддерживать их на должном уровне. При этом исключается как недостаточное обслуживание, так и избыточные ремонтные работы, что обеспечивает оптимальное использование ресурсов.

Процесс восстановления представляет собой комплексную динамическую систему, объединяющую различные компоненты: диагностическое и гаражное оборудование, инструменты, запасные части и материалы, персонал, осуществляющий работы и управление процессом, а также сами объекты ремонта - автомобильные узлы и агрегаты.

Современное развитие отрасли характеризуется внедрением автоматизированных диагностических систем, как внешних, так и встроенных. Эти системы, оснащенные электронными модулями, обеспечивают автоматизированное тестирование, постановку диагноза и передачу информации как непосредственно механикам, так и в центр управления производством.

Диагностические данные также служат инструментом контроля качества технического обслуживания и ремонтных работ.

Документооборот диагностической информации регламентируется специальным руководством и включает два типа документов:

- Первичные (одноразовые карты с рабочих мест)
- Вторичные (накопительные таблицы по технике)

Диагностические карты выполняют функцию учета результатов проверок и контроля выполненных работ. Совершенствование использования диагностической информации должно происходить через улучшение нормативной документации и разработку стандартизированных управленческих решений.

Диагностика автомобиля осуществляется двумя основными методами: субъективными и объективными.

Субъективные методы основываются на оценке технического состояния через анализ динамических процессов с помощью органов чувств специалиста. К ним относятся:

- визуальный осмотр;
- прослушивание работы механизмов;
- тактильное обследование;
- логический анализ состояния.

Однако такой подход неизбежно связан с погрешностями в оценке из-за человеческого фактора.

Инструментальная диагностика опирается на применение специальных технических средств и методик анализа. В основе этого подхода лежит

комплексное исследование конструктивных параметров, контроль герметичности узлов, мониторинг эксплуатационных процессов, оценка вибрационных и акустических показателей, изучение периодических процессов, а также анализ состояния эксплуатационных жидкостей и выхлопных газов. Данные методы должны соответствовать высоким стандартам точности измерений, надежности аппаратуры, технологичности процесса и экономической целесообразности.

В соответствии с государственным стандартом ГОСТ 25176-82, диагностическое оборудование разделяется на автономные устройства и интегрированные системы контроля. Автономная диагностическая техника, в свою очередь, может быть реализована в виде стационарных комплексов, мобильных установок или портативных приборов.

Современное диагностическое оборудование охватывает широкий спектр задач: от всесторонней проверки транспортного средства до узкоспециализированной диагностики отдельных систем. К последним относятся силовые агрегаты, системы управления, тормозное оборудование, осветительные приборы, трансмиссионные узлы, ходовая часть, электрические компоненты, гидравлические системы и дополнительное оснащение. С развитием автомобильных технологий и ужесточением эксплуатационных требований роль инструментальной диагностики неуклонно возрастает. [15].

По охвату диагностирования различают:

- Системы общей диагностики
- Локальные системы для отдельных узлов
- Автономные диагностические средства

По уровню автоматизации выделяют:

- Автоматические системы
- Полуавтоматические системы
- Системы с ручным/ножным управлением
- Комбинированные системы

По типу оборудования различают:

- Стендовое диагностирование (включая роликовые стенды, имитирующие движение)

- Портативное диагностирование

Диагностика по структурным параметрам представляет собой бесконтактный метод оценки технического состояния через измерение геометрических характеристик сопряженных деталей. Этот подход охватывает широкий спектр измерений: от зазоров в различных механизмах (подшипниковые узлы, клапанная система, кривошипно-шатунный механизм) до геометрии ходовой части (шкворневые соединения, рулевые механизмы, углы установки колес).

Технический контроль механизмов реализуется посредством специализированного диагностического оборудования. Для определения структурных параметров применяется комплекс измерительных устройств, включающий индикаторные приборы часового типа и различный специальный инструментарий.

Контроль герметичности систем фокусируется на выявлении и количественной оценке утечек рабочих жидкостей и газов. Критически важным является анализ герметичности камеры сгорания, где ключевую роль играет состояние цилиндра-поршневой группы и клапанного механизма. Диагностике также подвергаются системы охлаждения, топливоподачи, пневматические элементы ходовой части и гидравлические компоненты различных систем. [16].

Функциональная диагностика базируется на анализе рабочих процессов. В ходе проверки оцениваются эффективность торможения, включая длину тормозного пути и величину замедления, равномерность тормозных усилий, динамика их изменения. Исследуются характеристики взаимодействия шин с дорожным покрытием, параметры выхлопных газов, колебания давления в топливной системе и впускном коллекторе. Важными показателями являются тяговые характеристики, динамика разгона и топливная экономичность.

Отдельное направление представляет анализ циклических процессов. Многие системы автомобиля работают в повторяющемся режиме - это касается газораспределения, топливоподачи, зажигания. Благодаря идентичности параметров в каждом цикле, достаточно детально изучить один рабочий цикл. Специальные преобразователи позволяют развернуть параметры единичного цикла во временной последовательности для последующей регистрации и анализа.

Для определения угла опережения зажигания и контроля балансировки колес применяются стробоскопические приборы. Их принцип действия основан на особенности человеческого зрения: при освещении вращающегося объекта краткими световыми импульсами в определенные моменты создается иллюзия его неподвижности.

Анализ состояния двигателя можно провести путем исследования картерного масла. Изучая концентрацию различных металлов в масле, специалисты получают информацию об износе конкретных деталей. Например, повышенное содержание железа указывает на износ цилиндров и коленвала, а алюминия - на истирание поршневой группы. Наличие почвенных частиц свидетельствует о проблемах в системе воздушной фильтрации.

Анализ состава смазочных материалов преимущественно осуществляется посредством спектрометрии. Данная методика выявляет присутствие различных химических элементов благодаря уникальным спектральным характеристикам, проявляющимся при воздействии электрического разряда на исследуемый образец.

Экологический аспект технической диагностики реализуется через мониторинг отработавших газов. Применение передовых аналитических технологий позволяет с высокой точностью определять содержание токсичных компонентов в выхлопе - от монооксида углерода до оксидов азота и не окислённых углеводородов, что имеет первостепенное значение для охраны окружающей среды.

Результативность диагностики определяется способностью методов и

оборудования точно оценивать техническое состояние транспортного средства. Ключевыми критериями выступают точность определения неисправностей, информативность диагностических алгоритмов, достоверность получаемых данных, удобство проведения работ, материалоемкость оборудования и экономическая целесообразность применяемых методов.

1.3 Анализ методов и способов неразрушающего контроля остаточного ресурса узлов и агрегатов техники

Техническое состояние транспортных средств можно оценить по различным признакам, сопровождающим их эксплуатацию. Любое отклонение от нормы проявляется через определенные физические явления: изменение размеров деталей, появление нехарактерных звуков, колебаний, нарушение тепловых режимов или снижение эксплуатационных показателей. Все эти проявления поддаются количественной оценке.

В диагностике выделяют два типа параметров состояния. Первый тип - структурные параметры, напрямую отражающие работоспособность узлов через измерение конкретных величин, таких как степень износа или величина зазоров. Второй тип - диагностические параметры, которые опосредованно свидетельствуют о состоянии механизмов через оценку температуры, акустических характеристик, вибрации или эффективности использования топлива [17].

При выборе диагностических показателей руководствуются несколькими ключевыми критериями. Важнейшим является однозначность - каждому значению измеряемого параметра должно соответствовать строго определенное техническое состояние. Существенную роль играет чувствительность параметра, характеризующая масштаб его изменения при отклонении структурных характеристик.

Эффективность диагностического показателя напрямую связана с доступностью его измерения, что обусловлено конструктивными особенностями как диагностируемой техники, так и измерительных приборов. Ключевым критерием выбора контрольного параметра выступает его диагностическая ценность - способность однозначно характеризовать техническое состояние исследуемого узла. При разработке методик диагностики предпочтение отдается тем индикаторам, которые позволяют обнаруживать типичные дефекты и неполадки.

Эффективность диагностического процесса во многом зависит от удобства проведения измерений, что включает простоту подключения приборов и обработки полученных данных. Эти факторы напрямую влияют на затраты времени и средств при проведении диагностики.

В диагностической методологии выделяются два базовых типа параметров. Частные показатели непосредственно указывают на специфические неисправности, как в случае с нарушением работы предохранительного клапана двигателя. Общие характеристики, включающие мощностные и тяговые показатели, дают комплексную оценку технического состояния транспортного средства.

Параметры также разграничиваются по степени автономности. Независимые индикаторы позволяют безошибочно идентифицировать конкретный дефект, в то время как зависимые требуют анализа множественных показателей для точной диагностики [78].

Информационная классификация выделяет три категории параметров: технические индикаторы состояния, функциональные показатели и интегральные характеристики, объединяющие оба аспекта.

Корреляция между структурными и диагностическими параметрами варьируется от простых однозначных соответствий до сложных многофакторных зависимостей. Встречаются случаи неоднозначных связей, когда один диагностический показатель может сигнализировать о различных структурных изменениях.

Выбор ключевых диагностических параметров основывается на приоритетности показателей безопасности движения и экологического воздействия. Особое внимание уделяется характеристикам, отклонение которых влечет значительные затраты на восстановление.

При наличии альтернативных методов оценки предпочтение отдается наиболее информативным и экономически эффективным решениям. Оптимальными считаются параметры, обеспечивающие многофакторный контроль при минимальных измерительных затратах.

Методология И.А. Биргера, базирующаяся на формулах Байеса, предлагает научно обоснованный подход к селекции диагностических параметров через оценку их информативности в определении различных состояний системы.

Практическое применение метода включает идентификацию основных структурных и диагностических параметров, статистический анализ отказов и расчет вероятностных характеристик различных состояний системы. Такой математический подход обеспечивает оптимальную селекцию диагностических параметров и повышает результативность диагностического процесса.

Формула Байеса:

$$p(D_i / K) = \frac{p(D_i)p(K_1 / D_i)...p(K_m / D_i)}{\sum_{s=1}^n p(D_s)p(K_1 / D_s)...p(K_m / D_s)} \quad (1.1)$$

где $p(D_i)$ – априорная вероятность состояний, определяемая как число объектов N_i , в которых обнаружены неисправности D_i , к общему числу исследуемых объектов; $p(K_j/D_i)$ – вероятность проявления j -го диагностического параметра при состоянии D_i .

Произведение $p(K_1 / D_i)...p(K_m / D_i)=p(K / D_i)$, если

$$\sum_{i=1}^n p(D_i / K) = 1, \quad (1.1)$$

и диагностические параметры K_i являются независимыми для каждого из состояний D_i .

Знаменатель формулы представляет собой вероятность $p(K)$ того, что в диагностируемом объекте должен обнаруживаться комплекс диагностических параметров K . Так как комплекс K проявляется как минимум с одним из состояний D_i , то полная вероятность:

$$p(K) = \sum_s^n p(D_s) p(K / D_s), \quad (1.1)$$

Техническая оценка современных транспортных средств представляет собой многогранную проблему, охватывающую широкий спектр устройств - от традиционной механики до сложной электроники. Подобное разнообразие технических систем делает невозможным использование единого метода диагностики, вынуждая специалистов разрабатывать узконаправленные методики контроля.

Присутствие в конструкции автомобиля как прерывистых, так и плавно функционирующих систем требует дифференцированного подхода к их диагностике. В случае с дискретными элементами эффективно применяются логические алгоритмы анализа, тогда как состояние непрерывно работающих узлов оценивается путем сопоставления текущих показателей с эталонными характеристиками.

Дифференциация в показателях надежности отдельных узлов и многообразие режимов эксплуатации существенно влияют на организацию диагностического процесса. Это требует тщательного планирования интервалов проверок и выбора оптимальных методик оценки.

Высокий уровень автоматизации современной техники предполагает соответствующее развитие автоматизированных диагностических процедур с учетом всех возможных эксплуатационных состояний транспортного средства.

Эффективная диагностика сложной структуры транспортного средства реализуется через блочно-функциональную декомпозицию, включающую

вертикальное и горизонтальное разделение. Вертикальная структура определяет иерархию взаимосвязей между компонентами, что напрямую отражается в организации диагностических алгоритмов.

В горизонтальном срезе компоненты группируются на основе физических процессов и особенностей технической реализации. Для каждого элемента определяется доминирующий физический метод диагностики.

Комплексная характеристика транспортного средства как объекта диагностики включает три ключевых аспекта. Функциональный анализ исследует целевое назначение системы через иерархию показателей эффективности. Морфологический аспект раскрывает структурную организацию объекта. Информационный подход оценивает состояние системы через показатель энтропии, рассчитываемый по формуле Шеннона.

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad (1.1)$$

где P_i – вероятность нахождения системы в i -том состоянии;

n – число возможных состояний системы.

Транспортное средство как объект диагностирования может находиться в конечном множестве состояний S , которое практически ограничено из-за ограниченных возможностей контрольных и измерительных средств. В множестве S выделяют два непересекающихся подмножества $S_1 \cup S_0$. Подмножество работоспособных состояний $S_1 = \{s_i\}, i = \overline{1, n}$ включает все n состояний, которые позволяют транспортному средству выполнять возложенные на него функции.

В рамках функционального анализа технического состояния выделяются различные уровни работоспособности транспортного средства, определяемые близостью текущих параметров к критическим значениям. При оценке эксплуатационной пригодности через систему допусков подмножество S_1 демонстрирует две принципиально разные категории состояний. Первая

категория характеризует полностью исправное состояние, когда все параметры узлов и агрегатов находятся в пределах нормативных допусков. Вторая описывает ситуацию, при которой, несмотря на отклонение некоторых показателей за границы номинальных значений, транспортное средство сохраняет работоспособность, поскольку параметры еще не достигли предельно допустимых величин. Подмножество неработоспособных состояний $S_0 = \{s_j\}$, $j = \overline{1, m}$ включает все m состояний, соответствующих возникновению дефектов, приводящих к потере работоспособности транспортного средства. Возможные состояния систем транспортного средства s_j характеризуются параметрами, значения которых вышли за пределы критических.

Точность технического контроля транспортного средства напрямую зависит от уровня детализации его информационной модели. Эффективность диагностических мероприятий оценивается через изменение энтропийных показателей системы до и после проведения исследований, причем данный метод применим как к комплексной оценке транспортного средства, так и к анализу его отдельных узлов.

Формирование диагностической инфраструктуры базируется на комплексной методологии исследования контролируемого объекта. Полученные результаты становятся фундаментом для проектирования диагностических систем и совершенствования конструктивных решений, направленных на упрощение процедур технического контроля. В конечном итоге формируется целостный диагностический комплекс, объединяющий взаимодополняющие модули контроля различных компонентов транспортного средства.

В структуру диагностического обеспечения входят диагностические параметры с методами их анализа, критерии работоспособности, индикаторы неисправностей, диагностические алгоритмы и программы, а также показатели контроле пригодности и результативности диагностики.

Создание диагностического обеспечения реализуется через последовательность этапов: от разработки диагностической модели до формирования программы диагностирования, включая определение параметров и методов их оценки.

Диагностическая модель, являющаяся основой обеспечения, должна соответствовать триединству требований: универсальности применения, широты охвата возможных состояний объекта и практической реализуемости с возможностью компьютерной автоматизации. При этом существует определенный конфликт между требованиями универсальности и детализации модели, что решается путем разграничения общих классов моделей и их конкретных реализаций.

В структуре диагностического моделирования транспортного средства выделяются два ключевых уровня, определяемых глубиной декомпозиции объекта.

На верхнем, системном уровне, диагностическая модель отражает иерархическую структуру транспортного средства, где каждая система занимает определенное место в общей архитектуре. Такая модель позволяет оценить, как параметры отдельных систем влияют на общие эксплуатационные характеристики транспорта. Однако из-за высокой комплексности подобная модель редко применяется для практической диагностики. Вместо этого специалисты предпочитают работать с моделями отдельных систем или подсистем, что позволяет эффективно оценивать их работоспособность и прогнозировать техническое состояние.

На элементном уровне модель фокусируется на базовых компонентах системы и их взаимосвязях. Элементы здесь представляют собой неделимые функциональные единицы, анализ которых позволяет проводить детальную диагностику работоспособности и выявлять конкретные неисправности.

Выбор конфигурации диагностической модели определяется множеством факторов, включая целевое назначение, особенности конструкции и степень изученности объекта. Многообразие форм описания

технических объектов создает сложности при систематизации диагностических моделей [13].

Особую категорию составляют аналитические диагностические модели, которые описывают трансформацию входных параметров в выходные посредством функциональных уравнений. Эти модели представляют собой математическое выражение связей между различными характеристиками системы.

$$z = Ax, \quad (1.1)$$

где x , z – соответственно входная и выходная величины;

A – оператор преобразования.

Оператор A выступает как функция внутренних параметров объекта, где любое отклонение параметра влечет изменение как самого оператора, так и результирующей величины. Это позволяет идентифицировать неисправности путем анализа изменений выходных показателей при фиксированных входных данных.

Диагностика транспортных средств опирается на аналитические модели различного уровня сложности. Особую ценность представляют дифференциальные уравнения, применяемые для анализа отдельных узлов и систем. С их помощью специалисты оценивают влияние параметрических изменений на эффективность работы, определяют критические значения показателей и исследуют характер распределения отклонений. Сложные системы, такие как дизель-генераторные установки и системы автоматической регулировки, требуют компьютерного моделирования для анализа таких уравнений.

Регрессионные модели, создаваемые на основе статистических экспериментов, позволяют установить взаимосвязь между диагностическими параметрами и общими показателями эффективности транспортного средства. Это делает возможным не только диагностику, но и управление техническим состоянием транспорта.

Для диагностики систем автоматического регулирования, электронных компонентов и механических систем применяются модели статических и динамических характеристик. Особое значение имеет анализ частотных характеристик механических систем, позволяющий выявлять отклонения в их работе.

Логические модели занимают особое место в диагностике объектов с блочно-функциональной структурой. Их универсальность позволяет применять их на разных уровнях анализа транспортных средств - от целостных систем управления до отдельных агрегатов. Особую эффективность они демонстрируют при диагностике как разомкнутых, так и замкнутых систем управления, включая энергетические установки и тормозные системы.

В процессе логического моделирования каждый элемент функциональной структуры преобразуется в систему логических звеньев, где результирующий сигнал определяется одним показателем. Техническое состояние оценивается бинарным методом: значения в границах допуска маркируются единицей, за пределами - нулем. На основе этого принципа создается матрица неисправностей, служащая базовым инструментом диагностического исследования.

Исследование систем с обратной связью отличается специфическим подходом, предполагающим, где это возможно, создание контрольных точек разрыва петель обратной связи. Логическое моделирование выгодно отличается своей доступностью для понимания, визуальной ясностью и экономным использованием исходной информации.

Графовые модели предоставляют возможность учета топологических особенностей объекта и его взаимодействия с окружением. Они отличаются алгоритмической простотой и удобством компьютерной реализации. При моделировании объектов без блочной структуры учитываются специфические особенности: невозможность разрыва тесных функциональных связей, необходимость включения качественных дефектов в вершины графа, изменчивость структуры в зависимости от диагностических задач.

Графовые модели могут быть реализованы как в детерминированном, так и в вероятностном виде, что расширяет их аналитические возможности.

В основе анализа диагностической модели лежит выявление ключевых индикаторов технического состояния. Среди множества доступных показателей отбираются те, что обладают наивысшей диагностической ценностью и позволяют получить максимально объективную картину состояния транспортного средства. Эти отобранные параметры служат основой для всей последующей диагностической процедуры.

Выбор методов оценки диагностических параметров напрямую зависит от заданной точности измерений и степени автоматизации. На этой стадии детально прорабатываются технические спецификации для измерительного оборудования [19, 61].

Определение допустимых значений неразрывно связано с распознаванием дефектов, что позволяет провести четкую грань между исправным и неисправным состоянием техники.

Результаты анализа диагностической модели ложатся в основу алгоритмического и программного обеспечения. Их эффективность оценивается через призму экономических, временных и технических ресурсов, а также требований к квалификации специалистов. Финальной стадией выступает оценка пригодности транспортного средства к диагностическому контролю.

При создании диагностических систем для новых транспортных средств во главу угла ставится максимальная результативность. В случае с существующим автопарком разработка ведется с учетом особенностей каждой конкретной модели, принимая во внимание уникальные технические решения и специфику эксплуатации.

Достоверная оценка состояния техники требует научно обоснованного определения характерных значений диагностических параметров. Эти нормативы, зафиксированные в обслуживающей документации, служат обязательными критериями при проведении технических работ.

Диагностические показатели подразделяются на две основные категории по степени значимости. К первой относятся параметры, непосредственно связанные с безопасностью и эргономикой транспорта, легко поддающиеся измерению и напрямую характеризующие эксплуатационные качества. Вторая категория включает параметры, определяющие экономическую эффективность эксплуатации.

В системе технической диагностики выделяются три базовых норматива: номинальные значения, характерные для новой техники; предельные показатели, означающие критический порог эксплуатации; и допустимые значения, гарантирующие безопасную работу до следующей проверки.

Определение этих нормативных значений является критически важным этапом в разработке системы технического диагностирования, поскольку они служат основой для оценки текущего состояния транспортного средства и прогнозирования его работоспособности.

В рамках обслуживания по текущему состоянию ключевым контрольным индикатором выступает допустимое значение параметра. Техническое состояние объекта определяется путем сопоставления актуальных диагностических показателей с установленными нормами, на основании чего принимается решение о необходимости профилактического ремонта или настройки. Производители фиксируют эталонные и критические величины структурных характеристик компонентов транспортных средств в специализированных технических документах.

Доступность для технического контроля

Существенную роль в повышении эксплуатационной эффективности транспорта играет сокращение времени технического обслуживания и ремонта. Это достигается расширением диагностических процедур, доля которых в общем объеме сервисных работ уже превышает четверть всех операций.

Примечательно, что непосредственные замеры занимают лишь малую часть общего времени диагностики. Большая часть времени уходит на подготовительные операции: монтаж датчиков, настройку режимов работы транспортного средства и анализ полученных данных. При этом операции с измерительным оборудованием составляют более половины всего процесса.

Ключевым направлением оптимизации диагностических процедур является совершенствование конструкции транспортных средств с точки зрения их диагностируемости, а также внедрение инновационных методов контроля.

Улучшение диагностируемости транспорта может реализовываться тремя основными путями:

Создание универсальной системы подключения измерительного оборудования через специально предусмотренные точки доступа и разъемы. Оптимизация методологии контроля параметров транспортного средства.

Интеграция встроенных датчиков в конструкцию, позволяющих подключать внешнее диагностическое оборудование через специализированные порты.

Оснащение транспортных средств постоянными системами мониторинга, предоставляющими оператору актуальную информацию о техническом состоянии всех ключевых узлов.

Максимальная эффективность достигается при комбинированном применении всех описанных подходов.

При проектировании, создании и производстве транспортных средств (а также их компонентов, узлов и элементов) необходимо обеспечить их контроле пригодность. Данное свойство регламентируется комплексом характеристик, охватывающих конструкционные особенности, диагностические параметры и методики, а также специфические критерии оценки.

Конструкционные требования фокусируются на адаптации изделия к современным диагностическим методам, совместимости с измерительным

оборудованием и стандартизации соединительных элементов. Особое внимание уделяется размещению, доступности и удобству подключения диагностических интерфейсов.

В сфере диагностических параметров и методологии важно определить необходимый набор измеряемых показателей и последовательность проверок.

Система оценки контроле пригодности базируется на количественных показателях, разделенных на базовые и вспомогательные категории. Базовые критерии включают операционные и экономические параметры.

Операционная оценка учитывает временные затраты на диагностику ($t_{д.ср}$), подготовительные работы ($t_{п.ср}$), удельное время проверок ($t_{д.уд}$). Также применяются комплексные индикаторы: временной (K_v) и информативно-временной ($K_{и}$), характеризующие эффективность конструкции и выбора контрольных параметров.

Экономическая составляющая оценивается через энергопотребление (\mathcal{E}), трудозатраты на диагностику (T_d) и подготовку (T_p), финансовые расходы на проверки (C_d) и подготовительные операции (C_p). Используются также интегральные показатели: стоимостной ($K_{к.с}$), трудовой (K_T), материальный (K_M), коэффициент подготовительной трудоемкости ($K_{Т.д}$) и удельные затраты на контроль параметров ($T_{у.к}$).

Вспомогательные критерии оценивают практические аспекты диагностики: доступность, эргономичность, интеграцию измерительных компонентов.

1.4 Диагностика с применением беспроводных систем передачи данных

Современные технологии позволили создать особый тип сетевой инфраструктуры - беспроводную сенсорную сеть, представляющую собой автономную систему взаимосвязанных датчиков и исполнительных

механизмов, коммуницирующих по радиоканалам.

Радиус действия такой сети варьируется от нескольких метров до километровых расстояний, что достигается благодаря механизму последовательной передачи данных между узлами. Эффективность покрытия существенно зависит от особенностей ландшафта и характера окружающей среды [149].

История активного развития этих сетей берет начало в середине 90-х годов прошлого века. Существенный прорыв произошел в 2000-х, когда достижения микроэлектроники сделали возможным экономически эффективное производство компонентной базы. К началу 2010-х годов основным протоколом для таких сетей стал стандарт ZigBee.

Востребованность беспроводных сенсорных сетей [167] неуклонно растет в различных секторах экономики - от промышленных предприятий до коммунальных служб и систем безопасности. Этому способствует усложнение производственных процессов, развитие индустрии и возрастающие запросы частного сектора в области мониторинга ресурсов и материальных ценностей. Прогресс в микроэлектронике постоянно расширяет спектр практических применений и теоретических исследований в области сенсорных сетей. Доступность беспроводных датчиков создает новые перспективы для систем удаленного контроля и измерений [171].

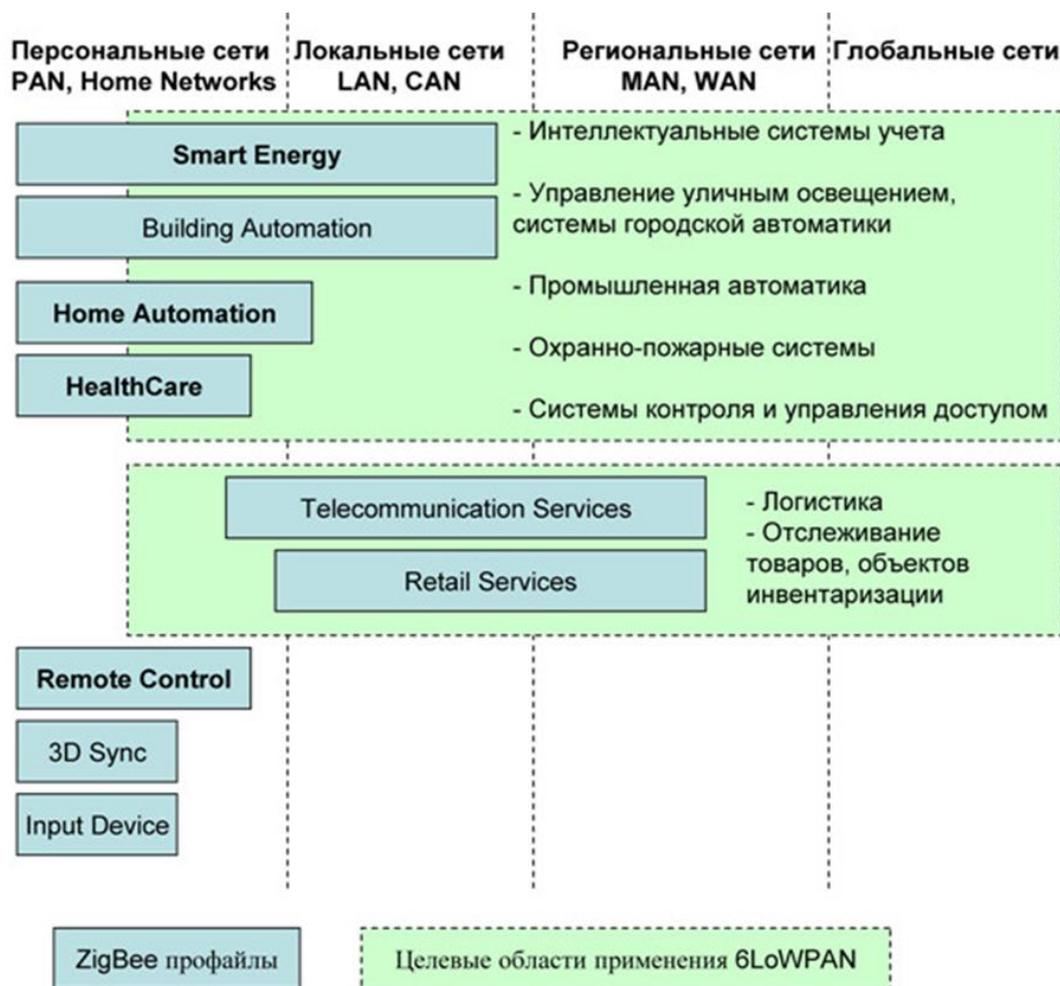


Рисунок 1.3 - Область применения беспроводных систем измерения

Несмотря на продолжительное существование сенсорных сетей [3], их концептуальная основа продолжает эволюционировать, не приобретая пока окончательной формы в виде стандартизированных программно-аппаратных решений. Современная реализация таких сетей в значительной степени определяется специфическими потребностями конкретных промышленных задач. Технология находится в стадии активного развития как в архитектурном, так и в практическом аспектах, что привлекает внимание разработчиков, стремящихся занять перспективные рыночные позиции [149].

Основу беспроводных сенсорных сетей составляют компактные вычислительные модули - моты, оснащенные разнообразными сенсорами (для измерения температуры, давления, освещенности, вибрации, определения местоположения) и радиопередающими устройствами определенного

диапазона.

Технология ZigBee выделяется среди других коммуникационных протоколов благодаря своей адаптивной структуре и экономичности установки. Особенно значимым преимуществом становится возможность объединения в единую сеть внушительного количества устройств - до 65 000 элементов, что существенно превосходит возможности альтернативных проводных и беспроводных решений.

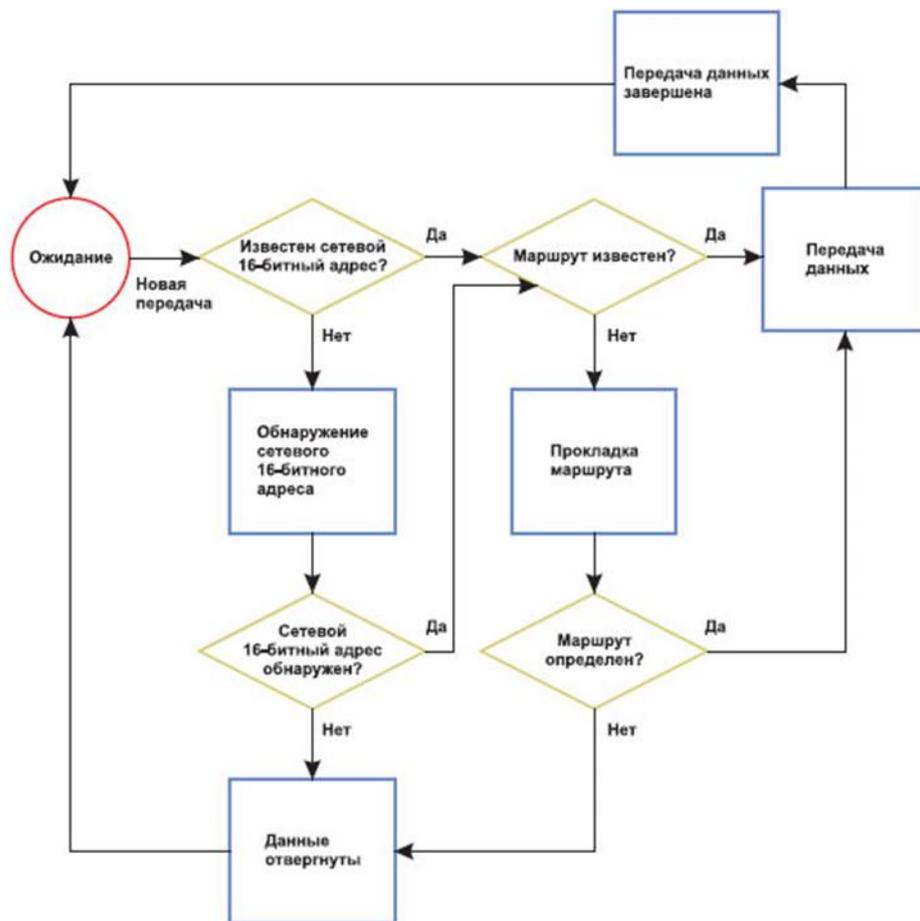


Рисунок 1.4 - Алгоритм передачи пакета данных

В наши дни наблюдается устойчивая тенденция к замещению традиционных проводных систем беспроводными решениями в области телеметрии, удаленной диагностики и информационного обмена. Этому способствует постоянное удешевление беспроводных технологий при одновременном улучшении их технических характеристик. Термин "сенсорная сеть" прочно закрепился в технической терминологии, обозначая автономную, самовосстанавливающуюся систему, способную

функционировать при выходе из строя отдельных элементов и не требующую сложного монтажа или обслуживания [167].

Узловые элементы такой сети представляют собой комплексные устройства, включающие сенсорные компоненты для мониторинга окружающих условий, вычислительный модуль и приемопередающее оборудование. Такая архитектура обеспечивает возможность локальной обработки полученных данных и поддержания коммуникации с центральной информационной системой.

