

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тюменский индустриальный университет»

На правах рукописи

**ГУСЕЛЬНИКОВ Андрей Сергеевич**

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ХОЛОДНОМ  
КЛИМАТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**

2.9.5 - Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
**ЗАХАРОВ Николай Степанович**

Тюмень 2024

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	12
1.1 Проблемы обеспечения надёжности системы питания автомобилей с дизельными двигателями .....	12
1.2 Факторы, влияющие на надёжность системы питания автомобилей с дизельными двигателями .....	15
1.3 Анализ результатов исследований влияния условий эксплуатации на надёжность топливной аппаратуры .....	20
1.4 Практическое использование закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность системы питания автомобилей с дизельным двигателем.....	26
1.5 Выводы по разделу 1. Задачи исследований.....	38
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	41
2.1 Общая методика исследований .....	41
2.2. Формирование целевой функции исследований .....	43
2.3. Отбор факторов, влияющих на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.....	46
2.4. Идентификация изучаемой системы.....	50
2.5. Модели влияния температуры воздуха на надёжность элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей.....	54
2.5.1 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора .....	56
2.5.2 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного насоса высокого давления (ТНВД) .....	58
2.5.3 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливоподкачивающего насоса .....	60
2.5.4 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки .....	61

2.5.5 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака .....	62
2.6. Модели влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей .....	63
2.7 Выводы по разделу 2 .....	66
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	67
3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований .....	67
3.2 Оценка значимости сезонных изменений параметра потока отказов элементов системы питания .....	68
3.3 Проверка гипотез о виде математических моделей влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры .....	74
3.4 Проверка гипотез о виде математических моделей влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры .....	77
3.5 Выводы по разделу 3 .....	80
4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ .....	81
4.1 Методологические вопросы использования результатов исследований .....	81
4.2 Методика корректирования периодичности ТО с учетом условий эксплуатации автомобилей .....	83
4.3 Методика определения потребности в запасных частях элементов топливной аппаратуры с учетом условий интенсивности эксплуатации автомобилей .....	88
4.4 Оценка эффективности результатов исследований .....	91
4.5 Выводы по разделу 4 .....	95
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ .....	96
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	159

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	177

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Ежегодный рост потребности в транспортных услугах обостряет проблему обеспечения надёжности автомобилей, так как повышение спроса приводит к увеличению наработок и росту количества отказов. В особом приоритете стоит вопрос надёжности систем автомобилей в северных регионах страны, так как значительные расстояния между населёнными пунктами, низкая плотность населения, холодный климат могут привести в случае отказа автомобиля к серьёзным последствиям. Для повышения эффективности автомобилей необходимо выявлять причины снижения уровня надёжности их систем.

Надёжность автомобилей является ключевым свойством, оказывающим значительное влияние на эффективность их использования. При этом на системы автомобиля, в том числе и на топливную аппаратуру, существенное воздействие оказывают условия эксплуатации. В целях минимизации данных воздействий разработаны ряд методик, корректирующих нормативы системы обеспечения работоспособности. Однако, переменный характер условий эксплуатации учитывается в них недостаточно.

Повышение надёжности автомобилей, в том числе и за счет повышения надёжности системы питания дизельных двигателей, возможно снижением количества отказов при корректировании периодичности технического обслуживания (ТО) с учетом фактических условий эксплуатации. В практике работы автотранспортных предприятий (АТП) надёжность автомобилей оценивается комплексным показателем – коэффициентом технической готовности (КТГ). При этом на его величину влияет не только количество отказов, но и время простоев в ТО и ремонте, в том числе и из-за отсутствия запасных частей.

На практике расчет потребности в запасных частях на АТП осуществляются на основе статистики их расхода за предыдущие годы. Такой подход не позволяет получать точный результат в меняющихся условиях.

Используемые в автотранспортных предприятиях системы материально-технического снабжения имеют ряд недостатков, среди которых необходимо

отметить временную диспропорцию между потребностью предприятий в запасных частях и их поставками. Это связано с тем, что в регионах с холодным климатом предприятия зачастую расположены на больших расстояниях от складов поставщиков ресурсов, и доставка материалов осуществляется либо раз в год, либо один раз в квартал. При этом поставленных ресурсов может быть недостаточно для нормального функционирования предприятия. Значительное время ожидания поставок запасных частей приводит к снижению производительности и увеличению простоев транспортных средств, что отрицательно сказывается на экономическом положении предприятия.

Таким образом, существует проблема обеспечения надежности системы питания автомобильных дизельных двигателей в условиях холодного климата. Для ее решения необходимы исследования, направленные на разработку методик корректирования периодичности ТО и определения потребности в запасных частях элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей.

**Степень разработанности темы.** Для более полного использования ресурса автомобилей, заложенного при проектировании и производстве, необходимо на стадии эксплуатации выявлять факторы, влияющие на надёжность систем автомобилей. Проблему обеспечения надёжности автомобилей изучали большое количество авторов: Авдонькин Ф.Н., Андрианов Ю.В., Баженов Ю.В., Бедняк М.Н., Говорущенко Н.Я., Григорьев М.А., Денисов А.С., Ждановский Н.С., Захаров Н.С., Звягин А.А., Кузнецов Е.С., Лукинский В.С., Макарова А.Н., Проников А.С., Ракитин А.Н., Резник Л.Г., Сергиенко Е.С., Тахтамышев Х.М., Хазов Б.Ф., Хасанов Р.Х., Щурин К.В., Frattini E., Zhou Z. и многие другие.

Классификации и влияние факторов, определяющих надёжность систем автомобилей, отражены в работах Евтюкова С.А., Захарова Н.С., Звягина А.А., Кузнецова Е.С., Кулакова А.Т., Лудченко А.А., Проникова А.С., Ракитина А.Н., Сергиенко Е.С., Тахтамышева Х.М. и других. С учетом проведенного анализа работ, можно заключить, что проблема обеспечения надежности системы питания автомобильных дизельных двигателей изучена недостаточно. Это связано с тем, что большинство исследований сконцентрированы на факторах, влияющих на

надежность автомобилей в целом, оставляя без должного внимания отдельные системы.

Для повышения надёжности топливной системы автомобильных дизельных двигателей предложен ряд методов и решений. Например, для повышения срока службы топливных форсунок Захаров Ю.А. в своих исследованиях предлагает проводить дополнительные диагностические работы с использованием модернизированного оборудования. Другой пример – исследования Гаврилова К.В. и соавторов, которые предлагают с помощью текстурирования поверхности плунжера повысить эффективность плунжерной пары топливного насоса высокого давления (ТНВД) за счёт лучшего смазывания узла.

Описанные выше идеи требуют значительных затрат времени и средств на проведение испытаний, внедрение в конструкцию автомобилей.

Кроме того, предлагаются эксплуатационные меры, такие как корректирование периодичности проведения ТО. Так Вохмин Д.М. разработал методику корректирования периодичности ТО топливных форсунок с учётом средней технической скорости автомобилей. Однако среднюю техническую скорость в автотранспортных предприятиях обычно не фиксируют, так как для этого необходимо дополнительное оборудование.

Существующие методики корректирования периодичности ТО имеют ряд существенных недостатков, так как не учитывают в полной мере условия эксплуатации автомобилей. Автотранспортные предприятия (АТП) теряют прибыль в связи с недостаточно точным планированием поставок запасных частей, что нередко приводит к дополнительным простоям автомобилей в зонах ТО и ремонта.

Следовательно, необходимы исследования, направленные на разработку методик корректирования периодичности ТО и определения потребности в запасных частях, использование которых позволит обеспечить заданный уровень работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе.

**Цель исследований** – повышение надёжности автомобилей путем разработки и внедрения методик корректирования периодичности ТО и определения потребности в запасных частях для системы питания дизельных двигателей при эксплуатации в холодном климатическом регионе.

**В диссертационной работе решаются следующие задачи.**

1. Выявить факторы, влияющие на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.

2. Выявить закономерности влияния условий эксплуатации на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.

3. Разработать математические модели закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.

4. Разработать методику практического использования результатов исследований и оценить их эффективность.

**Объект исследований** – процесс изменения надёжности систем питания автомобильных дизельных двигателей под влиянием эксплуатационных факторов.

**Предмет исследований** – закономерности влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости автомобиля на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

**Научная новизна:**

1) установлены факторы, влияющие на надёжность систем питания автомобильных дизельных двигателей при эксплуатации в условиях холодного климата;

2) выявлены закономерности влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей при эксплуатации автомобилей в условиях холодного климата;

3) разработаны математические модели влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей;



4) разработана методика оперативного корректирования периодичности технических воздействий для обеспечения заданного уровня работоспособности системы питания автомобильных дизельных двигателей в условиях холодного климата, а также методика планирования потребности в запасных частях для системы питания с учетом средней технической скорости и вариации температуры воздуха в течение года.

**Теоретическая значимость** работы заключается в установлении закономерностей и разработке математических моделей влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей при эксплуатации автомобилей в условиях холодного климата.

**Практическая значимость** заключается в разработке методик корректирования периодичности ТО топливной аппаратуры дизельных двигателей, а также планировании потребности в запасных частях для системы питания дизельных двигателей с учетом вариации условий эксплуатации автомобилей, использование которых позволяет повысить надежность и сократить затраты на эксплуатацию автомобилей.

**Область исследования** соответствует паспорту специальности 2.9.5 – Эксплуатации автомобильного транспорта: п. 11. Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем; п. 12. Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации.

**Методология и методы исследований.** В роли общей методологии исследований выбран системный подход, который является основой для осуществления как теоретических, так и экспериментальных исследований. В процессе проведения исследований применялись различные методы анализа и синтеза, гипотетический подход, корреляционно-регрессионный анализ и пассивный эксперимент.

**На защиту выносятся:**

1) результаты отбора факторов, влияющих на надежность систем питания автомобильных дизельных двигателей при эксплуатации в условиях холодного климата;

2) закономерности влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей при эксплуатации автомобилей в условиях холодного климата;

3) математические модели влияния температуры воздуха и средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей;

3) методика оперативного корректирования периодичности технических воздействий для обеспечения заданного уровня работоспособности системы питания автомобильных дизельных двигателей в условиях холодного климата, а также методика планирования потребности в запасных частях для системы питания с учетом средней технической скорости и вариации температуры воздуха в течение года.

**Степень достоверности результатов.** Результаты исследований получены с использованием известных методов разработки математических моделей, корректных подходов при оценке их адекватности экспериментальным данным. Научные положения, выводы и рекомендации основаны на теоретических исследованиях, проверенных и подтвержденных при корректном получении, обработке и анализе репрезентативного объема экспериментальных данных.

#### **Апробация работы.**

Результаты исследований используются в производственной деятельности Сургутского управления технологического транспорта №2 ПАО «Сургутнефтегаз», а также в учебном процессе Тюменского индустриального института при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 23.03.03 – и 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и апробированы на научно-практических конференциях: всероссийских и

национальных – «Передовые технологии нефтегазовой отрасли» (Сургут 2023), «Нефть и газ: технологии и инновации» (Тюмень, 2021); «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2020, 2021, 2022, 2023); международных – «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2020, 2021, 2022), «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург 2023), «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (Вологда 2021, 2022), «Инновационные процессы в науке, технике и экономике» (Нижневартовск 2022), «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» (Нижневартовск 2023); «Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2022» (Сургут 2022, 2023).

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 8 статьях, из которых 3 – в изданиях из списка ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает следующие компоненты: введение, четыре раздела, заключение, список использованных источников и приложения. Объем работы – 178 страниц. В ней содержится 46 таблиц, 114 рисунков и 5 приложений. Список использованных источников содержит 191 наименование, включая 14 иностранных.

# 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

## 1.1 Проблемы обеспечения надёжности системы питания автомобилей с дизельными двигателями

Для обеспечения надёжности автомобиля и его систем следует обеспечить надёжность каждой детали.

Проблему обеспечения надёжности автомобилей изучали большое количество авторов: Авдонькин Ф.Н. [2, 3], Андриянов Ю.В. [5], Баженов Ю.В. [8, 9, 10] Бедняк М.Н. [10], Говорущенко Н.Я. [33], Григорьев М.А. [39, 40, 41, 42], Денисов А.С. [45, 47, 48, 49], Ждановский Н.С. [52], Захаров Н.С. [56, 57, 58, 60, 63, 64], Звягин А.А. [68], Кузнецов Е.С. [93, 94, 95, 97, 98], Лукинский В.С. [104], Макарова А.Н. [112, 113], Проников А.С. [136], Ракитин А.Н. [137, 138, 139], Резник Л.Г. [140, 141, 143, 144], Сергиенко Е.С. [152], Тахтамышев Х.М. [155], Хазов Б.Ф. [165], Хасанов Р.Х. [166], Шевелев Е.С. [171], Щурин К.В. [174] и многие другие. Из анализа работ известно, что надёжность систем автомобиля закладывается на двух стадиях: при проектировании и производстве, а реализуется в период эксплуатации.

Система питания является одной из ключевых систем двигателя, предназначенная для подачи в цилиндры определенного количества топлива под высоким давлением в соответствии с выбранным режимом работы двигателя [16, 91, 156].

В своих работах Вохмин Д.М. [21, 22] рассматривает три направления повышения надёжности топливной системы: модернизация конструкции двигателя и его систем (в том числе системы питания), совершенствование системы ТО. При этом рассматривая в большей степени надёжность топливных форсунок, не затрагивая всю систему питания дизельного двигателя.

К основным проблемам обеспечения надёжности системы питания на стадии проектирования можно отнести следующее: обеспечение ремонтпригодности деталей, входящих в систему питания; выявление быстро изнашивающихся

деталей и поиск причин; разработка современных устройств, предохраняющих систему от отказов и неисправностей, обеспечение требуемой прочности деталей и др. [36, 52, 127, 172].

На стадии производства к проблемам обеспечения надёжности системы питания относятся: повышение требований к качеству изготовления и сборки деталей; модернизация методов контроля соблюдения точности деталей и др. [39, 42, 54].

При эксплуатации автомобиля можно выделить ряд проблем для обеспечения надёжности топливной аппаратуры: несвоевременное проведение технических воздействий и контроль их выполнения, несоблюдение температурных режимов работы системы, использование некачественного топлива, плохие условия эксплуатации и др. [4, 12, 34, 40, 60, 126, 150, 157].

Проблема обеспечения надёжности топливной системы дизельных двигателей на описанных выше стадиях решается путем нахождения компромиссов. Например, повышение срока службы и увеличение ресурса узлов и агрегатов системы питания возможно при стадии проектирования, но это приведёт к повышению стоимости изготовления деталей и уменьшению спроса на автомобили, ввиду увеличения цены на них [82].

На стадии производства, к примеру, возможно решение проблемы изготовления качественных деталей применяя более точное и технологичное оборудование, но это также увеличит цену на автомобиль и ухудшению на него спроса [66].

При стадии эксплуатации системы питания возможно обеспечение надёжности автомобилей на высоком уровне путём модернизации системы ТО и ремонта, но данная мера ведет к определенным затратам предприятия (повышение квалификации сотрудников, закупка современного оборудования, затраты на организационные социологические мероприятия) [148].

Для повышения эксплуатационной надёжности автомобиля и его систем Матвиенко И.В. и Ивашко В.С. [117] предлагают следующие решения:

- создание и использование специальных методических документов, которые будут определять показатели эксплуатационной надежности автотранспорта в реальных условиях эксплуатации;

- определение критериев безотказной работы и технических параметров автотранспорта;

- анализ причин отказов и неисправностей деталей и узлов;

- выделение группы деталей, ограничивающих общую надежность автотранспорта, а также его систем и узлов, и разработка комплекса мер для повышения уровня надежности эксплуатации автомобилей.

Также авторы [69] предлагают использовать выборки малого объема на основе баз данных первичной информации с целью организации системы мониторинга безотказности транспорта, что даст возможность определить узлы и детали автомобиля, лимитирующих надежность агрегатов и систем. Но такая методика требует значительных трудовых ресурсов и материальных затрат. На практике не всегда есть возможность сформировать необходимую выборку достаточно большого объема, которая обеспечивала получение достоверных показателей надежности.

Габитов И.И. [24] к выше перечисленным задачам по повышению эксплуатационной надёжности топливной аппаратуры, сокращению себестоимости проведения ТО и снижению его трудоёмкости добавляет следующее:

- организация технического сервиса с разграничением полномочий технических служб по проведению операций ТО и ремонта;

- подключение к проведению ТО и ремонта специализированных предприятий технического сервиса;

- применение современных технологий (электронных систем и ПО) при проведении ТО и ремонта топливной аппаратуры.

В качестве решения предложенных задач для повышения качества обслуживания и ремонта системы питания автор [23] предлагает: использовать технологии регулировки широкого спектра топливной аппаратуры (на основе использования универсальных стендовых форсунок); прибегать к различным

методикам и устройствам для повышения точности получения данных о системе питания дизельных двигателей; применять диагностические модули (например, для проверки электромагнитных клапанов).

Предложенные решения, по мнению автора, приведут к повышению эксплуатационной надёжности топливной аппаратуры. Но не каждое автотранспортное предприятие сможет реализовать представленные мероприятия в силу их дороговизны.

## **1.2 Факторы, влияющие на надёжность системы питания автомобилей с дизельными двигателями**

Надёжность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта, хранения и транспортирования [1, 10, 52, 136, 150, 154, 165].

Рациональное прогнозирование изменения показателей технического состояния автомобиля и его компонентов позволяет предугадывать потенциальные проблемы и отказы, связанные с выходом систем из строя, падением производительности или преждевременным износом. Анализ литературных источников [1, 7, 8, 9, 10, 25, 36, 39, 40, 41, 42, 44, 52, 56, 57, 95, 97, 98, 136, 154, 168, 136, 137, 156, 174] показал, что на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей влияет значительное количество факторов, которые необходимо наиболее полно рассмотреть и классифицировать.

Захаров Н.С. и авторы [63] с помощью метода априорного ранжирования в своём исследовании выявили ряд факторов, которые влияют на поток отказов: интенсивность эксплуатации автомобилей, климатические (в том числе и сезонные) и дорожные условия, квалификация водителей, возраст парка автомобилей.

Проников А.С. [136] в своей работе утверждает, что в течение времени любое механическое устройство подвергается внешним и внутренним воздействиям, которые вызывают изменения и, как следствие, потерю его работоспособности. К внешним факторам автор относит окружающую среду, человека (оператора или ремонтника). К внутренним факторам - рабочие процессы, протекающие в машине, и работа отдельных ее механизмов.

В работе Чооду О.А. [169, 170] помимо внешних и внутренних факторов, описанных Прониковым А.С., вводит понятие общих факторов, в основу которых относит человеческий фактор (создание и проектирование объекта, эксплуатация и др.).

Галиев И.Г. и Хусаинов Р.К. [30] в своем исследовании описывают следующие факторы, которые, по их мнению, наибольшим образом влияют на эксплуатационную надёжность:

- качество обкатки;
- качество ТО;
- организация и качество ТР;
- хранение и качество ТСМ;
- характеристика водителя;
- обеспеченность предприятия;
- условия хранения;
- уровень организации использования техники;
- организация и дифференциация механизированных работ.

В работе Охотникова Б.Л. [175] факторы, влияющие на эксплуатационные свойства двигателей, разбиты на три группы:

- природно-климатические факторы;
- режимы работы двигателей;
- качество расходных материалов.

Необходимо обратить внимание, что данный анализ не включает оценку конструкции двигателя и автомобиля, которые имеют существенное влияние на эффективность работы системы питания.