Протокол 802.15.4/ZigBee, реализующий технологию ближней ретранслируемой радиосвязи, стал ключевым решением в развитии современных самоорганизующихся распределенных систем мониторинга и управления.

Отличительной особенностью сетей ZigBee является использование ячеистой (mesh) топологии, позволяющей устройствам взаимодействовать как напрямую, так и через промежуточные узлы, формируя гибкую и надежную коммуникационную структуру.

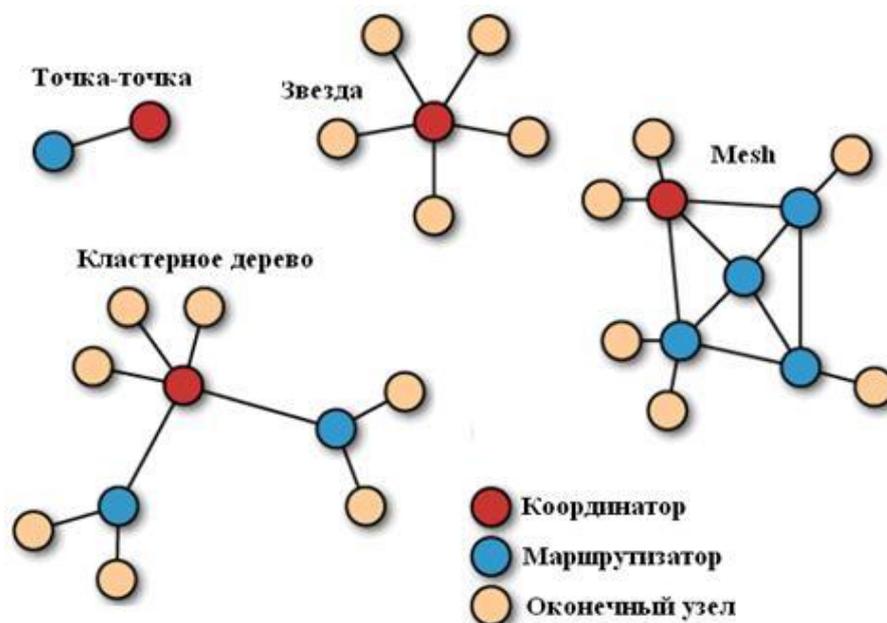


Рисунок 1.5 - Виды ZigBee сенсорной сети

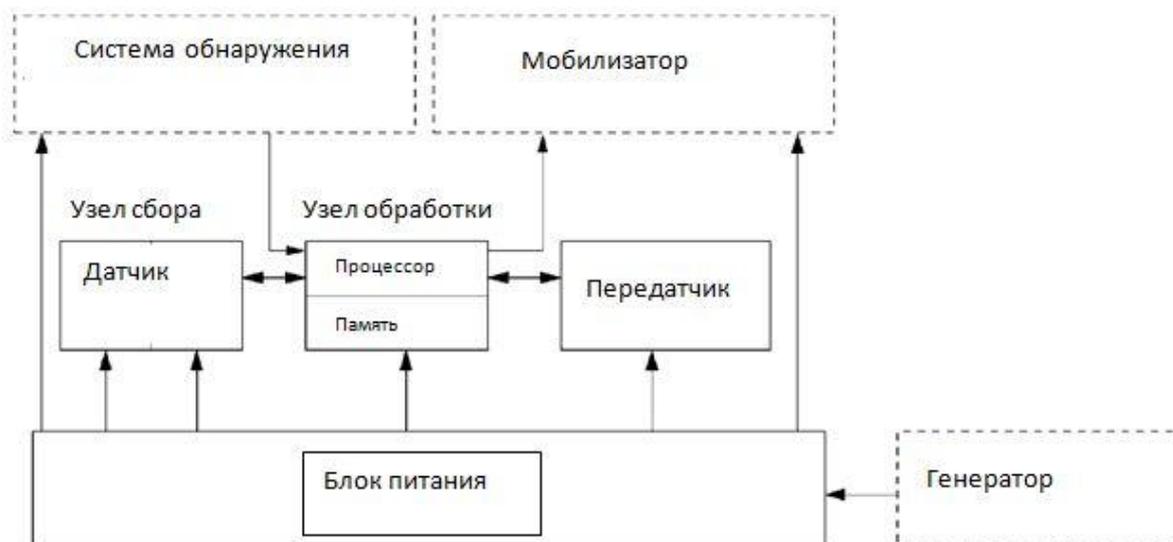


Рисунок 1.6 – Топология сенсорной сети

Современные беспроводные сенсорные сети представляют собой уникальную технологию, способную обеспечить длительный мониторинг и контроль в системах с критичными требованиями к автономности датчиков. Такие сети формируют самоорганизующуюся распределенную инфраструктуру, осуществляющую сбор, обработку и трансляцию данных. Их главное предназначение - мониторинг физических параметров окружающей среды и различных объектов [149].

Базовый стандарт IEEE 802.15.4 регламентирует механизмы управления доступом к беспроводному каналу и физический уровень для низкоскоростных персональных сетей, что соответствует двум начальным уровням модели OSI. Традиционная архитектура сети базируется на стандартном узле (например, RC2200AT-SPPIO [171]), включающем радио тракт, процессорный блок, источник питания и набор сенсоров [167].

Интеграция в типовой узел дополнительного передатчика стандарта ISO 24730-5 расширяет функционал сети, добавляя возможности геолокации и отслеживания перемещений маркированных радиометками объектов. Такая конфигурация позволяет создавать беспроводную инфраструктуру систем позиционирования реального времени (RTLS).

В зависимости от функционального назначения, узлы сети подразделяются на несколько категорий [9].

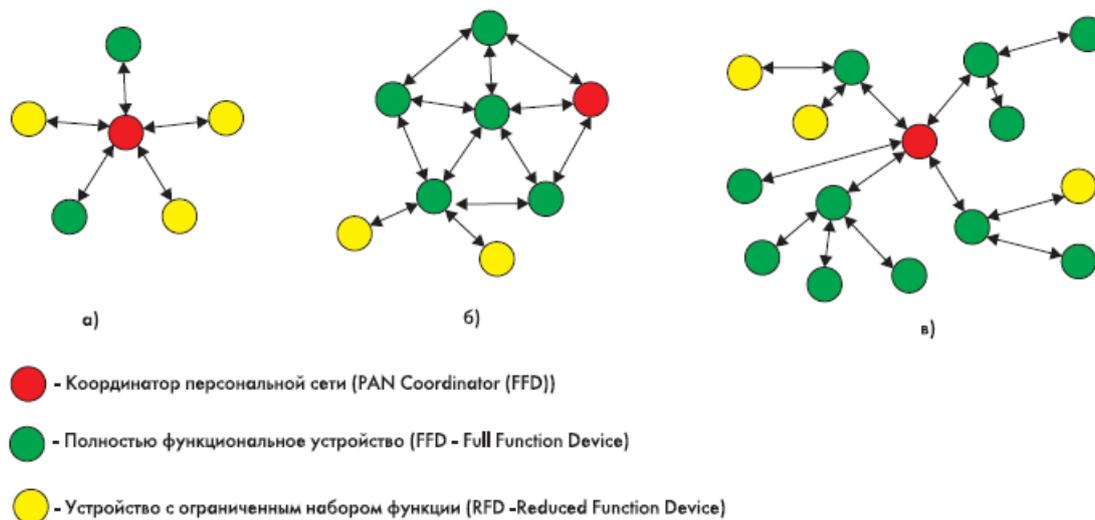


Рисунок 1.7 - Типовой узел беспроводной сенсорной сети

В архитектуре беспроводных сенсорных сетей выделяются три функциональные категории узлов:

Сетевой координатор (NCD - Network Coordination Device) выступает как центральный элемент управления, отвечающий за формирование, настройку и общую координацию сети. Это наиболее технически сложный компонент, требующий существенных ресурсов памяти и энергообеспечения.

Полнофункциональное устройство (FFD - Fully Function Device) реализует полный набор возможностей стандарта 802.15.4. Благодаря расширенным характеристикам памяти и энергопотребления может выполнять координирующие функции и поддерживает все варианты сетевой топологии: от простой "точка-точка" до сложной ячеистой структуры. Обладает возможностью прямого взаимодействия с любыми узлами сети.

Устройство с ограниченным функционалом (RFD - Reduced Function Device) работает с базовым набором функций 802.15.4. Поддерживает только простые топологии ("точка-точка" и "звезда"), не выполняет координирующих функций и взаимодействует исключительно через координаторы и маршрутизаторы сети.



Рисунок 1.8 - Пример установки оборудования для дистанционного мониторинга техники

Спектр решаемых задач

Современные системы мониторинга горючего в аграрной технике открывают широкие возможности для оптимизации расходов. С их помощью удастся выявлять сверхнормативное потребление топлива, устанавливать точные нормативы для конкретных операций, отслеживать динамику заправок и отборов горючего, а также пресекать несанкционированные изъятия излишков, возникающих из-за нарушений технологического процесса или завышенных нормативов.

Отслеживание эксплуатационных характеристик сельскохозяйственного оборудования обеспечивает контроль над соблюдением технологических регламентов. Это касается как основных агрегатов, так и дополнительного оснащения. Система фиксирует ключевые параметры работы: частоту вращения двигателя, потребление топлива в час, температурный режим охлаждающей жидкости, состояние масляной системы.

Хронометраж эксплуатации агротехники способствует формированию обоснованных временных нормативов для различных операций. Это создает основу для точного учета машинного времени и внедрения справедливой системы оплаты труда механизаторов.

Навигационный контроль через GPS/ГЛОНАСС предоставляет исчерпывающие данные о дислокации техники, векторах перемещения и пройденных маршрутах. Это помогает выявлять случаи нецелевого использования оборудования, включая его эксплуатацию в личных целях.

В обеспечении коммуникации, маршрутизации и управления критическую роль играют протоколы беспроводных сенсорных сетей ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL.

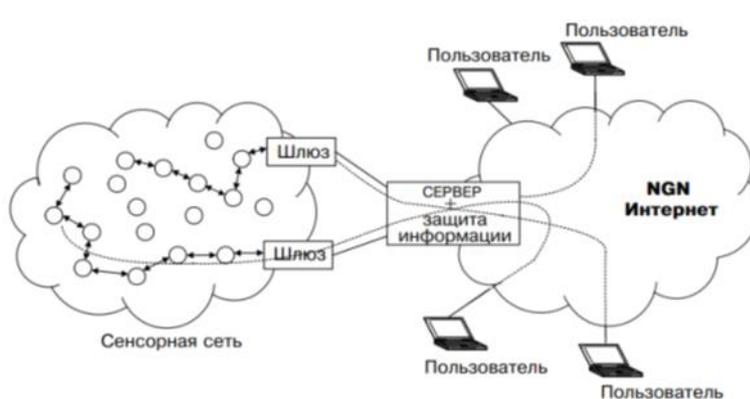


Рисунок 1.9 –Пример взаимодействия диагностических сенсорных сетей отдельных транспортных средств с службами технического сервиса

1. ZigBee – это беспроводной стандарт, разработанный для маломощных, мало скоростных персональных сетей (WPAN). Он ориентирован на приложения с низкой пропускной способностью, длительным временем автономной работы и небольшим радиусом действия. ZigBee базируется на стандарте IEEE 802.15.4 для физического и канального уровней. Поддерживает различные топологии, включая звезду, дерево и ячеистую (mesh). ZigBee определяет протоколы сетевого уровня и выше,

включая управление сетью, безопасность и приложения. Различные профили приложений ZigBee предназначены для разных задач (например, ZigBee Home Automation, ZigBee Light Link). Протокол оптимизирован для работы от батарей в течение длительного времени. Скорость передачи данных обычно варьируется от 20 до 250 кбит/с. Применение в сельском хозяйстве - мониторинг параметров окружающей среды, контроль технических систем

К преимуществам можно отнести:

- низкое энергопотребление;
- простая установка и настройка;
- высокая надежность;
- распространенность.

Недостатки:

- ограниченная скорость передачи данных;
- ограниченная дальность связи;
- может быть сложным в настройке ячеистых (mesh) сетей.

2. 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks):–

это стандарт, который позволяет использовать протокол IPv6 (Internet Protocol version 6) в беспроводных сетях с низким энергопотреблением и малой пропускной способностью, таких как IEEE 802.15.4.

6LoWPAN адаптирует IPv6 для работы в условиях ограниченных ресурсов WSN. Поддерживает фрагментацию больших IPv6 пакетов на более мелкие. Может работать с различными топологиями, включая звезду, дерево и mesh. Позволяет напрямую подключать беспроводную сенсорную сеть (WSN) к Интернету.

Преимущества:

- интеграция с IP-сетями;
- широкая доступность инструментов и протоколов IPv6;
- масштабируемость.

Недостатки:

- более сложный в реализации, чем ZigBee;

- может требовать больше ресурсов, чем ZigBee.

3. Thread – это протокол беспроводной связи, разработанный для приложений с низким энергопотреблением. Он базируется на стандарте IEEE 802.15.4 и протоколе 6LoWPAN. Thread использует IPv6 для обеспечения совместимости с другими IP-сетями. Thread построен на основе надежной ячеистой топологии, при этом обеспечивает автоматическую настройку и управление сетью. Оптимизирован для длительной работы от батарей. Использует продвинутые механизмы безопасности для защиты данных.

Преимущества:

- надежная ячеистая сеть;
- интеграция с IP;
- автоматическая настройка и управление;
- высокая безопасность.

Недостатки:

- менее распространена, чем ZigBee;
- может быть более сложной в реализации.

4. RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) – это протокол маршрутизации для маломощных и нестабильных сетей (LLN), таких как WSN. Он оптимизирован для сетей с ограниченными ресурсами и нестабильной связью. RPL использует принцип дистанционно-векторной маршрутизации для определения оптимальных путей. RPL формирует ориентированный ациклический граф для представления топологии сети. Использует различные метрики для определения оптимальных путей (например, количество переходов, качество связи, энергопотребление). Оптимизирован для минимизации энергопотребления. Интегрирован с IPv6.

Применим при маршрутизациях в 6LoWPAN и Thread сетях.

Преимущества:

- адаптирован для сетей с ограниченными ресурсами;
- энергоэффективная маршрутизация;
- поддержка различных топологий.

Недостатки:

- может быть сложным в настройке;
- требует дополнительных ресурсов для работы.

Таблица 1.1 - Сравнение протоколов

Характеристика	ZigBee	6LoWPAN	Thread	RPL
Основа	IEEE 802.15.4	IPv6, IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4, 6LoWPAN	IETF (стандарт)
Сетевой уровень	Собственный	IPv6	IPv6	IPv6
Топологии	Звезда, дерево, Mesh	Звезда, дерево, Mesh	Mesh	Разные
Энергопотребление	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое
Скорость данных	Низкая	Средняя	Средняя	-
Сложность	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Применение	Умный дом, пром. автоматизация	Умный город, IIoT	Умный дом	Маршрутизация
Интеграция с IP	Ограничена	Да	Да	Да

ZigBee, 6LoWPAN, Thread и RPL представляют собой перспективные и важные протоколы для беспроводных сенсорных сетей. ZigBee предлагает простоту и низкое энергопотребление, 6LoWPAN обеспечивает интеграцию с

IP-сетями, Thread – надежность и автоматизацию, а RPL – эффективную маршрутизацию в сетях с ограниченными ресурсами. Выбор протокола зависит от конкретных требований приложения и характеристик сети.

1.5 Методика проведения исследований непрерывной диагностики прогнозирующих параметров с использованием беспроводных каналов связи для передачи данных

Разработка методики проведения исследований по непрерывной диагностике прогнозирующих параметров с использованием беспроводных каналов связи для передачи данных является критически важной задачей для множества областей современной техники и науки. Значимость исследований в данной области обусловлена несколькими факторами:

Повышение надежности и безопасности технических систем: Непрерывная диагностика, основанная на прогнозировании, позволяет своевременно выявлять потенциальные неисправности и предотвращать аварии. Это особенно актуально для критически важных систем, отказ которых может привести к значительным экономическим потерям, экологическому ущербу или угрозе жизни людей (например, в авиации, энергетике, транспорте). Беспроводная передача данных обеспечивает удаленный мониторинг, увеличивая доступность и скорость реакции на возникающие проблемы.

Оптимизация технического обслуживания и ремонта: Переход от планово-предупредительного ремонта к ремонту по состоянию, основанному на результатах непрерывной диагностики, значительно снижает затраты на техническое обслуживание. Своевременное обнаружение неисправностей позволяет проводить ремонт в оптимальные сроки, предотвращая дорогостоящий ремонт в аварийном режиме и минимизируя простой оборудования.



Рисунок 1.10 - Структура исследования параметрической надежности двигателей автотранспортных средств

Непрерывная диагностика позволяет оптимизировать производственные процессы, предотвращать брак и повышать качество продукции. Это особенно

актуально для автоматизированных линий и роботизированных систем, где простои могут приводить к значительным потерям.

1.6 Выводы по главе 1

1. Беспроводные технологии открывают новые возможности для мониторинга удаленных и труднодоступных объектов. Это позволяет осуществлять контроль за состоянием оборудования в реальном времени, независимо от его местоположения, что особенно важно для мониторинга окружающей среды, распределенных энергетических систем, транспорта и других областей.

2. Внедрение беспроводных технологий диагностики технического состояния включает в себя разработку новых методов прогнозирования, алгоритмов обработки данных, а также совершенствование технологий передачи данных.

3. Разработка и внедрение систем непрерывной диагностики на основе беспроводных технологий стимулируют создание новых рынков и технологических решений, способствуя развитию инноваций и экономическому росту.

4. Получение достоверных и своевременных данных, позволяет принимать более обоснованные решения по управлению техническими системами.

5. Применение систем непрерывной диагностики позволит повысить эффективность работы агропредприятий и их конкурентоспособность на рынке.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

2.1 Теоретические основы технического диагностирования при эксплуатации автотранспортных средств

Инвестиции в надежность техники, как правило, окупаются за счет снижения затрат на эксплуатацию. Важную роль играет правильная эксплуатация, своевременное техобслуживание и использование качественных материалов.

Современные системы сложны не только из-за количества элементов, но и из-за их внутренней структуры. Поэтому оценивать их нужно не только по количеству, но и по качеству работы. Это позволяет сравнивать разные системы и выбирать оптимальные решения.

Техническое состояние механизма определяется двумя ключевыми факторами: эффективностью функционирования и присутствием неисправностей. Современные диагностические процедуры осуществляются с помощью компьютеризированных диагностических комплексов.

Проектирование диагностических комплексов требует решения двух фундаментальных проблем. Первостепенное значение имеет определение рациональной периодичности технического обслуживания, основанное на статистике надежности оборудования. Не менее важной задачей выступает вычисление оптимальных временных интервалов между профилактическими работами в ситуациях, когда данные о надежности компонентов ограничены или недостаточно достоверны [38, 46].

Для достижения высокого уровня надежности требуется сформировать научно обоснованный подход к техническому обслуживанию, учитывающий:

- Параметры долговечности и удобства проведения ремонтных работ

- Специфику технического исполнения и методы обнаружения дефектов. Условиях эксплуатации.

Стратегия должна быть оптимальной и обеспечивать наилучшие результаты.

Выбор оптимальной стратегии позволяет улучшить работу техники без дополнительных затрат, просто за счет изменения правил эксплуатации.

Чтобы описать, как автомобиль меняется со временем, используют математические модели, основанные на случайных процессах. Эти процессы бывают трех видов:

- регенерирующие;
- марковские;
- полумарковские.

Восстановительные работы (ремонт) делят на виды по трем признакам:

- в каком состоянии автомобиль, когда начинают ремонт;
- в каком состоянии автомобиль, когда заканчивают ремонт;
- известно ли заранее, когда нужно будет начинать ремонт.

Названия видов ремонта приведены в таблице 2.1. Таблица

2.1 – Характеристика восстановительных работ

Глубина восстановления системы	Восстановительная работа	
	работоспособная система	неработоспособная система
Никакого обновления в системе не производится	Плановый (внеплановый) осмотр или проверка работоспособности	-
Производится полное обновление	Плановая (внеплановая) предупредительная профилактика системы	Плановый (внеплановый) аварийно-профилактический ремонт системы
Производится обновление части системы	Плановая (внеплановая) предупредительная профилактика части системы	Плановый (внеплановый) аварийно-профилактический ремонт части системы

При длительном использовании машинного оборудования анализ эффективности технического обслуживания базируется на следующих ключевых индикаторах функциональности:

- КГ - показатель, отражающий готовность оборудования к работе;
- R (z) - параметр, определяющий вероятностную оценку успешного выполнения поставленной задачи (также известный как коэффициент оперативной готовности);
- S - усредненный показатель прибыльности в расчете на единицу календарного периода;
- C - усредненные расходы, приходящиеся на единицу времени безотказной работы оборудования.

Во многих практических ситуациях характеристики надежности точно не известны, а известно лишь, что функции распределения принадлежат некоторому классу. Возможны следующие ситуации:

- известны значения $\pi = (0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ функции распределения времени безотказной работы $F(y)$ в отдельных точках $y = \{y_0 = 0, y_1, \dots, y_n\}$, т. е. $F(y_i) = \pi_i$, $i = 0, \dots, n$ (класс таких функций будем обозначать через $\Omega(n, y, \pi)$);

$$F(y): \mu_k = \int_0^{\infty} x^k dF(x), k = 1, 2, \dots, m$$

- известны моменты распределения (класс таких функций обозначается через $\Omega_m = \Omega(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$).

Минимаксный метод представляет собой оптимальный подход к выбору результативной стратегии в условиях неопределенности [37]. Методология включает поэтапный анализ, где изначально выделяются функции распределения с наименее благоприятными показателями качества среди всех возможных в заданном классе. На основе полученных результатов производится расчет оптимальных управляющих параметров.

При исследовании процессов оптимизации технического обслуживания, не подчиняющихся марковским свойствам, существенную роль играет применение леммы Дуба и вытекающих из нее практических следствий [46].

Состояние такой системы может быть отражено посредством векторного случайного процесса $X(t)$. Его составляющие демонстрируют как непрерывную, так и дискретную динамику изменений. Ярким примером

последней служат скачкообразные изменения при накоплении отказов в резервированных системах [4].

Техническое состояние системы в любой конкретный временной срез t поддается однозначной идентификации как работоспособное или неисправное. Чаще всего процесс $X(t)$ наблюдается дискретно с интервалом Δt в моменты $t_k = k \Delta t$, $k = 0, 1, 2 \dots$, т. е. наблюдается последовательность случайных векторов $\bar{X}_0, \bar{X}_1, \dots, \bar{X}_k$. Значит, в каждый момент t_k становится известной вся прошлая траектория случайного процесса $X(t)$: $(x_0, x_1, \dots, x_k) = \bar{X}_k$.

Из практики эксплуатации технических систем известно, что в момент t_k по наблюдаемой траектории \bar{X}_k можно принять только два решения:

- либо не вмешиваться в работу системы и продолжить наблюдение за процессом $X(t)$.

- либо прекратить, работу системы и путем замен и регулировок вернуть систему в начальное состояние. В момент отказа системы, т.е. при $X_0 \in X_+, \dots, X_{k-1} \in X_+, X_k \in X_-$ принимается второе решение (здесь X_+ - пространство исправных состояний системы, X_- - пространство ее неисправных состояний $X = X_+ \cup X_-$, где X - все пространство состояний системы). Введем функцию эксплуатационных потерь системы. Пусть C_1^* - средние потери в случае, когда в момент остановки системы она исправна, а C_2^* - средние потери в случае, когда в момент остановки система неисправна (отказала).

В момент остановки системы ($t_k = k \Delta t$) функция средних удельных потерь:

$$y_{k=} \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если система исправна;} \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если система неисправна.} \end{cases} \quad (2.1)$$

Правилом остановки системы при наблюдении за процессом $X(t)$ (далее просто правилом остановки) назовем случайную величину v со значениями $1, 2, \dots, k, \dots$ (момент остановки определяется поведением процесса $X(t)$, поэтому он случаен во времени). Считаем, что решение об остановке в момент t_k зависит только от траектории процесса \bar{X}_k до момента t_k [4].

Для правила остановки v - случайной величины с распределением $P\{v = k\}, k = 1, 2, \dots$ средние потери:

$$y(v) = \sum_{k=1}^{\infty} P\{v = k\} y_k \quad (2.2)$$

при решении задач эксплуатации правило v^* оптимально, если $y(v^*) = \min_v y(v)$. Под величинами C_1 и C_2 могут пониматься соответственно средние времена регулировок исправной I_1 и неисправной I_2 систем.

Поиск оптимального критерия прекращения эксплуатации v^* предполагает введение дополнительных ограничений для процесса $X(t)$. Наиболее существенным среди них является принцип временной монотонности, характерный для технических систем при продолжительном использовании. Этот принцип проявляется в увеличении вероятности выхода из строя и отражается в естественных процессах ухудшения технического состояния - от постепенного старения материалов до нарушения регулировок и балансировки механизмов [38].

При наличии указанного условия можно успешно применить лемму Дуба [4] для нахождения оптимального правила остановки. Формулировка леммы в контексте данной задачи предусматривает набор критериев, соблюдение которых необходимо для подтверждения оптимальности правила v^* .

$$\begin{aligned} 1) & M[v^*] < \infty; \\ 2) & M\left[y_k \sqrt{X_{k-1}}\right] \times \begin{cases} \leq y_{k-1} & \text{при } k \leq v^*, \\ \geq y_{k-1} & \text{при } k > v^*; \end{cases} \\ 3) & M\left[|y_k - y_{k-1}| \sqrt{X_{k-1}}\right] \leq C \end{aligned} \quad (2.3)$$

для всех k , где C - некоторая постоянная.

При эксплуатации технических систем на практике первое и третье условия соблюдаются естественным образом из-за объективных ограничений, связанных с затратами на обслуживание и временем работы оборудования. Второе условие не требует специального контроля в ситуациях с монотонными случайными процессами - оно выполняется само собой.

Для анализа эффективности проводимого технического обслуживания наиболее подходящим математическим аппаратом служит лемма Дуба. Её применение особенно эффективно в тех случаях, когда требуется определить оптимальные интервалы между процедурами регулировки системных параметров.

Пусть деградация системы (блока, элемента) в процессе длительной эксплуатации характеризуется непрерывным одномерным, монотонно возрастающим случайным процессом $X(t)$, значения параметров которого отмечены на оси функций $\varphi(k)$, $X(t_k)$, и контролируется без ошибок в моменты времени $t_k = k \Delta t$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Предположим, что приращения процесса $X(f)$ по шагам контроля независимы и образуют последовательность независимых случайных величин с общей функцией распределения $F(x) = P\{\Delta X_k < x\}$, где ΔX_k - приращения процесса по шагам контроля $k = 1, 2, \dots$

В процессе регулировки параметра системы $X(t)$ можно выделить две категории временных издержек. Первая категория, обозначаемая как C_1 , характеризует среднее время, затрачиваемое на превентивную настройку системы, пока параметр не вышел за пределы допустимого интервала $(0, L)$. Вторая категория - C_2 - отражает усредненное время, необходимое для экстренной корректировки параметра в случаях, когда его значение уже превысило допустимые границы интервала $(0, L)$.

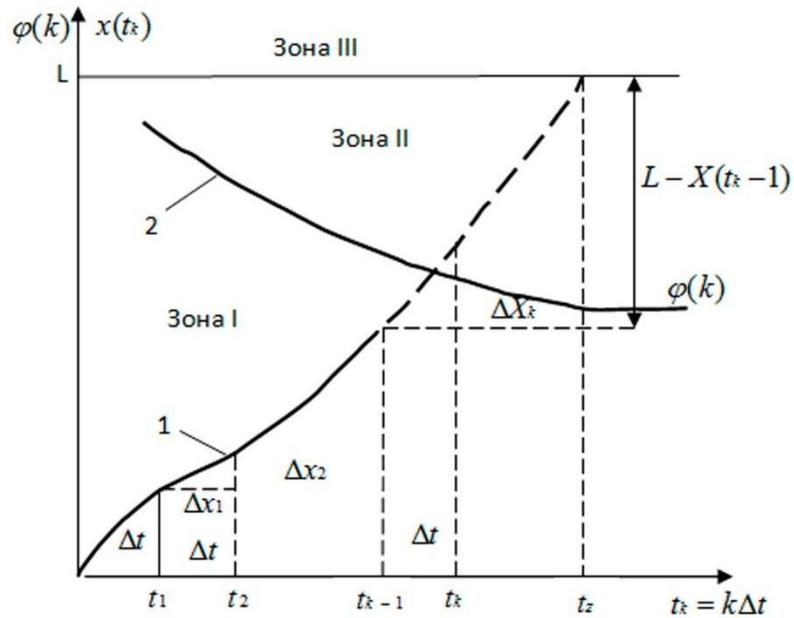


Рисунок 2.1 – К определению правил оптимальной остановки

Функция удельных потерь:

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если } t_k < t_z; \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если } t_k \geq t_z, \end{cases} \quad (4)$$

где t_z - момент выхода процесса $X(t)$ за уровень L (см. рис. 1, штриховая кривая 1).

Задача заключается в отыскании такого правила остановки [1, 4] (регулировки параметра) v^* , при котором достигается $\min M [y_k]$ в процессе длительной эксплуатации системы. Запишем выражение средних потерь для моментов t_{k-1}, t_k , считая, что процесс наблюдался до момента t_{k-1} включительно (наблюдаемая траектория процесса - сплошная кривая 1 на рис. 1), а в момент t_k он будет остановлен (подвержен либо предупредительной, либо аварийной регулировке):

$$\begin{aligned}
& M \left[y_k \left(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{k-1}, \Delta X_k \right) \right] = \\
& = \frac{C_1}{t_k} P \left\{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \right\} + \\
& + \frac{C_1 + A}{t_k} \left[1 - P \left\{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \right\} \right] = \\
& = \frac{C_1}{t_k} + \frac{A}{t_k} \left[1 - P \left\{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{5}$$

где $C_2 - C_1 = A$ - некоторый штраф из-за отказа системы, а записи $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$ относятся к наблюдаемым значениям соответствующих случайных приращений $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$.

Процесс совершенствования стратегии технического обслуживания инициируется с выявления критических эксплуатационных сценариев путем анализа функций распределения. На основе определения наиболее неблагоприятных режимов работы формируются методы эффективного управления эксплуатационными параметрами оборудования.

Практическое применение математических моделей в планировании ремонтных работ демонстрирует значительное улучшение эксплуатационных характеристик: коэффициент готовности КГ увеличивается на 12%, а вероятность успешного выполнения задачи $R(z)$ возрастает на 7% [29, 30].

Диагностика технического состояния может проводиться на разных этапах жизненного цикла объекта, но преимущественно осуществляется в процессе эксплуатации, используя вероятностные характеристики [60]. Существуют два основных метода диагностирования: рабочее (оценка по выходным параметрам при штатных входных воздействиях) и тестовое (анализ реакции на специальные тестовые сигналы). Каждый метод реализуется по определенному алгоритму диагностических операций [61, 62].

Оценка состояния объекта производится по диагностическим признакам (ДП) - параметрам, отражающим изменения в его состоянии [63]. Диагностирование решает три ключевые задачи: контроль работоспособности путем сравнения текущих показателей с нормативными, поиск причин и

локализация дефектов при снижении работоспособности, прогнозирование будущего состояния объекта.

Для сложных технических систем применяется комбинированный подход, включающий как рабочее, так и тестовое диагностирование, которое может проводиться как во время функционирования оборудования, так и в период его резервного состояния [64].

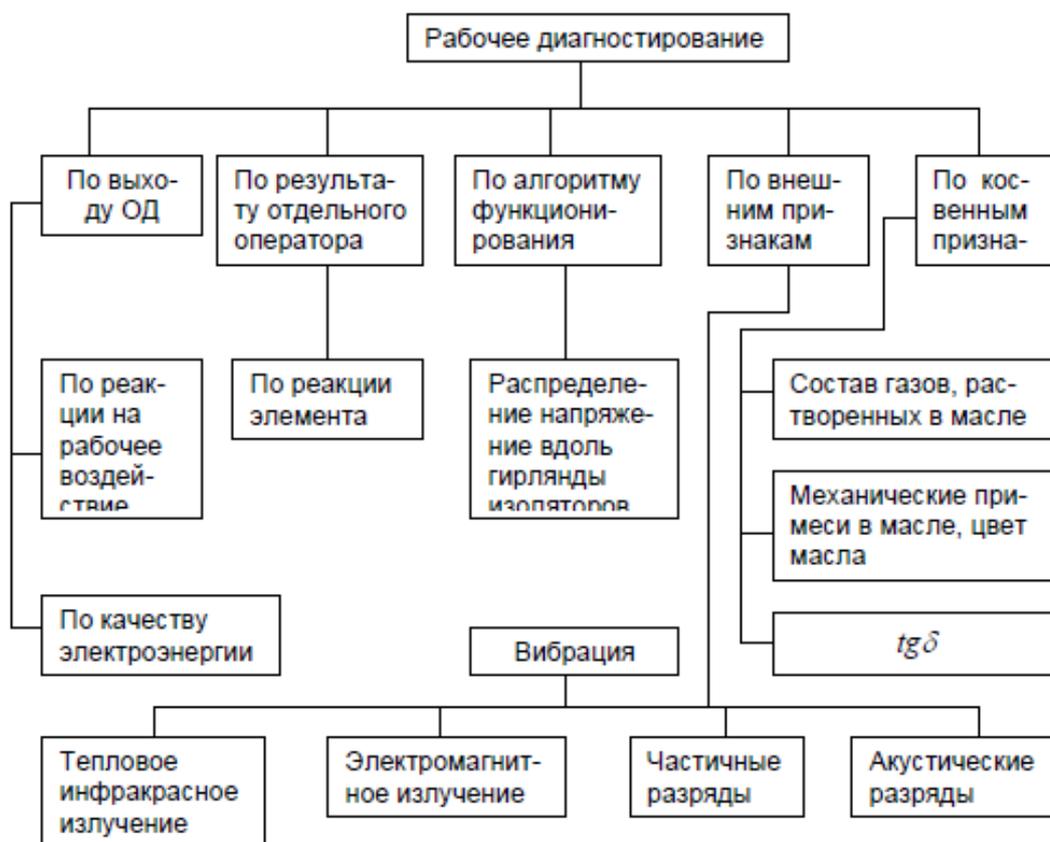


Рисунок 2.2 – Методы рабочего диагностирования автотранспортных средств

В процессе диагностики техническое состояние объекта считается определенным при условии выявления функциональной зависимости $f(t)$ и возможности построения прогностической модели его состояния на предстоящий временной интервал.

В практических условиях эксплуатации такие диагностические задачи преимущественно решаются с помощью вероятностного подхода, основанного на анализе накопленных статистических данных об отказах,

выраженных через показатель вероятности безотказной работы $P(t)$. После установления нормативного уровня надежности P_3 диагностический процесс осуществляется согласно определенному алгоритму действий.

Данный подход позволяет не только оценивать текущее состояние объекта, но и прогнозировать его изменение, что особенно важно для своевременного предупреждения возможных отказов и планирования технического обслуживания.

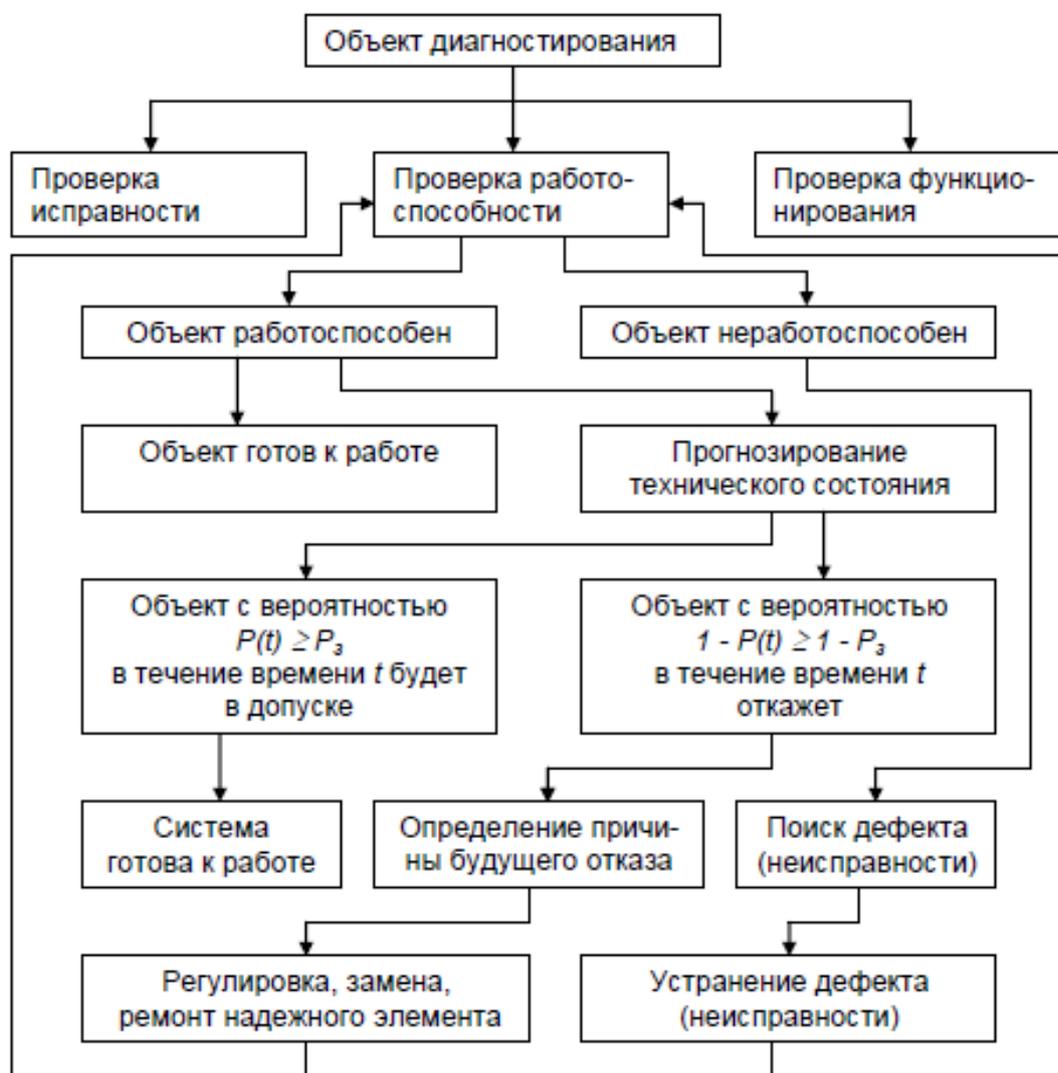


Рисунок 2.3 – Схема технического диагностирования автотранспортных средств

обслуживании транспортных машин

Для осуществления контроля и оценки уровня надежности машин необходимо задать верхнюю границу регулирования.

$$P_{зад} = \sum_{n=0}^{n=VГР} \frac{(\omega \cdot T)^n}{n!} e^{-\omega T}, \quad (2.6)$$

Рассматриваемая модель оперирует следующими ключевыми параметрами: верхней границей регулирования (ВГР), соответствующей допустимому числу отказов при заданной вероятности $P_{зад}$, запланированным параметром потока отказов (ω), наработкой однотипных объектов за контрольный период (T) и количеством зафиксированных отказов (n).

Определение верхней границы регулирования требует установления значения $P_{зад}$, которое формируется на основе исторических данных и экономического анализа. В международной практике принято использовать $P_{зад} = 0,975$, что подразумевает вероятность случайного превышения числа отказов над ВГР равную 0,025. Такое значение считается статистически незначительным, а его превышение указывает на наличие систематических причин отказов, требующих детального исследования и разработки корректирующих мероприятий.

Регулярный мониторинг (ежемесячный, ежегодный) позволяет объективно оценивать эксплуатационную надежность и результативность мер по снижению количества отказов. Контроль осуществляется путем сопоставления фактического числа отказов ($nф$) с ВГР. Если $nф < ВГР$, эксплуатация может продолжаться в штатном режиме. При $nф \geq ВГР$ необходимо провести углубленный анализ причин отказов, разработать меры по повышению надежности и оценить экономическую целесообразность применения стратегии технического обслуживания с контролем уровня надежности [66, 67].

2.2 Методология и техническая реализация построения мобильной беспроводной сенсорной сети

Современная метрология достигла значительных успехов в области измерения неэлектрических параметров электрическими методами. Специализированные устройства способны трансформировать разнообразные физические величины в электрические параметры - напряжение (постоянное или переменное), частотные характеристики, фазовые показатели или периодичность колебаний. В современных измерительных и управляющих комплексах широко применяется преобразование физических параметров в электрические сигналы с последующей цифровизацией для обработки вычислительной техникой.

Информационное содержание сообщений оценивается универсальными методами, что обеспечивает возможность определения эффективности системы по объективным критериям. Информационный поток может быть представлен как непрерывной функцией с ограниченным частотным диапазоном, так и последовательностью дискретных информационных блоков ("пакетов данных").

Процесс формирования сигнала включает три последовательных этапа:

1. Конвертация неэлектрических параметров в электрические величины
2. Кодирование - создание электрического сигнала по определенному математически обоснованному алгоритму
3. Модуляция - изменение характеристик электрического тока для передачи информационного сигнала, при этом тип модуляции определяется особенностями передающего оборудования.

Электрический сигнал может быть математически представлен как непрерывная временная функция.

$$u = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.12)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота;

f – линейная частота сигнала;

φ – фазовый сдвиг;

A – амплитуда;

t – текущее время.

Трансформация непрерывной функции в дискретную форму требует определения подходящего интервала квантования. При этом процесс дискретизации может осуществляться двумя способами: путем квантования временной составляющей (разбиение по временной шкале) и путем квантования амплитудной составляющей (разбиение по уровням сигнала). При квантовании происходит замена точного значения функции ближайшим квантованным значением, что вызывает погрешность измерения, которая не превышает половины выбранного шага квантования.

Информационно-вычислительные системы, хотя и выполняют внутреннюю обработку данных в двоичном формате, обладают гибкостью в представлении информации: результаты могут быть представлены и сохранены как в восьмеричной, так и в привычной десятичной системе счисления.

Комплексная автоматизация может охватывать максимальное число контролируемых агрегатов автотранспортных средств, чтобы обеспечить высокую информированность о техническом состоянии техники.

В настоящее время для решения задачи непрерывного контроля технического состояния агрегатов автотранспортных средств эффективным решением является разработка беспроводной сети передачи данных с применением ZigBee технологии.

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой автономную самоорганизующуюся структуру, объединяющую множество датчиков и исполнительных механизмов через радиоканалы связи. Благодаря механизму ретрансляции сигналов между элементами, зона покрытия такой сети может варьироваться от нескольких метров до километров. Технология 802.15.4/ZigBee стала ключевым решением в развитии современных отказоустойчивых систем распределенного мониторинга и управления. На сегодняшний день это единственное беспроводное решение, способное обеспечить длительный автономный мониторинг физических параметров

среды и объектов.

Архитектура сети включает множество периферийных устройств с автономным питанием и центральную базовую станцию, подключенную к компьютеру и работающую от стационарного источника питания. Периферийные узлы осуществляют регулярный сбор данных с подключенных сенсоров и передают их на базовую станцию, которая через USB-интерфейс транслирует информацию на компьютер для последующей обработки и анализа.

Разрабатываемая система предназначена для комплексной обработки и визуального представления данных, получаемых от удаленных датчиков, контролирующих сигналы сенсора герметичности ПМТ.

Ключевые требования к проекту включают:

- Обеспечение высокой точности преобразования сигналов
- Максимизацию времени автономной работы устройств
- Универсальность настройки для работы с различными типами датчиков

Конструкция оборудования

Базовая плата MLM-DB оснащена контроллером MSP430F1611, который включает встроенный 12-битный АЦП. Все восемь каналов преобразователя подключены к расширительному разъему X1, имеющему двадцать контактов. Однако существующих возможностей недостаточно для полноценной работы с датчиками, поэтому требуется создать дополнительную плату-надстройку, монтируемую на коннекторы X1 и X2.

Проектируемый модуль должен включать прецизионный АЦП с минимальным уровнем шума и экономичным энергопотреблением, а также силовой коммутатор для обеспечения электропитания датчика, контролирующего герметичность в системе ПСТ-100. При подборе аналого-цифрового преобразователя целесообразно рассмотреть модели с сигма-дельта архитектурой, обеспечивающей высокую точность преобразования (16-24 бита), поскольку высокое быстродействие не является критичным параметром.

В разработанной схеме применяется микросхема AD7799 производства

AnalogDevices [13, 14], оснащенная интегрированными схемами фильтрации и усиления входного сигнала - ключевыми компонентами для решения поставленной задачи. Данный 24-битный преобразователь функционирует в частотном диапазоне 4,17-470 Гц. Ключевые преимущества включают сверхнизкое энергопотребление (380 мкА в рабочем состоянии и 1 мкА в режиме ожидания), настраиваемый коэффициент усиления от 1 до 128, а также наличие трех дифференциальных входных каналов. Коммуникация между преобразователем и микроконтроллером осуществляется по протоколу SPI, линии которого выведены на разъем X1 (рисунок 2.4).

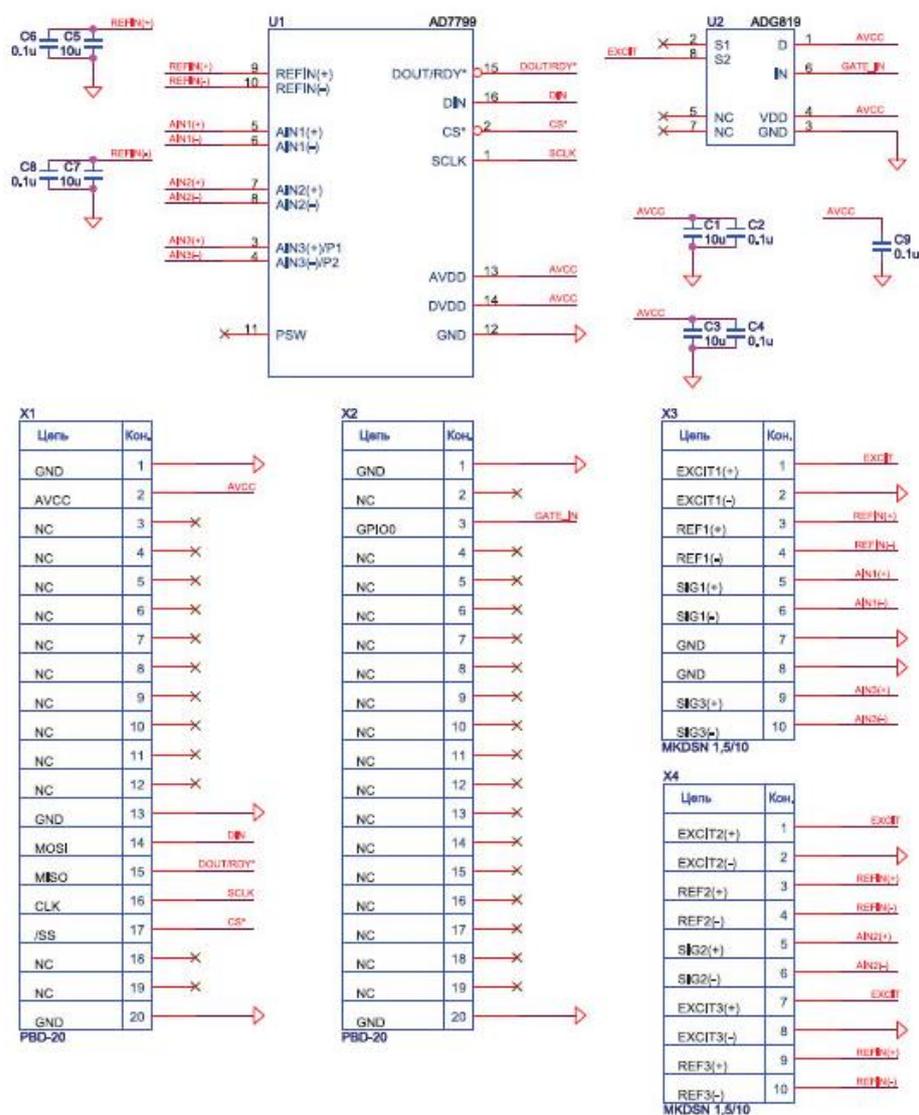


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема платы сопряжения

Для обеспечения питания датчика потребовался более мощный силовой ключ, поскольку встроенный в АЦП элемент с током 30 мА не удовлетворяет требованиям. В ходе проектирования определились критические параметры:

минимальное сопротивление в открытом состоянии, быстрое переключение, энергоэффективность и способность коммутировать ток 150-200 мА. Оптимальным решением стал коммутатор ADG819 от AnalogDevices, обеспечивающий ток до 200 мА при сопротивлении 0,8 Ом в открытом состоянии и времени переключения 10-26 нс. Управление осуществляется напрямую от цифрового вывода MSP430.

Учитывая возможность значительного удаления датчика от узла беспроводной сенсорной сети, для повышения точности измерений применена б-проводная схема подключения датчиков со встроенным измерительным мостом. При проектировании печатной платы особое внимание уделено оптимальной топологии цепей питания и заземления для минимизации помех. Результатом стала компактная двухслойная печатная плата с рациональной схемотехникой.

В области программного обеспечения разработано встроенное ПО для обработки и передачи данных с распределенных аналоговых датчиков. Ключевые требования к программному обеспечению включают [15, 46, 51, 53]: комплексную обработку сигналов (фильтрация, линеаризация, преобразование показаний АЦП), минимальное энергопотребление и универсальность работы как в режиме базовой станции, так и конечного устройства (выбор осуществляется джампером на контактах 3-4 разъема X2).

Хотя АЦП обеспечивает 24-битное разрешение, достоверность младших разрядов ограничена внутренними шумами преобразователя и внешними помехами. Точность преобразования существенно зависит от частоты дискретизации и коэффициента усиления. Для повышения достоверности измерений реализован фильтр скользящего среднего по десяти отсчетам с исключением экстремальных значений, признаваемых недостоверными.

Существенным ограничением применяемой фильтрации является значительная временная задержка, обусловленная необходимостью наполнения буфера новыми данными. Для оптимизации быстродействия системы при изменениях измеряемых параметров внедрен предварительный

алгоритм анализа и отсеивания недостоверных показаний АЦП [53, 60].

С целью снижения вычислительной нагрузки на базовую станцию, преобразование цифрового кода АЦП в физические величины производится непосредственно на периферийном устройстве. Процесс включает умножение отфильтрованного значения на калибровочный коэффициент, определяющий соответствие показаний реальному весу.

Проведенные испытания подтвердили высокую линейность характеристики преобразования, достигнутую благодаря системной калибровке АЦП, что исключило необходимость применения полиномиальной аппроксимации. Конечный результат измерения направляется в коммуникационный модуль MeshLogic ML-Module-Z, обеспечивающий автономную маршрутизацию и доставку информационных пакетов до базовой станции (рисунок 2.5).

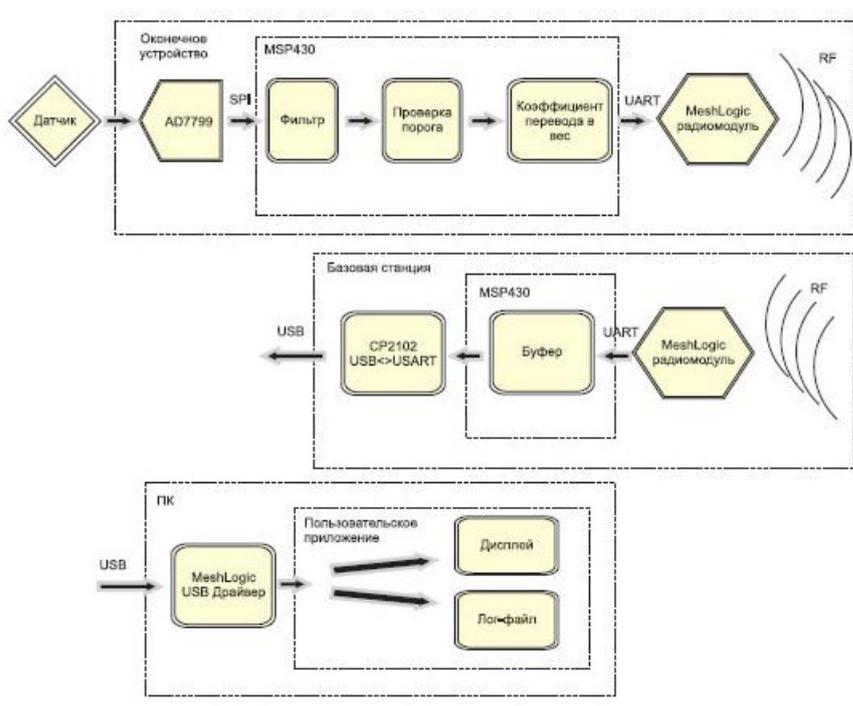


Рисунок 2.5 – Блок-схема беспроводной системы измерения

В режиме периферийного устройства реализованы механизмы энергосбережения, поскольку базовая станция получает питание через USB-подключение к компьютеру. Между измерениями (интервал 2 секунды) система переходит в энергоэффективный режим: микроконтроллер активирует LPM3, АЦП переключается в спящий режим, отключается питание

сенсора. Среднее энергопотребление периферийного устройства составляет около 0,5 мА. Для минимизации помех при работе АЦП модуль ML-Module-Z временно переводится в спящий режим, однако длительное отключение недопустимо во избежание нарушения сетевой топологии.

Взаимодействие с ML-Module-Z осуществляется через простой командный протокол типа "запрос-ответ", требующий получения ответа перед отправкой следующей команды. Структура сообщений включает код команды в первом байте и следующие за ним данные. При успешном выполнении код ответа совпадает с кодом команды, при ошибке устанавливается единица в старшем бите. Для работы с командами переменной длины применяется протокол COBS [60, 70], использующий нулевой байт как маркер конца кадра. Функциональность модуля ML-Module-Z обеспечивается лаконичным, но эффективным набором команд [134, 142].

Начальная настройка требует конфигурации UART-интерфейса (8 бит данных, 115200 бит/с, один стоп-бит, без проверки четности). Далее выполняется установка режима работы (команда 0x05) с указанием номера и приоритета для базовой станции или значения 0xFF для периферийного устройства. Передача данных осуществляется командой 0x09. Важный нюанс при отладке - необходимость установки коротких интервалов для сигнальных пакетов (LinkPeriod и RoutePeriod, команда 0x06), иначе инициализация сетевой конфигурации может занять длительное время, что может быть ошибочно принято за программную неисправность [139].

При разработке программного обеспечения следует избегать непрерывной циклической передачи данных, поскольку это препятствует нормальному функционированию модуля - он не сможет обмениваться служебными пакетами и получать информацию о конфигурации сети. Также требуется корректная настройка АЦП на периферийных устройствах и конфигурация преобразователя USART-USB на базовой станции. Критически важным элементом надежной работы системы является тщательная обработка кодов ошибок, поступающих от модуля, что предотвращает потерю данных и неэффективное использование ресурсов.

Сбор и отображение информации с сенсорной сети осуществляется на

компьютере. Программное обеспечение принимает данные от центрального узла MeshLogic через USB-соединение, реализованное на базе преобразователя CP2102 производства SiliconLaboratories, после чего выполняет их обработку согласно требованиям конечного пользователя.

2.3 Применение распределенных сенсорных сетей в задачах технического диагностирования

Достижение целевых показателей развития агропромышленного комплекса предполагает внедрение технологий, повышающих эффективность производства, которая достигается не только ростом производительности труда, но и снижением издержек.

Поддержание работоспособного состояния техники, эксплуатируемой в агропромышленном комплексе, в настоящее время осуществляется в соответствии с принятой системой планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта машин. Снижение затрат на обслуживание возможно достичь путем реализации концепции технического обслуживания по фактическому состоянию, внедрение которой можно достичь путем внедрения технологий распределенных сенсорных сетей.

Тенденция внедрения распределенных сенсорных сетей обусловлена усложнением технологических процессов, развитием производства, необходимостью контроля ресурсов, использования материальных ценностей и безопасности.

Каждый узел беспроводной сенсорной сети представляет собой интегрированное устройство, объединяющее различные сенсоры мониторинга среды, вычислительный модуль и радиокommunikационный блок. Такая архитектура обеспечивает полный цикл работы с данными: от измерения параметров до их обработки и трансляции в распределенной сети.

Внедрение беспроводных сенсорных систем открывает широкие возможности в области телеметрии, включая раннее обнаружение неисправностей через мониторинг ключевых параметров (вибрация,

температура, давление), непрерывное наблюдение за технологическим оборудованием, оптимизацию использования ресурсов и экологический мониторинг окружающей среды.

Конфигурация сенсорной сети определяется спецификой решаемых задач, что влияет на выбор архитектуры и технической реализации. Преимущества беспроводных интеллектуальных сенсорных сетей заключаются в гибкости проектирования и минимизации монтажных расходов. Масштабируемость системы позволяет интегрировать до 65 000 устройств. Совершенствование технологий и улучшение эксплуатационных характеристик стимулируют переход к беспроводным решениям в области телеметрии, удаленной диагностики и информационного обмена.

При анализе надежности распределенной коммуникационной сети следует применять модель системы с поэлементным резервированием. Количественная оценка показателей надежности производится по специальной методике.

Введем обозначения:

$P_{io(t), i = 1, 2, \dots, n}$ – вероятность безотказной работы элемента на интервале времени $(0, t)$.

Запишем вероятность отказа i -й группы.

$$q_i(t) = \prod_{j=0}^m q_{ij}(t), \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Запишем вероятность безотказной работы i -й группы. Имеем:

$$P_i(t) = 1 - q_i(t) = 1 - \prod_{j=0}^m [1 - P_{ij}(t)]. \quad (2)$$

Запишем вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием:

$$P_c = P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (3)$$

Для равно надёжных элементов системы:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) = 1 - (1 - P_i(t))^n \quad (4)$$

Эффективность резервирования принято оценивать при помощи коэффициента повышения надёжности γ , который определяют по показателям безотказности из соотношений:

$$\gamma_p = P(t)_p / P(t) \quad (5)$$

$$\gamma_Q = Q(t) / Q(t)_p, \quad (6)$$

где $P(t)_p, Q(t)_p$ – вероятность безотказной работы и вероятность отказа для резервируемой системы, а $P(t)$ и $Q(t)$ – вероятность безотказной работы и вероятность отказа для не резервируемой системы.

Расчет вероятности безотказной работы объектов, элементы которых соединены последовательно, производится по формуле:

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t),$$

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t), \quad (7)$$

где $P(t)$ – вероятность отказа объекта за наработку t ;

$P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятность отказа за наработку t соответственно 1, 2, ..., n -го элементов, составляющих объект.

Вероятность безотказной работы системы, элементы которых соединены параллельно, определяется:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_i(t)] \right] \quad (8)$$

Создание блок схемы алгоритма расчета надежности на основе математической модели возможно с использованием специальных программных средств (рисунок 2.6).

В условиях ограниченного числа контролируемых компонентов допустимо применение двух основных подходов к диагностике. Первый предполагает проведение комплексного тестирования во время планового технического обслуживания.

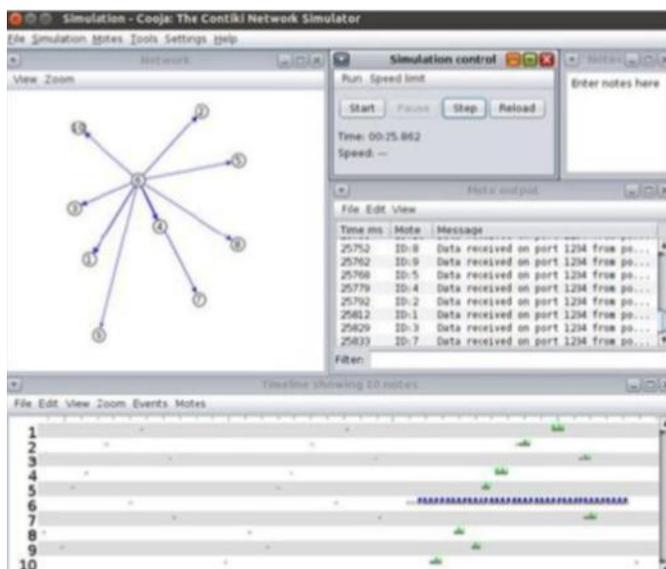


Рисунок 2.6 – Окно симулятора Cooja

Симулятор сети, для операционной системы (ОС) Contiki, специально разработанный для беспроводных сенсорных сетей, позволяющий оценить возможности разрабатываемой сети до ее непосредственной реализации.

Решение задач технической диагностики предполагает использование методов поиска неисправностей.

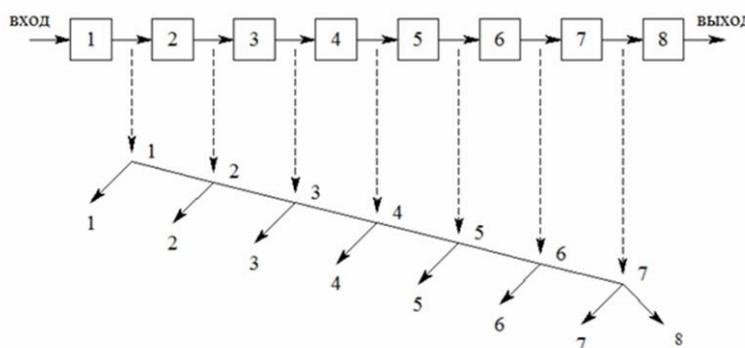


Рисунок 2.7 – Реализация метода последовательных элементарных проверок

Второй базируется на последовательном выполнении простейших проверочных операций, которые могут осуществляться как в постоянном режиме, так и с определенной периодичностью на протяжении всего срока эксплуатации транспортного средства.

2.4 Методы оценки динамики изменения остаточного ресурса узлов и агрегатов техники

Затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобиля за весь период эксплуатации в 5-7 раз превышают его первоначальную стоимость. Следовательно, особую значимость приобретает точное прогнозирование показателей надежности компонентов как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. Исследование фокусируется на методах диагностики параметров и оценки ресурса автомобильных узлов. Техническая диагностика, являясь неотъемлемой частью обслуживания в автосервисах, позволяет определять техническое состояние компонентов с заданной точностью без их демонтажа.

Действующая система планово-предупредительного обслуживания предполагает обязательное проведение профилактических работ через фиксированные интервалы пробега или времени. Несмотря на наличие корректирующих коэффициентов, учитывающих различные факторы, такой подход не обеспечивает индивидуального обслуживания каждого автомобиля.

Необходимость индивидуального диагностического подхода обусловлена значительной вариативностью технического состояния автомобилей даже при схожих условиях эксплуатации и одинаковом пробеге. Это различие возникает под влиянием множества факторов, включая конструктивные особенности, манеру управления и качество сервисного обслуживания. Применение стандартизированного перечня сервисных операций зачастую влечет за собой избыточное обслуживание, что не только повышает эксплуатационные расходы, но и может негативно сказываться на техническом состоянии транспортного средства. Частые технические вмешательства способствуют преждевременному износу сопряженных деталей, ослаблению креплений и нарушению герметичности узлов. Существенный урон также наносится несвоевременной диагностикой неисправностей, приводящей к масштабным ремонтным работам.

Оптимальное использование ресурса автомобиля достигается путем органичного включения диагностических процедур в комплекс технического обслуживания и ремонта. Техническая диагностика, как научное направление, охватывает исследование состояний технических объектов, их проявлений и методов выявления, а также разработку принципов построения диагностических комплексов. Процесс диагностирования обеспечивает точную оценку состояния объекта и способствует своевременному проведению обслуживания, предотвращению отказов, продлению срока службы компонентов за счет минимизации разборочных работ и оптимизации расхода материальных ресурсов благодаря рациональному планированию ремонтных мероприятий.

Хотя техническое состояние автомобиля определяется структурными параметрами его компонентов, их непосредственное измерение без разборки часто невозможно. Поэтому диагностика основывается на анализе выходных процессов работающего механизма, которые делятся на рабочих (мощность, расход топлива, теплообмен) и сопутствующие (шум, вибрация, световые эффекты).

Существует функциональная зависимость между структурными параметрами и характеристиками выходных процессов, что позволяет оценивать техническое состояние автомобиля по косвенным признакам. При нормальном состоянии наблюдаются номинальные значения параметров, а их отклонение указывает на ухудшение технического состояния. Достижение предельных значений сигнализирует о необходимости обслуживания или ремонта. Анализ динамики изменения параметров позволяет прогнозировать остаточный ресурс до следующего технического обслуживания или ремонта.

Диагностические параметры разделяются на обобщенные, характеризующие состояние автомобиля в целом (динамика разгона, топливная экономичность), и частные, отражающие состояние конкретных узлов (люфт руля, шумы двигателя). В отличие от структурных параметров, они измеряются на работающем автомобиле без разборки.

Для эффективного использования в диагностике выходной параметр должен соответствовать комплексу требований:

- Функциональная значимость для оценки технического состояния
- Однозначность зависимости от структурного параметра без смены характера функции
- Высокая чувствительность к изменениям структурных параметров
- Стабильность показаний при повторных измерениях
- Способность локализовать неисправности до конкретного узла или детали
- Практичность и экономическая целесообразность измерений

Точность диагностирования существенно зависит от режимов работы автомобиля (нагрузочного, скоростного, теплового). Для получения достоверных результатов применяются специальные устройства, обеспечивающие оптимальные условия диагностики путем поддержания требуемых режимов работы агрегатов.

Диагностические признаки представляют собой выходные процессы, пригодные для оценки технического состояния без разборки, а их количественные характеристики являются диагностическими параметрами. При этом не все выходные процессы могут служить диагностическими признаками - они должны удовлетворять вышеперечисленным требованиям для обеспечения достоверности диагностики.

Методы диагностирования автомобилей подразделяются на три основные группы (рисунок 2.8), каждая из которых имеет свою специфику применения и особенности реализации.

Методы диагностики первой категории построены на имитации реальных эксплуатационных условий работы автомобиля. В ходе диагностики проводится измерение рабочих характеристик в строго регламентированных условиях с последующим сравнением полученных результатов с нормативными показателями. Процедура может выполняться как на специализированных стендовых установках, оснащенных беговыми

барабанами, так и в процессе штатной эксплуатации транспортного средства. Подобный подход позволяет провести всестороннюю оценку технического состояния как автомобиля в целом, так и отдельных его узлов.