Чебоксаров А.Н. [168] указывает, что надежность объекта при эксплуатации обеспечивается путем не только соблюдения условий и режимов эксплуатации, а также своевременным проведением периодических технических обслуживаний. В работе вопрос надежности автомобиля рассматривается в целом, при этом надежность каждой системы двигателя не учитывается.

В своих исследованиях Газарян А.А. [25], ко всем вышеперечисленным факторам, влияющим на надежность автомобилей, относит:

- конструктивные дефекты;
- квалификацию водителей;
- рациональную организацию технической эксплуатации автомобилей на АТП;
- способы хранения и условия пуска двигателей в зимнее время.

Также к факторам, влияющим на надежность относят условия эксплуатации [7].

В своих работах Кузнецов Е.С. [93, 95, 97] обращается к теме влияния условий эксплуатации на изменение технического состояния автомобилей. Рассматривая данную проблему, автор подробно анализирует и объясняет, как различные факторы эксплуатации могут влиять на состояние и работу автомобилей: «... условия эксплуатации, влияют на режим работы агрегатов и деталей, ускоряя или замедляя изменение параметров их технического состояния». Автор также подчеркивает роль следующих факторов, оказывающих влияние на надежность автомобилей: дорожные и транспортные условия; специфика движения; климатические и сезонные условия эксплуатации.

Помимо факторов, рассмотренных Кузнецовым Е.С., Анисимов И.А. [6] дополнительно обращает внимание на такие аспекты, как организация работы подвижного состава, материально-техническое обеспечение предприятия и его производственно-техническая база, квалификация водителей и персонала, средства автоматизации производства, способы защиты агрегатов автомобилей от переохлаждения в зимний период при их хранении на открытых площадках между сменами.

В своих исследованиях Вохмин Д.М. и Захаров Н.С. [20, 64] обращают внимание на условия работы двигателя, которые оказывают существенное влияние на надежность топливной аппаратуры. Они отмечают, что среднетехническая скорость эксплуатации автомобиля играет важную роль в этом процессе. Кроме того, авторы полагают, что параметры топливоподачи изменяются в зависимости от условий работы автомобиля. В других исследованиях [19] также отмечается, что условия работы включают в себя температурный режим, используемое топливо, изменение закона подачи топлива, а также особенности процесса впрыска, связанные с возможными нарушениями регулировок дизельного двигателя.

Мусин К.С. и соавторы [120] к основным факторам, влияющим на работоспособность автомобилей, агрегатов и систем, снижающим их надёжность, относят: производственные (некачественные материалы, нарушение технологии производства, недостаточный контроль качества, неудовлетворительные испытания) и эксплуатационные (квалификация водителей и обслуживающего персонала, качество ГСМ, качество проведения ТР и КР, дорожная сеть, температурные режимы).

Попцов В.В. [133] в своей работе к значимым факторам, действующим на надёжность автомобилей, относит интенсивность эксплуатации и низкие температуры воздуха. Автор утверждает, что основной причиной потери работоспособности двигателей при низких температурах является отказ топливной системы.

Монгуш С.Ч. [119] утверждает, что природные факторы, связанные с климатом, наибольшим образом оказывают влияние на надёжность и производительность наземных транспортно-технологических машин (НТТМ). К основному климатическому фактору, воздействующему на изменение технического состояния НТТМ, автор относит температуру воздуха. Это объясняется увеличением количества отказов при понижении температуры воздуха переходом металлов из вязкого состояния в хрупкое, при этом сопротивляемость материалов к трещинообразованию стремится к нулю, следовательно, растёт концентрация напряжений в деталях.

Петровский Д.И. и Ралко А.Д. [128] в своём исследовании относят уровень технического обслуживания и ремонта отдельных элементов системы питания к значимым факторам, влияющими на эксплуатационную надёжность системы в целом. Авторы утверждают, что при нарушении технологии ремонта, а именно требований безукоризненной чистоты при переборках, притирке и монтаже элементов топливной аппаратуры ведет к повышению изнашивания сопряжённых деталей и скорому их отказу.

Из всего выше сказанного, все факторы, влияющие на надёжность топливной аппаратуры, можно классифицировать (рис. 1.1), разделив их на проектировочные, производственные и эксплуатационные.

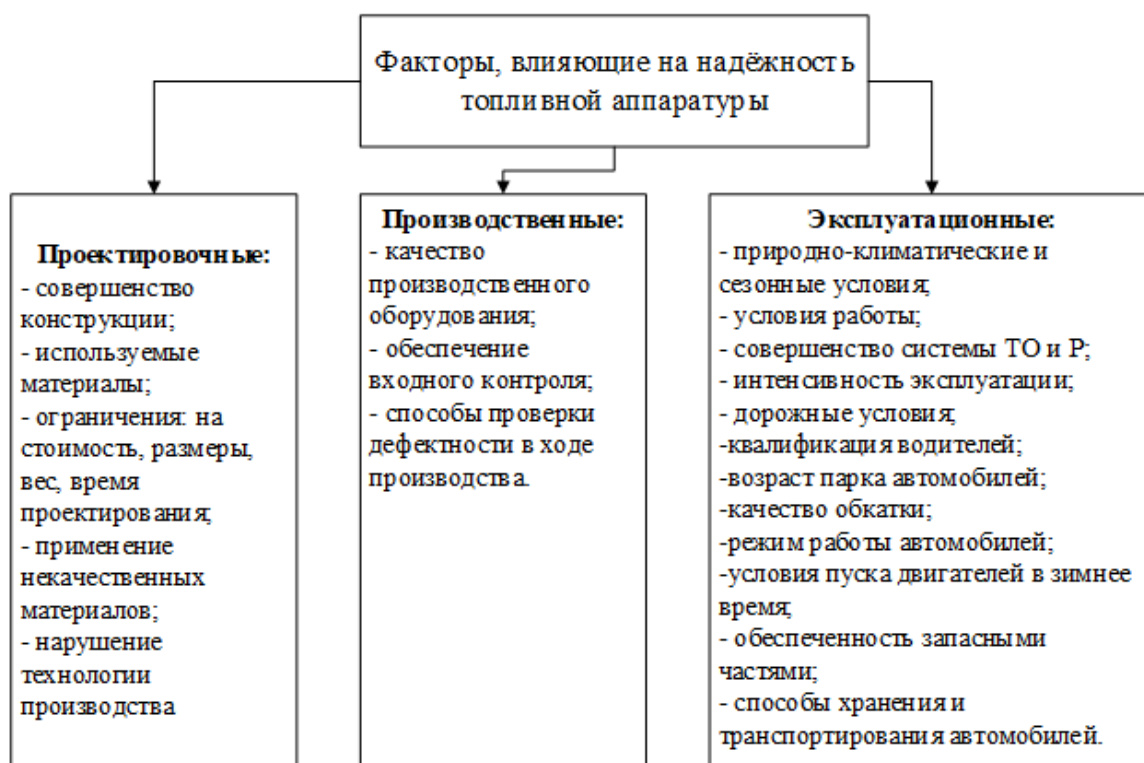


Рисунок 1.1 - Факторы, влияющие на надёжность топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей

Произведя анализ, описанный выше, отечественной литературы и иностранных источников [177, 178, 179, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190] необходимо заметить, что в большинстве выполненных ранее работах факторы, влияющие на эксплуатационную надёжность топливной аппаратуры

автомобильных дизельных двигателей не рассматриваются отдельно от других систем автомобиля. Следовательно, проблема обеспечения надёжности системы питания автомобильных дизельных двигателей не в полной мере изучена, и требует более детального рассмотрения.

### **1.3 Анализ результатов исследований влияния условий эксплуатации на надёжность топливной аппаратуры**

Надёжность дизельных двигателей напрямую связана с техническим состоянием и эффективностью работы топливной аппаратуры. По мере обеспечения ее бесперебойной работы и поддержания оптимальных параметров функционирования, достигается высокая степень надёжности и долговечности двигателя. Несмотря на реализацию различных мероприятий по повышению надёжности: улучшение качества изготовления деталей; внесение конструктивных изменений, внедрение инновационного оборудования; улучшение фильтрации топлива - надёжность системы питания остается на низком уровне. Повысить надёжность топливной аппаратуры возможно, если учитывать условия эксплуатации автомобиля.

В работах Кузнецова Е.С. [94, 95, 97, 98] говорится, что износ и разрушение дорожного покрытия сокращают надёжность автомобиля на 14-33%. Условия движения и условия перевозки также, по мнению автора, оказывают значительное влияние на износ деталей автомобиля. Кузнецов Е.С. акцентирует внимание на существенном влиянии природных и климатических условий на степень износа автомобильных агрегатов и, как следствие, возрастающее количество отказов, отнесенных к пробегу. Также автор приводит зависимость количества отказов от средней температуры воздуха (рис. 1.2). Из диаграммы видно, что с понижением температуры количество отказов увеличивается. Одной из причин возникновения отказа является нарушение тепловых режимов работы автомобиля.

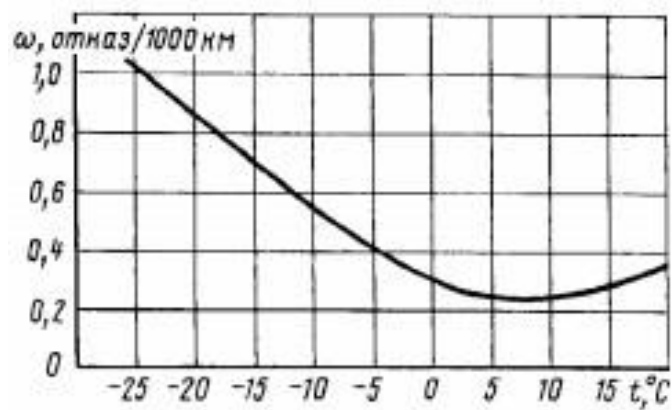


Рисунок 1.2 - Влияние температуры воздуха на общий параметр потока отказов агрегатов и узлов автомобилей [158]

Известно, что со снижением температуры воздуха ниже  $-5^\circ\text{C}$  приводит к ухудшению условий эксплуатации двигателя [106, 107, 141]. Крайне низкая температура окружающей среды затрудняет работу двигателя. В связи с этим изменяются свойства топлива и масел, что приводит к: уменьшению мощности, повышению расхода ТСМ. Изменение вязкости и плотности топливо-смазочных материалов может привести к отказу элементов топливной аппаратуры, вследствие низкой прокачиваемости [58]. Так при отрицательных температурах воздуха из-за низкого давления подводимого масла к турбокомпрессору происходит заклинивание вала турбины [176].

Также при низких температурах воздуха фильтры тонкой и грубой очистки, а также топливопроводы, забиваются частицами водяного льда и парафина, которые появляются в дизельном топливе [137, 156, 175].

Низкие температуры снижают эластичность резинотехнических изделий, что ведёт к потере герметичности различных систем автомобиля [138]. Так в исследованиях Денисова А.С. [135] приводятся данные о том, что 88% всех отказов турбокомпрессоров возникают из-за неудовлетворительной работы узла уплотнения. Вследствие этого нарушается балансировка колес турбины и компрессора, так как на них появляются отложения масла. Последствием отложений может быть обрыв сварного соединения между ними и выходу из строя всего агрегата.

На физические свойства топлива влияет изменение температуры воздуха. Так при увеличении температуры уменьшается плотность и вязкость топлива, что ведет к уменьшению подачи топлива в двигатель, так как больше топлива будет перетекать через зазоры в плунжерных парах.

Высокая температура воздуха может привести к нарушению в работе топливных насосов низкого и высокого давления, вызвать полусухое и сухое трение в деталях. Ухудшается работа фильтров тонкой и грубой очистки топлива, повышается испаряемость дизельного топлива через вентиляционные отверстия в баке [35, 43, 92, 158].

При высоких температурах снижается вязкость масла в двигателе, которое подаётся под давлением в подшипниковый узел турбокомпрессора. Масло в узле выполняет функцию смазки и отвода части тепла от трущихся поверхностей. Вследствие снижения вязкости прочность масляной плёнки уменьшается, что может привести к заклиниванию ротора в подшипнике [29,131, 138].

В связи с различными условиями эксплуатации автомобилей, возможны следующие отказы турбокомпрессора: нарушение герметичности корпуса подшипникового узла турбокомпрессора, что приводит к течи масла через уплотнители; разбалансировка, повышенный радиальный ход вала ротора и его заедание, связанное с неустойчивой работы двигателя на режимах максимального крутящего момента, что ведет к перегревам и частым отказам элемента [131, 145, 176].

По мнению Кулакова А.Т. и соавторов [26, 29, 31, 99, 100, 101, 102] надёжность турбокомпрессора зависит от работоспособности подшипникового узла. Подшипник турбокомпрессора выполняет свои функции в негативных условиях, так как турбина приводится во вращение от выхлопных газов двигателя, которые разогревают узел до 700 °С. При этом агрегату необходимо сохранять свою работоспособность при различных режимах работы автомобиля: пуск и прогрев двигателя, резкое изменение скоростных и температурных режимов. При этом будет меняться процесс смазывания подшипника с жидкостного на полужидкостный. Со снижением эффективности смазки агрегата вал

турбокомпрессора при вращении касается корпуса подшипникового узла, что ведёт к внезапным отказам [27, 28, 124, 125].

Ипатов А.Г. [71, 72] относит к наиболее распространенными причинами ухудшения работы подшипникового узла турбокомпрессора к некачественной смазке узла, так как изнашивание контактирующих поверхностей носит адгезионный характер.

Вышесказанные причины приводят к уменьшению ресурса элементов топливной аппаратуры в 1,5-2 раза по сравнению с эксплуатацией при нормальной температуре воздуха [57].

Статистика по отказам системы питания, обработанная в Институте независимой автотехнической экспертизы МАДИ позволила сделать выводы причин отказов:

- эксплуатационные (использование некачественного топлива, несвоевременная очистка или замена топливных фильтров и т.д. – 90% отказов);
- производственные (брак при изготовлении деталей системы – 2% отказов);
- связанные с некачественным проведением ТО и ремонта (попадание воздуха в систему, нарушение технологии проведения ТО или ремонта и т.д. – 8% отказов) [80].

При изменении сезонных условий эксплуатации автомобилей меняются температура окружающего воздуха, дорожные условия, появляются дополнительные факторы, которые повышают интенсивность изнашивания агрегатов и узлов автомобиля [149]. К таким факторам, оказывающим влияние на уровень изменения параметров технического состояния автомобиля, можно отнести: повышенная влажность весной, запылённость в летний период, ветер.

В исследовании Ракитина А.Н. и соавторы [139] проведен анализ факторов, существенно меняющиеся в течение сезонов года. К наиболее изменяющимся авторы относят температуру окружающего воздуха, сопротивление движению и интенсивность эксплуатации автомобилей.

Бодров А.С. и соавторы [77, 79] в своих работах считают, что главной причиной отказов топливных форсунок является нарушение норм и правил

эксплуатации автомобилей, а именно в исследованиях говорится о использовании некачественного дизельного топлива с повышенным содержанием воды и серы. Присутствие данных элементов в топливе ведёт к гидроабразивному изнашиванию рабочей части иглы, появлению коррозии и постепенному отказу топливной системы.

Малахов А.Ю. и соавторы [78, 103] считают, что причиной большинства отказов элементов системы питания является наличие примесей и воды в топливе, использование дефектного топливного фильтра. Попадание воды в систему питания связано с гигроскопическими свойствами топлива, то есть в способности поглощать атмосферную влагу в результате конденсации при сильных перепадах температур воздуха. Наличие 1% воды в топливе увеличивает изнашивание прецизионных деталей топливной системы в 2,2 раза [74].

Каримходжаев Н. и Сайдалиев И.Н. [84] также относят обводнение топлива к одной из причин отказов прецизионных деталей системы питания, которое вызывает появление коррозионных компонентов (нафтенных и сульфитных кислот, сероводорода) на поверхностях деталей.

При эксплуатации автомобиля в переувлажнённой среде возможно попадание воды в топливную систему. Влага вызывает коррозию элементов топливной аппаратуры, выход из строя дорогостоящих узлов (ТННД, ТНВД, топливная форсунка и др.) [167].

К одним из наиболее влияющим факторам на интенсивность изменения параметров тех. состояния автомобиля в летний период является запылённость. Находящаяся в воздухе пыль при попадании в узлы и системы автомобиля, которые находятся в зацеплении или в трении между собой, выступает как абразивный материал, что приводит к задирам [1]. Особенно опасны пыль и песок для прецизионных деталей, к которым относятся:

- плунжерные пары;
- топливные форсунки;
- нагнетательные клапаны с гнездами [85].



Твёрдые частицы, вместе с топливом попадая в ТНВД и топливные форсунки, ускоряют износ прецизионных деталей. Неисправные плунжерные пары приводят к: увеличению продолжительности впрыска топлива и периоду задержки воспламенения, уменьшению давления впрыска, и как следствие, к возникновению перегрева двигателя. Механические загрязнения распылителей форсунки приводят к нарушению топливоподачи в камеру сгорания и ухудшению смесеобразования.

Также в составе пыли возможно содержание химически активных веществ. Это может ухудшить химические свойства топлива и усилить изнашивание и коррозию деталей топливной системы [92, 89, 91, 157, 158].

Влияние ветра в своих работах рассматривал Резник Л.Г. [140, 141, 142, 143, 144]. Автор утверждает, что при усилении потоков воздуха в атмосфере на 10 м/с происходит увеличение интенсивности охлаждения систем автомобиля в 3 раза сравнительно штиля. В среднем, в течение 25-30 минут зимой и за 3 часа летом, автомобиль в умеренном климате остывает до уровня окружающей температуры.

На интенсивность изнашивания влияет агрессивность окружающей среды [158]. Для автомобилей агрессивной окружающей средой может являться химический груз. При эксплуатации автомобиля в таких неблагоприятных условиях сокращает его ресурс, так как возрастает интенсивность коррозии деталей и узлов топливной аппаратуры [98, 158].

На производительность топливной аппаратуры оказывает влияние высота эксплуатации автомобиля. По мере повышения высоты над уровнем моря, снижается давления воздуха и в моменты впрыска начинает происходить ухудшение распыла топлива в камере сгорания (уменьшается тонкость распыла), увеличивается период задержки воспламенения топлива, нарушается нормальный процесс горения топлива, наблюдается жёсткость работы двигателя [53, 147, 161].

В литературных источниках, описанных выше, приводятся исследования различных режимов работы топливной аппаратуры, которые могут оказывать воздействие на скорость изменения характеристик технического состояния системы питания. При этом физический смысл при тех или иных условиях

эксплуатации системы не рассматривается, что ведет к необходимости более детального изучения.

#### **1.4 Практическое использование закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность системы питания автомобилей с дизельным двигателем**

Для повышения эксплуатационной надёжности элементов системы питания с учётом влияния условий эксплуатации разработан ряд решений.

Для предотвращения появления отказов топливной аппаратуры, в частности топливных форсунок, Захаров Ю.А. [65, 67] в своих трудах предлагает проведение диагностики и испытаний на модернизированном устройстве для проверки топливных форсунок дизельных двигателей. Предложенное устройство автора позволяет проводить диагностику и испытания форсунки без снятия с двигателя, что ведёт к уменьшению времени диагностирования.

Гаврилов К.В. и соавторы [153] предлагают внедрение нового метода для повышения эффективности плунжерной пары топливной системы ТНВД - текстурирование поверхности плунжера. Этот инновационный подход способен значительно улучшить работу плунжерной пары и повысить ее эффективность. Текстурирование выполняется путем создания определенных микрорельефов на поверхности плунжера. Это позволит улучшить характеристики смазки плунжерной пары, тем самым сократив количество отказов ТНВД из-за заклинивания сопряжённых деталей [179, 181, 182].