Рисунок 2.8 – Методы диагностирования автотранспортных средств

Вторая категория объединяет диагностические методы, основанные на анализе сопутствующих процессов. Ключевое значение в этой группе имеет проверка герметичности рабочих полостей. Методика предполагает создание в диагностируемом объеме повышенного давления или вакуума с последующим мониторингом динамики их изменения. Такой диагностический

подход демонстрирует особую эффективность при обследовании цилиндропоршневой группы силового агрегата и пневматической системы тормозов.

Методы диагностики путем имитации режимов работы и контроля герметичности позволяют получить объективную информацию о техническом состоянии автомобиля без его разборки, что существенно сокращает временные и материальные затраты на обслуживание.

Диагностика с использованием теплового метода базируется на исследовании тепловых процессов при функционировании механических узлов, включая тепловыделение от сгорания топлива и фрикционного взаимодействия деталей. При этом анализируются температурные показатели и характер их изменения во времени. Несмотря на очевидный потенциал применения для диагностирования двигательных систем, трансмиссионных узлов и подшипниковых механизмов, данный метод пока не стал стандартным инструментом в автомобильной диагностике.

Диагностика на основе колебательных характеристик реализуется в трех ключевых направлениях. Первое включает исследование электрических колебаний в системах питания, второе фокусируется на анализе механических вибраций и акустических сигналов от работающих узлов, третье направление связано с изучением флуктуаций давления в топливных магистралях.

Отдельного внимания заслуживают методы исследования отработанных материалов. Диапазон их применения варьируется от простой оценки загрязненности масла до комплексного спектрального анализа, позволяющего по содержанию определенных элементов диагностировать состояние конкретных узлов. Например, избыточное количество свинца сигнализирует об износе подшипников, повышенная концентрация железа указывает на износ цилиндров, а аномальное содержание кремния свидетельствует о неэффективности воздушной фильтрации.

Замыкает классификацию группа методов прямых измерений геометрических параметров, включающих оценку зазоров, люфтов и

отклонений. Основным ограничением данного подхода является необходимость физического доступа к измеряемым элементам конструкции.

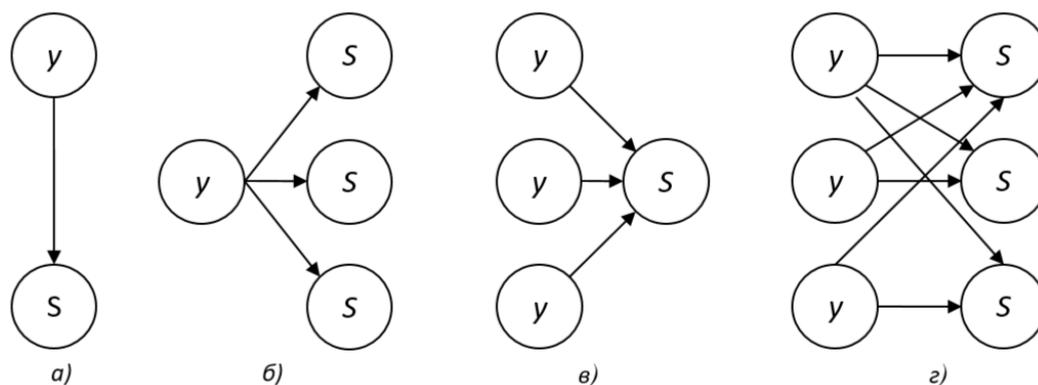
Сфера автомобильной диагностики динамично эволюционирует, отвечая на вызовы современного автомобилестроения. Специалисты непрерывно модернизируют существующие методики и создают инновационные подходы, учитывая растущую сложность автомобильных систем и прогресс в области микроэлектроники. Примечательно, что единый диагностический параметр зачастую может быть измерен различными способами.

Выбор наиболее подходящей методики диагностики осуществляется на основе комплексной оценки нескольких критериев. Решающую роль играет достоверность и точность получаемых результатов, возможность широкого применения метода в различных ситуациях, затраты времени и усилий на проведение диагностических процедур, а также экономическая целесообразность и организационные особенности его внедрения.

Особую сложность представляет выбор диагностических параметров для оценки технического состояния комплексных систем. Это обусловлено многообразием взаимосвязей между структурными и диагностическими параметрами. Правильный выбор параметров существенно влияет на эффективность диагностики и достоверность получаемых результатов.

Развитие методов диагностики продолжается в направлении повышения их точности, автоматизации процессов и адаптации к современным автомобильным технологиям.

При выборе диагностических параметров необходимо учитывать, что разные параметры в различной степени соответствуют требованиям к диагностическим показателям. Поэтому процесс их определения для сложных систем требует системного подхода.



a - единичные; *б* - множественные; *в* - неопределенные;
г - комбинированные

Рисунок 2.9 – Возможные связи между структурными и диагностическими параметрами:

Процесс определения диагностических параметров инициируется с создания исчерпывающего перечня потенциальных индикаторов. Ключевым инструментом на этом этапе выступает структурно-следственная схема, реализованная в виде графической модели исследуемого механизма или узла. Данное представление интегрирует в единую систему базовые компоненты механизма, их конструктивные характеристики, распространенные дефекты, подлежащие обнаружению, и возможные диагностические показатели [61].

Формирование списка типовых неисправностей осуществляется на базе статистического исследования надежностных характеристик механизма. Наглядным примером реализации такого подхода служит структурно-следственная схема цилиндра-поршневой группы двигателя (рисунок 2.10). Эта схема эффективно визуализирует системные взаимосвязи между компонентами и обеспечивает рациональный подбор диагностических параметров для оценки технического состояния узла.

Такой комплексный подход обеспечивает научно обоснованный выбор диагностических параметров и повышает эффективность диагностики в целом.

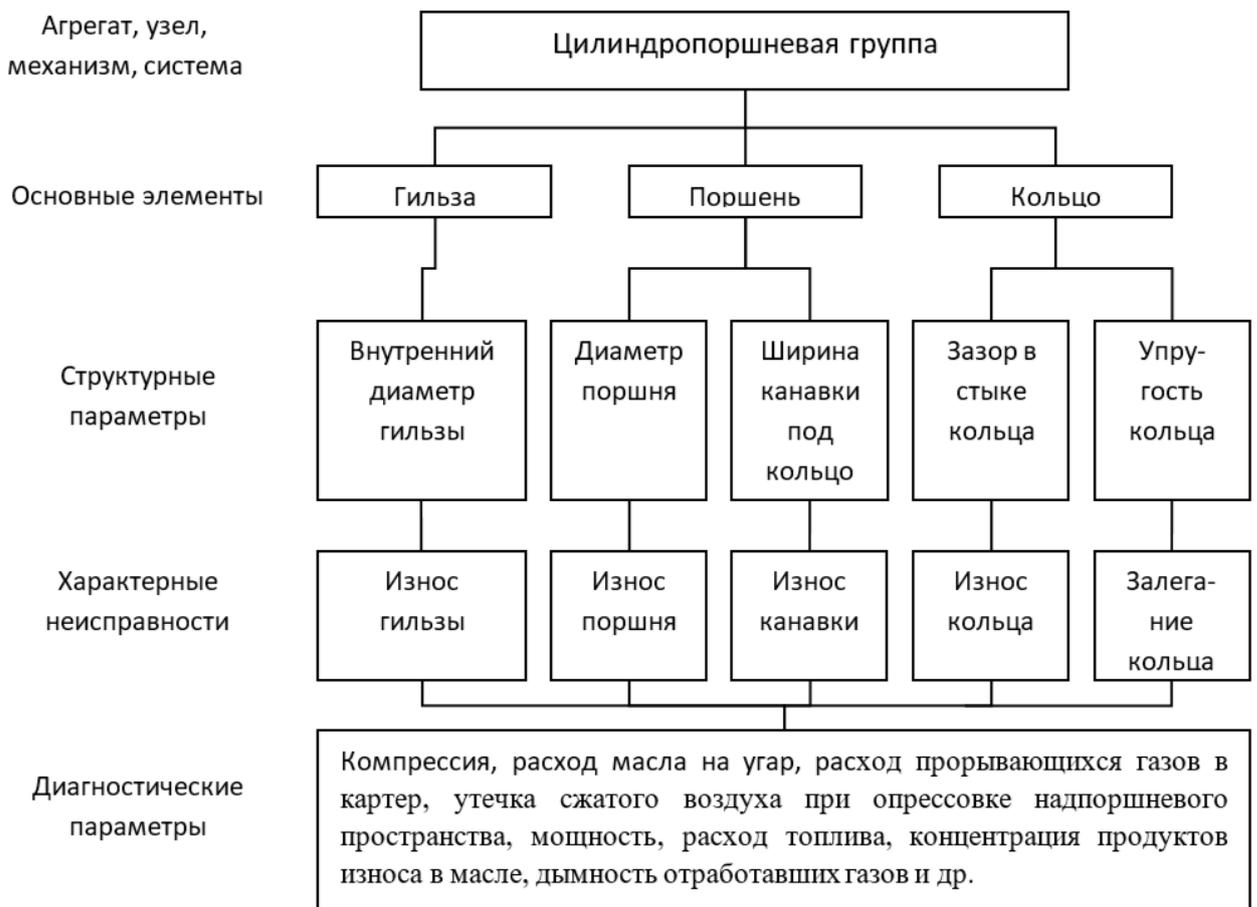


Рисунок 2.10 – Структурно-следственная схема цилиндра-поршневой группы двигателя как объекта диагностирования

Процесс выбора диагностических параметров включает несколько последовательных этапов. На основе инженерного анализа объекта и структурно-следственной схемы формируется первичный перечень диагностических параметров с установлением их взаимосвязей со структурными параметрами и возможными неисправностями.

Далее производится селекция наиболее значимых параметров путем их оценки по ключевым критериям:

- однозначность;
- стабильность;
- чувствительность;
- информативность.

Заключительный этап включает анализ технологичности параметров и экономической эффективности их использования при разработке методов и средств диагностирования.

Постановка диагноза варьируется по глубине в зависимости от задач:

- Общая оценка работоспособности (вердикт "годен/не годен")
- Локализация конкретной неисправности для определения необходимых ремонтных работ

Простейшая диагностическая процедура основывается на сопоставлении единичного измеренного показателя с эталонным значением. Однако для многопараметрических систем такой подход неэффективен, что требует применения более совершенных методик. В таких случаях используются диагностические матрицы, представляющие собой структурированные логические схемы, устанавливающие взаимосвязи между контролируемыми параметрами S и потенциальными дефектами A (Таблица 2.2). Формирование этих матриц происходит с учетом статистики надежности диагностируемого объекта, что позволяет создать упорядоченный алгоритм технической диагностики.

Таблица 2.2 – Диагностическая матрица

Диагностические параметры	Возможные неисправности		
	A_1	A_2	A_3
S_1	1	0	0
S_2	0	1	0
S_3	1	0	1
S_4	0	1	1

Система технической диагностики оперирует диагностической матрицей, построенной на двоичной логике, где присутствие потенциальной неисправности обозначается единицей, а её отсутствие - нулем. Матрица иллюстрирует процесс выявления трех различных неисправностей посредством анализа четырех диагностических показателей. Механизм диагностики базируется на установлении соответствия между определенными комбинациями отклонившихся параметров и специфическими

неисправностями: отклонения S1 и S3 свидетельствуют о неисправности A1, аномальные значения S2 и S4 указывают на A2, а совместное отклонение S3 и S4 характерно для A3.

Актуальные средства технического диагностирования (СТД) представляют собой интегрированные системы, объединяющие различные функциональные блоки: генераторы тестовых сигналов, измерительные сенсоры, регистрирующую аппаратуру, системы визуализации данных и автоматизированные комплексы управления с аналитическими возможностями. Согласно принципу взаимодействия с диагностируемым объектом, СТД подразделяются на три основные категории, что отражено на рисунке 2.11. При этом диагностические матрицы выступают фундаментальной основой для разработки автоматизированных логических систем, внедряемых в современное диагностическое оборудование. [78].

Средства технического диагностирования (СТД) подразделяются по конструктивному исполнению на следующие типы:

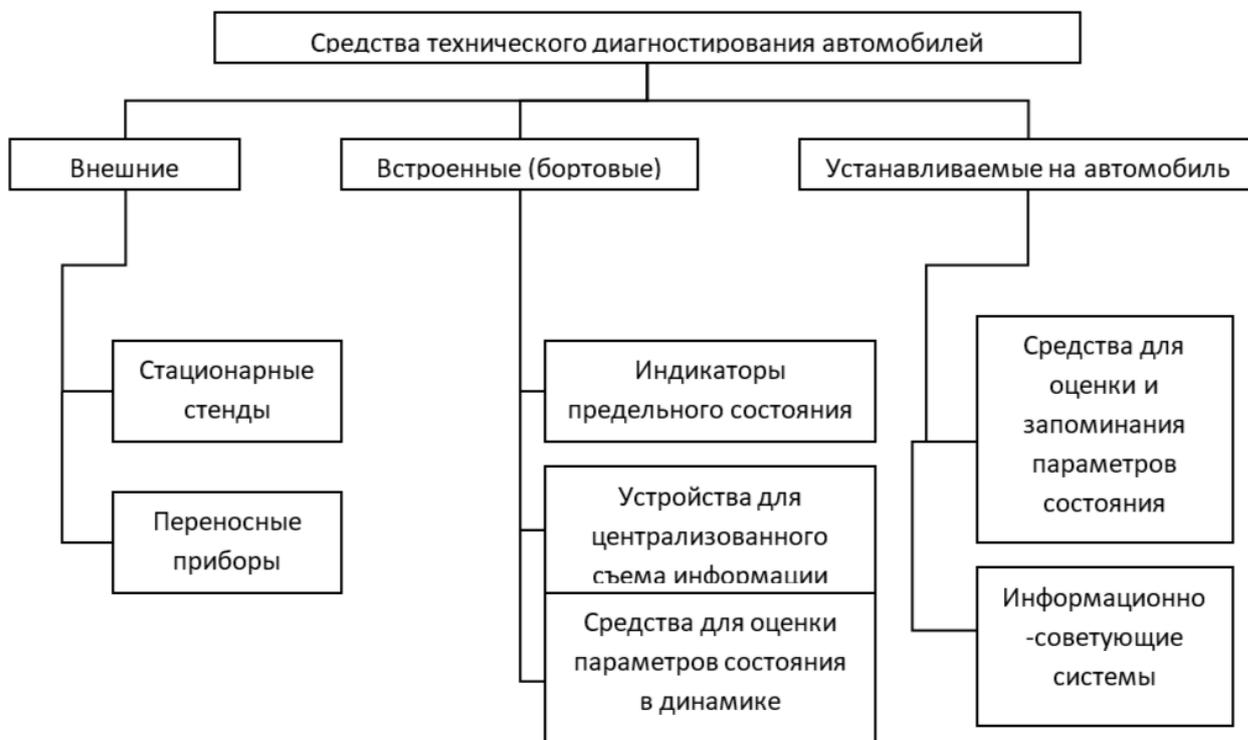


Рисунок 2.11 – Классификация средств технического диагностирования автотранспортных средств

Внешние СТД существуют в двух вариантах:

- Стационарные стенды, требующие специально оборудованных помещений с фундаментом, вентиляцией и шумоизоляцией
- Переносные приборы, применяемые как самостоятельно, так и в комплексе со стационарным оборудованием на постах обслуживания

Встроенные (бортовые) СТД включают:

- Базовые приборы на панели управления
- Современные электронные системы контроля состояния узлов
- Комплексные системы мониторинга параметров движения, расхода топлива и экологических показателей

Их главное преимущество - возможность раннего выявления пред отказных состояний, однако массовое применение ограничено вопросами надежности и стоимости.

Устанавливаемые СТД (УСТД) представляют собой компромиссное решение:

- Съёмные диагностические блоки для периодического использования
- Основаны на электронных компонентах
- Обеспечивают возможность компьютерной обработки данных
- Экономически эффективны благодаря периодическому использованию на разных автомобилях

УСТД становятся важным инструментом в системе управления техническим обслуживанием и ремонтом автомобильного парка, позволяя оптимизировать эти процессы на основе объективных данных о состоянии техники.

2.5 Выводы по главе 2

1. Техническое состояние любого узла или агрегата напрямую связано с его рабочими параметрами. Эти параметры являются отражением внутренних процессов, происходящих в устройстве. Любые отклонения в работе,

вызванные износом, повреждениями или другими факторами, будут проявляться в изменении этих параметров.

2. Изменение физического состояния устройства неизбежно ведет к изменению его рабочих характеристик и, соответственно, к изменению наблюдаемых параметров.

3. Связь между параметрами и состоянием может быть выражена математически в виде моделей, уравнений, графиков или алгоритмов. Эти модели могут быть как детерминированными (основанными на физических законах), так и стохастическими (основанными на статистических данных)..

4. Прогнозирующие параметры должны быть чувствительными к изменениям технического состояния узла или агрегата, а их значения должны изменяться при возникновении дефектов или отклонений в работе.

5. Параметры должны нести информацию о текущем и будущем состоянии узла или агрегата, и способны отражать динамику развития дефектов и повреждений узлов, агрегатов и их элементов.

6. Параметры должны быть доступны для измерения с помощью современных датчиков и измерительных систем с необходимой точностью и надежностью.

ГЛАВА 3 ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Математический аппарат планирования эксперимента

Методология экспериментальных исследований развивается в двух взаимодополняющих направлениях [2]. С одной стороны, разрабатываются оптимальные схемы проведения испытаний через создание специализированных матриц планирования. С другой - подбирается соответствующий математический инструментарий для анализа полученных данных.

Структура планирования экспериментов, представленная в табличной форме с детализацией факторных значений, должна удовлетворять трем базовым требованиям. Ортогональность обеспечивает автономную оценку коэффициентов регрессии и возможность исключения несущественных элементов без пересчета остальных параметров. Ротатабельность гарантирует равномерное распределение дисперсии выходного параметра на одинаковых дистанциях от экспериментального центра. Униформность поддерживает стабильность дисперсии результирующего показателя в центральной области исследования.

Ключевую роль играет методика полного факторного эксперимента (ПФЭ), охватывающая все возможные комбинации уровней исследуемых факторов. Данный подход используется при формировании регрессионной многофакторной модели (РМФМ) для исследования ограниченной области факторного пространства, исключая его периферийные зоны. Результатом ПФЭ является РИФМ в виде линейного полиномиального выражения.

$$Y_R = b_0 + b_1 \cdot X_1 + \dots + b_M \cdot X_M \quad (3.1)$$

или неполного полинома второго порядка:

$$Y_R = b_0 + b_1 \cdot X_1 + \dots + b_i \cdot X_i + \dots + b_{12} \cdot x_1 x_2 + \dots + b_{ij} \cdot x_i x_j + \dots + b_{M-1} \cdot X_{M-1} X_M, \quad (3.2)$$

где Y_R – расчетное значение выходного параметра;
 x_i – кодированные значения уровней факторов;
 b_i, b_{ij} – значения коэффициентов регрессии;
 $i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, M$ – номер фактора.

В отличие от классического однофакторного подхода, методология факторного планирования предоставляет расширенные возможности для анализа. Такой метод позволяет выявлять как самостоятельное воздействие отдельных переменных x_i , количественно выраженное через коэффициенты b_i в регрессионной многофакторной модели (РМФМ), так и оценивать синергетические эффекты от взаимодействия различных факторов $x_i x_j$, характеризующиеся коэффициентами b_{ij} .

Такая методология существенно расширяет границы исследования, предоставляя инструментарий для изучения того, как изменение уровня одного фактора модифицирует влияние другого на конечный результат. Это обеспечивает более глубокое понимание сложных взаимосвязей между исследуемыми параметрами и их совокупным воздействием на изучаемый процесс.

Создание матрицы планирования [2].

Первым шагом в формировании матрицы планирования является вычисление необходимого количества экспериментальных опытов:

$$N = k^M, \quad (3.3)$$

где k – число уровней варьирования каждого фактора, изменяя которое можно уменьшать или увеличивать N .

При вычислении регрессионных коэффициентов для уравнения (3.1) следует соблюдать фундаментальное требование о соотношении количественных показателей. Согласно этому требованию, общее число проведенных экспериментов N обязательно должно быть равным или превышать число коэффициентов регрессии N_k в регрессионной математической физической модели (РМФМ).

Однако для полноценной оценки адекватности разработанной модели

выдвигается более жесткое условие: количество экспериментальных наблюдений N должно быть строго больше числа регрессионных коэффициентов N_k . Данное требование обеспечивает необходимую статистическую достоверность получаемых результатов.

В структуре матрицы планирования факторы представлены в кодированном виде:

нижний уровень обозначается знаком (-) и соответствует значению -1;

верхний уровень обозначается знаком (+) и соответствует значению +1.

Для иллюстрации: при проведении двухуровневого эксперимента с тремя факторами (23) полная факторная матрица включает восемь экспериментальных точек (см. таблицу 3.1).

Результаты полного факторного эксперимента обрабатываются последовательно. Сначала вычисляются средние значения функции отклика для каждой строки и соответствующие построчные дисперсии $S^2\{Y_u\}$ по следующим формулам:

$$\bar{Y}_r = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{ui} \quad (3.4)$$

$$S_u^2 \{Y_u\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_{ui} - \bar{Y}_u)^2, \quad (3.5)$$

где m – число повторений опыта.

Таблица 3.1 – Матрица планирования эксперимента

u	Факторы				Сочетания				Y_{ui}		\bar{Y}_u	$S^2\{Y_u\}$
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y_{u1}	Y_{u2}		
1	+	-	-	-								
2	+	+	-	-								
3	+	-	+	-								
4	+	+	+	-								
5	+	-	-	+								
6	+	+	-	+								
7	+	-	+	+								
8	+	+	+	+								
k_i									↓	↓	©	©

Оценка однородности дисперсии

В случае, когда количество повторных опытов m идентично для всех экспериментальных точек матрицы, однородность дисперсий проверяется с помощью критерия Кочрена. Его расчетное значение определяется следующим выражением:

$$G_R = \frac{S_u^2 \max\{Y\}}{\sum_{u=1}^N S_u^2\{Y\}} \quad (3.6)$$

Расчетный показатель G_R требует сравнения с эталонным значением G_T . Последнее определяется на основе трех ключевых параметров: общего количества экспериментов N , числа степеней свободы дисперсии $f\{\} = m - 1$ и установленного уровня доверительной вероятности.

Если G_R оказывается меньше G_T , это подтверждает гипотезу об однородности дисперсий. В противоположной ситуации необходимо либо использовать методики устранения нетипичных результатов, либо установить причины повышенного разброса данных в определенном эксперименте и выполнить дополнительные измерения [2].

В случаях с неравномерным распределением повторных измерений m по точкам матрицы, проверка однородности дисперсий проводится по методу Бартлета. При подтвержденной однородности дисперсий и идентичном числе повторных экспериментов средняя дисперсия определяется согласно специальной формуле.

$$S_{\bar{a}\bar{m}}^2\{Y\} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^m S_u^2\{Y\} \quad (3.7)$$

Вычисление коэффициентов искомого уравнения (модели)

Коэффициенты регрессии определяются по следующим формулам:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{Y}_u \quad (i = 0, 1, \dots, M); \quad (3.8)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{Y}_u (i \neq j); \quad (3.9)$$

$$b_{ijl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{Y}_u (i \neq j \neq l). \quad (3.10)$$

Полученная после подстановки рассчитанных коэффициентов регрессионная многофакторная модель представляет собой промежуточный результат и требует дальнейшей проверки.

Определение статистической значимости коэффициентов регрессии

Для оценки значимости каждого полученного коэффициента применяется критерий Стьюдента. Его расчетное значение для отдельного коэффициента вычисляется согласно формуле: [2].

$$t_R\{b_i\} = \frac{|b_i|}{\sqrt{S^2\{b_i\}}}, \quad (3.11)$$

Где

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2\{\bar{Y}\}, \quad (3.12)$$

в свою очередь

$$S^2\{\bar{Y}\} = \frac{1}{m} S_{\bar{a}\bar{m}}^2\{Y\}. \quad (3.13)$$

Для определения статистической значимости показателя необходимо сопоставить расчетное значение t_R с эталонным табличным параметром t_T . Последний можно найти в справочных материалах (приложение Д), используя доверительную вероятность $PD = 0,95$ и степени свободы $f\{S_{2u}\} = N(m-1)$.

Критерий значимости коэффициента b_i основывается на соотношении $t_R\{b_i\} > t_T$. При невыполнении данного условия ($t_R\{b_i\} < t_T$) коэффициент признается несущественным, что влечет за собой его обнуление в соответствующем компоненте модели $b_i X_i$.

Следует учитывать, что статистическая весомость коэффициентов

зависит не только от степени воздействия фактора на результирующий параметр, но и от выбранного диапазона его изменения. Незначимость может быть следствием нескольких обстоятельств: узкого интервала варьирования, значительного разброса воспроизводимости из-за неучтенных факторов, или расположения исходного уровня фактора около локального экстремума выходной величины. Итоговая версия модели формируется после исключения статистически незначимых элементов.

Верификация адекватности модели осуществима только при условии превышения числа экспериментов над количеством коэффициентов модели. Процесс начинается с вычисления дисперсии неадекватности.

$$S_{i\ddot{a}\ddot{a}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2}{N - N_{\text{с.г.и.с.}}}, \quad (3.14)$$

где $N_{\text{с.г.и.с.}}$ – число значимых (оставшихся) коэффициентов в модели;

Y_{Ru} – возвращаемые моделью расчетные значения выходного параметра, которые определяются для каждого опыта путем подстановки в полученное уравнение соответствующих значений входных параметров.

Определяют расчетное значение критерия Фишера:

$$F_R = \frac{S_{i\ddot{a}\ddot{a}}^2\{Y\}}{S_{\ddot{a}\ddot{m}}^2\{\bar{Y}\}}, \text{ если } S_{i\ddot{a}\ddot{a}}^2\{Y\} > S_{\ddot{a}\ddot{m}}^2\{\bar{Y}\}; \quad (3.15)$$

$$F_R = \frac{S_{\text{восн}}^2\{\bar{Y}\}}{S_{\text{над}}^2\{Y\}}, \text{ если } S_{\ddot{a}\ddot{m}}^2\{\bar{Y}\} > S_{i\ddot{a}\ddot{a}}^2\{Y\}. \quad (3.16)$$

Расчетное F_R значение критерия сравнивают с табличным F_T , которое определяют по таблице при условии, что:

$$P_D = 0,95, f\{S_{\ddot{u}}^2\} = N(m - 1), f\{S_{\text{над}}^2\} = N - N_{\text{зн.коэф.}} \quad (3.17)$$

Модель считается адекватной с вероятностью PD, если расчетное значение критерия Фишера меньше табличного ($F_R < F_T$).

В случае отклонения гипотезы об адекватности существует два возможных пути решения: либо перейти к описанию процесса полиномом второй степени с использованием альтернативного типа эксперимента, либо,

если позволяют условия, сузить диапазон варьирования факторов. Однако следует помнить, что чрезмерное сужение интервала варьирования может привести к потере статистической значимости коэффициентов регрессии.

Анализ полученной регрессионной многофакторной модели [2].

Завершающим этапом математического моделирования становится комплексная оценка полученной модели. Эффект конкретного фактора определяется через измерение динамики результирующего параметра при варьировании этого фактора от минимальной до максимальной величины. Коэффициенты регрессии демонстрируют прямую пропорциональность эффектам соответствующих факторов, отражая интенсивность их влияния на исследуемый параметр. Благодаря этому свойству появляется возможность ранжировать факторы по степени их воздействия на параметр Y , основываясь на величине регрессионных коэффициентов.

Для двухфакторной регрессионной модели наиболее информативным способом визуализации является построение поверхности отклика с помощью специализированного программного обеспечения (например, "STATGRAPHICS"). Такая визуализация осуществляется через построение изолиний - линий равных значений выходного параметра, которые представляют собой проекции сечений поверхности отклика параллельными плоскостями.

Визуальный анализ полученной поверхности позволяет оперативно оценить характер и степень влияния каждого из факторов на исследуемый параметр.

При работе с трехфакторной моделью визуализация осуществляется путем построения трех наборов изолиний для пар факторов, при этом третий фактор фиксируется последовательно на трех уровнях: нижнем, основном и верхнем.

В случае моделей с числом факторов более трех ($M > 3$) геометрическая интерпретация результатов становится невозможной, поскольку человеческое восприятие ограничено трехмерным пространством.

3.2 Методика планирования эксперимента

Определение оптимальных диагностических параметров представляет собой многоступенчатый процесс. На первом этапе проводится детальный технический анализ исследуемого объекта, результатом которого становится формирование базового набора показателей и выявление их корреляции с особенностями конструкции и потенциальными дефектами.

Последующая стадия сфокусирована на отборе наиболее значимых и практически реализуемых диагностических индикаторов из изначально сформированного массива данных. В ходе селекции каждый показатель подвергается тщательной оценке по четырем фундаментальным характеристикам, включающим способность давать недвусмысленные результаты, устойчивость показаний, восприимчивость к изменениям состояния объекта и содержательную ценность получаемой информации.

Финальный этап процесса концентрируется на практических аспектах: анализируется технологическая осуществимость измерений и проводится экономическая оценка затрат на реализацию диагностических процедур при разработке методики контроля и подборе соответствующего измерительного оборудования.

Глубина диагностического исследования варьируется в зависимости от поставленных задач и сложности исследуемого объекта. При необходимости общей оценки работоспособности автомобиля или его отдельных узлов достаточно анализа выходных параметров, позволяющих сделать бинарное заключение ("годен"/"не годен"). Более детальная диагностика требуется для определения необходимости конкретных ремонтных или регулировочных работ, что предполагает точную идентификацию неисправности. В простейшем случае, когда диагностика основывается на единственном

параметре, процедура сводится к простому сопоставлению измеренного значения с нормативным показателем.

Современное развитие автотранспортных средств характеризуется стремлением к повышению эффективности, экологичности, безопасности и комфорта. Этот прогресс обусловлен как технологическими достижениями, так и растущими требованиями потребителей и ужесточением экологических стандартов, что повышает требования к эффективности функционирования двигателей. В процессе эксплуатации двигателей важно контролировать и сохранять на требуемом уровне их техническое состояние. С развитием техники возникла необходимость прогнозирования изменения технического состояния для предотвращения отказов и повышения эффективности их обслуживания. При непрерывной диагностике необходимо использовать параметры, косвенно характеризующие техническое состояние двигателя. Исследования на двигателях УМЗ 4216-170 показали, что количество картерных газов является параметром состояния цилиндро-поршневой группы. Разработанная методика универсальна для автотранспортных средств.

Определение текущего технического состояния изделия, посредством фиксации его характеристик в момент измерения, является важной составляющей его жизненного цикла, от создания до эксплуатации. Традиционно эта задача решается средствами технического контроля. Однако, в условиях эксплуатации ответственных технических систем, возникает необходимость в прогнозировании их состояния в будущем, с целью предотвращения отказов. Развитие техники обуславливает потребность в управлении состоянием сложных систем, включая переключение на резервные элементы и изменение режимов работы, что невозможно без прогнозирования. Таким образом, появляется новая задача – прогнозирование технического состояния. Для таких систем, как транспортные и производственные, необходимо не только констатировать их исправность в текущий момент, но и гарантировать их работоспособность на протяжении определенного будущего интервала времени.

Приведено описание конструкции системы оценки цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Исследования проводились на двигателях УМЗ 4216-170. Частота вращения коленчатого вала двигателя варьировалась от 750 мин⁻¹ до 4200 мин⁻¹. Использовался бензин неэтилированный марки АИ-92-К2 (К5) по ГОСТ 32513- 2013.

В процессе исследований производили изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя и снимали показания расходомера картерных газов в виде вольтамперной характеристики. Показания расходомера картерных газов фиксировались для частоты вращения коленчатого вала двигателя 1000, 1500, 1800, 2000, 2200, 2500, 3000, 3500, 4000, 4200 мин⁻¹.

По результатам исследований была разработана методика определения нормативных значений количества картерных газов, как косвенного параметра технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя.

Для косвенной оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы 12 двигателей УМЗ 4216-170 построены математические зависимости с достоверности аппроксимации $R^2 = 0,97$.

При анализе данных, полученных в результате проведенных экспериментальных исследований 12 новых двигателей УМЗ 4216-170, установлено, что отклонение от средних значений вольтамперной характеристики расходомера картерных газов составляло $\pm 13,04\%$, и можно говорить о чувствительности данного параметра, при оценке технического состояния цилиндро-поршневой группы. Разработанная методика непрерывной диагностики двигателей автотранспортных средств по прогнозирующим параметрам является универсальной и может быть применима для различных узлов и агрегатов автотранспортных средств.

3.3 Результаты эксперимента

Прогнозирование технического состояния важно не только во время эксплуатации, но и на этапах проектирования и производства изделий. При

разработке нужно заранее оценивать характеристики будущего изделия. В процессе производства, на основе ограниченных испытаний, делаются выводы о работоспособности больших партий на длительных временных отрезках. Ускоренные испытания позволяют предсказать состояние изделий в обычных условиях. Таким образом, прогнозирование является важной частью процесса эксплуатации и технического обслуживания.