В работах Ипатова А.Г. [70, 71, 72] повышение эксплуатационной надёжности, на примере турбокомпрессора ТКР 7С-6, достигается путем создания новых пар трения в подшипниках с использованием сверхтвёрдых керамических покрытий (пример покрытий: В4С-ВН и БрАЖ9-4), которые значительно должны снизить коэффициент трения в узле по сравнению с показателями стандартных подшипников.

Другое решение по модернизации подшипникового узла предложено Кулаковым А.Т., Галиевым И.Г. и соавторами [26, 27, 31, 118, 130]. В работах проблема недостаточного давления подвода масла к трущимся деталям решается путём добавления независимой системы смазки для подшипникового узла турбокомпрессора, а именно внедрение в систему теплового аккумулятора. Также авторами предложены методы поддержания работоспособности турбокомпрессора на стадии эксплуатации: ограничить время работы двигателя с предельной температурой выхлопных газов, запретить остановку турбокомпрессора без предварительного охлаждения, свести к минимуму холодных запусков двигателя без подогрева [164].

Помимо внедрения теплового аккумулятора в системе смазки подшипникового узла турбокомпрессора описанным выше, Денисов А.С. [45, 46, 47, 48, 49] предлагает установку автономной системы смазки, которая сможет обеспечить подводом смазки к трущимся поверхностям на всех режимах работы узла (перед пуском двигателя, при эксплуатации и останове).

Бурцев А.Ю. и соавторы [13, 14, 76, 129, 134, 146] считают, что снижение ресурса турбокомпрессора связано не только с недостаточным подводом масла к трущимся поверхностям, но и дополнительным выбегом ротора при остановке двигателя и прекращении подачи масла к трущимся поверхностям. Для обеспечения бесперебойной подачи масла и увеличению ресурса ротора турбокомпрессора в работах предлагается установку автономного смазочно-тормозного устройства (АСТУ). Устройство включает в себя гидроаккумулятор и тормозной механизм (воздушный дроссель). В исследованиях авторов выяснено, что при предложенной модернизации турбокомпрессора выбег ротора можно сократить до 35%, уменьшив при этом габариты и время работы гидроаккумулятора.

Предложенные мероприятия по повышению эксплуатационной надёжности элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей являются конструктивными, которые находятся на стадии проекта или производства. Данные

решения требуют значительных затрат времени и средств на проведение испытаний и последующих внедрений в конструкцию рассмотренных элементов.

Для повышения надёжности топливной аппаратуры автомобилей на стадии эксплуатации предлагается проведение своевременного планирования и проведения ТО с учётом условий эксплуатации. Данная мера позволит сэкономить время и денежные средства предприятий, эксплуатирующих автомобили с дизельным двигателем.

Задачу по планированию и проведению ТО выполняет техническая эксплуатация автомобилей (ТЭА) [112].

Техническая эксплуатация автомобилей - это комплекс взаимосвязанных между собой мероприятий, обеспечивающий: своевременную подачу работоспособных автомобилей в нужное время на линию; поддержание автомобилей в исправном и работоспособном состоянии при рациональных затратах [10, 33, 143, 157, 158].

В своём труде Хасанов Р.Х. [166] говорит, что эффективность ТЭА обеспечивается инженерно-технической службой (ИТС), которая реализует цели и задачи ТЭА, а также приводит этапы «жизненного цикла» автомобилей (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Этапы «жизненного цикла» автомобилей [166]

Таким образом, целью ТЭА является поддержание установленного уровня работоспособности автомобилей, а также эффективное использование материальных и трудовых ресурсов. Важным аспектом этого процесса является минимизация отрицательного воздействия автомобильного транспорта на человека и окружающую среду. Путем предотвращения неисправностей, регулярного технического обслуживания и проведения необходимых ремонтных работ техническая эксплуатация способствует обеспечению безопасности транспортных средств и снижению рисков возникновения аварийных ситуаций. Кроме того, эффективное управление ТЭА позволяет достичь рационального использования топлива и других ресурсов, что ведет к значительной экономии денежных средств предприятия [166].

Для обеспечения оптимального функционирования системы ТО и ремонта автомобилей, а также управления запасами компонентов и топливо-смазочных материалов (ТСМ) на складе требуется предварительное прогнозирование изменений в техническом состоянии как отдельного автомобиля, так и всего автопарка в определенный период времени. Для успешного решения данных задач крайне важно иметь представление о закономерностях, которые определяют изменение качества автомобилей.

Закономерность – это объективно существующая и повторяющаяся связь между явлениями. Все закономерности могут быть разделены на две основные категории: функциональные, также известные как детерминированные, и случайные, которые также называются вероятностными или стохастическими [60].

Изучение и анализ функциональных закономерностей (зависимостей) позволяют определить зависимости и связи между различными факторами, в результате чего можно предсказать изменения качества автомобилей. Эти закономерности предполагают наличие определенных правил и законов, которыми руководствуются процессы изменения технического состояния автомобилей. Использование знаний о функциональных закономерностях помогает спланировать рациональные стратегии обслуживания и ремонта, а также эффективно управлять запасами необходимых запасных частей и ТСМ.

Функциональная зависимость представляет собой связь между зависимой переменной  $Y$  и независимой переменной  $X$ . Здесь  $Y$  обозначает функцию отклика, то есть то, что зависит от входных данных, а  $X$  – независимая переменная или аргумент, которая влияет на значения функции  $Y$ :

$$Y = f(X).$$

Функциональная зависимость может иметь разные формы и выражаться через различные математические уравнения, в зависимости от характера исследуемых данных. Она является ключевым инструментом в анализе данных и позволяет строить модели, предсказывать значения функций отклика на основе изменений независимых переменных.

Детерминированные закономерности отличаются жесткой связью между зависимыми и независимыми переменными. В данном случае, каждому определенному значению аргумента соответствует конкретное значение функции. То есть, изменение независимой переменной непосредственно влияет на значение зависимой. Эта жесткая связь позволяет предсказывать результаты по заданной зависимости и анализировать влияние различных факторов на конечный результат [11, 33, 60, 94].

Стохастические закономерности отличаются от детерминированных тем, что функция отклика в них не определяется только аргументом, но и подвержена влиянию случайных факторов. Это означает, что для каждого значения  $Y$  существует соответствующий ряд значений  $X$ , причем каждый ряд имеет свое собственное математическое ожидание и дисперсию, а также величину  $\varepsilon$ , которая не зависит от  $X$  [50, 51, 60, 171]:

$$Y = f(X) + \varepsilon.$$

Стохастические закономерности обладают определенными особенностями, которые отличаются от простых причинно-следственных связей. В то время как детерминированные закономерности четко определяют функцию отклика по заданному аргументу, стохастические законы подвержены влиянию случайных факторов, что приводит к определенной неопределенности в результате.

Качество систем автомобилей является одним из ключевых аспектов, которое определяет их надежность и долговечность (рис. 1.4). Однако качество, включая и систему питания двигателей, изменяется по мере эксплуатации. Это связано с наработкой, которая является функцией времени. В процессе эксплуатации автомобиля происходят изнашивание и старение различных деталей и компонентов, что влияет на их работоспособность и эффективность [60].

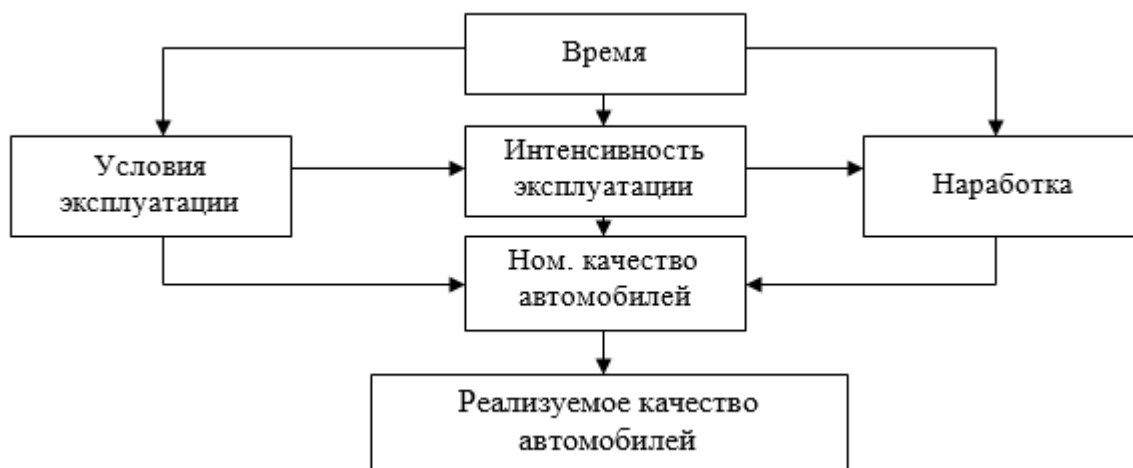


Рисунок 1.4 – Общая схема формирования качества автомобилей [60]

В своих исследованиях Захаров Н.С. [60] подробно рассматриваются различные группы закономерностей, связанные с формированием качества автомобилей при эксплуатации. В качестве дополнения к существующим группам закономерностей, автор предлагает включить еще ряд групп:

- закономерности, связанные с изменением наработки автомобилей в зависимости от времени;
- закономерности, связанные с изменением условий эксплуатации автомобилей со временем.

Условия эксплуатации автомобилей непрерывно меняются со временем. Все описанные выше факторы, воздействующие на автомобиль, подвержены изменениям, хоть и в разной степени. В своих исследованиях Захаров Н.С. [56, 57, 60] подчёркивал, что особенно вариативными являются климатические условия, которые меняются сезонно. Учесть все эти факторы в нормировании технических воздействий невозможно. Поэтому, для оценки влияния климатических условий на

качество автомобилей, в том числе на систему питания, достаточно учитывать один показатель - температуру воздуха [60].

Эталонные нормативы ТО – это нормативы проведения технического обслуживания, которые устанавливают заводы-изготовители и излагаемые в сервисных книжках.

Эталонные условия работы – это работа базовых моделей автомобилей, которые имеют пробег с начала эксплуатации не более 75% от нормы до КР и умеренном климатическом районе [132]. Пример эталонных нормативов проведения ТО представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Эталонные нормативы проведения ТО автомобилей КАМАЗ

№	Наименование ТО (в объеме регламентных работ)	Периодичность выполнения работ для 1-й категории условий эксплуатации автомобилей уровня	
		Евро-4	Евро-3
Для неполноприводных и тяжелых автомобилей			
1	ТО-2500	От 1 000 до 5 000 км	От 1 000 до 5 000 км
2	ТО-1	через 25 000 км	через 10 000 км
3	ТО-2	через 50 000 км	через 30 000 км
Для полноприводных автомобилей			
1	ТО-2500	От 1 000 до 5 000 км	От 1 000 до 5 000 км
2	ТО-1	через 10 000 км	через 5500 км
3	ТО-2	через 30 000 км	через 16500 км

Как отмечалось ранее надёжность автомобиля и его систем зависит от условий эксплуатации.

При изменении условий эксплуатации автомобиля необходимо проводить корректирование нормативов, для предотвращения изменения качества автомобиля. Существует два вида корректирования нормативов: ресурсное и оперативное [132]. В своих исследованиях Захаров Н.С. и Макарова А. Н. [61] говорят о переменности характера условий эксплуатации, что приводит к трудности учитывать всё многообразие условий эксплуатации.



Ресурсное корректирование позволяет учесть особенности работы автомобилей в различных условиях эксплуатации и, следовательно, адаптировать процесс обслуживания под конкретные нужды каждого автомобильного парка. Такой подход позволяет сэкономить ресурсы и улучшить общую эффективность предприятия. Подробный план по корректировке нормативов дан в «Положении ...» [132].

Оперативное корректирование, соответственно, производится изменением операций, проводимых в ТО с учётом определенных факторов (конструктивные особенности, условия эксплуатации, особенности АТП). Для проведения оперативного корректирования необходимо знать количество отказов, затраты на проведение ТО, учёт технического состояния автомобилей и др.[132].

Периодичность ТО является нормативным показателем, определяющим промежуток времени или пробега автомобиля (наработки) между проведением над ним определенного технического воздействия [97, 98]. При этом, скорректированная периодичность ТО позволяет организовать рациональное снабжение АТП запасными частями и оптимизировать процесс подбора и приобретения необходимых компонентов для обслуживания автопарка, что существенно влияет на его эффективность и безопасность работы.

Существует ряд методов определения периодичности ТО [15, 47, 55, 87, 88 96, 97, 98, 126, 158, 166], которые представлены на рис. 1.5.

Простейший метод определения периодичности ТО заключается в сравнении с прототипами или с более ранними моделями, после чего уточняется в результате заводских испытаний и опыта эксплуатации автомобиля. Недостатком метода является неточность назначения периодичности ТО и может быть рекомендован только в качестве ориентировочного.

Аналитические методы основываются на результаты наблюдений и опираются на основные закономерности ТЭА [98].



Рисунок 1.5 - Методы корректирования норм периодичности ТО

Определение частоты определенных воздействий над автомобилем на основе уровня безотказности осуществляется за счёт выбора периодичности, которая опирается на допустимую вероятность безотказной работы для агрегатов и узлов и не превышает установленного предела [158]. Периодичность, определенная данным методом, существенно меньше средней наработки на отказ агрегата или узла.

Для определения технического состояния узлов, у которых параметр постепенно изменяется, широко применяется метод, основанный на анализе допустимых значений и закономерностей этих изменений. Если известна закономерность изменения данного параметра и предельное значение, возможно спрогнозировать момент наступления неисправности для данного узла.

Технико-экономический метод основывается на определении рационального режима проведения ТО. Метод учитывает влияние периодичности ТО на износ деталей, стоимость ЗЧ и материалов, трудовые затраты проведения ТО. Под рациональным режимом проведения ТО подразумевается оптимальная периодичность ТО к минимуму суммарных удельных затрат [158].

Экономико-вероятностный метод обобщает предыдущие методы, описанные выше, и учитывает случайные факторы. Дает возможность сравнить различные подходы к поддержанию и восстановлению работоспособности автомобиля [116, 157, 158].

Использование имитационного моделирования при выборе периодичности технического воздействия дает возможность: ускорить проводимые испытания, исключить вторичных факторов, снизить стоимость экспериментов, рассмотреть большое количество вариантов. Исходным материалом для проведения данного вида моделирования выступают наработки на отказ и законы распределения (рис. 1.6).

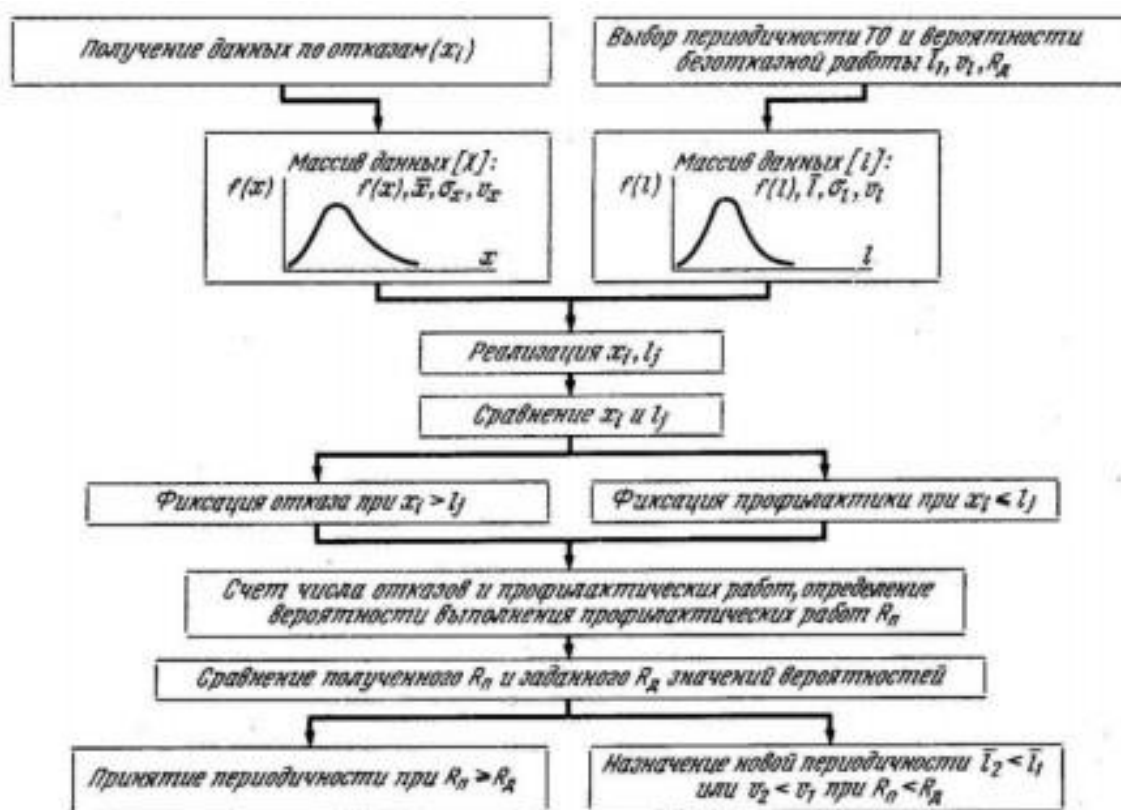


Рисунок 1.6 – Использование имитационного моделирования для изменения норм периодичности ТО [98]

При выполнении моделирования применяется весь объем доступной информации об фактических отказах, что в реальной практике использовать невозможно, поскольку определенная часть отказов устанавливается в ходе профилактических мероприятий. Следовательно, для достижения наилучших

результатов рекомендуется прибегать к методам, основанным на анализе неоконченных испытаний [60, 97, 98, 126, 157, 158].

Для проведения профилактических воздействий требуются ресурсы в виде запасных частей и материалов. Отсутствие достаточного количества таких ресурсов приводит к несвоевременному или неполному выполнению профилактических операций, что в свою очередь может вызвать простои автомобилей в зонах ТО и ремонта. Однако, иметь излишние запасы также не является оптимальным решением, поскольку это приводит к увеличению стоимости оборотных фондов и, в конечном счете, к увеличению затрат на эксплуатацию автомобилей. Таким образом, для обеспечения бесперебойной работы автомобилей и оптимизации затрат на их эксплуатацию, необходимо балансировать количество запасных частей и материалов, чтобы удовлетворить потребности ТО и одновременно избегать лишних издержек. Данную задачу решает система материально-технического снабжения (МТС), которая играет значительную роль в эффективном функционировании автотранспортного предприятия [59].

Система МТС включает в себя несколько ключевых компонентов. Во-первых, это планирование и закупка ресурсов. Автотранспортное предприятие должно определить необходимые ресурсы и разработать методы их приобретения с минимальными затратами. Важно принимать во внимание объемы ресурсов, необходимые для поддержания непрерывного функционирования подвижного состава.

Во-вторых, система МТС обеспечивает доставку ресурсов на предприятие. Это подразумевает разработку эффективных логистических схем и выбор оптимальных поставщиков, способных осуществлять доставку вовремя. Важно учесть географическое положение предприятия и наличие различных способов транспортировки, чтобы снизить затраты на доставку.

Третий компонент системы МТС - это хранение ресурсов. Автотранспортное предприятие должно иметь складские помещения, где ресурсы могут быть сохранены до момента их использования. Важно разработать систему контроля

складских запасов и учесть сроки годности ресурсов, чтобы избежать их просрочки и потери [114].

Определение потребности в ресурсах является важным фактором для эффективного управления запасами автотранспортного предприятия. Существует ряд методик, позволяющих определить потребность в ресурсах, в зависимости от их вида: по номенклатурным нормам; по фактическому спросу; смешанный метод, включающий в себя два предыдущих [158, 159, 173].

Первый метод заключается в нахождении расхода запасных частей и материалов по каждой детали на 100 автомобилей в год для проведения ТО и ремонта с помощью нормативной документации (номенклатурной нормы  $H$ ) [123].

Согласно работам Кузнецова Е.С. [159] потребность в запасных частях и материалах находится по следующей формуле:

$$P_{зч} = \frac{HA_c}{100} K_{п} K_1 K_2 K_3,$$

где  $H$  – номенклатурная норма расхода запасных частей и материалов;

$A$  – списочное количество автомобилей в парке предприятия;

$K_{п}$  – корректирующий коэффициент, учитывающий соотношение фактического и нормативного пробега автомобилей в год;

$K_1, K_2, K_3$  – корректирующие коэффициенты, описанные в «Положении ...» [132].

Второй метод заключается в сборе информации о потоке требований и определении плана поставок по расходу за предыдущий аналогичный период и на основании этого выполнение расчёта потребности в запасных частях и материалах.

Третий метод представляет собой комбинацию двух предыдущих. Однако, принципы расчета потребности в ресурсах, описанные ранее, основываются на предположении о стационарности потока требований на ресурсы. В действительности данный поток является не постоянным, его особенности изменяются со временем. Это связано с неравномерностью интенсивности в различные сезоны года и в зависимости от условий, в которых эксплуатируются автомобили. Из всего выше сказанного следует, что для реализации максимально

полного ресурса элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей необходимо учитывать условия эксплуатации и их сезонный характер при корректировании периодичности проведения технических воздействий над системой и определении рационального количества запасных частей и компонентов на складе предприятия.

### **1.5 Выводы по разделу 1. Задачи исследований**

На основе всего выполненного анализа сделаны следующие выводы.

Надежность автомобилей является ключевым свойством, оказывающим значительное влияние на эффективность их использования. При этом на системы автомобиля, в том числе и на топливную аппаратуру, существенное воздействие оказывают условия эксплуатации. В целях минимизации данных воздействий разработаны ряд методик, корректирующих нормативы системы обеспечения работоспособности. Однако, переменный характер условий эксплуатации учитывается в них недостаточно.

На степень изменения технического состояния системы питания автомобильных дизельных двигателей оказывает влияние множество факторов. Часть из них можно учесть при корректировании периодичности технических воздействий, однако влияние условий эксплуатации не полностью учитывается при установлении корректирующих коэффициентов. В условиях холодного климата обеспечение надежности функционирования системы питания осложняется существенным влиянием климатических факторов на свойства топлива и рабочие процессы дизельных двигателей. Таким образом, в настоящее время установленные интервалы проведения технических воздействий не могут гарантировать необходимый уровень безотказной работы систем питания автомобильных дизельных двигателей в условиях холодного климата.

При планировании потребности автотранспортных предприятий в запасных частях используется детерминированный или стохастический подход. Детерминированный подразумевает применение оценки объемов спроса на

запасные части, основанные на средних значениях. Точность данного метода зависит от промежутка времени, в течение которого были получены средние значения, и от интенсивности потока требований на запасные части и материалы. Стохастический подход позволяет учесть различные факторы, а также случайность процесса расходования и поступления запасных частей. Данный подход предусматривает создание имитационных моделей, применение которых на практике затруднительно.

Используемые в автотранспортных предприятиях системы материально-технического снабжения имеют ряд недостатков, среди которых необходимо отметить временную диспропорцию между потребностью предприятий в запасных частях и их поставками. Это связано с тем, что в регионах с холодным климатом предприятия зачастую расположены на больших расстояниях от складов поставщиков ресурсов, и доставка материалов осуществляется либо раз в год, либо один раз в квартал. При этом поставленных ресурсов может быть недостаточно для нормального функционирования предприятия. Эти недостатки в системе снабжения существенно сказываются на эффективности работы АТП. Значительное время ожидания поставок запасных частей приводит к снижению производительности и увеличению простоев транспортных средств, что отрицательно сказывается на экономическом положении предприятия.

Таким образом, существует проблема, связанная с повышением надежности системы питания автомобильных дизельных двигателей. Для решения данной проблемы необходимо учесть сезонную вариацию, условия и характер эксплуатации системы.

Основываясь на проведенном анализе, сформулированы следующие задачи для исследования, решение которых способствует достижению поставленной цели.

1. Выявить факторы, влияющие на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.
2. Выявить закономерности влияния условий эксплуатации на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.

3. Разработать математические модели закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность систем питания автомобилей с дизельными двигателями.

4. Разработать методику практического использования результатов исследований и оценить их эффективность.



## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Общая методика исследований

В основе выбранной методологии исследования лежит системный подход, которой заключается в более глубоком анализе объекта исследования как целостной системы.

На первом этапе осуществляется анализ состояния вопроса, рассматриваются выполненные ранее работы по теме, формулируется цель и задачи. Для эффективного решения поставленных задач, проводятся комплексные исследования, включающие как теоретические, так и экспериментальные исследования.

Основой теоретических исследований является логический метод. После анализа выполненных ранее исследований были предварительно отобраны факторы, влияющие на надёжность системы питания. После выдвигается гипотеза о факторах, влияющих наибольшим образом на топливную аппаратуру, далее после проверки гипотезы определяются границы системы. Реализация системного подхода включает в себя структурирование и декомпозицию (разделение целого на части) исследуемой системы, при этом используются методы анализа и синтеза и дедуктивный метод исследования частных зависимостей.

На третьем этапе проводятся экспериментальные исследования, которые позволяют проверить выдвинутые гипотезы теоретической части, проводится проверка адекватности математических моделей, определяются их численные значения параметров.

Четвертый этап заключается в разработке практических методик использования полученных результатов исследований, формулировании выводов и определении экономической эффективности предложенных решений на основе технико-экономического метода.

Исследовательский процесс наглядно представлен в виде схемы (рис. 2.1), демонстрирующем общую методику исследований.

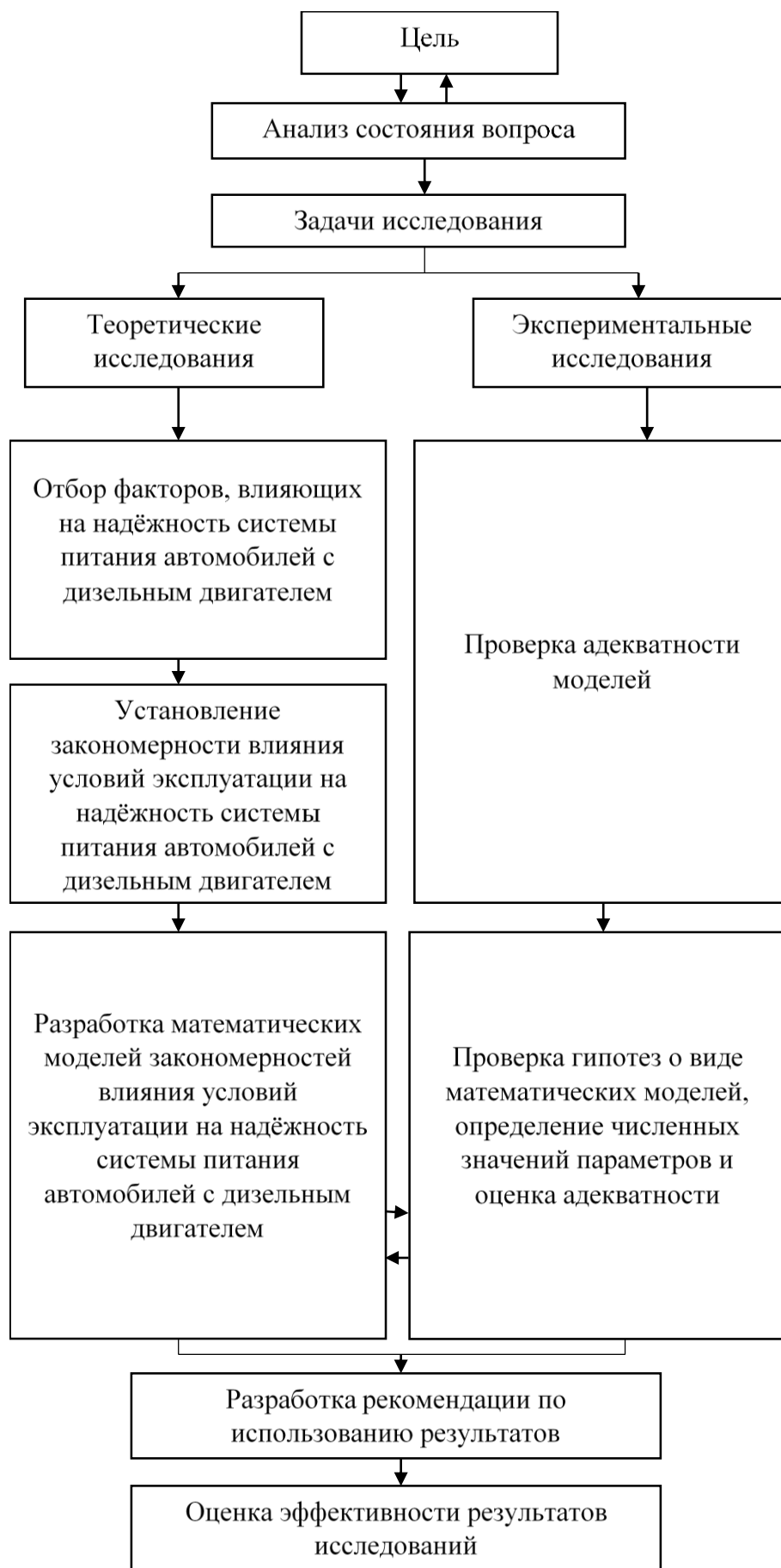


Рисунок 2.1 - Схема общей методики исследования

Первая задача исследований - выявление факторов, влияющих на надёжность системы питания с дизельным двигателем решается в теоретической части путём анализа выполненных ранее исследований, обобщения материала, составление системы классификации факторов и формулировки гипотезы о влиянии выбранных факторов на надёжность системы питания.

Вторая задача исследования – установление закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность системы питания автомобилей с дизельным двигателем - решается путём установления структуры изучаемой системы и выявлением закономерностей влияния условий эксплуатации.

Третья задача исследования - разработать математические модели закономерностей влияния условий эксплуатации на надёжность системы питания автомобилей с дизельным двигателем – решается использованием гипотетического подхода. осуществляется формулировка гипотез относительно различных видов математических моделей, а также их последующая проверка в ходе экспериментальных исследований.

Заключительная задача исследования – разработать методику практического использования результатов исследований и оценить их эффективность – решается определением рациональной периодичности технических воздействий и оптимальным количеством запасных частей на складе с учётом сезонной вариации и условий эксплуатации системы питания автомобильных дизельных двигателей.

## **2.2. Формирование целевой функции исследований**

Для проведения исследований следует определить границы изучаемой системы (максимальное и минимальное значение), в следствии этого необходимо найти целевую функцию.

Проведение ТО автомобилей по пробегу через равные промежутки, установленные заводом-изготовителем в руководстве по эксплуатации, не учитывая условия эксплуатации, ведёт к ухудшению свойств автомобиля, преждевременному старению, понижению надёжности. В результате возникают

преждевременные отказы агрегатов и узлов эксплуатируемых автомобилей. Как следствие, итогом может быть нехватка запасных частей на складе, что приведёт к простоям автомобилях в зонах ТО и ремонта, что в свою очередь уменьшит прибыль предприятия. Не рациональное использование запасных частей может привести к их избытку, что в свою очередь создает ряд проблем: излишние запасные части занимают место на складе и выступают в роли капитала, который не приносит доход предприятию; у ряда запасных частей может наступить физический и моральный износ, который ведёт к убыткам вследствие неликвидности [62].

В связи с этим цель исследования: повышение надёжности автомобилей путем установления закономерностей влияния сезонных условий эксплуатации на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей, корректирования на этой основе периодичности ТО и определения потребности в запасных частях элементов топливной аппаратуры.

Повышение надёжности системы питания автомобильных дизельных двигателей возможно добиться снижением количества отказов элементов исследуемой системы, скорректировав периодичность ТО, учитывая условия эксплуатации [17]. Изменение периодичности ТО оказывает влияние на ряд затрат предприятия: затраты на покупку и хранение запасных частей, затраты на проведение ТО. Говоря про запасные части, необходимо отметить, что в случае отказа какого-либо элемента системы во время эксплуатации автомобиля следует учесть наличие деталей на складе для проведения текущего ремонта (ТР), чтобы не допустить простоев и уменьшения прибыли предприятия [62].

В практике работы автотранспортных предприятий надёжность автомобилей оценивается комплексным показателем – коэффициентом технической готовности (КТГ)  $\alpha_T$ . При этом на его величину влияет не только количество отказов, но и время простоев в ТО и Р, в том числе и из-за отсутствия запасных частей.

Исходя из этого, целевая функция представлена в следующем виде:

$$\alpha_T = \frac{D_{\text{Э}}}{D_{\text{Э}} + D_{\text{ТО}} + D_{\text{ОЗЧ}}^{(n)} + D_{\text{ТР}}^{(n)}(1 - R(L))} \rightarrow \max;$$

$$R(L) = 1 - F(L) \rightarrow R_D(L).$$

$$\text{Ограничения: } D_{OЗЧ}^{(n)} \rightarrow 0; Q_{\text{зап.}} > 0;$$

$$Z_{\text{сум.}} = Z_{\text{ТО}} + Z_{\text{ТР}} \rightarrow \min;$$

$$Z_{\text{ТО}} = C_{\text{ТО}} + Z_{\text{ЗЧ}}; Z_{\text{ТР}} = C_{\text{ТР}} + Z_{\text{ЗЧ}};$$

$$Z_{\text{ЗЧ}} = Z_{\text{пр.}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{хр.}} + Z_{\text{ОФ}},$$

где  $D_{Э}$  – количество дней в эксплуатации автомобилей;

$D_{\text{ТО}}$  – количество дней простоя в зоне ТО;

$D_{OЗЧ}^{(n)}$  – количество дней потенциального простоя автомобилей в связи с ожиданием поставки запасных частей и материалов;

$D_{\text{ТР}}^{(n)}$  – количество дней потенциального простоя автомобилей в зоне ТР;

$R_D$  – допустимая вероятность безотказной работы;

$Q_{\text{зап.}}$  – объём запаса на складе расходных материалов и ЗЧ;

$Z_{\text{ТО}}$  – затраты на проведение ТО, руб.;

$Z_{\text{ТР}}$  – затраты на проведение ТР, руб.;

$C_{\text{ТО}}$  – затраты на проведение ТО, связанные с оплатой труда исполнителей, содержанием инфраструктуры и т.д., руб.;

$C_{\text{ТР}}$  – затраты на проведение ТР, связанные с оплатой труда исполнителей, содержанием инфраструктуры и т.д., руб.;

$Z_{\text{ЗЧ}}$  – общая стоимость запасных частей, руб.;

$Z_{\text{пр.}}$  – расходы на приобретение запасных частей, руб.;

$Z_{\text{тр.}}$  – расходы на транспортировку запасных частей, руб.;

$Z_{\text{хр.}}$  – расходы на хранение запасных частей, руб.;

$Z_{\text{ОФ}}$  – потери, связанные с вложениями в оборотный фонд, руб.

В диссертационных исследованиях допустимая вероятность безотказной работы  $R_D$  равна 0,95. Это связано с тем, что элементы топливной аппаратуры играют одну из ключевых ролей в надёжности двигателя автомобиля, так как холодный климат, большие расстояния, низкая плотность населения могут привести к летальному исходу в связи с отказом какого-либо элемента системы питания. В связи с этим вопрос надёжности исследуемой системы в приоритете.

### **2.3. Отбор факторов, влияющих на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей**

Для разработки методики корректирования периодичности ТО системы питания автомобильных дизельных двигателей необходимо учесть достаточно большое количество факторов, влияющих на исследуемую систему. Основываясь концепцией формирования качества автомобилей [60], а также теоретическими исследованиями при анализе ранее выполненных работ – выполняется полный отбор факторов, их группировка, рассматриваются показатели и даётся оценка влияния рассматриваемых факторов на изучаемую систему.

Для отбора перечня возможно использовать ряд методов: дисперсионный и множественный регрессионный анализы, методы экспертной оценки и главных компонент, моделирование и т.д. [60]. Так как условия эксплуатации имеют случайный характер на процессы формирования надёжности системы питания автомобильных дизельных двигателей – часть методов использовать нецелесообразно. Поэтому для выявления основных факторов, оказывающих влияние на исследуемую систему, выбран метод априорного ранжирования с использованием экспертных оценок. Этот метод отличается универсальностью, достоверностью и оперативностью при правильной его организации проведения. Он является эффективным инструментом анализа и исследования, позволяющим определить основные факторы в минимально короткие сроки.

После проведения анализа выполненных ранее исследований и литературных источников выявлено, что к факторам, влияющим на надёжность системы питания автомобилей с дизельными двигателями, относятся следующие:

- качество топлива;
- навык и квалификация водителя;
- качество проведения технических воздействий;
- оснащённость производственными площадями;
- способ хранения автомобилей;

– транспортные, дорожные и климатические условия.

Для того чтобы установить важность влияния выбранных факторов на исследуемую систему, выполнена оценка на основе экспертного анализа. Методика, использованная для проведения анализа, описана Кузнецовым Е.С. [94]: подготовлена соответствующая анкета, определена группа компетентных экспертов в количестве десяти человек, эксперты провели ранжирование факторов из анкет. Результаты анкетирования приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты анкетирования

Факторы	Ранги (присвоены экспертами)									
	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Эксперт 8	Эксперт 9	Эксперт 10
Качество топлива	3	4	1	3	3	4	4	2	1	3
Навык и квалификация водителя	6	5	6	5	6	7	6	5	7	6
Качество проведения технических воздействий	5	6	5	6	5	6	5	6	4	5
Оснащённость производственными площадями	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Способ хранения автомобилей	7	7	7	7	7	5	7	7	6	7
Транспортные условия	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1
Дорожные условия	4	3	4	4	4	3	3	4	5	4
Климатические условия	2	1	3	1	1	2	2	3	3	2
СУММА	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Далее на основе анкет выполнено априорное ранжирование факторов (таблица 2.2.).

После этого, используя коэффициента конкордации Кенделла, была осуществлена проверка соответствия мнений экспертов [94]:

$$W = \frac{12 \cdot 3832}{10^2(8^3 - 8)} = 0,912.$$

Значение  $W$ , полученное в данном исследовании, превышает пороговое значение 0,5, что свидетельствует о значимой согласованности мнений экспертов [94]. Для оценки степени неслучайности данной согласованности, в исследовании использовался критерий Пирсона:  $\chi^2 = 0,912 * 10 * (8-1) = 63,9$

Таблица 2.2 - Результаты априорного ранжирования факторов, влияющих на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей

Факторы	Сумма рангов	Средний ранг	Сумма квадратов разностей рангов	Приоритет	Вес фактора
Качество топлива	28	-17	289	3	0,17
Навык и квалификация водителя	59	14	196	6	0,08
Качество проведения технических воздействий	53	8	64	5	0,11
Оснащённость производственными площадями	80	35	1225	8	0,03
Способ хранения автомобилей	67	22	484	7	0,06
Транспортные условия	15	-30	900	1	0,22
Дорожные условия	38	-7	49	4	0,14
Климатические условия	20	-25	625	2	0,19
СУММА	360		3832	36,00	1,00

Значение  $\chi^2$  оказалось выше ожидаемого для данной вероятности (0,99) и числа степеней свободы (7), и составило 18,5. Таким образом, можно утверждать, что совпадение мнений экспертов не является случайным (рис. 2.2).