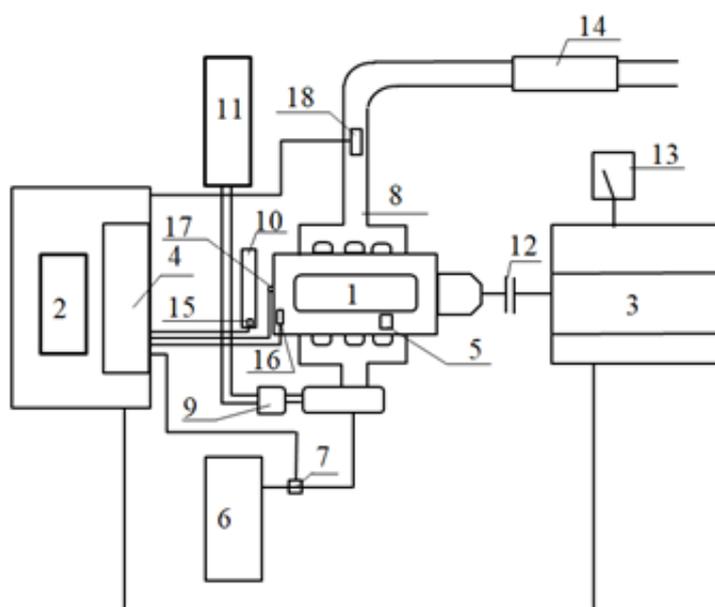
Прогнозирование представляет собой процесс предсказания будущего состояния события, основанный на анализе факторов, влияющих на это событие или связанных с ним. Научный подход к прогнозированию предполагает изучение объективных закономерностей, управляющих процессами и явлениями. Эти закономерности могут быть разделены на две группы: стохастические (вероятностные) и детерминированные. При прогнозировании используются два основных подхода:

- прогнозирование будущего состояния события на основе изучения закономерностей его собственного изменения;
- прогнозирование на основе анализа других, связанных с ним событий.

Специфика оценки эффективности заключается в комплексном подходе, учитывающем не только внутренние характеристики сложной системы, но и результативность ее работы - конечный выходной эффект. Подобный метод оценки обладает значительным преимуществом, позволяя проводить сравнительный анализ работы разнородных сложных систем, которые могут кардинально отличаться по конструкции, принципам работы и составным элементам, но предназначены для решения идентичных задач. Такой подход открывает возможности для поиска и отбора оптимальных вариантов построения сложных систем [1].

Разработка автоматизированной системы технического диагностирования требует решения двух взаимосвязанных задач: необходимо определить оптимальную периодичность планового восстановления как при наличии исчерпывающих данных о надежности диагностируемого объекта, так и в условиях дефицита такой информации. При этом выбранная стратегия

обслуживания должна соответствовать критерию оптимальности, который учитывает качественные показатели работы и эксплуатации системы. Для определения оптимального решения в таких условиях разработан двухэтапный метод минимакса. На первом этапе осуществляется поиск наихудших сценариев функционирования системы в рамках заданных ограничений, а на втором этапе, с учетом этих сценариев, определяется оптимальная стратегия управления.



1 – двигатель; 2 – пульт управления стендом; 3 – стенд для испытания двигателя; 4 – панель приборов от датчиков на двигателе; 5 – система контроля расхода картерных газов; 6 – топливный бак; 7 – устройство для замера расхода топлива; 8 – система выпуска отработанных газов; 9 – воздушный фильтр; 10 – система охлаждения двигателя; 11 – ресивер для воздуха; 12 – муфта соединения двигателя со стендом; 13 – балансирный динамометр; 14 – глушитель; 15 – индикатор температуры системы охлаждения двигателя; 16 – индикатор давления масла в двигателе; 17 – электронный тахометр; 18 – газоанализатор.

Рисунок 3.1 – Схема установки системы непрерывной оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания

Цель исследования состоит в повышении оперативности диагностирования технического состояния и своевременном проведении технического обслуживания автотранспортных средств на основе применения методики определения нормативных значений количества картерных газов.

Материалы и методы. Экспериментальная часть работы выполнялась с использованием двигателей модели УМЗ 4216-170, что отражено на рис. 3.2 а, б. Испытания осуществлялись путем монтажа двигателя на тормозном стенде модели MEZ Vsetin 926-4/V (стенд 1).



Рисунок 3.2 – Общий вид стенда и двигателя

Схема устройства непрерывной оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания

Разработанное техническое решение предлагает новый способ диагностики цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания, основанный на оценке состояния поршневых колец по объему картерных газов, при этом отличительной особенностью является отсутствие необходимости определения эталонных значений, так как они определяются индивидуально для каждого двигателя с момента начала его эксплуатации.

Результаты. В результате статистической обработки экспериментальных данных получена математическая модель, описывающая параметрическую надежность двигателя на основании изменения прогнозирующего параметра. Методика экспериментального исследования соответствовала ГОСТ 14846-81.

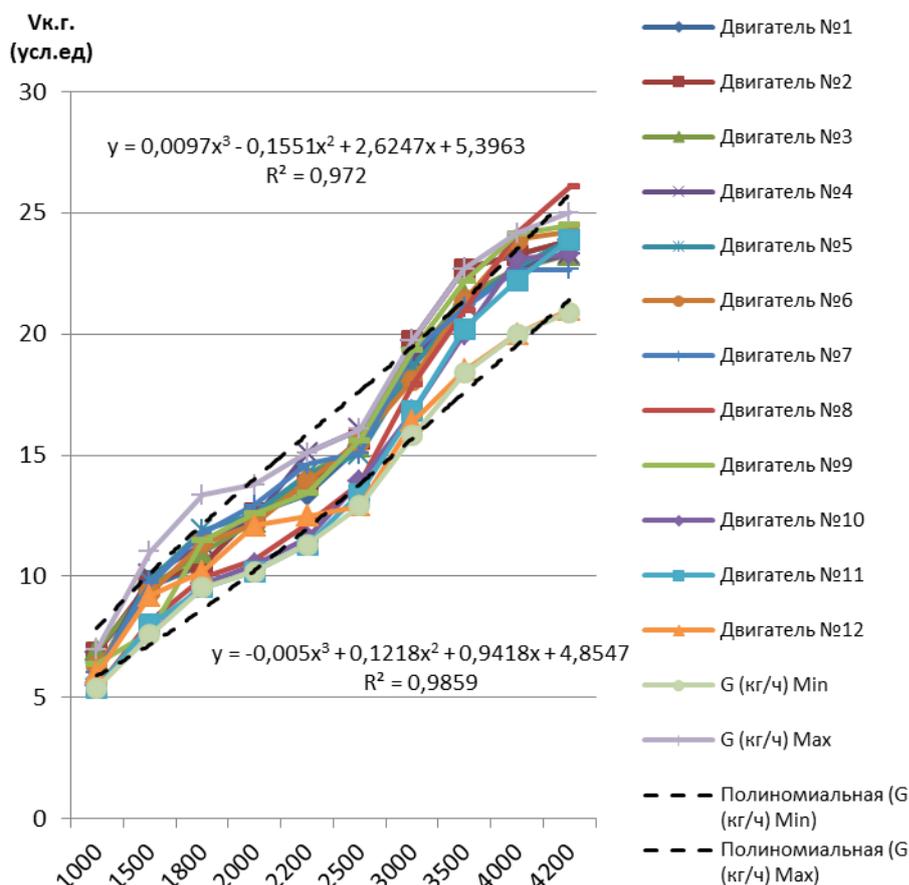


Рисунок 3.3 – График мощности двигателей УМЗ 4216-170 и полиномиальные линии аппроксимации максимальных и минимальных значений

Полиномиальная аппроксимация максимальных значений картерных газов двигателей может быть записана уравнением:

$$y = 0,0097x^3 - 0,1551x^2 + 2,6247x + 5,3963 \quad (3.1)$$

Величина достоверности аппроксимации

$$R^2 = 0,972$$

Полиномиальная линия аппроксимации минимальных значений картерных газов двигателей может быть записана уравнением:

$$y = -0,005x^3 + 0,1218x^2 + 0,9418x + 4,8547 \quad (3.2)$$

Величина достоверности аппроксимации

$$R^2 = 0,9859$$

На рисунке 3.4 представлен график среднего значения расхода картерных газов 12 двигателей УМЗ 4216-170.

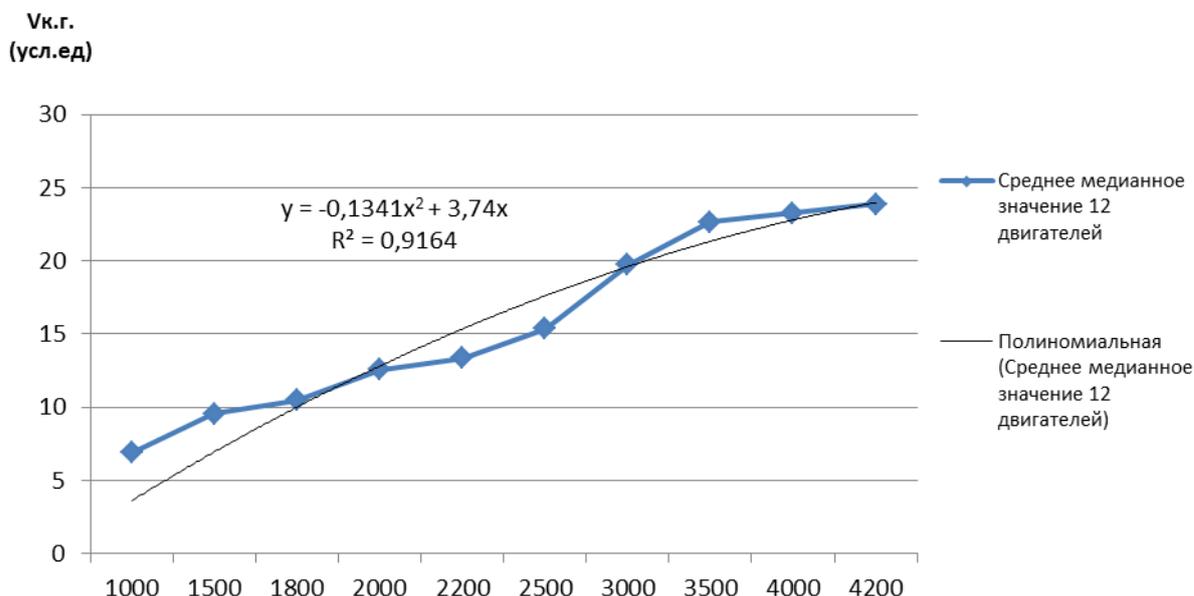


Рисунок 3.4 – Полиномиальная аппроксимация по методу наименьших квадратов построенная по медианному значению расхода картерных газов 12 двигателей УМЗ 4216-170

Результат, достигаемый с помощью данного решения, заключается в обеспечении непрерывного контроля за техническим состоянием цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

В процессе эксперимента посредством пульта управления стендом задается требуемая частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме его работы без нагрузки. При этом, в соответствии с планом эксперимента, снимались показания вольтамперной характеристики для каждой определенной частоты вращения коленчатого вала двигателя

Проверка соответствия экспериментальных результатов нормальному распределению осуществлялась двумя способами: расчетом нормальных меток и визуализацией через построение вероятностных диаграмм нормального распределения (normal probability plot).

Для подтверждения репрезентативности полученных данных относительно реальных процессов работы двигателей применялся метод доверительных интервалов. Основным аналитическим инструментом выступила техника построения центральных доверительных интервалов, базирующаяся на усредненных показателях выборки. Определение граничных значений этих интервалов проводилось по специальной математической формуле.

$$z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma_x^-}, \quad (3.3)$$

где \bar{X} - выборочное среднее;

μ_0 - генеральное среднее;

σ_x^- - стандартное отклонение выборочного распределения.

Общая теория статистики дает решение этого уравнения относительно μ_0 и определяет границы доверительных интервалов по формуле:

$$\mu_0 = \bar{X} \pm z_{\alpha/2}(\sigma_x^-), \quad (3.4)$$

где α - ошибка принятия доверительных интервалов.

Для доверительных интервалов с уровнем надежности $p = 95\%$ параметр α принимает значение 0,05. Расчет данных показателей по каждому параметру двигателя при различных скоростных режимах позволяет установить границы доверительных интервалов. Такой анализ дает основание утверждать, что истинные значения генеральной выборки находятся внутри рассчитанных интервалов с 95-процентной вероятностью. Сопоставление эмпирического распределения с теоретическим проводилось с применением критерия Пирсона.

Развитие беспроводных технологий открывает новые перспективы в сфере технического обслуживания и диагностики автотранспортных средств. Беспроводные системы передачи данных предлагают гибкие, масштабируемые и экономически эффективные решения для непрерывного мониторинга состояния агрегатов автомобиля. В отличие от проводных

систем, они позволяют осуществлять удаленную диагностику, снижают затраты на обслуживание и обеспечивают более оперативное реагирование на возможные неисправности. Данная статья рассматривает применение различных беспроводных технологий для непрерывной диагностики, исследуя их потенциал и ограничения в контексте автомобильного транспорта.

Непрерывная диагностика агрегатов автотранспортных средств является важным фактором обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. В настоящее время все больше внимания уделяется применению беспроводных технологий для сбора и передачи данных о состоянии транспортного средства в режиме реального времени. Одной из ключевых задач является анализ возможностей использования различных беспроводных систем передачи данных для решения задач непрерывной диагностики агрегатов автомобилей.

Различные системы беспроводной передачи данных имеют преимущества и недостатки, что определяет область их применения и решение конкретных задач.

Особенности применения беспроводных сетей передачи данных в контексте диагностики:

- Bluetooth/BLE: для локального подключения датчиков к диагностическим инструментам и мобильным устройствам.
- Wi-Fi: для передачи больших объемов данных внутри сервисных центров и складов.
- Сотовые сети: для удаленной диагностики и мониторинга в реальном времени, а также для связи с облачными платформами.
- LoRaWAN/Sigfox/ZigBee: для мониторинга удаленной техники, в условиях, когда требуется большая дальность и низкое энергопотребление датчиков.

Понимание особенностей каждой беспроводной сети помогает сделать осознанный выбор для конкретной задачи диагностики автотранспорта, обеспечивая эффективную и надежную передачу данных.

Цель исследования состоит в изучении возможностей практического применения ZigBee технологии беспроводной передачи данных для решения задач непрерывной диагностики агрегатов автотранспортных средств.

Передача данных от системы непрерывной оценки технического состояния цилиндрико-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания осуществлялась посредством ZigBee технологии беспроводной передачи данных (Рисунок 3.5).

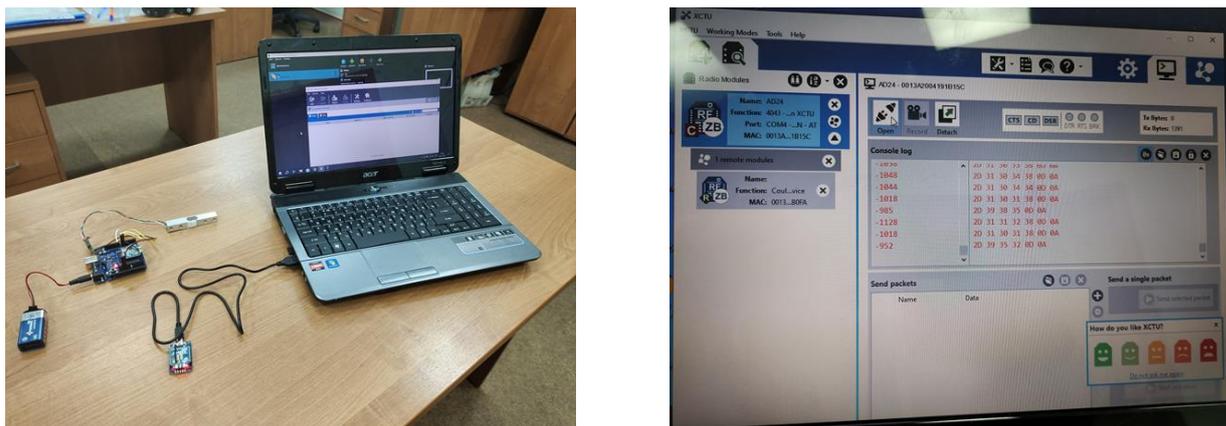


Рисунок 3.5 – Процесс беспроводной передачи данных от измерительного устройства на блок обработки данных

Оценка остаточного ресурса технической системы с учетом динамики изменения диагностических параметров проводилась на основании разработанной математической модели оценки количества картерных газов.

3.4 Выводы по главе 3

1. Для корректной работы системы оперативного контроля параметрической надежности двигателей целесообразно задавать граничные интервалы значений параметров, соответствующие определенной наработке двигателя, что дает возможность оценивать его остаточный ресурс. Аналогично можно использовать метод полиномиальной аппроксимации.

2. Статистическая проверка экспериментальных данных на адекватность описания ими рассматриваемых процессов работы двигателей проводилась с

использованием теории построения доверительных интервалов. По результатам расчетов значения генеральной выборки можно считать лежащими в указанных интервалах с вероятностью 95%.

3. Для определения границ основных параметров характеризующих параметрическую надежность двигателей были построены эмпирические зависимости. Величина достоверности аппроксимаций R^2 основных параметров работы двигателей находится в пределах 0,9164...0,9859, и свидетельствует о высокой точности соответствия математической модели полученным данным.

4. Разработка и внедрение беспроводных систем передачи данных для непрерывной диагностики агрегатов автотранспортных средств открывают новые возможности для повышения надежности, безопасности и эффективности эксплуатации транспортных средств.

5. Применение индивидуального подхода к оценке технического состояния агрегатов автотранспортных средств позволит внедрить обслуживание по фактическому состоянию и вести непрерывный мониторинг на стадии эксплуатации. Данный подход позволит повысить коэффициент готовности парка машин, предотвращать отказы на ранних стадиях и снизить издержки на эксплуатацию.

ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Оценка надежности технических средств непрерывной диагностики

При создании алгоритмических блок-схем необходимо следовать нормам, установленным ЕСПД.

ЕСПД представляет собой набор государственных стандартов, которые определяют согласованные между собой правила по созданию, документированию и использованию программного обеспечения и сопутствующей документации [115, 127].

Нормативы ЕСПД содержат конкретные указания по поддержке, производству, разработке и практическому применению программных продуктов. Это обеспечивает следующие преимущества:

- Возможность компьютеризировать процессы создания и архивирования программной документации;
- оптимизацию трудозатрат и рост продуктивности на всех этапах жизненного цикла программного продукта;
- стандартизацию программных решений для обеспечения их взаимозаменяемости и возможности повторного использования существующих разработок в новых проектах.

Поддержка программного обеспечения представляет собой комплексный процесс, включающий наблюдение за функционированием, усовершенствование возможностей и устранение обнаруженных ошибок в программном коде.

ЕСПД выступает универсальным стандартом, охватывающим все виды программных разработок и сопутствующей документации, вне зависимости от их предназначения и области применения.

На базе математической модели "RADС-ЕК-89-177" был разработан расчетный алгоритм для определения частоты сбоев во время эксплуатации. Его схематическое представление приведено на рисунке 4.1.

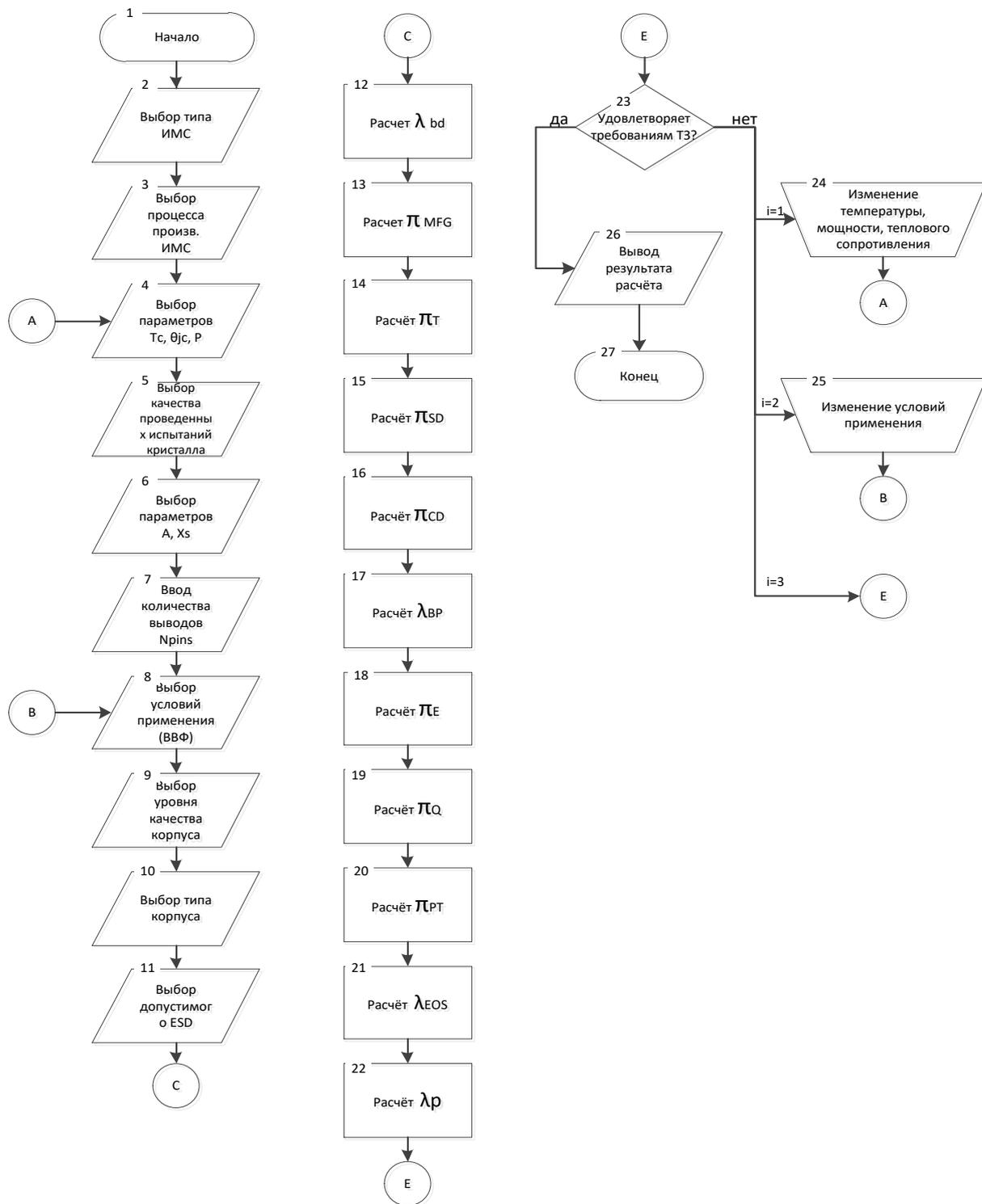


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма расчета эксплуатационной интенсивности отказов

Структура ЕСПД объединяет основополагающие стандарты и методические указания, инструменты автоматизации документирования, а также нормативы, нацеленные на оптимизацию ресурсозатрат на всех стадиях существования программного продукта. При разработке регламентирующей документации для организаций, занимающихся созданием и обслуживанием программного обеспечения, стандарты ЕСПД служат фундаментальной нормативной основой.

При оценке надежности сетевой инфраструктуры с приемопередающими узлами следует рассматривать ее как систему с поэлементным резервированием. Для расчета количественных параметров надежности такой конфигурации предлагается использовать специальную методологическую концепцию.

Введём обозначения:

$P_{io}(t), i = 1, 2, \dots, n$ – вероятность безотказной работы элемента на интервале времени $(0, t)$.

Запишем вероятность отказа i -й группы.

$$q_i(t) = \prod_{j=0}^m q_{ij}(t), \quad (4.1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Запишем вероятность безотказной работы i -й группы. Имеем:

$$P_i(t) = 1 - q_i(t) = 1 - \prod_{j=0}^m [1 - P_{ij}(t)]. \quad (4.2)$$

Запишем вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием:

$$P_c = P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (4.3)$$

Для равно надёжных элементов системы:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) = 1 - (1 - P_i(t))^n \quad (4.4)$$

Эффективность резервирования принято оценивать при помощи коэффициента повышения надёжности γ , который определяют по показателям

безотказности из соотношений:

$$\gamma_p = P(t)_p / P(t) \quad (4.5)$$

$$\gamma_Q = Q(t) / Q(t)_p, \quad (4.6)$$

где $P(t)_p, Q(t)_p$, – вероятность безотказной работы и вероятность отказа для резервируемой системы, а $P(t)$ и $Q(t)$ – вероятность безотказной работы и вероятность отказа для не резервируемой системы.

Расчет вероятности безотказной работы объектов, элементы которых соединены последовательно, производится по формуле:
 $P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t)$,

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t), \quad (4.7)$$

где $P(t)$ – вероятность отказа объекта за наработку t ;

$P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятность отказа за наработку t соответственно 1, 2, ..., n -го элементов, составляющих объект.

Вероятность безотказной работы системы, элементы которых соединены параллельно, определяется:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_i(t)] \right] \quad (4.8)$$

Создание блок схемы алгоритма расчета надежности на основе математической модели возможно с использованием специальных программных средств (Рисунок 4.2).

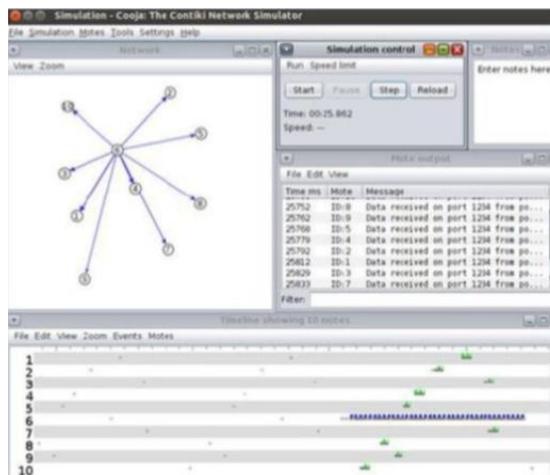


Рисунок 4.2 – Окно симулятора Cooja

Симулятор сети, для операционной системы (ОС) Contiki, специально разработанный для беспроводных сенсорных сетей, позволяющий оценить возможности разрабатываемой сети до ее непосредственной реализации.

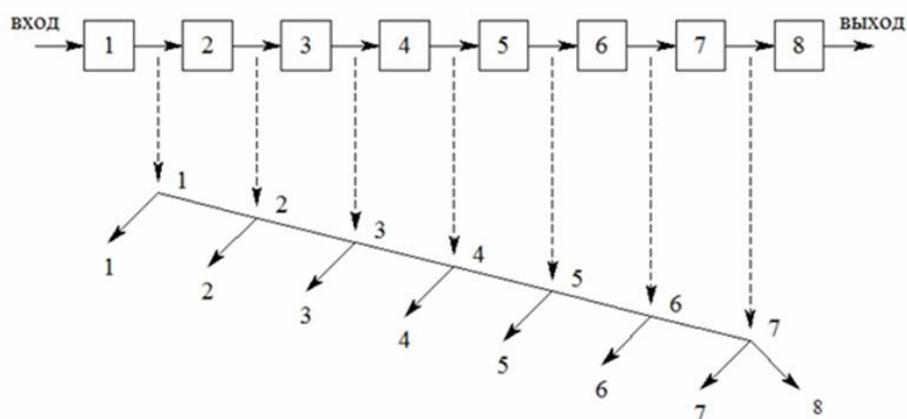


Рисунок 4.3 – Реализация метода последовательных элементарных проверок

Процесс технической диагностики неизбежно включает применение различных методик обнаружения неисправностей.

В ситуациях с ограниченным числом проверяемых компонентов существует возможность применения двух основных подходов. Первый предусматривает проведение комплексной диагностики во время планового технического обслуживания. Второй базируется на поэтапном выполнении простых диагностических операций, которые могут проводиться как в постоянном режиме, так и через определенные интервалы времени на протяжении всего эксплуатационного периода транспортного средства.

4.2 Разработка методики автоматического диагностирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств

Методика дистанционного автоматизированного диагностирования технического состояния включает следующие этапы, показанные на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Методика непрерывного диагностирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств

При выполнении задач повседневной деятельности происходит постоянный мониторинг технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств встроенной системой само-диагностирования с накоплением данных на сервере инженерно-технической службы воинской части и оценкой остаточного ресурса того или иного агрегата в реальном времени.

В случае возникновения необходимости в проведении технического обслуживания (замены масла, проведения регулировочных работ) или текущего ремонта (возникновение неисправности в агрегате) от датчика, установленного на агрегате, сигнал поступает на блок обработки информации.

В блоке обработки информации сигнал подвергается сопоставлению с эталонными значениями и устанавливается природа возникновения отклонения сигнала от эталонного значения.

Данные, полученные по итогам обработки сигнала, визуализируются посредством вывода информации об остаточном ресурсе до проведения очередного технического обслуживания или возникновения неисправности на внешний носитель – дисплей в кабине водителя.

Данная методика позволяет в реальном времени отслеживать фактическое техническое состояние автотранспортных средств, оценивать остаточный ресурс агрегатов (механизмов) не допуская потери работоспособного состояния.

Баланс между уровнем сервиса и стоимостью склада дилера

Для склада запасных частей дилера первично недопущение дефицита запасных частей. При этом, задачи минимизации затрат и минимизации объемов хранения являются конкурирующими. Использование величины затрат на хранение единицы товара определяется по формуле Уилсона.

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2FC_0}{C_h}}, \quad (4.9)$$

где Q_{opt} – оптимальный размер заказа, ед.;

A – потребность в материале за период, ед.;

C_0 – затраты, связанные с совершением заказа, у.е.;

C_h - затраты на хранение единицы продукции за период, у.е.

Определение значимости запасных частей и обязательности наличия их на складе дилера можно осуществлять исходя из критичности отказов связанных с ними.

В ситуациях, когда применение традиционных количественных методов статистического анализа становится невозможным из-за отсутствия необходимых наблюдений, возникает потребность в альтернативных подходах. В таких случаях целесообразно обратиться либо к качественным методам исследования, либо к специализированным формализованным

методикам обработки экспертных оценок.



Рисунок 4.5 – Классификация критичности отказов и допустимый уровень сервиса

Теория неопределенности Лю представляет собой один из эффективных инструментов решения подобных задач. Её уникальность заключается в возможности трансформации случайной величины ξ в неопределенный параметр. При этом эксперт может установить меру неопределенности $M\{\xi \leq x\}$, определив для неё соответствующую функцию распределения $\Phi(x)$.

Применение распределенных сенсорных сетей для решения задач прогнозирования технологических процессов технического обслуживания и ремонта машин и оборудования позволяет снизить затраты при управлении фондом запасных частей в результате повышения точности оценок их потребности.

Уменьшение объемов хранения возможно достигнуть на складе запасных частей за счет использования более точных методов прогнозирования, базирующихся на анализе диагностической информации, полученной посредством распределенных сетей.

Стратегические ориентиры развития

1. Формирование комплексной информационной экосистемы предприятия, обеспечивающей взаимосвязь всех ключевых бизнес-процессов: ремонтных работ, логистических операций, складского учета, финансового менеджмента и управления персоналом.

2. Совершенствование эффективности операционной деятельности и повышение качества управленческих решений.
3. Обеспечение мгновенного доступа к актуальной информации для принятия решений.
4. Внедрение современных методов планирования и прогностического анализа.
5. Сокращение избыточных складских запасов посредством внедрения системы поставок Just-in-time.
6. Создание эффективной системы информационного взаимодействия с контрагентами (клиентами и поставщиками).

4.3 Стратегия повышения эффективности технического сервиса автотранспортных средств путем управления запасами

Управление материальными запасами, особенно в контексте текущего довольствия и долгосрочного хранения ("войсковых запасов"), представляет собой критически важную практическую задачу. Неэффективное управление складскими ресурсами приводит к серьезным последствиям, выражающимся как в снижении общей результативности, так и в увеличении различных категорий издержек.

Вопрос рационального управления запасами сохраняет свою актуальность на протяжении длительного времени. Ключевым фактором при проектировании системы складского менеджмента выступает принцип соответствия норм эшелонирования реальным потребностям организации, обеспечивающий необходимую достаточность ресурсов.

Современная теория управления запасами включает комплекс аналитических методов для решения задач регулирования материальных ценностей при автономной потребности по различным номенклатурным позициям. При решении подобных задач требуется определить оптимальный

объем запасов с учетом двух типов потерь: связанных с недостаточным потреблением и обусловленных затратами на складское хранение [49, 50].

Необходимость управления запасами возникает везде, где требуется определить оптимальный уровень резервных материальных ценностей и запасных частей. Данная задача представляет собой поиск баланса между двумя крайностями: избыточные запасы ведут к неэффективному использованию ресурсов и повышенным затратам на хранение, тогда как их недостаток вызывает сбои в системе обеспечения. Установление рационального объема запасов позволяет одновременно избежать излишков и обеспечить бесперебойность технического обслуживания [49, 51].

Сущность управления запасами заключается в определении оптимальных параметров пополнения: временных интервалов и объемов заказов. Оптимальной считается стратегия, минимизирующая совокупные затраты. Поиск таких стратегий является основной задачей теории оптимального управления запасами.