Таким образом, наиболее значимыми факторами, влияющими на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей, являются следующие:

- 1 – транспортные условия;
- 2 – климатические условия;
- 3 – качество топлива.



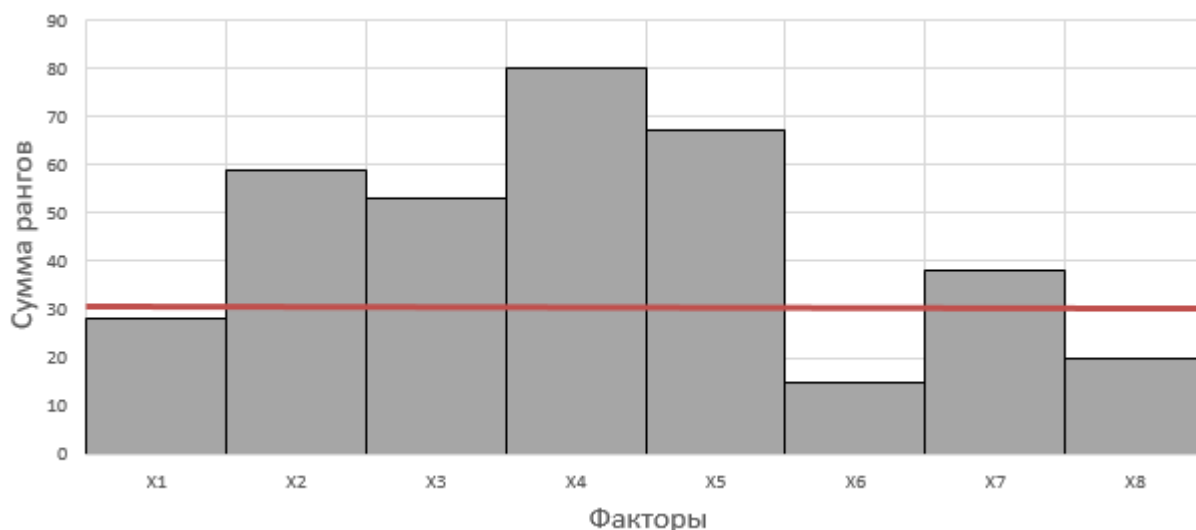


Рисунок 2.2 - Априорная диаграмма рангов факторов, влияющих на надёжность топливной системы дизельных двигателей: X1 – качество топлива; X2 – квалификация водителя; X3 – качество проведения технических воздействий; X4 – оснащённость производственными площадями; X5 – способ хранения автомобилей; X6 – транспортные, X7 – дорожные и X8 – климатические условия

Транспортные условия представляют собой комплексный набор показателей. Выявить и оценить эти показатели довольно сложно, особенно при учете обширности дорожной сети. Более того, в практике автотранспортных предприятий данные показатели не регистрируются и не сохраняются, что делает невозможным их использование при рассмотрении вопроса надёжности.

О качестве дизельного топлива можно судить по ряду показателей, однако, в реальной практике автотранспортных предприятий эти характеристики не регистрируются и не заносятся в отчетные данные, что делает невозможным использование их для оценки надёжности.

При анализе климатических условий необходимо учитывать широкий спектр факторов, которые характеризуют их. Однако, эти факторы тесно взаимосвязаны друг с другом, поэтому для определения общей картины достаточно изучить лишь один показатель - температуру воздуха.

## 2.4. Идентификация изучаемой системы

Основная суть исследований заключается в повышении надёжности системы питания автомобильных дизельных двигателей путем корректирования периодичности проведения ТО учитывая условия эксплуатации автомобилей. Из анализа выполненных ранее работ [57, 112, 137] известно, что условия эксплуатации влияют на интенсивность изменения качества агрегатов и узлов автомобилей в процессе эксплуатации, что в свою очередь ведет к увеличению или уменьшению наработки на отказ. Необходимо учесть, что переменные климатические условия влияют на процесс изнашивания топливной аппаратуры, что в свою очередь может привести к увеличению вероятности возникновения отказов.

В свою очередь, сезонные условия влияют также на расходования запасных частей необходимых для проведения ТО или текущего ремонта (ТР), вследствие этого увеличивается количества запасных частей на складе или их становится недостаточно, следовательно, предприятие несёт убытки, так как автомобили простаивают в зонах ожидания ТО или ремонта.

Для решения описанной проблемы необходимо выполнить формирование суммарных затрат. Одним из ключевых факторов, влияющих на функционирование системы, является временной аспект, который будет входом в систему, поскольку запасные компоненты доставляются в определенные моменты времени.

Со временем условия эксплуатации претерпевают изменения, и транспортные условия, в свою очередь, зависят от этих изменений. Так, например, при смене сезона года будет увеличиваться или уменьшается скорость движения автомобилей по дороге из-за изменения количества осадков и температуры воздуха.

Эксплуатационные и транспортные условия формируют вероятные наработки на отказ, так как они ведут к изменениям технического состояния агрегатов и узлов автомобилей. В случае отказа изменяется количество ЗЧ необходимых для ремонта на складе. Для предупреждения отказов проводится

плановое ТО, периодичность которого задаётся заводом-изготовителем и корректируется с учётом условий эксплуатации. Периодичность ТО формирует количество расходных материалов на складе, что ведёт к изменению объёма поставки, периодичности и запаса материалов на складе.

Для обеспечения потребности в расходных материалах и компонентах для ремонта системы питания определяется объем и периодичность их поставки. В области поставок существует два основных подхода: один - с фиксированным объемом и изменяющейся периодичностью, а второй - с фиксированной периодичностью и изменяющимся объемом.

Эти показатели определяют суммарные затраты на запасные части, которые включают в себя затраты на приобретение, хранение, транспортировку, потери от вложений в оборотные фонды.

Выходом из системы являются общие издержки, связанные с проведением плановых технических воздействий и ремонтных работ, включающие в себя стоимость проведения технических воздействий для исполнителей и затраты на запасные компоненты и расходные материалы.

Для дальнейшего анализа требуется провести идентификацию изучаемой системы на основе ключевых характеристик [62]:

- 1) Происхождение системы является искусственным;
- 2) Относительно иерархии, данная система относится к системе, обеспечивающей работоспособность и материально-техническое снабжение предприятия;
- 3) Система имеет открытую связь с окружающей средой через условия эксплуатации;
- 4) Система динамическая, так как доступ к ней осуществляется в заданное время;
- 5) Функционирование системы является стохастическим, поскольку прогнозирование ее состояния возможно только с определенной вероятностью;
- 6) Элементы в системе являются смешанными, поскольку присутствуют и абстрактные, и конкретные элементы;

7) Зависимость выходов от входов и других переменных характеризуется как секвентивная, то есть выход зависит от входа и ряда других факторов, таких как объем и периодичность поставки запасных частей;

8) Структура системы имеет высокую степень сложности.

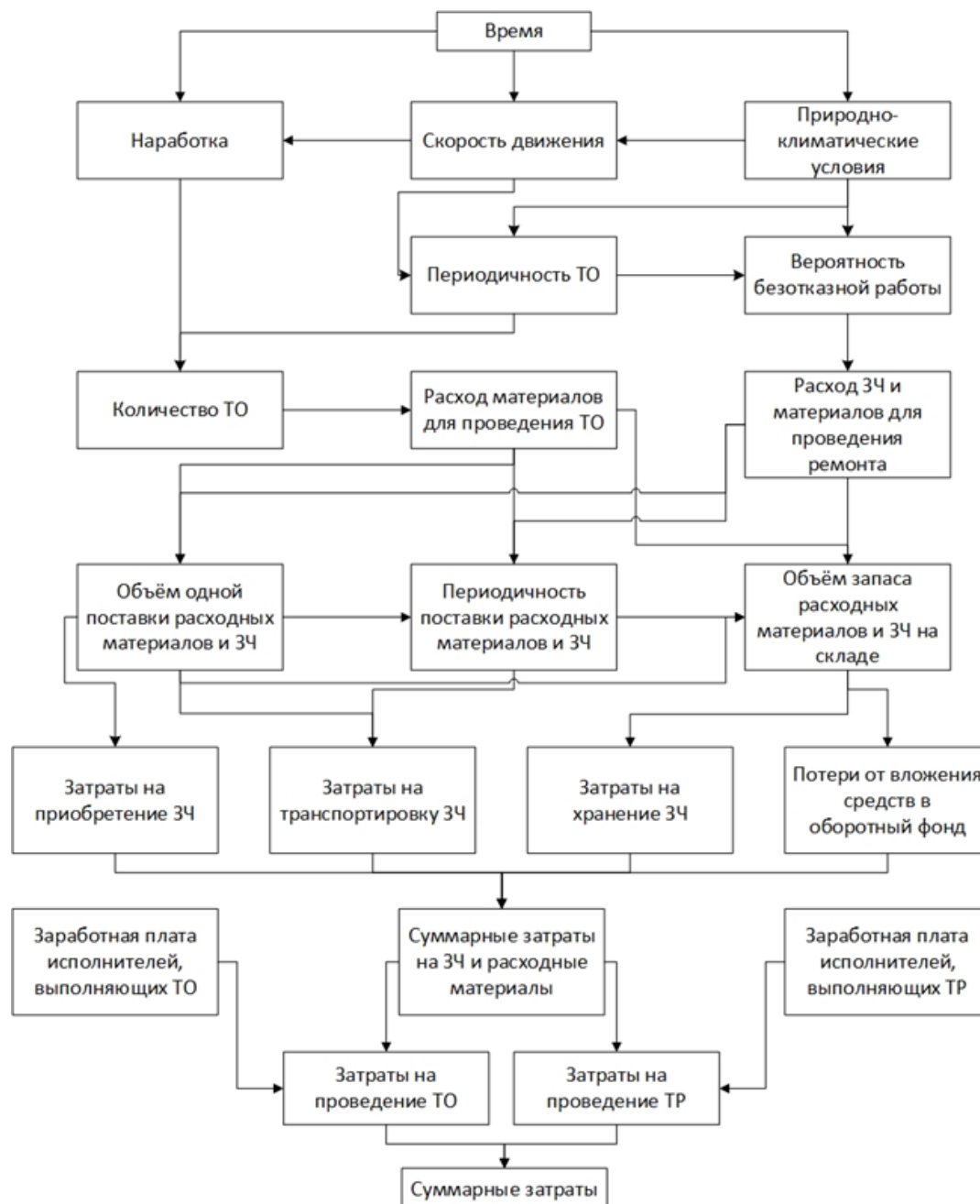


Рисунок 2.3 – Структура изучаемой системы

Дальнейший этап исследований заключается в составлении перечня основных компонентов исследуемой системы и составление их подробного описания (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Описание компонентов изучаемой системы

Наименование компонента	Описание	Условное обозначение	Единицы измерения
1	2	3	4
Время	Глобальная переменная. Отражает текущий временной статус, связанный с календарным или операционным режимом деятельности предприятия.	T	День, месяц, год
Природно-климатические условия	Статистический многолетний режим погоды, характеризующий климат определенной местности.	t	°C
Скорость движения	Расстояние, пройденное за единицу времени.	V	км/ч
Наработка	Период активной эксплуатации изделия (Временной промежуток или пройденный путь), в течение которого оно исправно функционирует и выполняет свои предназначенные задачи [37].	L	км; моточас
Вероятность безотказной работы	Вероятность того, что автомобиль не откажет в пределах заданной наработки.	R	-
Периодичность ТО	Нормативная наработка между двумя последовательно проводимыми однородными работами ТО.	$N_{ТО}$	Ед.
Количество ТО	Количество технических воздействий, при которых выполняется проверка топливной аппаратуры.	$N_{ТО-2}$	Ед.
Расход материалов для проведения ТО	Количество материалов системы питания, расходуемых на проведение технического обслуживания.	$Q_{рас.м.}$	Ед.
Расход ЗЧ и материалов для проведения ремонта	Количество ЗЧ и материалов системы питания, расходуемых на проведение текущего ремонта.	$Q_{ЗЧ}$	Ед.
Объём одной поставки расходных материалов и ЗЧ	Количество ЗЧ для выполнения ТР и расходных материалов для ТО, поставляемых за один рейс.	$Q_{п.}$	Ед.
Периодичность поставки расходных материалов и ЗЧ	Период времени между двумя поставками расходных материалов и ЗЧ.	$T_{п.}$	Дни

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4
Объём запаса расходных материалов и ЗЧ на складе	Количество комплектующих и расходных материалов, использованных на предприятии между двумя последовательными поставками.	Q <sub>зап.</sub>	Ед.
Затраты на приобретение ЗЧ	Средства, выделенные для покупки комплектующих частей топливной аппаратуры.	З <sub>п.</sub>	Руб.
Затраты на транспортировку ЗЧ	Количество денежных средств, направленных на транспортировку ЗЧ топливной аппаратуры до предприятия.	З <sub>тр.</sub>	Руб.
Затраты на хранение ЗЧ	Расходы, связанные с хранением запасных компонентов топливной аппаратуры на предприятии, а также с выводом из обращения средств, вкладываемых в их приобретение.	З <sub>хр.</sub>	Руб.
Суммарные затраты на ЗЧ	Общие затраты предприятия, направленные на приобретение, транспортировку и хранение ЗЧ и расходных материалов системы питания.	З <sub>зч.</sub>	Руб.
Заработная плата исполнителей, выполняющих ТО	Затраты предприятия, направленные на заработную плату исполнителей, выполняющих техническое обслуживание автомобилей.	С <sub>то</sub>	Руб.
Заработная плата исполнителей, выполняющих ТР	Затраты предприятия, направленные на заработную плату исполнителей, выполняющих текущий ремонт автомобилей.	С <sub>тр</sub>	Руб.
Затраты на проведение ТО	Суммарные затраты предприятия, направленные на проведение ТО.	З <sub>то.</sub>	Руб.
Затраты на проведение ТР	Суммарные затраты предприятия, направленные на проведение ТР.	З <sub>тр.</sub>	Руб.
Суммарные затраты	Суммарные затраты предприятия, направленные на проведение ТО и ТР топливной аппаратуры.	З <sub>сум.</sub>	Руб.

## 2.5. Модели влияния температуры воздуха на надёжность элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей

Известно, что температура воздуха существенно влияет на работу ДВС и его систем. Для разработки модели влияния температуры воздуха на надёжность элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей необходимо

учесть условия эксплуатации в разные сезоны года, так как температура топлива будет иметь линейную связь с температурой воздуха.

Анализ ранее выполненных исследований выявил, что при отрицательных температурах повышается вязкость топлива (рис. 2.4) [109, 111], что приводит к ухудшению его прокачиваемости по топливопроводам и, следовательно, снижению качества распыления в камере сгорания, при этом существенная нагрузка приходится на прецизионные пары топливоподкачивающих насосов и ТНВД. При экстремально низких температурах воздуха возможна парафинизация топлива. В фильтрующие элементы могут попадать с топливом частицы льда и парафина [110].

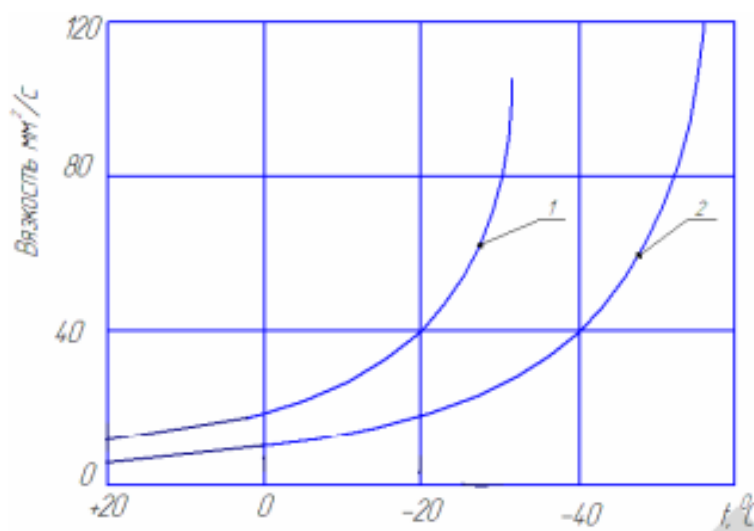


Рисунок 2.4 – Влияние температуры воздуха на вязкость дизельного топлива:  
1 – летнего, 2 – зимнего [109, 111]

При повышении температуры воздуха снижается плотность и вязкость топлива, что приводит к ухудшению работы ТНВД, так как увеличивается количество топлива, перетекающего через зазоры в плунжерных парах, соответственно, увеличивается количество отказов топливных форсунок (в частности распылителя форсунки). Уменьшается дросселирование в топливоподкачивающем насосе. Повышенная температура топливных насосов вызывает полусухое и сухое трение сопряжённых деталей в системе питания,

появляются задиры. Всё это снижает надёжность топливной аппаратуры, что ведёт к увеличению количества отказов элементов данной системы.

В следствии этого можно сделать вывод, что эксплуатация автомобилей при низких и высоких температурах воздуха существенно влияет на параметр потока отказов. Параметр потока отказов - это вероятность возникновения отказа восстанавливаемого изделия, которая определяется для временного интервала или пробега (наработки) с учетом его статистической плотности. [60]. Необходимо найти влияние температуры воздуха на надёжность каждого элемента топливной аппаратуры дизельных двигателей.

Рассмотрим требования, которые должны быть удовлетворены моделью:

- 1) модель должна быть адекватной и отражать действительность;
- 2) в ней должны отсутствовать противоречия физическому смыслу;
- 3) модель должна быть пригодной для практического использования;
- 4) она должна быть системной и включать в себя все необходимые компоненты.

### *2.5.1 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора*

В процессе эксплуатации автомобиля турбокомпрессор испытывает значительные механические (давление до 8 атм.) и температурные (до 700°C) нагрузки от отработавших газов, которые в свою очередь вращают ротор. Скорость вращения ротора, и, следовательно, подшипников, доходит до 120 тыс. мин<sup>-1</sup> [48]. Ранее установлено, что работоспособность подшипников определяет надёжность в целом турбокомпрессора [29].

Количество отказов подшипникового узла увеличивается в связи с недостаточным режимом смазывания данного узла турбокомпрессора.

Предполагается, что низкие температуры могут оказывать негативное воздействие на эффективность работы турбокомпрессора. Так как при снижении температуры воздуха увеличивается его кинематическая вязкость, это может



привести к уменьшению подачи масла и, следовательно, ухудшению смазки внутренних механизмов турбокомпрессора (в том числе нарушению устойчивой работы подшипникового узла). В следствии этого узел будет испытывать масляное голодание, что может привести к непредвидимым отказам (рис. 2.5) [90].