В практике управления запасами выделяются два базовых стратегических подхода [49, 50]:

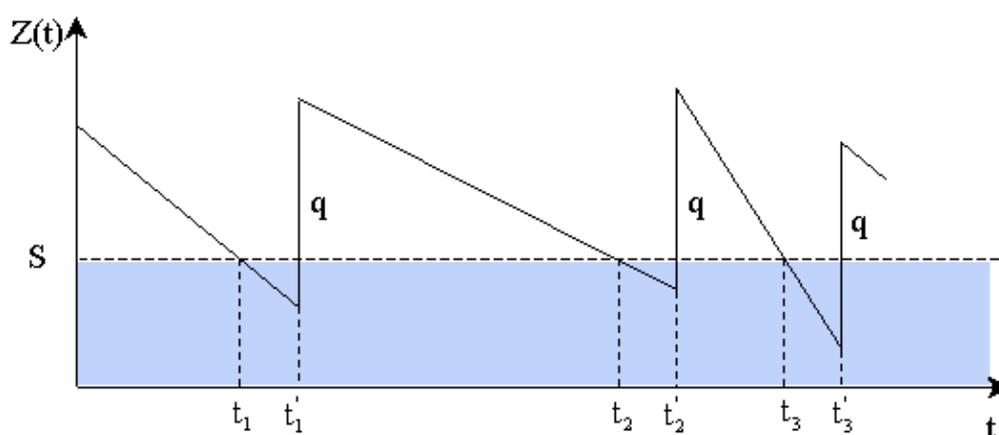
- 1) Система с постоянным объемом заказа
- 2) Система с фиксированным интервалом между заказами.

Отличительной чертой стратегии управления запасами с фиксированным объемом заказа является неизменность размера поступающих партий при динамических интервалах поставок. Запуск процесса нового заказа происходит автоматически при достижении запасами определенного порогового уровня, называемого "точкой заказа". Таким образом, периодичность поставок напрямую зависит от темпа потребления складских ресурсов. Наглядное изображение этого механизма можно увидеть на рисунке 4.6.

Эффективность данной системы обеспечивается двумя основополагающими параметрами: пороговым значением "точки заказа" (S

или ROP - Reorder Point) и фиксированным объемом заказываемой партии (q или ROQ - Reorder Quantity).

Особую роль играет заготовительный период - временной промежуток от момента размещения заказа до фактического поступления материальных ценностей на склад. В различных моделях его продолжительность может трактоваться двояко: как постоянная величина или как вероятностная характеристика, подчиняющаяся определенному закону распределения.



$Z(t)$ – величина запаса продукции на складе; S – «точка заказа» (ROP – Reorder Point); $q = \text{const}$ – объем доставляемой партии; $t_1' - t_1$, $t_2' - t_2$, $t_3' - t_3$ – продолжительность заготовительного периода

Рисунок 4.6 – Движение запаса продукции при использовании стратегии с фиксированным размером заказа

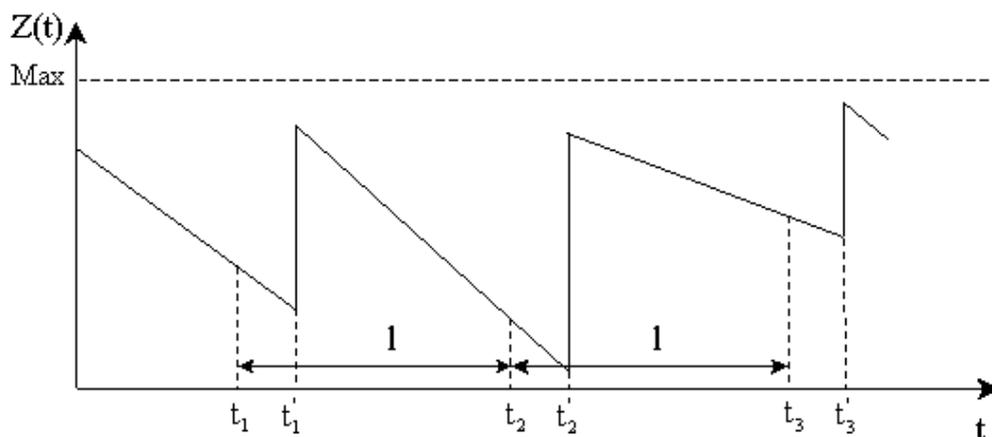
Стратегия управления запасами с фиксированным объемом поставки требует непрерывного контроля складских остатков для определения момента достижения "точки заказа". Такой подход демонстрирует особую эффективность при работе с критическими материальными ресурсами, обеспечивая тщательный мониторинг запасов и своевременное реагирование на угрозу их исчерпания.

В противоположность этому, система с фиксированным интервалом поставки основывается на временном принципе - заказы размещаются через равные промежутки времени. Баланс складских запасов поддерживается

путем варьирования объема заказываемых партий. Размер очередной поставки определяется как разность между установленным максимальным уровнем и фактическим количеством ресурсов при формировании заказа, что отражено на рисунке 4.7.

Работа данной системы определяется двумя основными параметрами: максимально допустимым уровнем запасов (Max) и временным интервалом между последовательными заказами (l), который также называют периодом планирования.

Несомненным достоинством такого подхода является отсутствие потребности в непрерывном мониторинге складских остатков. Однако система не лишена существенных изъянов. В частности, возможны ситуации, когда приходится оформлять заказы на минимальные партии товара. Кроме того, существует опасность полного истощения запасов при внезапном росте потребления до наступления очередного планового момента заказа [49, 52].



Max – максимальный (плановый) уровень;

l – интервал между заказами (планируемый период)

Рисунок 4.7 – Движение запаса продукции при использовании стратегии с фиксированной периодичностью заказа

На рисунке 2.3 детально представлен механизм работы двух базовых стратегий управления складскими запасами.

Помимо основных подходов, существуют различные модифицированные стратегии, разработанные для повышения эффективности классических методов управления запасами.



Рисунок 4.8 – Порядок функционирования основных стратегий управления запасами

Одной из таких модификаций является система с фиктивным уровнем запаса [49, 52], представляющая собой усовершенствованную версию стратегии с фиксированным размером заказа. Она особенно эффективна в условиях неопределенности, когда потребность в материалах и/или сроки поставок носят вероятностный характер. В подобных ситуациях возможен

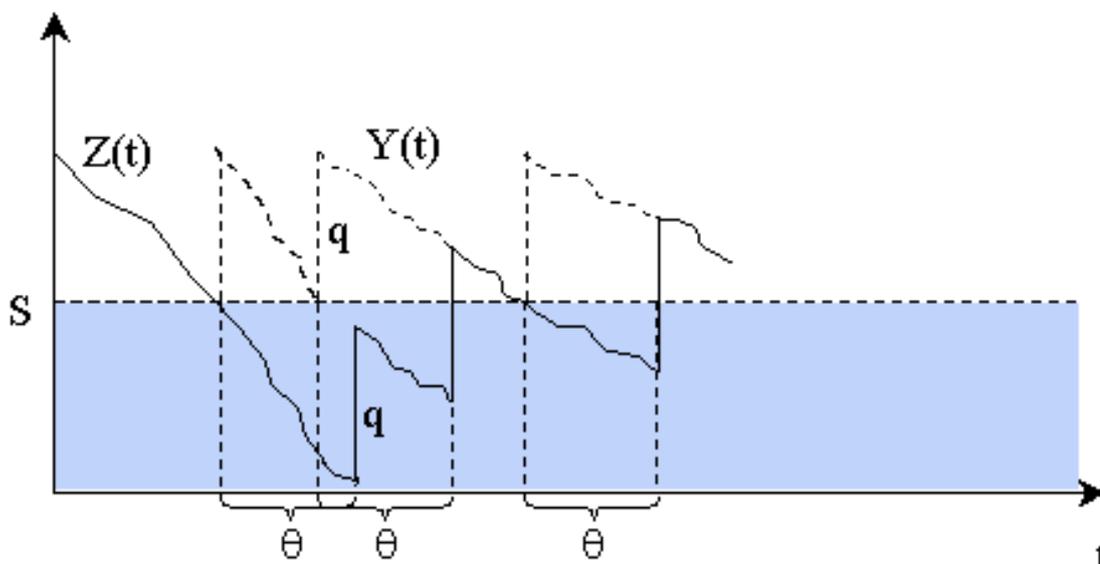
сценарий, при котором даже после получения новой партии уровень запасов остается ниже "точки заказа", что требует немедленного размещения следующего заказа. Преимущество данной системы заключается в возможности прогнозирования такой ситуации и заблаговременного размещения нового заказа, не дожидаясь фактического поступления предыдущей партии.

Ключевым элементом данной стратегии управления выступает особый показатель - фиктивный уровень запаса $Y(t)$. Этот параметр складывается из реально имеющихся на складе ресурсов и тех материальных ценностей, которые находятся в пути. Механизм действия стратегии предельно четок: как только $Y(t)$ достигает определенного порогового значения S , именуемого "точкой заказа", инициируется процесс оформления нового заказа. Визуальное отображение этого процесса представлено на иллюстрации.

Особого внимания заслуживает модифицированная версия второй базовой стратегии - система с фиксированной периодичностью и двумя установленными уровнями [49, 53]. Ее отличительной чертой является наличие не только верхней планки максимального запаса, но и нижнего порогового значения. Специфика работы такова: при снижении запасов до минимальной отметки до наступления планового срока заказа автоматически формируется внеплановая заявка. В прочие периоды система функционирует согласно стандартному алгоритму с фиксированными интервалами между заказами.

Динамика складских запасов при применении стратегии с фиксированным интервалом и двумя контрольными уровнями наглядно представлена на рисунке 4.10.

Главное преимущество данного подхода заключается в надежной защите от дефицита материальных ресурсов. Однако существенным недостатком выступает необходимость постоянного мониторинга уровня складских остатков, что требует дополнительных трудозатрат.



$Y(t)$ – пунктирная линия, фиктивный уровень запаса;

$Z(t)$ – сплошная линия, реальный уровень запаса на складе;

θ – продолжительность заготовительного периода

Рисунок 4.9 – Движение запаса продукции при использовании стратегии с фиктивным уровнем запаса

Критерии оптимизации в системах управления запасами определяются через минимизацию совокупных затрат, включающих расходы на формирование запасов, затраты на хранение материальных ценностей, а также потенциальные убытки от нарушения бесперебойности поставок потребителям.

При расчете целевой функции принимаются во внимание исключительно те издержки, которые находятся в прямой зависимости от объема поставляемых партий и текущего уровня складских запасов [49, 53]. Следовательно, оптимальной признается такая стратегия управления, которая обеспечивает минимальное значение суммарных затрат при сохранении требуемого уровня обеспечения потребителей.

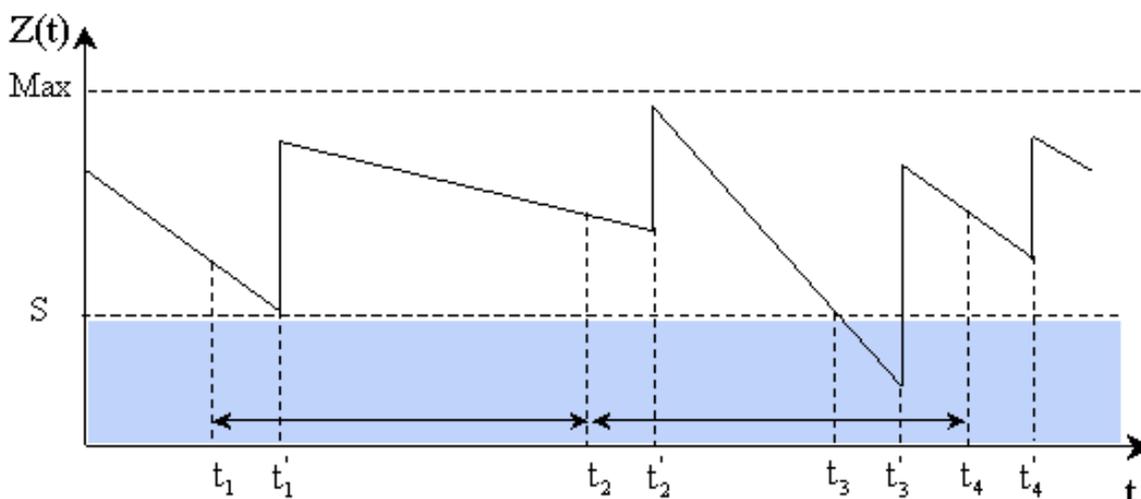


Рисунок 4.10 – Движение запаса запасных частей при использовании стратегии с фиксированной периодичностью и двумя фиксированными уровнями

В моделях управления запасами ключевой элемент - целевая функция, направленная на сведение к минимуму общих издержек [50, 53]. Эти издержки формируются из нескольких существенных составляющих.

Основополагающим компонентом выступают потери, связанные с перебоями в поставках продукции. Для измерения этих дефицитных издержек применяется показатель a , отражающий экономический ущерб от нехватки одной единицы товара.

Следующим важным аспектом являются расходы на поддержание складского хозяйства. Эта статья затрат выражается через индикатор b , который показывает, во сколько обходится хранение единичного объема продукции в течение одного временного интервала.

Заключительный компонент затрат связан с логистической составляющей - организацией поставок. В базовом варианте эти издержки характеризуются параметром c , определяющим финансовые затраты на проведение одной отдельно взятой поставки.

$$c(q) = c_0 + c_1q, \quad (4.10)$$

где q – количество заказанной продукции,

c_0 – издержки, не зависящие от объема заказа и связанные с самим фактом его производства;

c_1 – закупочная цена единицы продукции.

Присутствие ненулевой константы c_0 в структуре издержек $c(q)$ обуславливает необходимость ограничения частоты заказов и, как следствие, создания складских помещений.

При увеличении уровня складских запасов наблюдается следующая динамика затрат: издержки первой категории (связанные с дефицитом) демонстрируют тенденцию к снижению, что объясняется уменьшением риска нехватки материальных ценностей. Одновременно с этим затраты на хранение показывают рост (как линейный, так и нелинейный), тогда как организационные расходы на поставки сокращаются, поскольку больший объем запасов позволяет снизить частоту заказов [50, 53].

График суммарных затрат, отображенный пунктирной линией на рисунке 2.6, характеризуется четко выраженной точкой минимума. Это свидетельствует о существовании оптимального уровня запаса Z^* , при котором достигается минимальное значение совокупных издержек V_{min} .

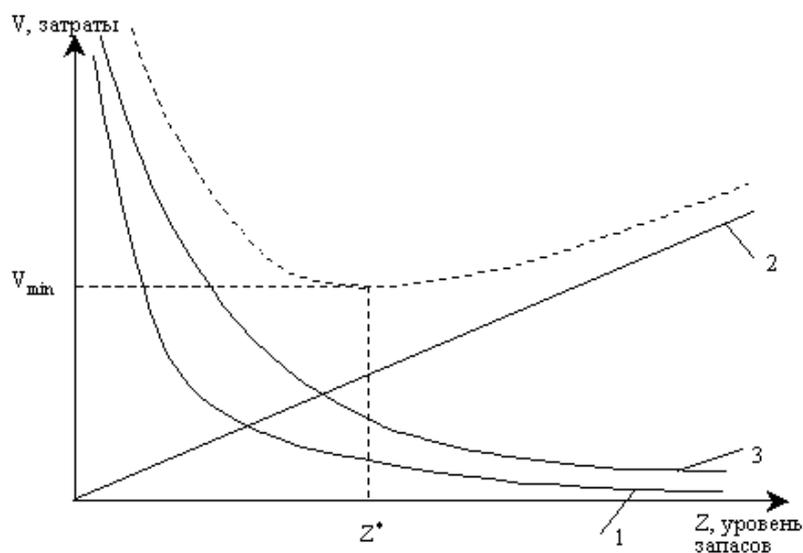


Рисунок 4.11 – Зависимость величины затрат от среднего уровня запаса

В процессе функционирования происходит постепенное расходование запаса, что требует регулярного оформления заявок для его восполнения. Анализируя системы складского хранения, специалисты обычно ставят своей целью максимально снизить усредненные временные затраты на обеспечение работоспособности системы. Структура этих затрат может быть выражена следующим образом [49, 50, 54]:

$$V = \frac{1}{\tau} \left(\int_0^i f(Z(t)) dt + c_0 n(\tau) + c_1 d(\tau) \right) \rightarrow \min, \quad (4.11)$$

где τ – рассматриваемый период времени;

$n(\tau)$ – полное число поставок за период $[0, \tau]$;

$d(\tau)$ – общий объем заказанной продукции за период $[0, \tau]$.

Функция $f(Z)$ в частном случае подсчитывается по формуле:

$$f(Z) = \begin{cases} -aZ, & \text{при } Z \leq 0 \\ 0, & \\ bZ, & \text{при } Z > 0. \end{cases} \quad (4.12)$$

Когда величина Z принимает отрицательные значения, это указывает на дефицит продукта, при котором существующий спрос превышает имеющиеся запасы.

4.4 Оценка экономического эффекта внедрения непрерывного диагностирования узлов и агрегатов автотранспортных средств

Исправной считается машина, находящаяся в состоянии, при котором она соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Исправность (работоспособность) машин, оценивается по величине коэффициента технической готовности – $K_{ТГ}$, определяемого по формуле [150]:

$$K_{ТГ} = \frac{N_u}{N_c - (N_{cp} + N_{kp})}; \quad (4.13)$$

где: N_u – число исправных (работоспособных) в рассматриваемый момент времени машин; N_c – списочное количество машин; N_{cp} и $N_{кр}$ – число машин, находящихся в плановых средних и капитальных ремонтах.

Приняв коэффициент технической готовности автомобильного подразделения равным 0,9. Тогда общая численность исправных машин составит: $0,9 \times 48 = 43$.

Таким образом, расчёт годовой экономии средств при автоматизированном диагностировании проводим применительно к 43 автомобилям.

Годовая экономия определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = (Z_{кр} - Z_{птд} - I_{ст}) W_{кр} \quad (4.14)$$

где: $Z_{кр}$ – затраты на капитальный ремонт двигателей, по данным ОАО «Завод Старт», $Z_{кр} = 274\,117$ руб. по состоянию на 1 октября 2024 года; $Z_{птд}$ – затраты на устранение неисправностей, связанных с выходом из строя цилиндно-поршневой группы, руб.; $I_{ст}$ – дополнительные затраты, связанные с мониторингом количества картерных газов с применением предложенной методики; $W_{кр}$ – годовая программа капитальных ремонтов, шт.

Срок окупаемости определим по формуле:

$$T_o = \frac{K}{\mathcal{E}_Г}, \quad (4.15)$$

где: K – капитальные вложения, руб.

Капитальные вложения определяются суммой следующих затрат:

$$K = C_o + N_{сн} + T_{рас} \quad (4.16)$$

где C_o – отпускная цена устройства контроля картерных газов, $C_o = 50$ тыс. руб.; $N_{сн}$ – наценка снабженческих организаций, $N_{сн} = 25\%$ от цены изделия; $T_{рас}$ – транспортные расходы, $T_{рас} = 10\%$ от цены изделия.

Таким образом, капитальные вложения составят:

$$K=150000+0,25\times 150000+0,1\times 150000=202500 \text{ руб.}$$

$$K=50000+0,25\times 50000+0,1\times 50000=67500 \text{ руб.}$$

Годовое количество капитальных ремонтов для 18 двигателей определим по формуле:

$$N_{\text{кр}}=(B\times n)/A_{\text{кр}} \quad (4.17)$$

где: B – среднегодовая наработка, примем $B=100$ ч.; n – количество, шт.;

$A_{\text{кр}}$ – межремонтная наработка между капитальными ремонтами, $A_{\text{кр}}=1500$ ч.

Получим:

$$N_{\text{кр}}=(100\times 43)/1500 \approx 2,9$$

В соответствии с установленными параметрами, парк из 43 силовых агрегатов (бортовой удлиненный автомобиль Газель NEXТ (Некст) А21R32 со стальными бортами) требует проведения 2,9 капитальных восстановительных работ. Что касается технического обслуживания категории ТО-1000, его необходимо выполнять через каждые 50 моточасов. Расчёт, основанный на коэффициенте цикличности, показал потребность в 314 таких обслуживаниях. Таким образом, на один двигатель в год приходится приблизительно 7 ТО-1000.

Выход из строя двигателя зачастую сопровождается обязательной аварийной остановкой всего автомобиля. Допустим, что завод-изготовитель с целью повышения эффективности готов проводить периодическое техническое диагностирование (далее ПТД) в стационарных условиях для предупреждения аварийного выхода её из строя, совмещая её с одним из плановых ТО-1000. Исходя из этого, принимаем коэффициент охвата периодического технического диагностирования ЦПГ в стационарных условиях α , необходимость которой обусловлена предупреждением случаев аварий, равным 0,5.

Число ПДТ, потребных для предупреждения случаев аварий определим по формуле:

$$N_{\text{ПТД}} = N_{\text{ПТД}} \times a \quad (4.18)$$

Получим:

$$N_{\text{ПТД}} = 7 \times 0,5 = 3,5$$

Затраты на ПДТ, связанные с предупреждения случаев аварий, определим по формуле:

$$Z_{\text{ПТД}} = (C_{\text{зч}} + C_{\text{зам}}) \times N_{\text{ПТД}} \quad (4.19)$$

где: $C_{\text{зч}}$ – стоимость запасных частей, $C_{\text{зч}} = 34$ тыс. руб.; $C_{\text{зам}}$ – стоимость затрат, связанных с устранением неисправности; $N_{\text{ПТД}}$ – количество ПДТ, связанных с предупреждения случаев отказа двигателя.

Опишем стоимость затрат, связанных с устранением неисправности, следующей формулой:

$$C_{\text{зам}} = 0,1 \times C_{\text{зч}} \quad (4.20)$$

$$C_{\text{зам}} = 0,1 \times 34\,000 = 3400 \text{ руб.}$$

Отсюда стоимость затрат, связанных с устранением неисправности, составит:

$$Z_{\text{ПТД}} = (34000 + 3400) \times 3,5 = 130900 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты складываются из следующих затрат:

$$I_{\text{СТ}} = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + A + \text{ТР} + \text{Эл} \quad (4.21)$$

где: $C_{\text{ЗП}}$ – заработная плата специалиста-диагноста, руб.; $C_{\text{соц}}$ – отчисления во внебюджетный фонд, руб.; A – амортизационные отчисления, руб.; ТР – затраты на текущий ремонт, руб.; Эл – затраты на электроэнергию, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды определим по формуле:

$$C_{\text{СОЦ}} = E_{\text{СОЦ}} + C_{\text{СТР}} \quad (4.22)$$

где: $E_{\text{соц}}$ – единый социальный налог; $C_{\text{стр}}$ – страхование от несчастных случаев, принимаем 2% от $C_{\text{ЗП}}$.

Примем заработную плату специалиста-диагноста $C_{зп}$ равной 90 тыс. руб.

Таким образом, $C_{стр}$ составит следующую сумму:

$$C_{стр} = 0,02 \times 90000 = 1800 \text{ руб.}$$

Единый социальный налог рассчитывается исходя из следующих начислений:

$$E_{соц} = C_{пф} + C_{мс} + C_{сс} \quad (4.23)$$

где: $C_{пф}$ – отчисления в пенсионный фонд, принимаем 14% от $C_{зп}$;

$C_{мс}$ – отчисления в фонд обязательного медицинского страхования 3,6% от $C_{зп}$;

$C_{сс}$ – отчисления в фонд социального страхования, 2,4% от $C_{зп}$.

Таким образом, получим следующий размер единого социального налога:

$$E_{соц} = 30000 \times 0,14 + 30000 \times 0,036 + 30000 \times 0,024 = 6000 \text{ руб.}$$

$$E_{соц} = 90000 \times 0,14 + 90000 \times 0,036 + 90000 \times 0,024 = 18000 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды тогда составят:

$$C_{соц} = 18000 + 1800 = 19800 \text{ руб.}$$

Определяем амортизационные отчисления при эксплуатации и текущем ремонте:

$$A = \frac{(B \times \alpha)}{(100 \times W)} \quad (4.24)$$

Где: B – балансовая стоимость системы диагностики, $B = K = 202500$ руб.;

α – норма амортизации, $\alpha = 15\%$; W – годовая программа, $W = 12$ шт.

Получаем:

$$A = \frac{(202500 \times 15)}{(100 \times 12)} \approx 2500 \text{ руб.}$$

Исходя из имеющегося опыта эксплуатации системы диагностики затраты на ее текущее обслуживание и ремонт, а также на расходные материалы к нему, принимаем равным:

$$TP = 10000 \text{ руб.}$$

Учитывая портативность прибора и крайне незначительную величину потребляемой мощности, то в расчете эксплуатационных затрат она не учитывалась.

Таким образом, размер дополнительных затрат составит:

$$I_{CT} = 30000 + 6600 + 2500 + 10000 = 49100 \text{ руб.}$$

$$I_{CT} = 90000 + 19800 + 2500 + 10000 = 122300 \text{ руб.}$$

Подводя итоги проведенным выше расчётам, оцениваем годовую экономию средств при автоматизированном диагностировании для 43 автомобилей по предложенной методике:

$$\mathcal{E}_r = (150000 - 38500 - 49100) \times 1,2 = 74880 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_r = (274117 - 130900 - 122300) \times 1,2 = 25100 \text{ руб.}$$

Таким образом, срок окупаемости внедрения разработанных технических средств и методики составит:

$$T_o = \frac{67500}{25100} = 2,7 \text{ года.}$$

В заключение следует отметить, что применение непрерывного диагностирования предложенной методикой с применением системы контроля картерных газов позволяет отказаться от специально оборудованных стационарных испытательных лабораторий. При этом оперативность и простота проводимых испытаний одновременно обеспечивают высокую точность оценки технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств.

4.5 Выводы по главе 4

1. Оценка надежности технических средств непрерывной диагностики является критически важной для обеспечения их эффективного функционирования и достижения целей, для которых они предназначены – непрерывного мониторинга и выявления отклонений в работе контролируемых узлов и агрегатов автотранспортных средств. Предложенные методики позволяют обеспечить требуемый уровень надежности технических средств непрерывной диагностики.

2. Разработанная методика непрерывного диагностирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств позволяет перейти к обслуживанию по фактическому состоянию (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024666051).

3. На основании разработанной методики технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств предложена стратегия повышения эффективности технического сервиса путем управления запасами.

4. Срок окупаемости внедрения разработанных технических средств и методики составил 2,7 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проанализированы способы и обоснована необходимость оценки эксплуатационной надежности двигателей с целью коррекции интервалов их технического обслуживания и ремонта. Получены нормативные значения максимальных и минимальных значений картерных газов, косвенно характеризующих техническое состояние цилиндро-поршневой группы двигателя УМЗ 4216-170 и построены полиномиальные аппроксимации граничных значений с достоверностью $R^2 = 0,9859$.

2. Разработанное устройство непрерывной оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания (Патент на полезную модель RU 223207), в совокупности с техническими средствами, использующими беспроводные каналы передачи данных посредством сети Zigbee с ячеистой mesh - топологией, позволяют создавать диагностические системы с широким набором контролируемых параметров.

3. Применение математических моделей для выбора оптимальных сроков проведения плановых восстановительных работ и разработанного программного комплекса оценки остаточного ресурса технической системы с учетом динамики изменения диагностических параметров (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024666051), позволяет увеличить коэффициент готовности парка машин.

4. Проведенный расчет годовой экономии средств при использовании системы непрерывной оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя показал целесообразность ее внедрения. При внедрении системы на примере автопарка численностью 43 единицы срок окупаемости составил 2,7 года.

5. Разработанные научно обоснованные рекомендации по совершенствованию системы технического обслуживания с применением средств непрерывной диагностики позволяют повысить организационно-технический уровень обслуживания и снизить затраты при сохранении уровня готовности автотранспортных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдучевский В.С. Вибрации в технике / В.С. Авдучевский, И.И. Артоболевский, Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 2017. – 544 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: «Наука». – 2016. – 278 с.
3. Алтухов А.Ю. Гибридные технологии в автомобилестроении / А.Ю. Алтухов, Ю.А. Мальнева. – Курск: ЗАО "Университетская книга», 2020. – 213 с.
4. Афонин М.А. Применение CALS–технологии информационной поддержки на стадии эксплуатации автотранспортных средств как способ обеспечения их надежности / М.А. Афонин, А.Е. Клименко, Д.В. Варнаков // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно–научный журнал. – 2018. – № 2 (46). – С. 41–50.
5. Баженов Ю.В. Основы надежности и работоспособности технических систем: учеб. пособие / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов. – Владимир: Изд. «Влад. ГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», 2017. – 267 с. – ISBN 978–5–9984–0785–7.
6. Базаров Б. И. Энергоэкологическая эффективность альтернативных моторных топлив / Б.И. Базаров // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 20–22.
7. Бакурский Н.Н. О проблемах неразрушающего контроля в Саратовском регионе / Н.Н. Бакурский // Контроль и диагностика, 2014. – С. 10–12.
8. Балицкий Ф.Я. Диагностика состояния планетарного редуктора для некоторых параметров / Ф.Я. Балицкий, А.Г. Соколова // Новые методы исследования шумов и вибрации и кибернетическая диагностика машин и механизмов, 2016. – 74–82 с.

9. Бармашова Л.В. Электронные системы автомобиля и их диагностика / Л.В. Бармашова, А.А. Матисов, В.Н. Сидоров – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020. – 432 с.
10. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2014. – 176 с.
11. Батищев Р.В. Надежность технических систем / Р.В. Батищев // Методические указания к лабораторным работам. – Липецк ФГБОУ ВО «ЛГТУ», 2020. – 34 с.
12. Безбородов Ю.Н., Основы работоспособности технических систем / Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников, В.Г. Шрам. – Красноярск: СФУ, 2013. – 244 с.
13. Беккер П. Проектирование надежных электронных схем / П. Беккер, Ф. Йенсен. – М.: Советское радио, 1977. – 256 с.
14. Белевитин В.А. Диагностика, обслуживание и ремонт автомобилей / В.А. Белевитин, Е.П. Меркулов, М.Л. Хасанова. – Челябинск: ЮУрГГПУ, 2021. – 194 с.
15. Беляев Ю.К. Надёжность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин. – М.: Союзполиттипография, 1984. – 659 с.
16. Богатырев А.В. Автомобили / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский–Лашков, М.Л. Насоновский, В.А. Чернышев; под ред. А.В. Богатырева. – М.: Колос, – 2004. – 496 с.
17. Богданов В.С. Особенности технической эксплуатации автомобильного транспорта в особых условиях / В.С. Богданов, А.Н. Журилин, Р.Н. Егоров // – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2017. – 140 с.
18. Бондал Г.В. Экспертно–исследовательская компьютерная система диагностики деталей машин и конструкций / Г.В. Бондал, В.Н. Лозовский, М.С. Ямпольский // Контроль и диагностика. – 2008. – №2. – 32–40 с.
19. Борисов А.В. Управляемые Марковские скачкообразные процессы. Мониторинг и оптимизация функционирования ТСП-соединений /

А.В. Борисов, Г.Б. Миллер, А.И. Стефанович // – Издательство: Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2019. – № 1. – С. 13–30.

20. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. / В.П. Боровиков // Издание 2-е. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

21. Боровиков В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 392 с.

22. Букирёв А. С., Савченко А. Ю., Яцечко М. И., Малышев В. А. Система диагностики технического состояния комплекса бортового оборудования воздушного судна на основе интеллектуальных информационных технологий / А.С. Букирёв, А.Ю. Савченко, М.И. Яцечко, В.А. Малышев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. Т. 8. – № 1 (28).

23. Варнаков В.В. Оценка качества ремонта двигателей при сертификации по результатам обкаточных испытаний / В.В. Варнаков, А.В. Погодин, Д.В. Варнаков // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: – №8. – 2005. – С. 19–21.

24. Варнаков В.В. Построение математической модели технического сервиса. / В.В. Варнаков, А.С. Карпов, М.Е. Дежаткин // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 3. – С. 73–75.

25. Варнаков В.В. Теоретические основы параметрической надежности тягово-транспортных средств в АПК / В.В. Варнаков, Д.В. Варнаков, Е.А. Варнакова. – М.: ООО УМЦ «Триада», 2016. – 98 с.

26. Варнаков Д. В. Устройство непрерывной оценки технического состояния цилиндра-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания / Д.В. Варнаков, А.Н. Юденичев, В.В. Варнаков, А.С. Неваев, Д.Л. Сергеев, О.А. Ерёмин // патент на полезную модель RU 223207 U1. - Россия, - 2024.

27. Варнаков Д.В. Влияние метода прогнозирования достаточной надежности по обобщенному параметру на динамическую характеристику автотранспортных средств / Д.В. Варнаков // Международный технико-экономический журнал. – М.: – № 2. – 2012. – С. 113–119.

28. Варнаков Д.В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей автотранспортных средств / Д.В.Варнаков // Монография. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 124 с. – ISBN 978-5-88866-486-5.

29. Варнаков Д.В. Моделирование и оптимизация ремонтных воздействий технического сервиса автотранспортных средств // Д.В. Варнаков, С.А. Симачков, В.В. Варнаков, Е.В. Коткова, О.А. Высочкина // В сборнике: Научные тенденции: вопросы точных и технических наук. сборник научных трудов по материалам XII международной научной конференции. Международная Объединенная Академия Наук. – 2017. – С. 31–35.

30. Варнаков Д.В. Непрерывная диагностика двигателей автотранспортных средств по прогнозирующим параметрам / Д.В. Варнаков, А.Н. Юденичев, Е.А. Варнакова // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 1. – С. 18–21.

31. Варнаков Д.В. Обеспечение надежности и экологичности автомобилей на основе оценки параметров их работы и качества запасных частей. / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Е.А. Варнакова, М.Е. Дежаткин // Монография. – Ульяновск: УлГУ, 2015. – 143 с.

32. Варнаков Д.В. Обеспечение ресурсосбережения путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию технических систем / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Ф.В. Чекалин, Е.А. Варнакова // В сборнике: Актуальные проблемы развития социально-экономических систем. Сборник научных трудов. – 2016. – С. 483–488.

33. Варнаков Д.В. Оптимизация системы технического сервиса путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию машин / Д.В. Варнаков,

В.В. Варнаков, М.Е. Дежаткин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2 (38). – С. 168–173.