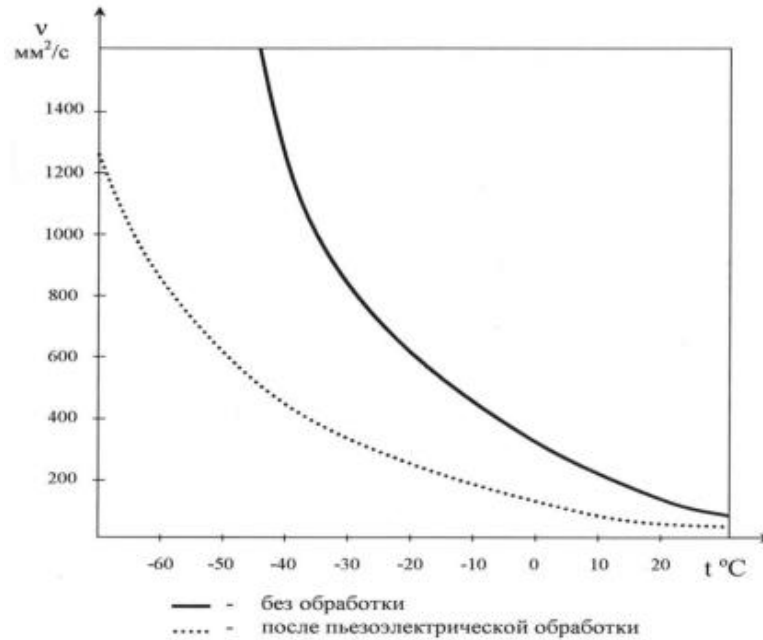


Рисунок 2.5 – Воздействие температуры окружающего воздуха на кинематическую вязкость моторного масла [90]

Также ожидается, что при повышении температуры воздуха количество отказов турбокомпрессора будет снижаться, так как моторное масло будет иметь лучшую прокачиваемость ввиду нормализации вязкости и, следовательно, более полной смазки сопряжённых деталей турбокомпрессора.

При экстремально высоких температурах воздуха количество отказов возрастет, так как вязкость моторное масло будет минимальна и подвод смазочного материала к трущимся поверхностям будет недостаточный (рис. 2.6) [73, 83].

Сформулируем гипотезу о виде математической модели, описывающей взаимосвязь между температурой воздуха  $t$  и параметром отказов  $\omega_t$  турбокомпрессора автомобильных дизельных двигателей (рис. 2.7):

- квадратичная  $\omega_t = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$ ,

где  $a_0, a_1, a_2$  – эмпирические коэффициенты.

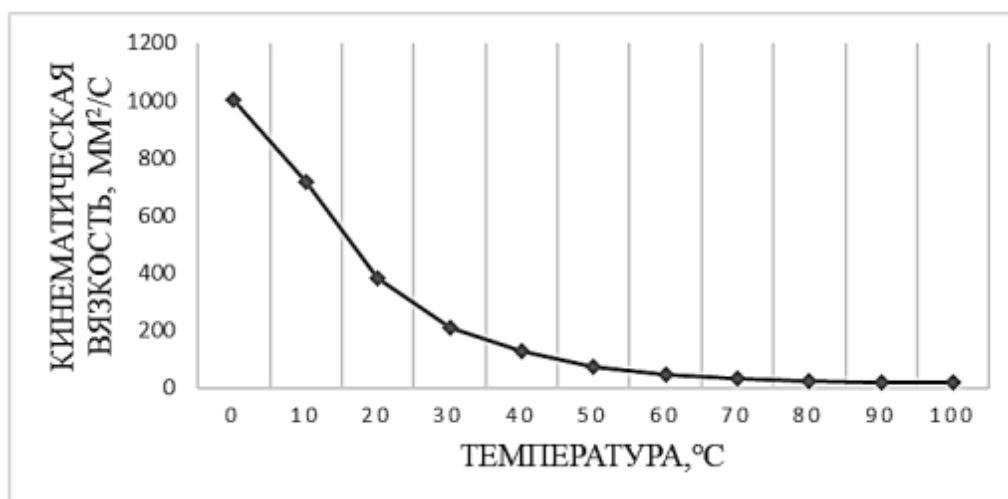


Рисунок 2.6 – Влияние высоких температур на кинематическую вязкость моторного масла [83]

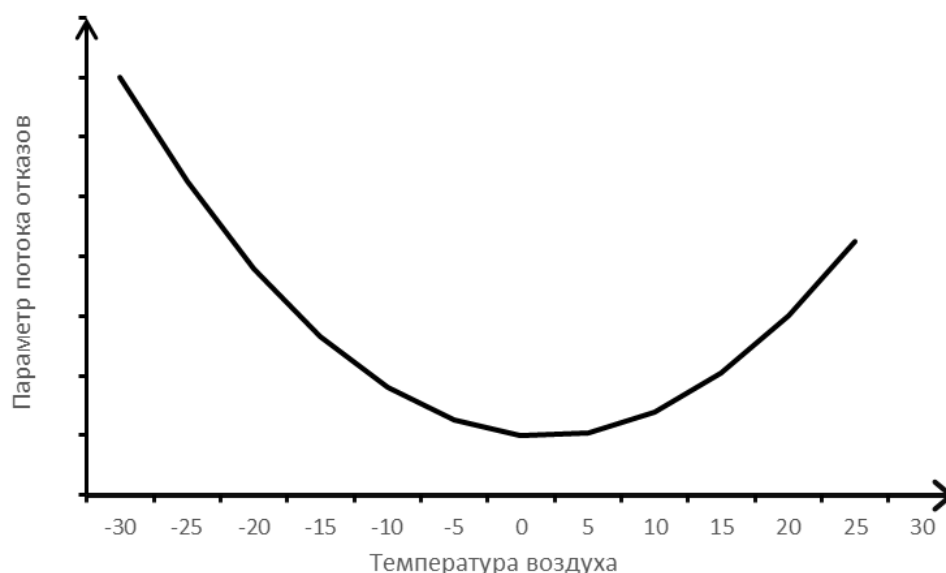


Рисунок 2.7 – Гипотетический вид математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора

### 2.5.2 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного насоса высокого давления (ТНВД)

В первую очередь на работу ТНВД существенное влияние будет оказывать качество топлива и фильтрующих его элементов, а также температура окружающего воздуха. Известно, что с понижением температуры происходит

помутнение топлива в связи с появлением в нём кристаллов парафина [75, 81, 92, 133, 162, 163]. Парафинизация топлива приводит к существенному увеличению количества отказов ТНВД, в связи с понижением проходимости топлива по топливопроводам и забиванию кристаллами парафина фильтрующих элементов (рис. 2.8) [160]. Это ведет к появлению сухого трения в плунжерных парах и нарушению работы ТНВД в целом.

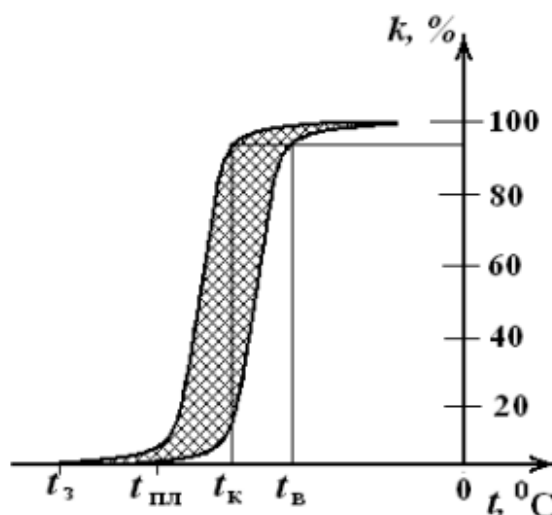


Рисунок 2.8 – Влияние температуры воздуха на коэффициент пропускания дизельного топлива  $t_3$  – температура застывания;  $t_{пл}$  – температура плавления;  $t_k$  – температура кристаллизации (кристаллизация топлива);  $t_b$  – температура восстановления [160]

При положительной температуре воздуха прокачиваемость топлива по топливопроводам увеличивается, уменьшается его вязкость, что негативно воздействует на качество работы ТНВД.

Влияние температуры воздуха  $t$  на параметр потока отказов  $\omega_t$  ТНВД автомобильных дизельных двигателей предлагается описать с помощью следующей математической модели:

$$- \text{квадратичная } \omega_t = a_2 t^2 + a_1 t + a_0,$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические коэффициенты.

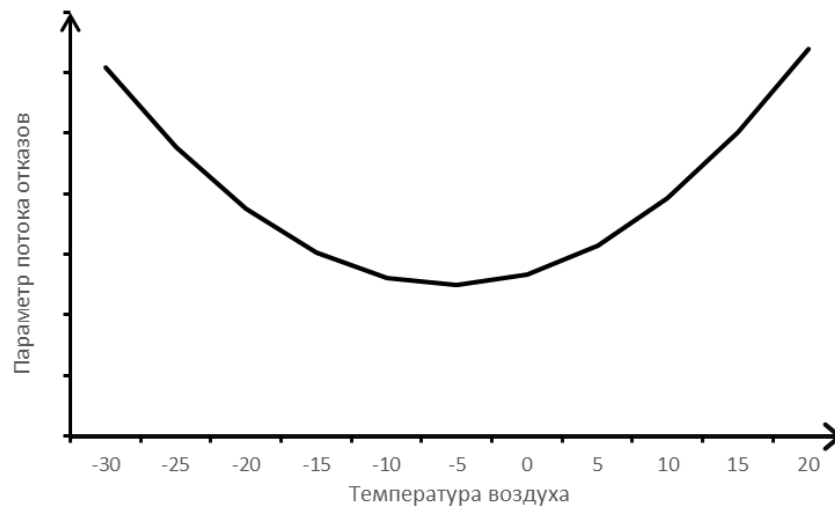


Рисунок 2.9 - Гипотетический вид математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД

### *2.5.3 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливopодкачивающего насоса*

Сезонные изменения температуры воздуха существенно влияют на надёжность топливопровода низкого давления [86, 151]. Отказ топливopодкачивающего насоса в большей степени связан с изменением вязкости топлива и его парафинизацией [75, 81] при резком понижении температуры воздуха, следовательно, при низких температурах воздуха количество отказов возрастает.

При повышении температуры воздуха количество отказов будет расти, так как прецизионные пары будут работать при сухом и полусухом трении, так как вязкость топлива будет минимальна.

В таком случае математическая модель влияния температуры воздуха  $t$  на параметр потока отказов  $\omega_t$  топливopодкачивающего насоса автомобильных дизельных двигателей будет иметь следующий вид (рис. 2.10):

- квадратичная  $\omega_t = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$ ,

где  $a_0, a_1, a_2$  – эмпирические коэффициенты.

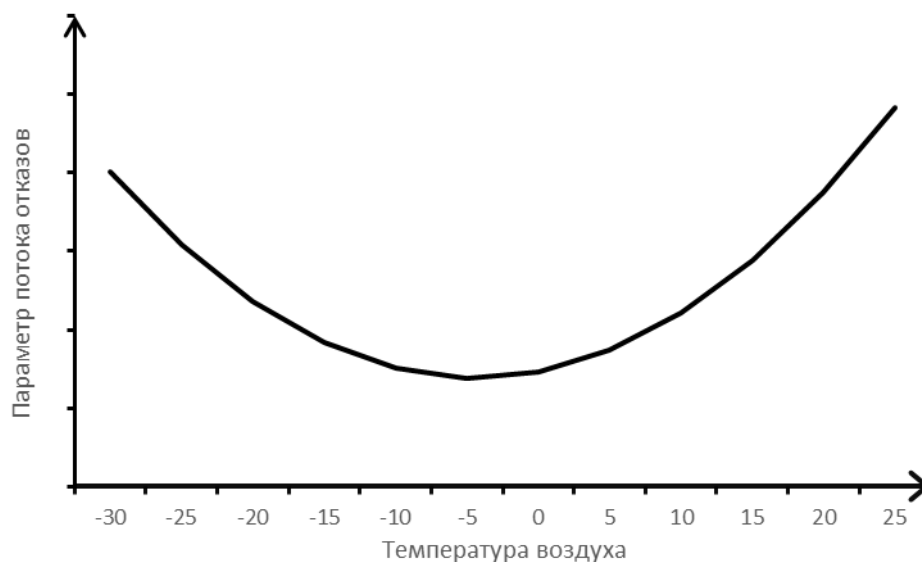


Рисунок 2.10 - Гипотетический вид математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов ТННД

#### *2.5.4 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки*

С понижением температуры воздуха увеличивается вязкость топлива, которая приводит к ухудшению распыла дизельного топлива в камерах сгорания топливными форсунками [19, 20]. Это приводит к большому количеству отказов распылителя форсунки, так как идёт быстрое изнашивание его сопла.

При повышении температуры воздуха вязкость топлива нормализуется и количество отказов данного элемента будет наименьшим при температуре воздуха от 0°C до +10°C. Но при повышении температуры воздуха выше +15°C предполагается, что количество отказов топливной форсунки увеличится, так как снижается плотность и вязкость топлива.

Математическая модель влияния температуры воздуха  $t$  на параметр потока отказов  $\omega_t$  топливной форсунки автомобильных дизельных двигателей будет иметь следующий вид (рис. 2.11):

- квадратичная  $\omega_t = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$ ,

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические коэффициенты.

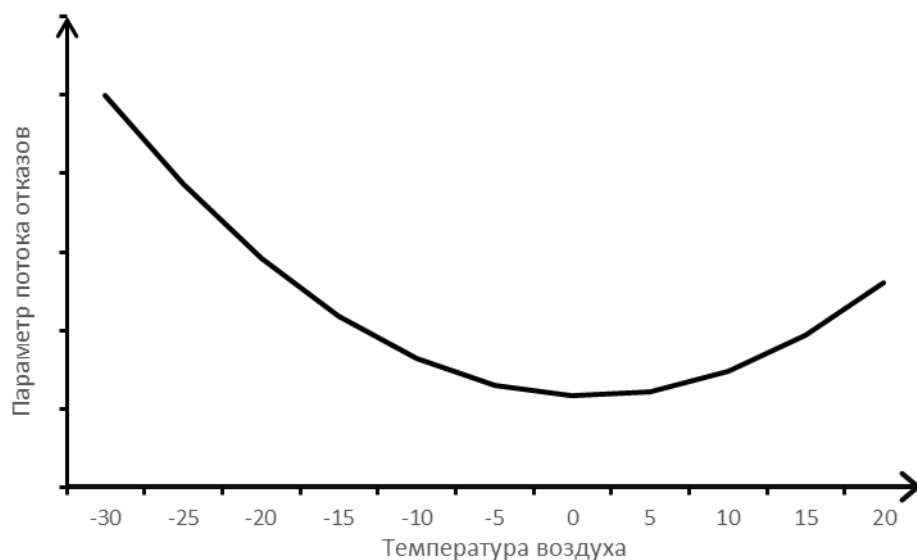


Рисунок 2.11 - Гипотетический вид математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки

### *2.5.5 Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака*

Известно, что снижение эксплуатационной надёжности топливного бака возможно при следующих факторах: использование некачественного топлива; Механические повреждения в ходе эксплуатации, обслуживания и ремонта; износ уплотнителей, попадание воды в бак вместе с топливом или образование конденсата из-за температурных перепадов при смене сезона года. В связи с этим предполагается, что при низких и высоких температурах воздуха количество отказов топливного бака будет наибольшим

Вследствие этого математическая модель влияния температуры воздуха  $t$  на параметр потока отказов  $\omega_t$  топливного бака автомобильных дизельных двигателей будет иметь следующий вид (рис. 2.12):

- квадратичная  $\omega_t = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$ ,

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические коэффициенты.

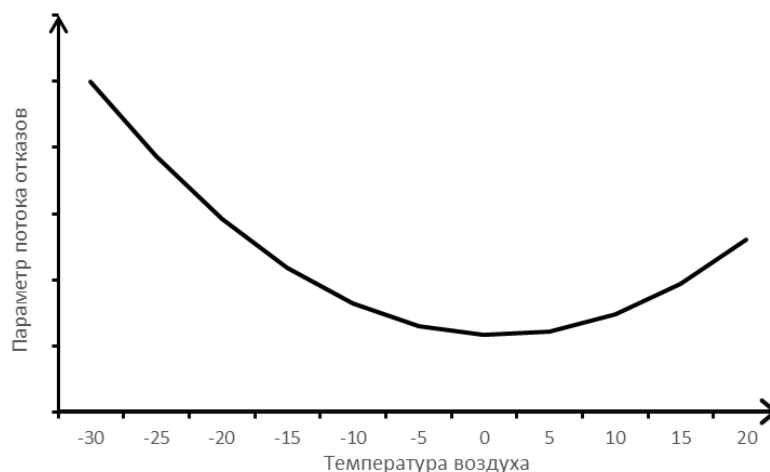


Рисунок 2.12 - Гипотетический вид математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака

Необходимо провести проверку выдвинутых гипотез об влиянии температуры воздуха на параметр потока отказов для каждого элемента системы питания через использование пассивного эксперимента.

## **2.6. Модели влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей**

На ряду с природно-климатическими условиями на надёжность системы питания дизельных двигателей влияют режимы работы автомобиля, которые оказывают воздействие на динамику изменения технического состояния исследуемой системы.

Режим работы автомобиля представляет собой изменение нагрузок (постоянных, переменных, плавных; внезапных; ударных) и скоростей движения (постоянных, циклических, случайных) во времени. Обычно под нагрузкой автомобиля понимают перевозимый им груз, следовательно, нагрузка на автомобиль будет постоянной, в то же время его скорость движения будет носить случайный характер ввиду изменчивости транспортных условий. В связи с этим постоянное изменение скорости движения автомобиля вызывает в системе питания

переменные напряжения, при этом ускоряется изнашивание сопряжённых деталей, прецизионных пар и т.д [108].

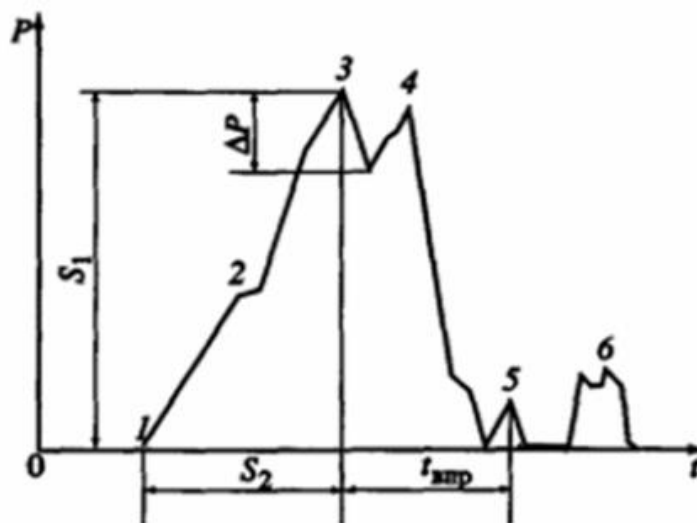


Рисунок 2.13 – Характерные точки на графике давления в топливной системе дизельных двигателей [108]

Как известно, для определения скоростного режима работы подвижного состава автотранспортные предприятия используют ряд показателей: среднюю техническую и среднюю эксплуатационную скорости движения автомобилей.

Средняя техническая скорость определяется отношением общего пробега автомобиля к времени. При этом затраченное время будет зависеть от многих факторов: конструкция автомобиля, квалификация и возраст водителя, условия эксплуатации (дорожные, организационные, природно-климатические, транспортные и т.д.). Среднюю техническую скорость автотранспортные предприятия обычно нигде не фиксируют, так как для этого необходимо дополнительное оборудование.

Средняя эксплуатационная скорость движения определяется отношением общего пробега автомобиля к общему времени работы на линии. При этом учитывается время движения и простоя. В исследованиях будет рассмотрена средняя эксплуатационная скорость движения автомобиля.



Предположим, что при низкой скорости движения и при работе двигателя на холостом ходу число отказов будет увеличиваться, так как количество оборотов коленчатого вала двигателя на единицу пути выше, соответственно, система питания в данном режиме работы будет находиться под значительной нагрузкой.

Также при увеличении скорости движения и достижении максимальных оборотов коленчатого вала количество отказов возрастёт, так как нагрузка на систему питания будет максимальной.