34. Варнаков Д.В. Оценка эффективности технической системы по параметрам ее состояний / Д.В. Варнаков, А.М. Карев // Международный технико–экономический журнал. – 2018. – № 2. – С. 61–65.

35. Варнаков Д.В. Повышение качества контроля запасных частей при проведении технического сервиса машин / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Д.О. Буров // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. семинар: сборник статей. – 2020. – С. 166–174.

36. Варнаков Д.В. Применение контрольных карт Шухарта в системах измерения параметров / Д.В. Варнаков, М.А. Афонин // Аграрный научный журнал. – Саратов: СГАУ. – 2018. – № 2. – С. 54–58.

37. Варнаков Д.В. Применение методики прогнозирования надежности двигателей военной автомобильной техники в нормальном и специальном эксплуатационных режимах / Д.В. Варнаков, М.А. Афонин, Д.В. Пикулин // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно–научный журнал. – 2017. – № 2 (42). – С. 85–90.

38. Варнаков Д.В. Разработка метода оценки эффективности функционирования сложных технических систем / Д.В. Варнаков, А.Н. Юденичев, А.В. Бугаев // Чтения академика В. Н. Болтинского. Сборник статей. Москва. – 2023 - С. 98-104.

39. Варнаков Д.В. Разработка методов контроля параметров и расширение компонентной базы при реализации цифровых технологий / Д.В. Варнаков, А.В. Бугаев, А.Н. Юденичев // Чтения академика В. Н. Болтинского. Сборник статей. Москва. – 2023 - С. 78-84.

40. Варнаков Д.В. Разработка устройства оперативной оценки качества моторного масла / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, М.А. Афонин, Д.Н. Яшин // Технологии нефти и газа. – М.: РГУНГ. – 2018. – № 1 (114). – С. 61–69.

41. Варнаков Д.В. Теоретические основы концепции технического сервиса машин по фактическому состоянию на основе оценки их параметрической надежности / Д.В. Варнаков Д.В., О.Н. Дидманидзе // Аграрная наука Евро–Северо–Востока. – 2017. – № 2 (57). – С. 67–71.
42. Вейц В.Л. Колебательные системы машинных агрегатов / В.Л. Вейц, А.Е. Кочура, А.И. Федотов. – СПб.: Изд-во СПбГУ – 2009. – 256 с.
43. Виброанализатор СД–21. Руководство по эксплуатации КНТЮ.411711.035 РЭ; Вибротехника. – СПб. – 2018. – 93 с.
44. Воробьев С.А. Автомобили, автомобильное хозяйство и автомобильный сервис / С.А. Воробьев. – СПб: «Научные технологии». – 2020. – 194 с.
45. Воробьев С.А. Эксплуатация транспортно–технологических машин и комплексов / С.А. Воробьев. – СПб: Издательство «Научные технологии». – 2024. – 194 с.
46. Гаврилин А.Н. Диагностика технологических систем / А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес // Томский политехнический университет. – 2014. – 128 с.
47. Гаврилов К.В. Методы приборной диагностики автомобилей / К.В. Гаврилов, М.А. Иззатуллоев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 30 с.
48. Головин С.И. К вопросу оценки условий эксплуатации и прогнозирования остаточного ресурса двигателей внутреннего сгорания / С.И. Головин, М.М. Ревякин, А.А. Жосан // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 3 (24). – С. 103–110.
49. Головин С.И. Прогнозирование технического состояния двигателей транспортных средств с использованием диагностических информаторов / С.И. Головин, М.М. Ревякин, А.А. Жосан // В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ – 2020). сборник статей XII Международной научно–технической конференции,

посвященной 25-летию кафедры технологии материалов и транспорта. – Курск: – 2020. – С. 79–83.

50. Голубев И.Г. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин и механизмов / И.Г. Голубев // М.: «Академия», 2017. – 384 с.

51. Голубев И.Г. Эффективность работы дизельных двигателей тракторов на топливе с биодобавками растительного происхождения / И.Г. Голубев, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, А.Ю. Корнев, Н.П. Мишуров, М.Н. Болотина // Монография. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 72 с.

52. Голубничая Е.Ю., Временное планирование в кластерных беспроводных сенсорных сетях Zigbee / Е.Ю. Голубничая, Б.Я. Лихтциндер // Телекоммуникации и транспорт. – 2016. Т. 10. – № 1. – С. 5–10.

53. Гольд Б.В. Прочность и долговечность автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский, А.И. Петрусевиц. – М.: Машиностроение, – 2014. – 487 с.

54. Горев А.Э. Информационные технологии на транспорте / Горев А.Э. – М.: Юрайт, 2023. – 314 с.

55. Горлач Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика / Горлач Б.А. // Учебно-методическое пособие. Сер. Учебники для вузов. Специальная литература. – СПб: Лань, 2021. – 320 с.

56. Горликов В.А. Диагностирование технического состояния турбокомпрессоров дизельного двигателя Камаз-740 / Горликов В.А., Сидоров М.В. // Инновационный подход к развитию аграрной науки. – 2023. – С. 119–122.

57. ГОСТ Р 27.001–2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения. – М.: – 2009.

58. Гриценко, А.В. Диагностирование микропроцессорных систем дизельных и бензиновых ДВС автомобилей / Гриценко А.В., Глемба К.В., Салимоненко Г.Н. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, – 2020. – 87 с.

59. Давыдов К.А. Основные подходы к реализации оптимальной стратегии управления запасами / К.А. Давыдов // Управление экономическими

системами: электронный научный журнал. – Кисловодск. – 2012. – № 2(38). – С. 8–11.

60. Деменков Н.П. Марковские и полумарковские процессы с нечеткими состояниями. Часть 2. Полумарковские процессы / Н.П. Деменков, Е.А. Микрин, И.А. Мочалов. М.: Издательство: Информационные технологии. – 2020. Т. 26. – № 7. – С. 387–393.

61. Денисов А. С. Алгоритм бортового диагностирования смазочной системы автомобильного дизеля / А.С. Денисов, С.В. Снарский, А.А. Симакин, М.А. Коваленко // Научная жизнь. – 2020. Т. 15. – № 3 (103). – С. 378–386.

62. Дидманидзе О.Н. Концепция технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надежности / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2016. – № 2 (72). – С. 51–57.

63. Дидманидзе О.Н. Мобильная энергетика в АПК / О.Н. Дидманидзе, Н.О. Булеков, Р.Т. Хакимов // В сборнике: Сборник статей по итогам II международной научно–практической конференции "Горячкинские чтения", посвященной 150–летию со дня рождения академика В.П. Горячкина. – 2019. – С. 470–479.

64. Дидманидзе О.Н. Надежность автотранспортных средств / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков, А.М. Карев // Монография. М.: Учебно–методический центр «Триада», 2017. – 161 с.

65. Дидманидзе О.Н. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе / О.Н. Дидманидзе, А.М. Карев, Г.Е. Митягин // Международный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 53–65.

66. Дидманидзе О.Н. Обеспечение надежности техники путем проведения комплексной оценки качества поставок запасных частей при организации технического сервиса / О.Н. Дидманидзе, Б.С. Дидманидзе, В.В.

Варнаков, Д.В. Варнаков, Е.А. Варнакова, Л.Л. Хабиева // Международный технико–экономический журнал. – М.: ООО «Спектр», 2014. – №5. – С. 31–40.

67. Дидманидзе О.Н. Организация технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надежности / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Карев А.М. // Монография. – М.: ООО «УМЦ Триада», 2016. – 128 с.

68. Дидманидзе О.Н. Оценка достоверности экспериментальных данных технического обслуживания модульного транспорта сельскохозяйственного назначения / О.Н. Дидманидзе, Д.А. Москвичев, Р.Т. Хакимов, А.М. Спиридонов // Известия Санкт–Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 104–113.

69. Дидманидзе О.Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: – №5. – 2007. – С. 2–7.

70. Дидманидзе О.Н. Теоретические основы прогнозирования области достаточной надежности двигателя при заданном критерии качества функционирования / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // В сборнике: Автотранспортная техника XXI века. сборник статей III Международной научно–практической конференции. Под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зимина, Д.В. Виноградова. – 2018. – С. 6–19.

71. Дидманидзе О.Н. Технологические процессы диагностирования и технического обслуживания двигателей транспортных и транспортно-технологических машин / О.Н. Дидманидзе [и др.]. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2015. – 109 с.

72. Дидманидзе О.Н. Фильтр грубой очистки топлива для топливных систем сельскохозяйственных машин / О.Н. Дидманидзе, Э.И. Удлер, С.А. Зыков, Е.П. Парлюк // Доклады ТСХА. Издательство: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2020. – С. 218–225.

73. Дмитренко В.П. Современная автотракторная техника и новые методы исследования характеристик машин / В.П. Дмитренко. – Ярославль: Ярославский ГАУ, 2023. – 91 с.

74. Дмитриев А.Л. Применение природного газа в качестве моторного топлива для автотранспорта Санкт–Петербурга / А.Л. Дмитриев, Е.О. Милютина // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2012. – № 2. – С. 170–176.

75. Друзьянова В.П. Технические решения использования биогаза в двигателях внутреннего сгорания / В.П. Друзьянова, С.А. Петрова, М.К. Охлопкова. – Волгоград: Наука и мир. – 2013. – № 2. – С. 53–56.

76. Дуганова Е.В. Производственно–техническая инфраструктура предприятий автомобильного сервиса / Е.В. Дуганова, С.Н. Глаголев, И.А. Новиков, А.Н. Новиков // Практикум. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, – 2018. – 123 с.

77. Дуганова Е.В. Сервис и эксплуатация транспортных средств в условиях цифровой трансформации / Е.В. Дуганова, И.А. Новиков, Н.А. Загородний. – М.: Ай Пи Ар Медиа, – 2022. – 138 с.

78. Емцев В.А. Оптимизация процесса диагностирования двигателей внутреннего сгорания за счет использования инновационных средств / В.А. Емцев, С.В. Яровой // В сборнике: Проблемы развития системы технического обеспечения в войсках национальной гвардии Российской Федерации и пути их решения во взаимодействии с другими видами обеспечения. Сборник научных трудов. Под общей редакцией /// В.В. Армяншин, Г.М. Гончаренко. – Пермь: – 2019. – С. 56–60.

79. Ершов, Г.А. Еще раз о системе стандартов "надежность в технике" / Г.А. Ершов, В.Н. Семериков, Ю.И. Тарасьев // – Издательство: Стандарты и качество. – 2020. – № 10. – С. 60–62.

80. Жанказиев С.В. Принципы разработки телематической системы мониторинга технического состояния автомобилей / С.В. Жанказиев, С.П.

Игнатъев // Вестник Московского автомобильно–дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 3. – 22–28 с.

81. Жидков Г.И. Марковские случайные процессы при эксплуатации тракторов и машинно–тракторных агрегатов / Г.И. Жидков, С.П. Коблов, Г.А. Любимова, Д.И. Нестеренко // В сборнике: Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий. материалы Международной научно–практической конференции, проведенной в рамках Международного научно–практического форума, посвященного 75–летию Победы в Великой отечественной войне 1941–1945 гг. – Волгоград: ФГБОУ ВО ВолГАУ. – 2020г., – С. 280–284.

82. Жильцов В.В. Моделирование интеллектуальной системы технической диагностики нефтегазовых скважин с использованием программы «Statistica Neural Networks» / В.В. Жильцов, В.В. Чувилова // Всероссийская научно-техническая конференция «Роль механики в создании эффективных материалов, конструкций и машин XXI века». – Омск: 2018. – 20–23 с.

83. Жильцов В.В. Решения и развитие интеллектуальной технологии мониторинга и управления механизированным фондом скважин / В.В. Жильцов, А.В. Дударев, В.П. Демидов // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №10. – 12–14 с.

84. Жосан А.А. Методология оценки условий эксплуатации и прогнозирования остаточного ресурса дизельных двигателей / А.А. Жосан, М.М. Ревякин, С.И. Головин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 1 (33). – С. 71–76.

85. Журилин А.Н. Основы проектирования технических систем. Монография / А.Н. Журилин, Д.В. Варнаков. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2016. – 150 с.

86. Захаров Д. И. Актуальность системы встроенной диагностики двигателей внутреннего сгорания / Д.И. Захаров, К.А. Хафизов. //

Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: Научные труды Всероссийской (национальной) научно–практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора П.Г. Мудрова. – 2023. – С. 910–915.

87. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов / В.А. Зорин. – М.: Академия, 2009. – 208 с.

88. Калинина В.Н. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Н. Калинина. // Учебник. Сер. 68 Профессиональное образование. (2–е изд., пер. и доп.) – М.: Юрайт, 2019г. – 472 с.

89. Карманова А.В. Математика с элементами статистики: теория вероятностей и математическая статистика / А.В. Карманова, А.В. Казакевич // – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2024. – 108 с.

90. Карташов А.А. Диагностика и техническая экспертиза автомобилей / А.А. Карташова // Учебное пособие. – Пенза: – 2024.

91. Катаев Ю.В. Системы профилактического технического обслуживания сельскохозяйственной техники / Ю.В. Катаев, Е.А. Градов // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно–практической конференции. – Красноярск : – 2021. – С. 133–136.

92. Кикин М.Ю. Марковские процессы и их использование в экономической системе / М.Ю. Кикин // В сборнике: Тенденции развития современной науки. Сборник трудов научно–практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. В 2х ч. – Липецк : ЛГТУ. – 2020. – С. 16–22.

93. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования / Р.А. Коллакот. – Судостроение. – 2016. – 296 с.

94. Комаров К.М. Способ автоматического диагностирования технического состояния механизмов военной автомобильной техники / К.М. Комаров, Д.С. Мамаев, С.Г. Одинцов // Вопросы оборонной техники. Серия

16: Технические средства противодействия терроризму. – 2024. – № 5–6 (191–192). – С. 109–115.

95. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 94 с.

96. Крагельский И.В. Трение и износ. / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение – 2008. – 189–200 с.

97. Крамаренко Е.Р. Технические измерения на транспорте / Е.Р. Крамаренко, О.Н. Сахарова, И.А. Дмитриева, Л.В. Гордиенко. – Таганрог: ООО «ЭльДирект», 2019. – 117 с.

98. Кузьмин Н.А. Диагностика современных автомобилей / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков. – М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. – 2021 с.

99. Лавров М.В. Без разборная диагностика двигателя / М.В. Лавров // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: – 2021. – С. 1737–1740.

100. Лазарова Р.Г. Цифровизация в автосервисе / Лазарова Р.Г., Катаев А.Ю. // В сборнике: Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов и магистрантов. – Владикавказ: – 2021. – С. 232– 237.

101. Леонова О.В. Надежность механических систем / О.В. Леонова, К.С. Никулин // Практикум. – М.: Ай Пи Ар Медиа. – 2023. – 125 с.

102. Лисьев В.П. Теория вероятностей и математическая статистика / В.П. Лисьев // Учебное пособие. – М.: Евразийский открытый институт, – 2010. – 199 с.

103. Лыков А.Н. Сети автоматизации / А.Н. Лыков, Р.В. Катаев, С.В. Бочкарев, А.Б. Петроченков. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020. – 432 с.

104. Малинковский Ю.В. Равновесные асимптотически марковские случайные процессы / Ю.В. Малинковский // – Издательство: Известия

Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2021г. – № 6 (129). – С. 100–103.

105. Мамаев Д.С. Способ автоматизированного диагностирования агрегатов трансмиссии военной автомобильной техники / Д.С. Мамаев, К.М. Комаров // Динамика развития системы военного образования: материалы V Международной научно-практической конференции. – 2023. – С. 427–435.

106. Маслов Г.Г. Техническая эксплуатация МТП / Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин // Учебное пособие. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – 142 с.

107. Матвеев М.Г. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике / М.Г. Матвеев, А.С. Свиридов, Н.А. Алейников – М.: Финансы и статистика; ИНФРА–М – 2018. – 488 с.

108. Миллер Г.Б. Управляемые Марковские скачкообразные процессы. Оптимальная фильтрация по комплексным наблюдениям / Г.Б. Миллер, А.В. Борисов, А.И. Стефанович // – Издательство: Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2018. № 6. – С. 64–83.

109. Москвичев Д.А. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта / Д.А. Москвичев, Р.Т. Хакимов // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 4 (121). – С. 29–37.

110. Нигматуллин Ш.Ф. Диагностирование технического состояния систем автомобиля и самоходных машин / Ш.В. Нигматуллин, М.М. Разяпов. – Уфа: БГАУ, – 2020. – 68 с.

111. Новиков А.Е. Надежность технических систем. Структурная надежность / А.Е. Новиков, Н.В. Шибитова // Краткий курс лекций и задания для выполнения СРС. – Волгоград: ВолгГТУ. – 2016. – 64 с.

112. Овчинников Е.В. Комбинированная силовая установка с улучшенными экологическими показателями / Е.В. Овчинников, Р.С. Федоткин, С.Ю. Уютов, В.А. Крючков // Экология промышленного производства. – 2021. – № 2 (114). – С. 44–47.

113. Озорнин С.П. Совершенствование диагностирования технического состояния машин, эксплуатируемых в условиях Забайкальского края / С.П. Озорнин, И.Е. Бердников // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера. Конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Международной научно-технической конференции ассоциации автомобильных инженеров. – Иркутск: Изд-во ИрННТУ. – 2015. – С. 37–48.

114. Озорнин С.П. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации / С.П. Озорнин, И.Е. Бердников // Вестник ЗабГУ. – 2014. – № 8. – С. 64–69.

115. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 2011. – 224 с.

116. Парлюк Е.П. Особенности зарядки аккумуляторной батареи электромобиля постоянным током / Е.П. Парлюк, Р.Т. Хахимов. // Известия Международной академии аграрного образования. – 2024. – № 72. – С. 42–49.

117. Патент № 194297 U1 Российская Федерация. Устройство оценки технического состояния цилиндрико-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания: № 2019115172 заявл. 17.05.2019: опубл. 05.12.2019 / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Д.Н. Яшин, С.А. Симачков, Е.А. Варнакова, И.М. Дежаткин.

118. Патент № 2743092 С2 Российская Федерация. Способ и система контроля параметров технического состояния двигателя внутреннего сгорания: № 2019118838 заявл. 17.06.2019: опубл. 15.02.2021 / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, Д.Н. Яшин, Е.А. Варнакова, А.С. Неваев, С.А. Симачков.

119. Пегачков А.А. Обеспечение долговечности машин по результатам анализа технического состояния / А.А. Пегачков, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2023. – 120 с.

120. Пехович Э.Г. Износ и долговечность зубчатых колес угледобывающих комбайнов / Э.Г. Пехович, В.П. Онищенко, Л.А. Молдавский // Горный журнал. – 2012. – 103–109 с.

121. Полуянович Н.К. Методы экспериментального определения характеристик систем электроники и автоматики автомобилей и тракторов /

Н.К. Полуянович, М.Н. Дубяго, А.Л. Береснев, Д.В. Бурьков. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2020. – 112 с.

122. Попов А.М. Теория вероятностей и математическая статистика / А.М. Попов, В.Н. Сотников // Учебник и практикум для вузов. – М. : ЮРАЙТ, 2021. – 434 с.

123. Разговоров К.И. Автотехническая экспертиза / К.И. Разговоров. – Вологда: ООО «Инфра–Инженерия», 2021. – 260 с.

124. Рачков М.Ю. Технические измерения и диагностика оборудования / М.Ю. Рачков. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 301 с.

125. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пособие / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

126. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие. / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2014. – 105 с.

127. Ревякин М.М. К вопросу о диагностировании мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения / М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 4 (33). – С. 176–181.

128. Ревякин М.М. К вопросу о мониторинге и управлении техническим состоянием мобильных энергетических средств / М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 3 (24). – С. 111–116.

129. Ревякин М.М. К вопросу о надежности мобильных энергетических средств предприятий АПК / М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин // В сборнике: ДОКЛАДЫ ТСХА. Материалы международной научной конференции. – 2018. – С. 258–260.

130. Ревякин М.М. Повышение эксплуатационной надежности технических систем как аспект стратегии ресурсосбережения мобильных энергетических средств агропромышленного комплекса / М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 4 (17). – С. 115–121.

131. Ревякин М.М. Совершенствование мониторинга технического состояния автотранспортных средств в процессе эксплуатации // М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин // В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ – 2020). сборник статей XII Международной научно–технической конференции, посвященной 25–летию кафедры технологии материалов и транспорта. – 2020. – С. 287–290.

132. Ромыш А.С. Редукционный метод моделирования – как основополагающий метод установления показателей надежности систем технического характера / А.С. Ромыш // – Издательство: Научный электронный журнал Меридиан. – 2020. – № 8 (42). – С. 363–365.

133. Руппель А.А. Электрооборудование автомобилей / А.А. Руппель, А.Л. Иванов, В.Д. Червенчук, К.В. Зубарев. – Омск : СибАДИ, 2018. – 91 с.

134. Рутковская Д.И. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / И.Д. Рудинский, Д.И. Рутковская, М.А. Пилиньский, Л.В. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 452 с.

135. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018614322 Российская Федерация. Оценка эффективности управления процессами технического обслуживания и ремонта машин: № 2018611398: заявл. 13.02.18: опубл. 04.04.18 / Д.В. Варнаков М.А. В.В. Варнаков, Афонин, М.Е. Дежаткин, Е.В. Кураева, Кузнецова М.С.

136. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613762 Российская Федерация. Обоснование оптимального выбора процесса консервации машин: № 2018611108: заявл. 07.02.18; опубл. 22.03.18 / Д.В. Варнаков, М.А. Афонин, М.Е. Дежаткин, И.С. Смирнова, В.В. Варнаков, Е.А. Варнакова.

137. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018613761 Российская Федерация. Оптимизация размещения пунктов технического обслуживания машин: № 2018611109: заявл. 07.02.2018: опубл. 22.03.2018 / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, М.Е. Дежаткин, Е.А. Варнакова, С.А. Симачков, И.В. Кузьмин.

138. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024666051
Российская Федерация. Оценка остаточного ресурса технической системы с
учетом динамики изменения диагностических параметров: № 2024665572:
заявл. 09.07.2024: опубл. 09.07.2024 / А.Н. Юденичев, Д.В. Варнаков, Е.И.
Кибиков, Е.П. Бормотина, Д.О. Фадеев, И.М. Мухин.

139. Сидняев Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента:
учеб. пособие / Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ, 2011. – 463
с.

140. Симачков С.А. Устройство и эксплуатация технических средств
службы горючего. / С.А. Симачков, В.В. Лаптев, Г.Н. Иньков, Ш.З.
Шайдуллоев, П.Е. Поветкин, В.В. Басок, В.К. Ермаков // Учебное пособие. –
Москва: НИУ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2018. – 324 с.

141. Скворцов И.П. Диагностика и техническое обслуживание машин /
И. П. Скворцов, С. В. Тронеv; – Волгоград : ВолГАУ, – 2020. – 32 с.

142. Скворцов И.П. Диагностика технического состояния
автотранспортных средств / И.П. Скворцов, С.В. Тронеv. – Волгоград:
ВолГАУ, 2022. – 24 с.

143. Смирнов Ю.А. Устройство и диагностика топливных и моторных
систем, двигателей внутреннего сгорания и электрооборудования
автомобилей / Ю.А. Смирнов. – СПб: Лань, 2024. – 304 с.

144. Сторожев И.И. Практикум по дисциплине «Диагностика и
техническое обслуживание машин» / И.И. Сторожев. – Тюмень: ГАУ
Северного Зауралья, 2018. – 91 с.

145. Стрелова Е.А. Применение беспроводной сенсорной сети Zigbee /
Е.А. Стрелова // Информационные технологии, энергетика и экономика.
Труды XX Международной научно-технической конференции студентов и
аспирантов. – 2023. – С. 325–328.

146. Тобоев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика /
В.А. Тобоев, С.И. Фролов // Учебное пособие. – Чебоксары: Чувашский
государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2023. – 104 с.

147. Тронеv С.В. Диагностика и техническое обслуживание машин / С.В. Тронеv, А.В. Семченко. – Волгоград: ВолГАУ, 2018. – 12 с.
148. Тюнин А.А. Диагностика электронных систем управления двигателей легковых автомобилей / А.А. Тюнин. – М.: СОЛОН–ПРЕСС, 2018. – 352 с.
149. Уютов С.Ю. Использование рапсового масла в дизельных двигателях в качестве топлива / С.Ю. Уютов, Е.В. Овчинников, М.Н. Кочетков, Г.С. Савельев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 3 (28). – С. 457–461.
150. Фадеева Л.Ю. L–марковские процессы как фрактальные случайные процессы с конечной памятью / Л.Ю. Фадеева, М.В. Хуснутдинов // В книге: Нигматуллинские чтения – 2023. Сборник докладов Международной научной конференции. – Казань: Академия наук Республики Татарстан. – 2023. – С. 85–89.
151. Федорова, О.А. Тракторы и автомобили / О.А. Федорова, П.В. Коновалов. – Волгоград: ВолГАУ. – 2019. – 28.
152. Федотов, А.И. Лабораторный практикум по курсу "диагностика автомобиля" / А.И. Федотов. – Иркутск: ИРНТУ, 2024. – 247 с.
153. Хабардина А.В. Особенности развития технического обслуживания машин в современных условиях / А.В. Хабардина, М.В. Чубарева [и др.] / Вестник Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского – Иркутск: ИГАУ, – 2016. – № 74. – С. 137–147.
154. Хакимов Р.Т. Технология восстановления блоков цилиндров с дефектом крышки коренной опоры и оценка качества их ремонта, с помощью статистической модели надежности / Р.Т. Хакимов, П.А. Ильин, М.А. Ильин, М. Мартин Андрес // В сборнике: Совершенствование быстроходных двигателей. сборник материалов научно–технической конференции студентов, аспирантов и профессорско–преподавательского состава кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» с международным участием.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2023. – С. 110–118.

155. Черноиванов В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный: М. – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2013. – 992 с.

156. Шипков М.А. Диагностирование технического состояния транспортно-технологических машин – основа современной системы технического обслуживания / М.А. Шипков // В сборнике: Направления развития технического сервиса. Сборник статей. – 2021. – С. 78–81.

157. Шлыков И.С. Интеграция искусственного интеллекта в автопром / И.С. Шлыков, С.Е. Черкезов // В сборнике: Информационные системы, экономика и управление. Ученые записки. – Ростов-на-Дону: – 2024. – С. 207–210.

158. Шмидт А.А., Косырев А.В. Анализ научно–методического аппарата диагностики и контроля, мониторинга и прогнозирования технического состояния военной техники связи /А.А.Шмидт, А.В.Косырев // Техника средств связи. – 2023. – № 4 (164). – С. 81–92.

159. Юданов С.В. Вопросы производства альтернативных видов автомобильных топлив / С.В. Юданов // Грузовик. – 2012. – № 5. – С. 41–43.

160. Юденичев А.Н. Проактивная система технического обслуживания с применением дистанционной диагностики транспортных средств / А.Н. Юденичев, Д.В. Варнаков, Е.П. Парлюк // Чтения академика В. Н. Болтинского. Сборник статей. Москва. - 2024 - С. 121-130.

161. Юденичев А.Н. Применение беспроводных систем передачи данных при решении задач непрерывной диагностики агрегатов автотранспортных средств / А.Н. Юденичев, Д.В. Варнаков, И.С. Паршин // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 1. – С. 16–17.

162. Юденков А.В. Моделирование излучения в микросистемах с помощью цепей Маркова / А.В. Юденков, А.М. Володченко, Л.П. Римская // Телекоммуникации и транспорт. – 2022. Т. 16. – № 10. – С. 12–18.
163. Яманов А.Д., Алевский Д.А., Плеханов А.Е. Беспроводные локальные сети Zigbee для автоматизированных систем управления / А.Д. Яманов, Д.А. Алевский, А.Е. Плеханов // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 12. – С. 36–40.
164. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект / Л.Н. Ясницкий. – М.: Издательский центр «Академия», – 2018. – 176 с.
165. Avdeev K.A. Determination of the thermodynamic and thermophysical properties of alternative fuels / K.A. Avdeev, I.E. Agureev, M.Y. Elagin, R.N. Khmelev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – Т. 90. – № 6. – P. 1500–1505.
166. Beer T. Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles / T. Beer, T. Grant, D. Williams, H. Watson // Atmospheric Environment. – 2002. – Т. 36. – № 4. – P. 753–763.
167. Diovu R.C. Congestion minimizing scheme for enhanced data aggregation in Zigbee-based SG AMI network / R.C. Diovu, J.T. Agee // International Journal on Communications Antenna and Propagation. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 294–301.
168. Friedman A. Что такое «Крест-фактор»? И почему он используется / Вибрационная диагностика. – 2005. – №.1 – 30 с.
169. Kaul S. Efficiency versus cost of alternative fuels from renewable resources: outlining decision parameters / S. Kaul, R. Edinger // Energy Policy. – 2004. – Т. 32. – № 7. – P. 929–935.
170. Kilcarr S. Adapting to alternative fuels / S. Kilcarr // American City & County. – 2003. – Т. 118. – № 2. P. 20–28.
171. Kopchikov V.N. Alternative fuels and assessment of their applicability in internal combustion engines / V.N. Kopchikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the

Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, – 2020. P. 62–69

172. Langevin A. BioMer Project biodiesel for ships / A. Langevin // Toronto, – 2005. – 21 p.

173. Litman T Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, Estimates and Implications / T Litman // Vactoria Transport Policy Institute, – 2007. – 231 p.

174. Ogden J.M. Societal lifecycle costs of cars with alternative fuels/engines / J.M. Ogden, R.H. Williams, E.D. Larson // Energy Policy. – 2004. – T. 32. – № 1. – P. 7–27.

175. Varnakov D.V. Results of determining optimal correlation between components of biodiesel fuel on basis of rape / D.V. Varnakov, V.V. Varnakov, S.A. Simachkov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) – 2020. – P. 1419–1426.

176. Varnakov D.V. The improvement of fire safety at an automotive manufacturing plant / D.V. Varnakov, D.S. Kondratiev, D.N. Yashin // Modern Science. – 2018. – № 12–1. – P. 42–45.

177. Williams A. Assessing the application of alternative fuels in vehicle fleets / A. Williams // Institute: University of Manitoba (Canada): – 2002. – 278 p.

178. Wulpi D.J., Miller Understanding How Components Fail. 3rd edition / D.J. Wulpi, B.V Miller. – ASM International, – 2013. – 350 p.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Модуль переносной средств контроля цилиндро-поршневой группы дизеля

Модуль средств контроля ЦПГ может использоваться как средство диагностирования ЦПГ и газораспределительного механизма (ГРМ) дизельных и карбюраторных двигателей при выявлении неисправностей в полевых (дорожных) условиях эксплуатации автотракторной техники, а также при ТО, ТР и оценке качества ремонта двигателей.



Рисунок А.1 – Модуль переносной средств контроля цилиндро-поршневой группы дизеля КИ-28134М

Таблица А.1 – Технические характеристики модуля средств КИ-28134М

Тип	переносной
Число контролируемых показателей	5
Габариты, мм	410×510×120
Масса, кг, не более	7

Вакуум-анализатор цилиндро-поршневой группы



Рисунок А.2 – Вакуум-анализатор цилиндро-поршневой группы КИ-28165

Вакуум-анализатор используется в составе переносных, передвижных и стационарных диагностических комплектов при выполнении технического сервиса и в ремонтном производстве (перед ремонтное и после ремонтное диагностирование).

Таблица А.2 – Технические характеристики КИ-28165:

Тип	переносной
Диапазон измерения разрежения (вакуумметрического давления), кг/см ²	0... -1
Погрешность измерения, %	2,5
Габариты, мм	60x160x408
Масса, кг, не более	1,4

Универсальный компрессометр



Рисунок А.3 – Универсальный компрессометр КИ-28125

Компрессометр может применяться как средство диагностирования ЦПГ и ГРМ двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при техническом обслуживании, текущем ремонте, оценке качества ремонта и выявлении неисправностей в условиях эксплуатации автотракторной техники.

Таблица А.3 – Технические характеристики КИ-28125:

1. Тип	переносной
4. Максимальное измеряемое давление, МПа (кгс)	4 (40)
5. Класс точности манометра	2,5
6. Количество измеряемых параметров	2
7. Средняя трудоемкость диагностирования одного цилиндра (включая подготовительные работы), чел/час:	
дизельного двигателя	0,2
карбюраторного двигателя	0,15
8. Погрешность измерений (инструментальная), %, не более	2,5

Расходомер картерных газов (модернизированный)



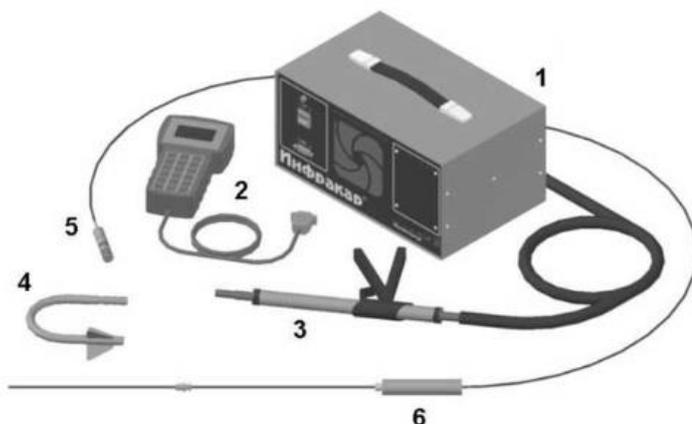
Рисунок А.4 – Расходомер картерных газов (модернизированный) КИ-17999М

Применяется для определения технического состояния цилиндропоршневой группы двигателей, определения их остаточного ресурса перед текущим ремонтом в стационарных и полевых условиях обслуживания МТП на СТОТ, ремонтных мастерских и пунктах технического обслуживания машин.

Таблица А.4 – Технические характеристики КИ-17999М

Тип расходомера	щелевой, постоянного перепада давления
Перепад давления на сужающем устройстве, мм вод. ст.	12
Диапазоны измерения расхода газов, л/мин	10-150; 50-250
Приведенная погрешность измерения, %	2,5
Трудоемкость контроля расхода газов, чел.-мин	не более 5
Габариты, мм	200x70x70
Масса, кг	не более 1

ИНФРАКАР-Д газоанализатор-дымомер для измерения дымности отработавших газов дизельных двигателей



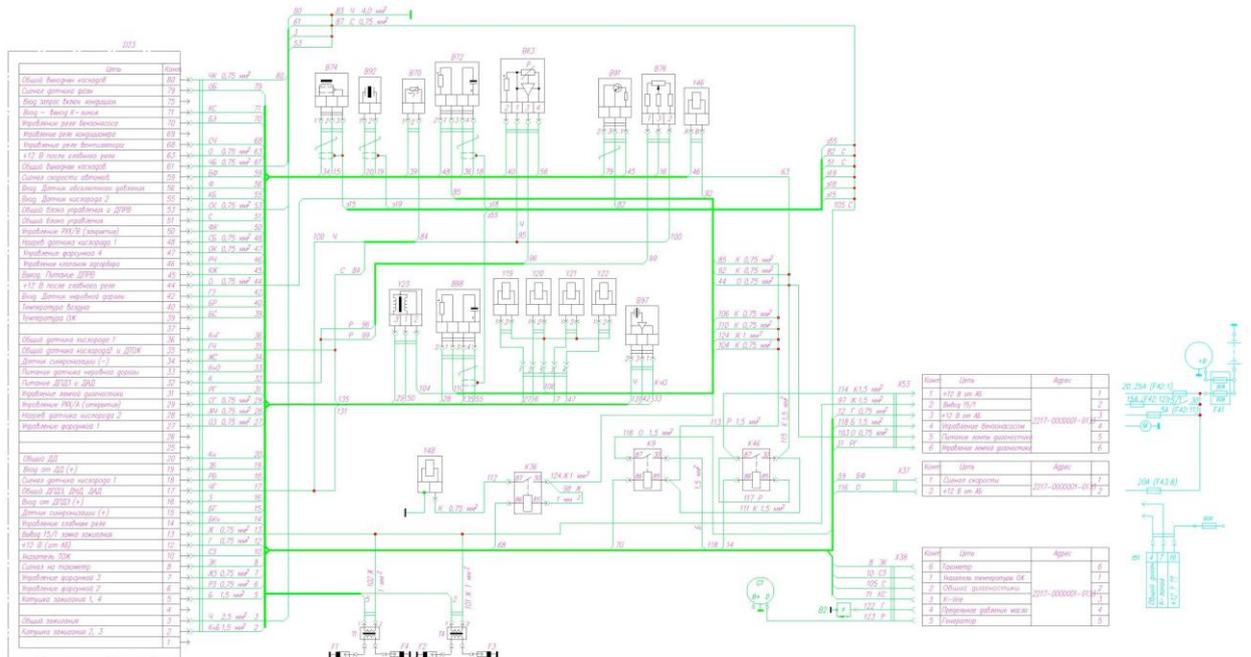
1 - оптический блок; 2 - дистанционный пульт управления; 3 - зонд для горизонтально расположенной выпускной системы с пробоотборным шлангом; 4 - зонд для вертикально расположенной выпускной системы с пробоотборным шлангом; 5 - датчик частоты вращения коленчатого вала; 6 - датчик температуры масла.

Рисунок А.5 – Газоанализатор-дымомер ИНФРАКАР-Д

Таблица А.5 – Характеристики газоанализатора-дымомера ИНФРАКАР-Д

Модель дымомера	Д1.01/02	Д1.01/02 ЛТК	Д1-3.01/02	Д1-3.01/02 ЛТК
Госповерка	есть	есть	есть	есть
Эффективная оптическая база (L)	0,43 м	0,43 м	0,43 м	0,43 м
Коэффициент поглощения света (K)	0-10 м ⁻¹ , при K>10 K=∞			
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений (K)	±0,05 м ⁻¹ при K=1,6-1,8 м ⁻¹			
Коэффициент ослабления светового потока (N)	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Предел допускаемой погрешности приведенной к верхнему пределу измерений (N)	±1%	±1%	±1%	±1%
Измерение температуры масла	нет	нет	0-100°С	0-100°С
Предел допускаемой погрешности приведенной к верхнему пределу измерений	-	-	±2,5%	±2,5%
Измерение частоты вращения коленчатого вала	нет	нет	0-6000 об/мин	0-6000 об/мин
Предел допускаемой погрешности приведенной к верхнему пределу измерений	-	-	±2,5%	±2,5%
Автоотключение пробы при подстройке нуля	нет	да	нет	да
Работа с ЛТК и мотортестерами	нет	да	нет	да
Связь с персональным компьютером по RS-232	да	да	да	да
Время прогрева рабочей камеры при 20о С, не более	10 мин.	10 мин.	10 мин.	10 мин.
Напряжение питания	12/220 В	12/220 В	12/220 В	12/220 В
Потребляемая мощность, не более	40 Вт	40 Вт	40 Вт	40 Вт
Средняя наработка на отказ	10000 ч	10000 ч	10000 ч	10000 ч
Срок службы	10 лет	10 лет	10 лет	10 лет
Межповерочный интервал	1 год	1 год	1 год	1 год
Масса оптического блока, не более	6 кг	6 кг	6 кг	6 кг
Масса пульта управления, не более	0,65 кг	0,65 кг	0,65 кг	0,65 кг
Габариты оптического блока (Ш×Г×В), не более	355×220×220 мм	355×220×220 мм	355×220×220 мм	355×220×220 мм
Габариты пульта управления (Ш×Г×В), не более	110×40×210 мм	110×40×210 мм	110×40×210 мм	110×40×210 мм

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



V63 – Датчик абсолютного давления; 70 – Датчик температуры; V72 – Датчик кислорода; V74 – Датчик синхронизации и скорости вращения; V76 – Датчик положения заслонки дросселя; V91 – Датчик фазы; V92 – Датчик детонации; V97 – Датчик неровной дороги; V98 – Датчик кислорода диагностический; D23 – Блок управления; F1..F4 – Свеча зажигания; K9, K36 – Реле электромагнитное; K 46 – Реле электромагнитное; T1, T4 – Катушка зажигания; Y19...Y22 – Форсунка электромагнитная; Y23 – Регулятор холостого хода; Y46 – Клапан продувки адсорбера; Y48 – Муфта электромагнитная отключения вентилятора; X37 и X38 – Колодки соединительные; X51 – Колодка диагностики.

Рисунок Б.1 – Схема управления двигателем УМЗ 4216-170

ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

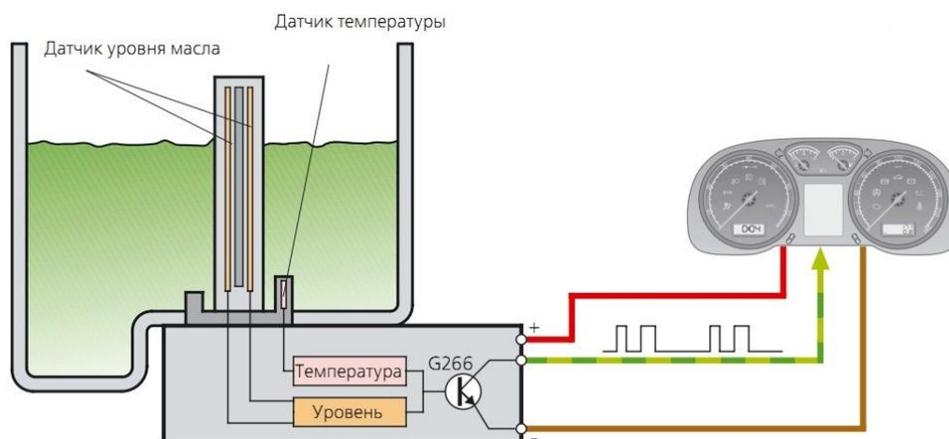


Рисунок В.1 – Датчик уровня и температуры масла G266

Датчик уровня и температуры масла G266 устанавливается в нижней части масляного поддона двигателя. Он является термальным. При движении температура масла непрерывно измеряется, а уровень масла рассчитывается. Оба значения передаются в комбинацию приборов в виде сигналов с широтно-импульсной модуляцией.

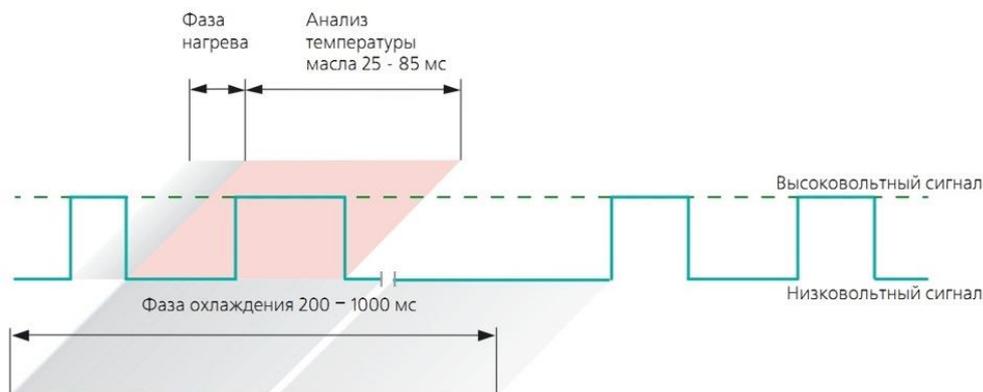


Рисунок В.2 – Принципиальная схема измерения температуры масла и его уровня датчиком G266

Температуру масла определяет отдельный термодатчик с интегральной схемой. Определение уровня масла также основано на измерении температуры. Измерительный элемент нагревается до температуры чуть больше текущей температуры масла. После отключения питания нагревательного элемента он остывает до температуры окружающего масла. По длительности периода остывания рассчитывается уровень масла. Высоковольтный сигнал определяет фазу нагревания, а низковольтный – фазу остывания.

Во время фазы остывания информация относительно температуры моторного масла передаётся как отдельный высоковольтный сигнал.

Высокоскоростной телеметрический датчик крутящего момента TFS

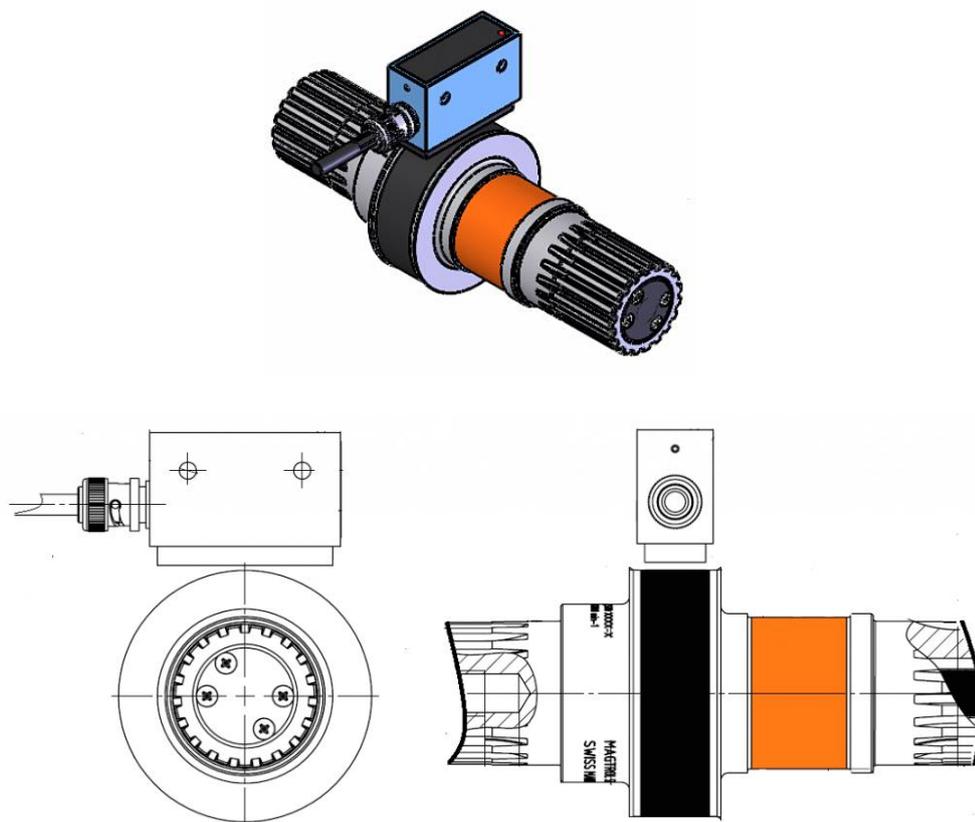


Рисунок В.3 – Высокоскоростной телеметрический датчик крутящего момента TFS

Характеристики и особенности серии:

Внесены в Госреестр СИ;

Высокие скорости вращения при больших номиналах крутящего момента

Диапазон крутящего момента до 40 000 Н·м;

Бесконтактная передача сигнала: через телеметрию;

Высокая точность: от 0.1% до 0.25%;

Таблица Г.1 - Рабочий объём двигателей

Марка двигателя	Объём двигателя, л
ЯМЗ-8423	17,24
А-01М	11,15
А-41	7,43
СМД-19	6,3
СМД-21	21,9
СМД-14	6,3
СМД-66	9,15
СМД-64	9,15
СМД-62	9,15
СМД-60	9,15
Д-241	4,75
Д-65	4,75
Д-260	7,12
Д-240	4,75
Д-144	4,15
Д-21А1	2,08

Таблица Д.1 – Результаты оценки количества картерных газов двигателей УМЗ 4216-170

Номер двигателя	Количество картерных газов усл.ед., при частоте вращения коленчатого вала двигателя, N (мин-1)									
	1000	1500	1800	2000	2200	2500	3000	3500	4000	4200
1.	6,15	9,20	10,93	12,09	13,35	14,71	18,24	20,98	22,71	23,42
2.	6,88	9,80	10,47	12,59	13,77	15,64	19,72	22,68	23,26	23,87
3.	6,99	9,58	11	12,24	14,21	15,37	18,9	21,6	22,68	23,26
4.	6,03	10,06	11,32	12,39	15,09	16,07	19,02	21,19	22,74	23,31
5.	6,12	9,84	11,91	12,57	14,23	15,04	18,64	21,19	22,74	23,9
6.	6,3	9,33	11,38	12,17	13,9	15,58	18,1	21,4	23,9	24,2
7.	6,04	9,7	11,77	12,95	14,62	15,1	19,28	21,08	22,66	22,66
8.	5,5	7,6	9,7	10,5	11,6	13,9	16,8	20	23,1	23,3
9.	5,4	8	9,53	10,2	11,3	13,4	16,8	20,2	22,2	23,9
10.	6	9,2	10,2	12,1	12,5	12,9	16,4	18,5	20	21
11.	6,1	9,28	10,4	12	12,1	12,9	15,8	18,4	20,38	20,9
12.	6,05	11,01	13,35	13,77	14,68	15,12	18,89	21,61	22,68	24,26
Минимальное значение	5,4	7,6	9,53	10,2	11,3	12,9	15,8	18,4	20	20,9
Максимальное значение	6,99	11,01	13,35	13,77	15,09	16,07	19,72	22,68	23,9	24,26
Среднее значение	6,13	9,38	11,00	12,13	13,45	14,64	18,05	20,74	22,42	23,17

Таблица Б.1 - Расход картерных газов при номинальной частоте вращения коленчатого вала

Марка двигателя	Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	Расход картерных газов, л/мин			Предельная разница между $Q_{ср}$ и Q_i , л/мин
		номинальный	допускаемый	предельный	
ЯМЗ-238 НБ/НД	1700	65	130	180	20
ЯМЗ-240Б	1900	90	180	250	14
ЯМЗ-8423	1900	90	145	268	-
А-01М	1700	50	110	150	24
СМД-18Н	1800	35	77	102	—
А-41	1750	40	100	140	24
СМД-19/20	1800	30-35	75	100	—
СМД-21/22	1800	35-40	80	110	—
СМД-14	1800	30	75	95	20
СМД-66	1900	58	116	172	-
СМД-64	1900	45-50	100	135	-
СМД-62/62 А	2100	50	100	140	24
СМД-60	2000	45	90	120	22
Д-241/241Л	2100	25	65	80	—
Д-65Н/65М	1750	25	53	75	17
Д-240/240Л	2200	28	68	95	23
Д-260Т	2100	52	115	160	—
Д-240Т	2200	35	80	110	—
Д-144-07/10/32	2000	35	80	90	—
Д-144	1800	30	70	90	—
Д-21А1	1800	10	36	45	—

Таблица Б.2 - Расход картерных газов при номинальной частоте вращения коленчатого вала с указанием допустимой и предельной разницы между фактическим и средним значениями

Марка двигателя	частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	Расход картерных газов, л/мин			Значение ΔQ л/мин	
		Номинальный	допустимый	предельный	Допустимый	предельный
ЯМЗ-8423	1900	90	145	268	14	20
А-01М	1700	50	110	150	17	24
СМД-18Н	1800	35	77	102	12	25
А-41	1750	40	100	140	14	22
СМД-21/22	1800	35-40	80	110	12	17
СМД-64	1900	65	130	135	17	24
СМД-62	2100	65	130	140	17	24
Д-241/241Л	2100	25	65	80	16	23
Д-240/240Л	2200	28	68	95	16	23
Д-260Т	2100	52	115	160	16	23
Д-240Т	2200	35	80	110	16	23
Д-144	2000	35	80	90	12	18

Таблица Б.2 - Расход картерных газов при заданной частоте вращения коленчатого вала

Марка		Частота вращения при измерении расхода картерных газов газов об/мин		Расход картерных газов при работе на холостом ходу, л/мин		
трактора	двигателя	коленчатого вала	Вала отбора мощности	номинальный	допустимый	предельный
1	2	3	4	5	6	7
К-701	ЯМЗ-240Б	1900	1000	90	180	260
К-700А	ЯМЗ-238НБ	1700	1000	72	125	180
Т-150К	СМД-62	2100	567 (1025)	65	110	160
Т-4А	А-01М	1700	542	52	110	160
ДТ-75М	А-41	1750	553	35	77	110
МТЗ-80	Д-240	2200	574	31	70	100
МТЗ-100	Д-245	2200	(1060)	20		150
ЮМЗ-6Л	Д-65Н	1750	557	24	53	76
Т-40М	Д-37Е	1800	540	32	73	105



УТВЕРЖДАЮ

ООО «ТИМЕР»

Генеральный директор

С.А. Андрюхин

« 15 » января 2025 г.

АКТ

реализации диссертационного исследования
соискателя ученой степени кандидата технических наук
Юденичева Андрея Николаевича

Представленные научные положения и технические средства их реализации были рассмотрены представителями ООО «ТИМЕР».

Настоящим актом подтверждается, что представленные научные положения и технические средства их реализации, обеспечивающие прогнозирование технического состояния цилиндропоршневой группы двигателей автотранспортных средств, основанного на нелинейных моделях деградации параметров, с применением беспроводных систем передачи данных представляют научный и практический интерес.

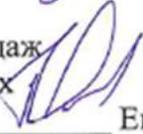
Представленные результаты исследований позволили повысить оперативность оценки цилиндропоршневой группы двигателей автотранспортных средств путем реализации способа непрерывной диагностики косвенного параметра – количества картерных газов.

Внедрение научных рекомендаций и результатов экспериментальных исследований позволит выявить отказы на ранних стадиях деградации уровня технического состояния, повысить коэффициент готовности парка машин, и снизить затраты на эксплуатацию сельскохозяйственной техники.

Председатель комиссии: Генеральный директор  Андрюхин С.А.

Члены комиссии:

Директор по сервису  Велиулов Ф.Н.

Директор департамента продаж
запасных частей и смазочных
материалов  Евстигнеев Г.В.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
ООО «Автогаз Инжиниринг»


« 24 » 12 Д.В.Коротеев 2024 г.



АКТ

Реализации результатов диссертационного исследования
соискателя ученой степени кандидат технических наук
Юденичева Андрея Николаевича

Комиссия ООО «Автогаз Инжиниринг» рассмотрела технические средства реализации и научные положения, представленные в работе Юденичева Андрея Николаевича.

Настоящим актом подтверждается, что представленные научные положения и технические средства их реализации, обеспечивающие непрерывную оценку технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания с системой беспроводной передачи данных, могут быть применены в системе технического обслуживания и ремонта нашего предприятия.

Представленные результаты исследований позволят применить систему ТО и Р по фактическому состоянию двигателей внутреннего сгорания автотранспортных средств.

Внедрение научных рекомендаций и результатов экспериментальных исследований позволит снизить затраты на эксплуатацию автотранспортных средств и повысить рентабельность работы автотранспортных и сельскохозяйственных предприятий страны.

Председатель комиссии:

Главный технолог управления

Члены комиссии:

Начальник производства

Начальник отдела



Андрейченков И.А.



Сидоров М.М.

Трофимов А.А.

УТВЕРЖДАЮ:

Технический директор

ОАО «Завод Старт»

Розенфельд В.А.



2024 г

АКТ

Внедрения (реализации) результатов диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидат технических наук

Юденичева Андрея Николаевича

Комиссия в составе:

Председателя: главного технолога Лобанова С.С., членов комиссии: главного конструктора Попова А.И., составили настоящий акт о том что, результаты диссертационной работы Юденичева А.Н., использованы в научно-технической деятельности ОАО «Завод Старт» при разработке нормативной и технологической документации на автотранспортные средства в виде:

1. Применения устройства непрерывной оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания с системой беспроводной передачи данных, позволяющей как непрерывно диагностировать состояние деталей двигателя при эксплуатации, так и при плановом техническом обслуживании автотранспортных средств.
2. Внедрение компьютерной программы для определения остаточного ресурса технической системы с учетом динамики изменения диагностических параметров, на основе методов прогнозирования. Оценка остаточного ресурса технической системы с учетом динамики изменения диагностических параметров, основанной на методах прогнозирования включающих в качестве базовых параметров: наработку технической системы от начала эксплуатации или ее эквивалентного значение при

невозможности точного определения; предельное значение параметра косвенно характеризующего техническое состояние всей системы в целом; изменение значения параметра к моменту контроля; значение наработки на отказ системы. Результатами программы является количественная оценка остаточного ресурса технической системы с учетом динамики изменения диагностических параметров.

Представленные научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию организации системы технического обслуживания позволяют повысить организационно-технический уровень обслуживания и снизить затраты при сохранении уровня готовности.

Председатель комиссии:
Главный технолог



Лобанов С.С.

Члены комиссии:
Главный конструктор



Попов А.И.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **223 207**⁽¹³⁾ **U1**
 (51) МПК
 G01M 15/10 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
 G01M 15/10 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023128429, 02.11.2023
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 02.11.2023
 Дата регистрации:
 07.02.2024
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 02.11.2023
 (45) Опубликовано: 07.02.2024 Бюл. № 4
 Адрес для переписки:
 432017, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42,
 ФГБОУ ВО УГУ, Голованов Виктор
 Николаевич

(72) Автор(ы):
 Варнаков Дмитрий Валерьевич (RU),
 Юденичев Андрей Николаевич (RU),
 Варнаков Валерий Валентинович (RU),
 Неваев Алексей Сергеевич (RU),
 Сергеев Денис Леонидович (RU),
 Ерёмин Олег Алексеевич (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Ульяновский государственный
 университет" (RU)
 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 194297 U1, 05.12.2019. RU 2634162
 C2, 24.10.2017. DE 102017221318 A1, 29.05.2019.
 EP 777041 A2, 04.06.1997.

RU
 223207
 U1

RU
 223207
 U1

**(54) УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
 ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

(57) Реферат:
 Полезная модель относится к технике диагностирования цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания, в частности к оценке технического состояния поршневых колец по расходу картерных газов, и может быть использована для предварительной оценки, так и при техническом обслуживании автотранспортного средства. Устройство непрерывной оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания, состоящее из корпуса, крыльчатки с возможностью вращения вокруг своей оси, датчика количества оборотов, датчика

температуры, микропроцессора, отличающиеся тем, что устройство содержит передающее устройство, выполненное с возможностью непрерывной передачи информации, получаемой от параметрических датчиков и обрабатываемой микропроцессором, на ЖК-дисплей, а также с возможностью размещения корпуса в шланге вентиляции картерных газов двигателя. Техническим результатом, обеспечиваемым данной полезной моделью, является непрерывная оценка технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2024614834

Дата регистрации: 29.02.2024

Номер и дата поступления заявки:
2024613898 29.02.2024

Дата публикации и номер бюллетеня:
01.03.2024 Бюл. № 3

Автор(ы):

Варнаков Дмитрий Валерьевич (RU),
Варнаков Валерий Валентинович (RU),
Ромашков Андрей Дмитриевич (RU),
Варнакова Галина Фёдоровна (RU),
Аверьянчев Егор Александрович (RU),
Иллариошин Александр Саидович (RU)

Правообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Ульяновский государственный
университет" (RU)

Название программы для ЭВМ:

Экономическое обоснование затрат на обеспечение безопасности

Реферат:

Программа может применяться для расчета и экономического обоснования затрат на обеспечение безопасности. Экономическое обоснование затрат на обеспечение безопасности выполняется в соответствии с методикой учитывающей: затраты на достижение данного уровня безопасности; ущерб, обусловленный недостаточной защищенностью человека и среды его обитания от опасностей; общий доход, получаемый от рассматриваемого вида деятельности; основные производственные затраты, определения величины экономического риска и вреда обществу от рассматриваемого вида деятельности. Результатами программы является экономическое обоснование затрат на обеспечение безопасности, определение экономического риска, экономической пользы, а также определение вреда обществу от рассматриваемого вида деятельности.

Язык программирования: Java

Объем программы для ЭВМ: 107 Кб



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):

2024666052

Дата регистрации: 09.07.2024

Номер и дата поступления заявки:

2024665573 09.07.2024

Дата публикации и номер бюллетеня:

09.07.2024 Бюл. № 7

Автор(ы):

Юденичев Андрей Николаевич (RU),

Варнаков Дмитрий Валерьевич (RU),

Варнаков Валерий Валентинович (RU),

Бормотина Екатерина Павловна (RU),

Фадеев Данила Олегович (RU),

Мухин Илья Максимович (RU)

Правообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Ульяновский государственный
университет" (RU)

Название программы для ЭВМ:

Оценка динамических параметров автотранспортных средств в процессе их эксплуатации

Реферат:

Программа может применяться для расчета динамических параметров автотранспортных средств в процессе их эксплуатации. Расчет динамических параметров автотранспортных средств в процессе их эксплуатации основан на методике включающей определение многих параметров, характеризующих конструктивные особенности транспортного средства, а именно: движущей силы автотранспортного средства, крутящего момента двигателя, коэффициента полезного действия трансмиссии, передаточного числа трансмиссии; радиуса качения колеса. Результатами программы является количественная характеристика динамических параметров автотранспортных средств в процессе их эксплуатации, выраженная динамическим фактором.

Язык программирования:

Java

Объем программы для ЭВМ:

117 Кб



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2024667892

Дата регистрации: 31.07.2024

Номер и дата поступления заявки:
2024667407 31.07.2024

Дата публикации и номер бюллетеня:
31.07.2024 Бюл. № 8

Автор(ы):

Юденичев Андрей Николаевич (RU),
Варнаков Дмитрий Валерьевич (RU),
Гришин Сергей Викторович (RU),
Бормотина Екатерина Павловна (RU),
Фадеев Данила Олегович (RU),
Мухин Илья Максимович (RU)

Правообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Ульяновский государственный
университет" (RU)

Название программы для ЭВМ:

Прогнозирование остаточного ресурса технической системы по диагностическим параметрам

Реферат:

Программа может применяться для определения остаточного ресурса технической системы по диагностическим параметрам. Оценка остаточного ресурса технической системы по диагностическим параметрам основана на методике включающей определение параметров: номинальное значение диагностического параметра; предельное значение диагностического параметра; временное значение диагностического параметра; поправочный коэффициент. Предельные значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние узлов и механизмов, для которых они не установлены документацией завода-изготовителя, определяются с помощью статистического метода. Результатом программы является количественная оценка прогнозируемого остаточного ресурса технической системы, выполненная ее по диагностическим параметрам.

Язык программирования: Java

Объем программы для ЭВМ: 117 Кб

**Скрипт для вывода данных с системы непрерывного
контроля параметров на планшет**

```
""" """#! /usr/bin/env python

import unittest
import threading
import time
import sys
import serial

PORT = 'COM3' # указать порт

bytes_0to255 = bytes(bytearray(range(256)))

def segments(data, size=16):
    for a in range(0, len(data), size):
        yield data[a:a + size]

class Test4_Nonblocking(unittest.TestCase):

    timeout = 0

    def setUp(self):
        self.s = serial.serial_for_url(PORT, timeout=self.timeout)
```

```

def tearDown(self):
    self.s.close()

def test1_ReadEmpty(self):
    self.assertEqual(self.s.read(1), b'', "пустой буфер")

def test2_LoopbackTimeout(self):
    self.s.write(b"HELLO")
    time.sleep(0.1) # небольшая задержка
    self.assertEqual(self.s.read(1), b'', "expected empty buffer after all sent chars
are read")

class SendEvent(threading.Thread):
    def __init__(self, serial, delay=3):
        threading.Thread.__init__(self)
        self.serial = serial
        self.delay = delay
        self.x = threading.Event()
        self.stopped = 0
        self.start()

    def run(self):
        time.sleep(self.delay)
        self.x.set()
        if not self.stopped:
            self.serial.write(b"E")
            self.serial.flush()

```

```
def is_set(self):  
    return self.x.is_set()
```

```
def stop(self):  
    self.stopped = 1  
    self.x.wait()
```

```
class Test1_Forever(unittest.TestCase):
```

```
    def setUp(self):  
        self.s = serial.serial_for_url(PORT, timeout=None)  
        self.event = SendEvent(self.s)
```

```
    def tearDown(self):  
        self.event.stop()  
        self.s.close()
```

```
    def test2_ReadEmpty(self):  
        c = self.s.read(1)  
        if not (self.event.is_set() and c == b'E'):  
            self.fail("expected marker (evt={!r}, c={!r})".format(self.event.is_set(), c))
```

```
class Test2_Forever(unittest.TestCase):
```

```
    def setUp(self):  
        self.s = serial.serial_for_url(PORT, timeout=None)
```

```

def tearDown(self):
    self.s.close()

def test1_inWaitingEmpty(self):
    self.assertEqual(self.s.in_waiting, 0, "внимание пустой буфер")

def test2_Loopback(self):
    for block in segments(bytes_0to255):
        length = len(block)
        self.s.write(block)

        time.sleep(0.05)
        self.assertEqual(self.s.in_waiting, length)
        self.assertEqual(self.s.read(length), block)
    self.assertEqual(self.s.in_waiting, 0, "читано, очистка буфера")

class Test0_DataWires(unittest.TestCase):
    def setUp(self):
        self.s = serial.serial_for_url(PORT)

    def tearDown(self):
        self.s.close()

    def test1_RTS(self):
        self.s.rts = False

```

```
time.sleep(1.1)
self.assertTrue(not self.s.cts, "CTS -> 0")
self.s.rts = True
time.sleep(1.1)
self.assertTrue(self.s.cts, "CTS -> 1")
```

```
def test2_DTR(self):
    self.s.dtr = False
    time.sleep(1.1)
    self.assertTrue(not self.s.dsr, "DSR -> 0")
    self.s.dtr = True
    time.sleep(1.1)
    self.assertTrue(self.s.dsr, "DSR -> 1")
```

```
def test3_RI(self):
    self.assertTrue(not self.s.ri, "RI -> 0")
```

```
class Test_MoreTimeouts(unittest.TestCase):
    def setUp(self):
        # create an closed serial port
        self.s = serial.serial_for_url(PORT, do_not_open=True)

    def tearDown(self):
        self.s.reset_output_buffer()
        self.s.flush()
        self.s.close()

    self.s.timeout = 1
```

```

self.s.xonxoff = False

self.s.open()

self.s.read(3000)

self.s.close()

def test_WriteTimeout(self):

    self.s.port = PORT

    self.s.write_timeout = 1.0

    self.s.xonxoff = True

    self.s.open()

    self.s.write(serial.XOFF)

    time.sleep(0.5) # some systems need a little delay so that they can react on
XOFF

    t1 = time.time()

    self.assertRaises(serial.SerialTimeoutException, self.s.write, b"timeout
please" * 200)

    t2 = time.time()

    self.assertTrue(0.9 <= (t2 - t1) < 2.1, "Timeout not in the given interval
({})".format(t2 - t1))

if __name__ == '__main__':

    sys.stdout.write(__doc__)

    if len(sys.argv) > 1:

        PORT = sys.argv[1]

    sys.stdout.write("Testing port: {!r}\n".format(PORT))

    sys.argv[1:] = ['-v']

    # тестовый запуск

    unittest.main()

```