В связи с этим можно предположить, что математическая модель влияния эксплуатационной скорости  $V_{Э}$  на параметр потока отказов  $\omega_{V_{Э}}$  элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей будет иметь следующий вид (рис. 2.14):

- квадратичная  $\omega_{V_{Э}} = b_2 V_{Э}^2 + b_1 V_{Э} + b_0$ ,

где  $b_0, b_1, b_2$  – эмпирические коэффициенты.

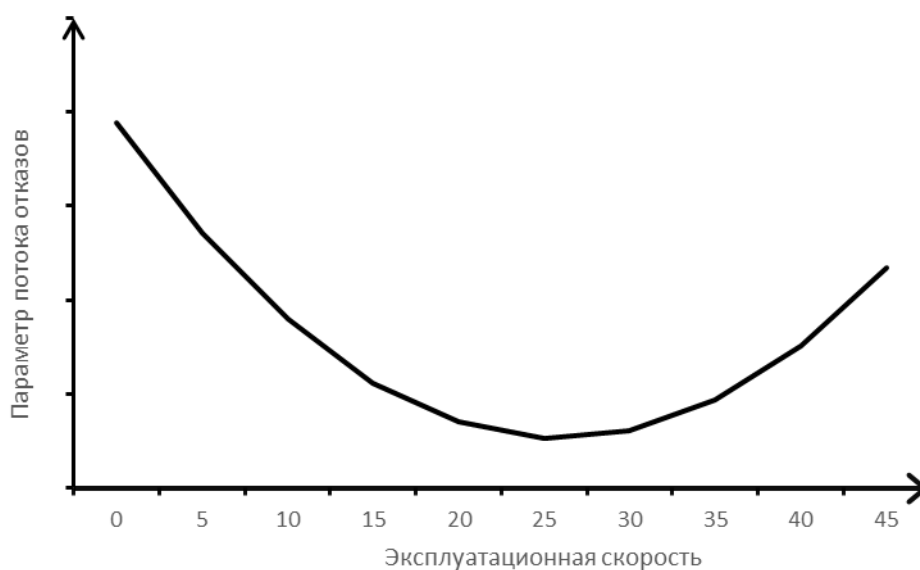


Рисунок 2.14 - Гипотетический вид математической модели влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания

Для подтверждения предположения о виде математической модели, описывающей связь между скоростью движения автомобиля и вероятностью

отказа элементов системы питания, требуется провести экспериментальные исследования.

## **2.7 Выводы по разделу 2**

В ходе теоретических исследований была обоснована основная цель, а также определена целевая функция, в качестве которой принято минимизировать расходы затрат на проведение технических воздействий автомобилей. В связи с данным фактом, оптимальную периодичность проведения технических воздействий над системой питания автомобильных дизельных двигателей определяет минимальное значение функции общих затрат.

На основе выполненных ранее исследований и проведенного экспертного анализа выполнен отбор факторов, влияющих на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Определены структура и основные закономерности исследуемой системы.

Разработаны гипотезы о виде однофакторных математических моделей влияния температуры воздуха, эксплуатационной скорости движения автомобиля на параметр потока отказов элементов системы питания.

Для подтверждения предложенных математических моделей, и для определения конкретных значений их параметров, требуется проведение экспериментальных исследований.

## 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований

Основная цель экспериментальных исследований заключается в проверке гипотез, представленных в теоретическом разделе работы, а также определении конкретных численных значений, которые описывают параметры предложенных математических моделей.

Задачи экспериментальных исследований:

- установить фактические наработки на отказ элементов системы питания;
- установить фактические значения параметра потока отказов по месяцам;
- оценить значимость сезонных изменений параметра потока отказов системы питания;
- проверить гипотезы о виде математических моделей влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры;
- проверить гипотезы о виде математических моделей влияния эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания;
- определить численные значений параметров разработанных математических моделей;
- выполнить оценку адекватности разработанных математических моделей.

Эксперимент проводится в несколько этапов. На первом этапе производится оценка фактической надёжности системы питания. На втором этапе устанавливаются закономерности влияния температур воздуха и эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания дизельных двигателей. На заключительном этапе проверяются гипотезы о виде математических моделей с использованием проанализированных статистических данных о наработках на отказ элементов системы питания транспортного предприятия ПАО «Сургутнефтегаз».

### 3.2 Оценка значимости сезонных изменений параметра потока отказов элементов системы питания

Первая часть экспериментальных исследований состоит в проведении пассивного эксперимента, который заключается в обработке статистических данных о наработках на отказ системы питания автомобильных дизельных двигателей транспортного предприятия ПАО «Сургутнефтегаз» (рис. 3.1). В эксперименте участвовали 4 единицы техники двух марок: КАМАЗ-43118 – 123 ед., КАМАЗ-6520 – 24 ед., УРАЛ-4320 – 126 ед., УРАЛ-5557 – 33 ед.

КлючСлово	Технический ИдентНомер	Дата за	ВР	Наименование Вида ра	Краткий текст материала	Пробег
АВТОМОБИЛЬ ЗИЛ-131 ЛС-6	T897BT86	02.02.2006	TKP	Текущий ремонт	Масло трансмиссионное ТСП-10	188.808,000
АВТОМОБИЛЬ ЗИЛ-131 ЛС-6	T897BT86	02.02.2006	TKP	Текущий ремонт	Смазка Литол-24	188.808,000
АВТОМОБИЛЬ ЗИЛ-131 ЛС-6	T897BT86	02.02.2006	TKP	Текущий ремонт	Масло Экойл-Турбодизель SAE 10W40	188.808,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Элемент фильтра воздушный 740-1109560-02	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Элемент фильтр.очистки масла 840-1012040	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Элемент фильтрующий 201-1117040(5025)	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Элемент фильтрующий 201-1105540(502П)	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Смазка Литол-24	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-30 АПС-40	K368MX86	07.03.2006	TKP	Текущий ремонт	Масло Экойл-Турбодизель SAE 10W40	5.111,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X194EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-987	104.671,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X194EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень вентиляторный 1-8x8,5-850	104.671,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X194EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-937	104.671,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X096EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-987	83.036,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X096EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень вентиляторный 1-8x8,5-850	83.036,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-250 А-50	X096EP86	01.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-937	83.036,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-55571-30 С/С	X552KB86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-987	171.113,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-55571-30 С/С	X552KB86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень вентиляторный 1-8x8,5-850	171.113,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-55571-30 С/С	X552KB86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-937	171.113,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-55571-30 С/С	X552KB86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-887	171.113,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-65101 ППУ-1600/100	X990BN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-987	205.304,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-65101 ППУ-1600/100	X990BN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень вентиляторный 1-8x8,5-850	205.304,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-65101 ППУ-1600/100	X990BN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-937	205.304,000
АВТОМОБИЛЬ КРАЗ-65101 ППУ-1600/100	X990BN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-887	205.304,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-10 М.42112	O878AN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-987	535.743,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-10 М.42112	O878AN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень вентиляторный 1-8x8,5-850	535.743,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-10 М.42112	O878AN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-937	535.743,000
АВТОМОБИЛЬ УРАЛ-4320-10 М.42112	O878AN86	03.04.2006	TKP	Текущий ремонт	Ремень клиновидный II-14x10-887	535.743,000

Рисунок 3.1 - Фрагмент базы данных предприятия ПАО «Сургутнефтегаз»

После обработки статистических данных установлено, что наибольшее количество отказов имеют следующие элементы системы питания: турбокомпрессор, топливная форсунка, топливный насос высокого давления (ТНВД), топливный насос низкого давления (ТННД), распылитель форсунки, топливный бак. Для оценки фактической надёжности произведен расчёт основных статистических характеристик наработок на отказ элементов системы питания дизельных двигателей автомобилей, участвующих в эксперименте. Результаты

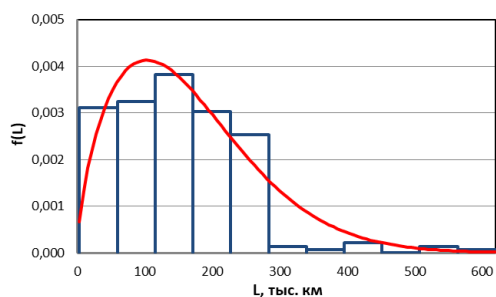
эксперимента представлены в приложении 1, основные результаты приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320

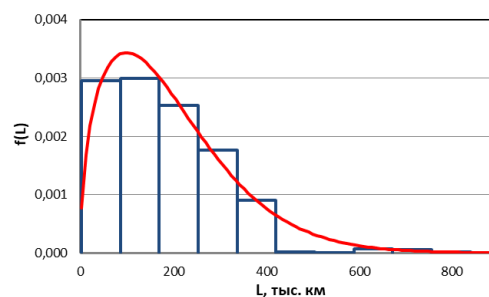
Наименование параметра	Значение					
	Турбокомпрессор	Распыл. форс.	ТНВД	ТННД	Топлив. форсунка	Топлив. бак
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла
Выборочное среднее	165,31	194,74	194,71	204,65	167,59	222,12
Дисперсия	11208,06	18752,43	17186,54	17026,90	15035,79	15341,11
Среднеквадр. отклонение	105,87	136,94	131,10	130,49	122,62	123,86
Коэффициент Вариации	0,640	0,703	0,673	0,638	0,732	0,558

Закон распределения случайной величины во всех исследуемых случаях соответствует закону Вейбулла, так как по критерию Пирсона вероятности соответствия закону распределения более 0,95.

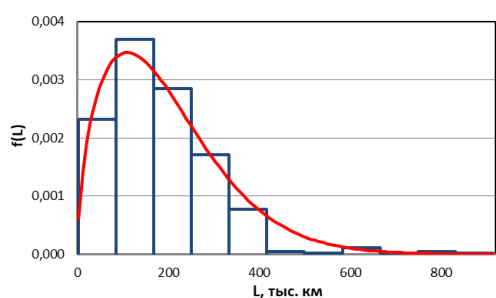
Далее построены графики распределения наработок на отказ элементов системы питания, которые представлены в приложении 1. В качестве примера приведены графики распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320 (рис. 3.2).



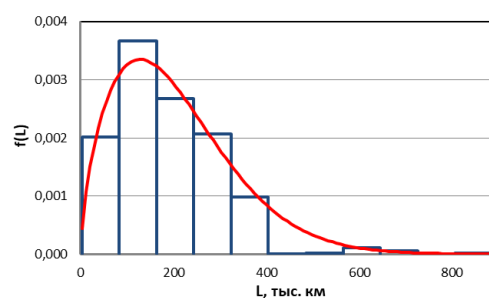
а)



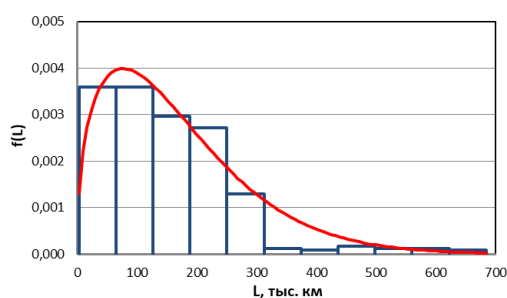
б)



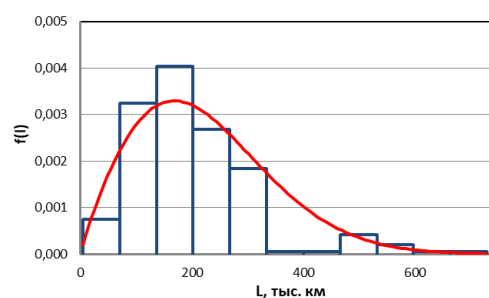
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.2 - Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320: а) турбокомпрессор; б) распылитель форсунки; в) ТНВД; г) ТННД; д) топливная форсунка; е) топливный бак

На следующем этапе исследований определено среднеемесячное количество отказов элементов системы питания, на их основе найдено изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры в течение года. Результаты исследований приведены в графическом виде приложения 2, пример графика представлен на рис. 3.3.

Далее необходимо проверить значимость сезонного изменения параметра потока отказов элементов системы питания в течение года. При моделировании использованы гармонические модели изменения параметра потока отказов по времени. Результаты приведены в приложении 1. Показатели в приведенных таблицах позволяют оценивать периодичность колебаний изменения параметра потока отказов в течение времени:

- полуамплитуда колебания – показатель отражает наибольшее отклонение от среднего значения, связанного с определенной гармонической компонентой;

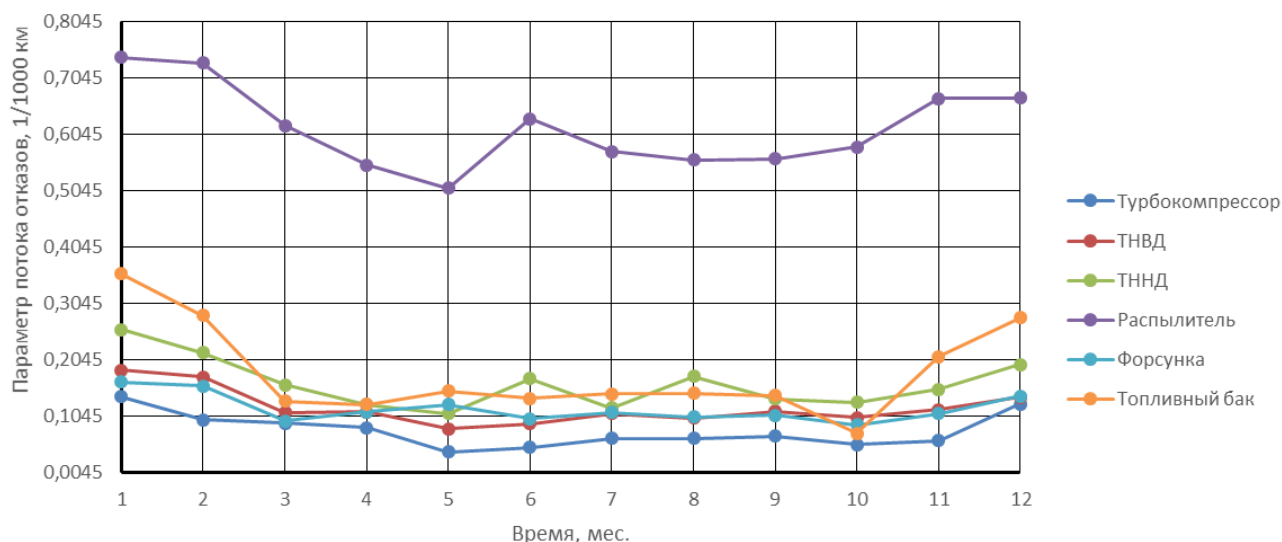


Рисунок 3.3 - Изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320 в течение года

- начальная фаза – номер месяца, соответствующий наибольшей амплитуде гармоника;

- коэффициент детерминации для линеаризованной гармоника ( $r^2$ ) - данный показатель отражает влияние гармонической составляющей на изменение указанного значения;

- коэффициент корреляции ( $r$ ) - характеризует тесноту линейной связи времени и изменений показателя, которая проявляется с определенным циклическим характером.;

- статистика Стьюдента ( $t_r$ ) для коэффициента корреляции;

- табличное значение статистики Стьюдента ( $t_{0,95}$ ) для вероятности 0,95 и числа степеней свободы, равного 10.

Влияние сезонных условий на параметр потока отказов элементов системы питания считалось значимым, если он имел статистически значимую корреляционную связь с линеаризованной первой гармоникой (период – один год). В качестве примера представлен турбокомпрессор автомобилей УРАЛ-4320. Расчеты показали, что указанный коэффициент корреляции составляет 0,7781. Расчетное значение t-статистики Стьюдента для него превышает табличное

значение с вероятностью более 0,95. Фрагмент результатов представлен в таблице в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - Статистические характеристики гармонической модели изменения параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,41	1,11	0,6054	0,7781	3,91	2,23
2	0,23	2,71	0,1966	0,4434	1,56	2,23
3	0,17	0,75	0,1062	0,3259	1,09	2,23
4	0,16	2,14	0,0906	0,3010	1,00	2,23
5	0,01	7,73	0,0005	0,0224	0,07	2,23

Линеаризованные гармоники в графическом виде представлены в приложении 2. В качестве примера графика первой гармоники изменения в течение года параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320 приведен на рис. 3.4, график гармонической модели – на рис. 3.5.

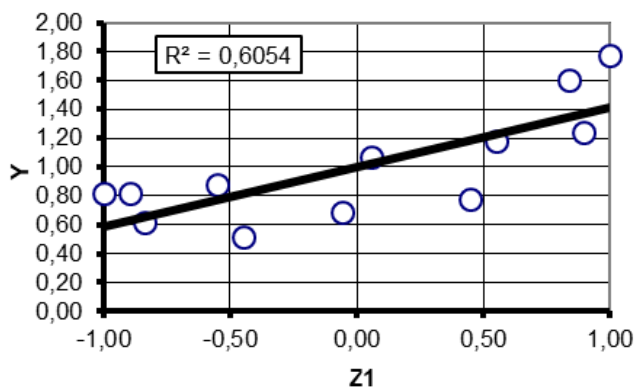


Рисунок 3.4 - Линеаризованная первая гармоника модели изменения в течение года параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320

Сводные результаты по первым гармоникам изменения параметра потока отказа в течение года элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320 представлены в таблице 3.3.



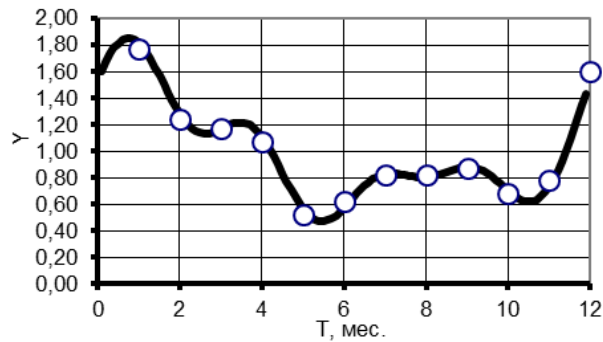


Рисунок 3.5 - Изменение в течение года параметра потока отказов элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320

Таблица 3.3 – Численные значения параметров и статистические характеристики линейной модели первой гармоники параметра потока отказов элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320

Элемент	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
Турбокомпрессор	0,41	1,11	0,6054	0,7781	3,91	2,23
ТНВД	0,28	0,93	0,5935	0,7704	3,82	2,23
ТННД	0,24	0,91	0,4137	0,6432	2,65	2,23
Распылитель форс.	0,12	0,79	0,5916	0,7692	3,80	2,23
Топл. форсунка	0,18	1,54	0,4201	0,6482	2,69	2,23
Топл. бак	0,44	0,95	0,5066	0,7118	3,20	2,23

В соответствии с таблицей 3.3 свидетельствует, что для всех изучаемых элементов значение  $t$ -статистики Стьюдента превышает соответствующее табличное значение на уровне достоверности 0,95, таким образом первая гармоника (с периодом колебаний в один год) статистически значима, соответственно можно сделать вывод, что сезонные колебания являются существенными. Аналогичные выводы можно сделать и по остальным маркам и моделям, участвующих в исследовании, результаты представлены в приложении 2.

Таким образом, гипотеза о существенном изменении в течение года параметра потока отказов элементов системы питания автомобилей с дизельным двигателем подтверждается.

### 3.3 Проверка гипотез о виде математических моделей влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры

Для исследования влияния температуры воздуха на элементы топливной аппаратуры дизельных двигателей была проведена проверка гипотез, основанная на пассивном эксперименте. В качестве источника информации выступали данные предприятия ПАО «Сургутнефтегаз». В эксперименте участвовало две марки автомобилей в каждой по две модели: КАМАЗ-43118, КАМАЗ-6520, УРАЛ-4320, УРАЛ-5557.

Для каждого элемента системы питания по каждой модели автомобилей найден параметр потока отказов по месяцам. Затем определялись среднемесячная температура воздуха в течение года [191].

Далее установлено влияние температуры воздуха на параметр потока отказов для каждого элемента системы питания. Результаты эксперимента представлены в приложении 3. В качестве примера приведено влияние температуры окружающего воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора (рис. 3.6) и ТНВД (рис. 3.7) автомобилей УРАЛ-4320.

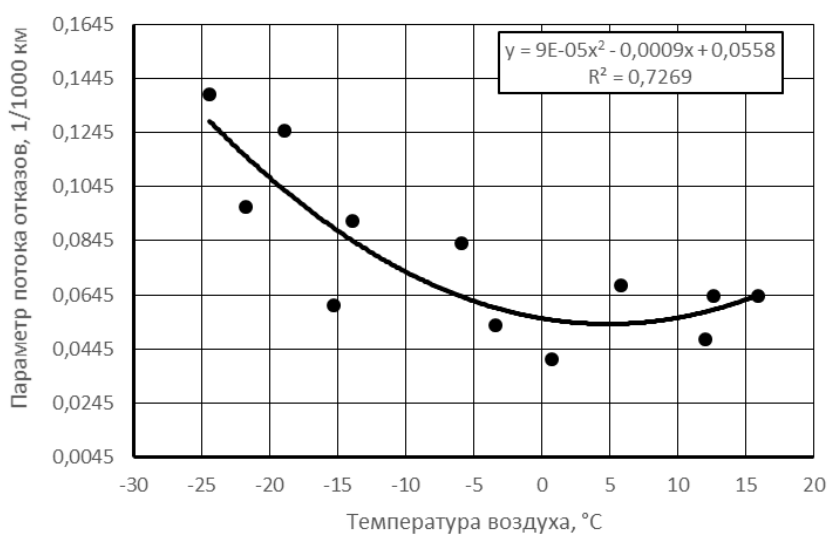


Рисунок 3.6 – Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320

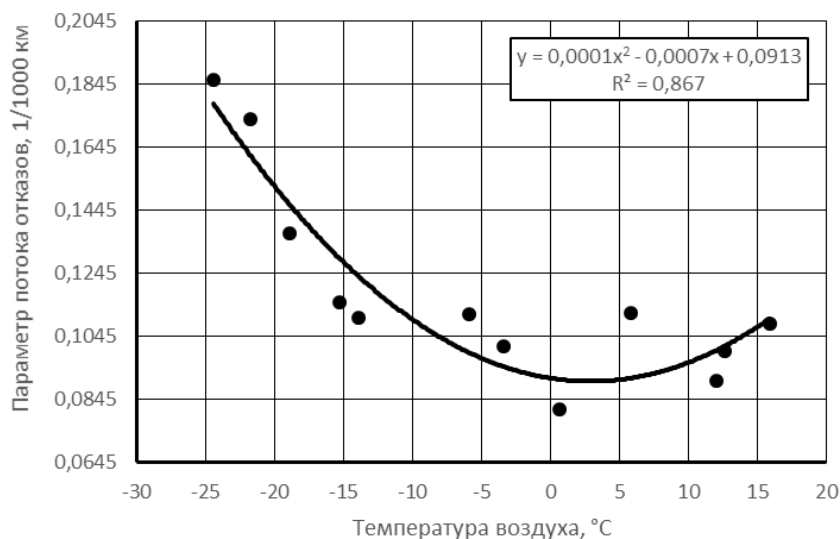


Рисунок 3.7 – Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320

Таким образом, была выполнена аппроксимация среднемесячной температуры воздуха и параметра потока отказов элементов системы питания с использованием квадратичной модели. После линеаризации, был рассчитан коэффициент корреляции и проведена t-статистика Стьюдента. Анализ полученных результатов подтвердил, что с вероятностью 0,95 t-статистика превышает табличное значение. Таким образом, гипотеза о математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей подтверждается.

Результаты экспериментов подвергались оценке на соответствие моделям при помощи F-критерия Фишера [60]. Суть состояла в вычислении значения дисперсионного отношения Фишера. Если вычисленное значение дисперсионного отношения было больше табличного значения F-статистики для заданной вероятности 0,95, то модель считалась адекватной (таблица 3.4).

Во всех ситуациях дисперсионное отношение Фишера для квадратичной модели превышает табличное значение, при вероятности 0,95. Таким образом, гипотеза, предложенная в теоретической части, подтверждается. Квадратичная модель предоставляет наилучшую аппроксимацию.

Таблица 3.4 - Статистические характеристики математических моделей влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей

Наименование показателя	Значения для моделей					
	Турбокомпрессор	ТНВД	ТННД	Распылитель форсунки	Топливная форсунка	Топливный бак
	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная
Объем выборки	12	12	12	12	12	12
Коэффициент детерминации	0,7269	0,867	0,7985	0,9271	0,6893	0,8699
Коэффициент корреляции	0,8526	0,9311	0,8936	0,8594	0,8303	0,9327
t-статистика Стьюдента	3,91	3,82	2,65	3,80	2,69	3,20
$t_{0,95}$	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23
Дисперсионное отношение Фишера	11,9773	29,3304	17,8363	27,5114	9,9845	30,0824
$F_{0,95}$	4,2565	4,2565	4,2565	4,2565	4,2565	4,2565

### **3.4 Проверка гипотез о виде математических моделей влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры**

В ходе проведения теоретических исследований была сформулирована предположение о том, что существует определенная закономерность взаимосвязи между эксплуатационной скоростью движения автомобиля в процессе эксплуатации и параметром потока отказов компонентов системы питания дизельного двигателя.

В качестве источника информации использовалась база данных предприятия ПАО «Сургутнефтегаз». В эксперименте участвовало две марки, в каждой по одной модели. Для подтверждения предположения, были вычислены статистические показатели математических моделей. Числовые значения параметров моделей были определены путем применения метода наименьших квадратов.

Дисперсионное отношение Фишера во всех случаях превышает табличные значения  $F_{0,95}$ , что свидетельствует о адекватности квадратичной модели экспериментальным данным для всех элементов системы питания с вероятностью, превышающей 0,95.

В таблице 3.5 представлены статистические характеристики математической модели влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Дополнительно в приложении 4 представлены результаты эксперимента в графическом формате, а также аппроксимирующая кривая. Графический пример результата эксперимента представлен на рисунках 3.8 и 3.9.

Таблица 3.5 - Статистические характеристики математических моделей влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей

Наименование показателя	Значения для моделей					
	Турбокомпрессор	ТНВД	ТННД	Распылитель форсунки	Топливная форсунка	Топливный бак
	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная	Квадратичная
Объем выборки	8	6	7	8	8	7
Коэффициент детерминации	0,8157	0,9633	0,9505	0,9843	0,8852	0,8892
Коэффициент корреляции	0,9032	0,9815	0,9749	0,9921	0,9409	0,943
Дисперсионное отношение Фишера	11,0653	39,3378	38,4038	156,9914	19,2843	16,0571
$F_{0,95}$	5,7861	9,5521	6,9443	5,7861	5,7861	6,9443

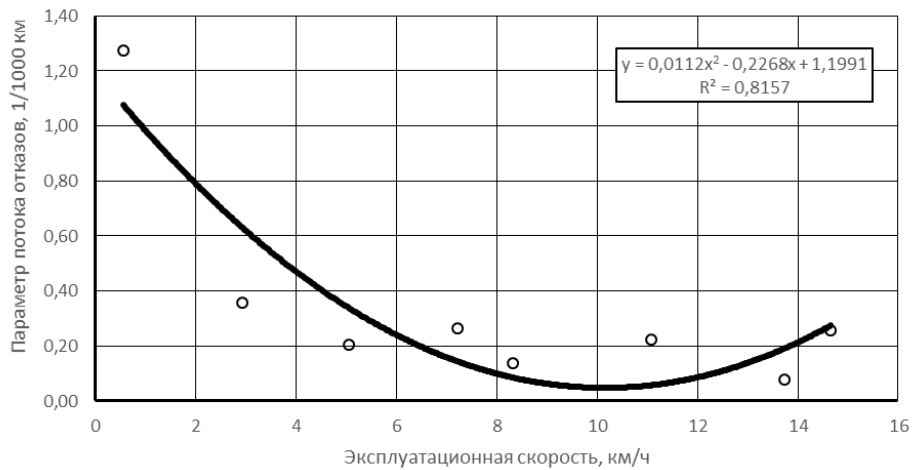


Рисунок 3.7 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320

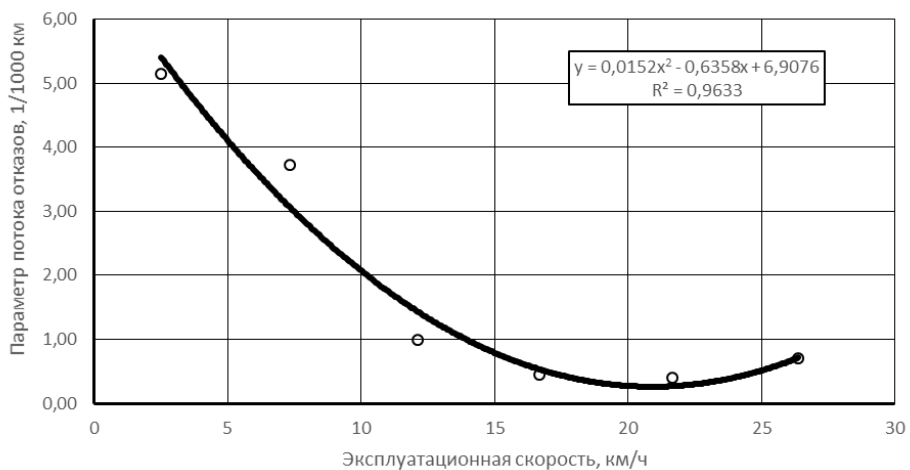


Рисунок 3.8 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320

Таким образом эксперименты подтвердили гипотезу о возможности использования квадратичной модели для описания закономерности, связанной с влиянием эксплуатационной скорости движения автомобиля на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей.

### 3.5 Выводы по разделу 3

На основе пассивного эксперимента установлены фактические наработки на отказ элементов системы питания, также найдены фактические значения параметра потока отказов по месяцам.

Выдвинутая в теоретических исследованиях гипотеза о существенном изменении в течение года параметра потока отказов элементов системы питания топливной аппаратуры подтверждена.

В ходе эксперимента доказаны гипотезы о виде математических моделей влияния температуры воздуха и эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры.

Гипотезы о возможности описания закономерностей указанных факторов на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей квадратичной моделью подтвердилась.

Установлены численные значения параметров и проведена оценка соответствия разработанным математическим моделям.



## **4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

### **4.1 Методологические вопросы использования результатов исследований**

При использовании разработанной методики в диссертационной работе на автотранспортном предприятии возможно следующее:

1) снизить количество отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей, что приведет к увеличению срока службы автомобилей в целом, а также к более полному использованию заданного их ресурса на стадии проектирования и производства;

2) рационализировать количество запасных частей на складе элементов топливной аппаратуры, довести их количество до необходимого уровня для непрерывного обеспечения зон ТО и ремонта автомобилей.

Основное значение целевой функции исследований заключается в сокращении общей стоимости обслуживания и ремонта автомобилей, принадлежащих автотранспортному предприятию. Для выполнения технического обслуживания и ремонта автомобилей вносятся расходы на оплату труда исполнителей, а также на приобретение, доставку, хранение запасных частей и потери, связанные с инвестициями в оборотный капитал. Для исключения простоев автомобилей в зонах ТО и ремонта принимается условие о бесперебойности поставки запасных частей элементов системы питания.

Разберем несколько конкретных случаев, которые демонстрируют процесс создания целевой функции.

Первый случай.

Заработная плата исполнителей будет варьироваться в зависимости от региона, в котором находится автотранспортное предприятие. В связи с этим

ее можно исключить. Если затраты на приобретение и доставку запасных частей топливной аппаратуры не будут зависеть от объема партии, то целевая функция примет такую форму:

$$Z_{\text{сум.}} = Z_{\text{ХР}} + Z_{\text{ОФ}} \rightarrow \min, \text{ при } Q_{\text{зап.}} > 0;$$

где  $Q_{\text{зап.}}$  - объём запаса расходных материалов и ЗЧ на складе.

В данном случае решением является сокращение размера партий при поставках, в частности периодичность этих поставок будет минимальна.

Такой вариант возможен только если предприятие находится в близком расположении к поставщикам запасных частей, как правило, они находятся недалеко от крупных городов, где создаются консигнационные склады.

Второй случай.

Если же склад поставщика и автотранспортное предприятие находятся на значительном расстоянии друг от друга – возрастают затраты на транспортировку запасных частей и будут зависеть от размера партии. При этом целевая функция в данном случае приобретет более сложную структуру [115].

В данном случае поставку запасных частей от склада поставщика до автотранспортного предприятия целесообразно использовать с помощью автомобилей различных типов. Например, для достижения оптимальной загрузки, рекомендуется предпочтительно использовать автомобили, принадлежащие одной конкретной марке и модели, но с разной степенью заполняемости грузового пространства; или применять для транспортировки автомобили, подстраиваясь под размер партии поставки. В таком случае затраты на транспортировку будут иметь существенные отличия.

В рассмотренном примере целевая функция примет следующий вид:

$$Z_{\text{ЗЧ}} = Z_{\text{пр.}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{ХР.}} + Z_{\text{ОФ}} \rightarrow \min, \text{ при этом } Q_{\text{зап.}} > 0.$$

Таким образом, в данном варианте оптимизация будет достигаться за счёт управления размера поставляемой партии и типом используемого автомобиля для доставки.

## 4.2 Методика корректирования периодичности ТО с учетом условий эксплуатации автомобилей

Для реализации ресурса автомобилей, заложенного на стадии проектирования и производства, необходима система ТО и ремонта, способная обеспечить заданный уровень надежности транспортных средств. Но при эксплуатации в условиях холодного климата установленная нормативная периодичность проведения технических воздействий не всегда позволяет обеспечить заданный уровень надёжности элементов топливной аппаратуры. Для устранения этого недостатка применяется оперативное корректирование нормативной периодичности технического обслуживания с учетом фактических наработок на отказ [3, 15, 93, 98, 112, 122].

Известны ряд методов определения и корректирования нормативов периодичности технического обслуживания автомобилей. Но все они предполагают использование выборки статистических данных о наработках на отказ. В реальной эксплуатации часть отказов предупреждаются при проведении ТО, поэтому возможно получение только усеченной выборки. В такой ситуации эффективен метод определения и корректирования периодичности ТО, основанный на моделировании закономерности изменения вероятности отказа по наработке с использованием непараметрического описания эмпирического закона распределения, разработанный Захаровым Н.С. и Макаровой А.Н. [112, 122].

В связи с этим предложена методика корректирования периодичности технических воздействий по обеспечению работоспособности системы питания дизельных двигателей, основанная на указанном подходе, но предусматривающая использование закономерности изменения вероятности безотказной работы по наработке и ее аппроксимацию квадратичной моделью. Разработанная методика предусматривает выполнение следующих действий

1. Расчет вероятности безотказной работы  $R(L)$  группы из  $N$  элементов в рассматриваемом диапазоне наработок от  $L=0$  до  $L=L_{ТО}$  в точках  $L_1, L_2, \dots, L_m$ :

$$R(L_1) = \frac{N-1}{N}; R(L_2) = \frac{N-2}{N}; \dots; R(L_m) = \frac{N-m}{N}.$$

2. Аппроксимация  $m$  пар значений  $L_i$  и  $R(L_i)$  уравнением полинома второй степени, расчет значений эмпирических коэффициентов  $A_0, A_1, A_2$ :

$$R(L) = A_0 + A_1L + A_2L^2.$$

В исследованиях для выбора вида уравнения, адекватно аппроксимирующего исходные данные, использовался метод последовательного перебора.

3. Определение периодичности технических воздействий  $L_{ТО}$ , соответствующей допустимой вероятности безотказной работы  $R_d$  (рис. 4.1):

$$L_{ТО} = \frac{-A_1 - \sqrt{A_1^2 - 4A_2(A_0 - R_d)}}{2A_2}.$$

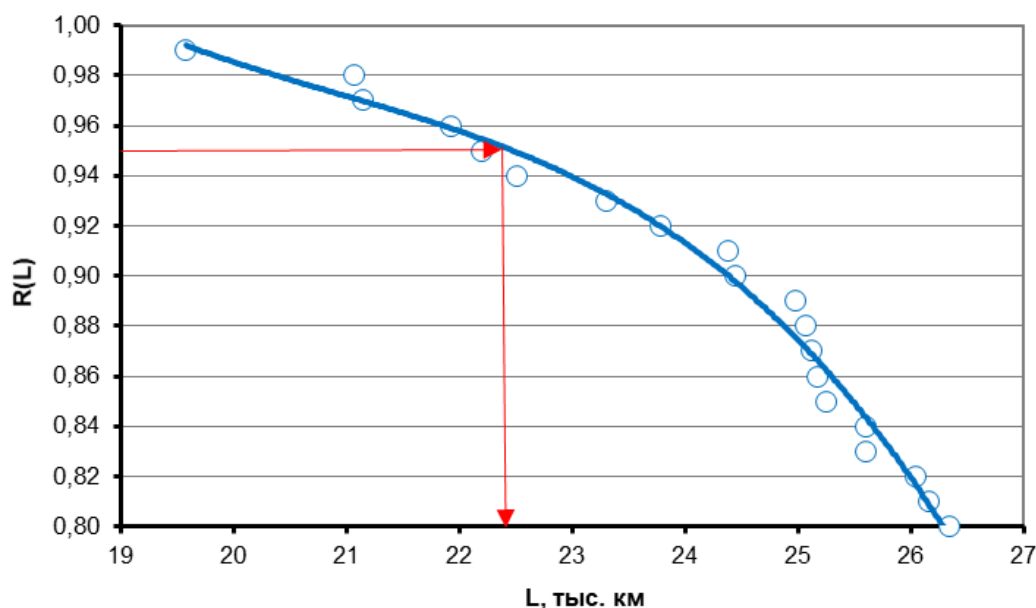


Рисунок 4.1 – Влияние наработки на вероятность безотказной работы

С целью повышения надёжности системы питания скорректирована периодичность профилактических воздействий, обеспечивающих ее работоспособность. В качестве примера рассмотрим элементы топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118, которые оснащаются двигателем модели 740.60-360 и V-образным ТНВД модели 337-23. Обслуживание

данного двигателя включает в себя две основные фазы - начальный и основной периоды эксплуатации. В начальном периоде эксплуатации происходит активная приработка сопряженных деталей двигателя, а также взаимная установка элементов конструкций. В этот период проводятся: ежедневное обслуживание (ЕО) (два раза в смену), ТО-1 и ТО-2 один раз за весь срок эксплуатации [105].

В основной период эксплуатации для I категории условий эксплуатации установлена следующая периодичность проведения технических воздействий:

- ЕО (два раза в смену),
- ТО-1 на пробеге 10 тыс. км,
- ТО-2 на пробеге 30 тыс. км,
- СО - сезонное обслуживание на пробеге 60 тыс. км (два раза в год).

Исследуемые автомобили находятся в собственности филиала УТТ НГДУ ОАО «Лянторнефть» предприятия ПАО «Сургутнефтегаз». Согласно ГОСТ 21624-81 [38] данная местность соответствует III категории условий эксплуатации, следовательно, коэффициент пересчета периодичности технического обслуживания составляет 0,8. Периодичность проведения ТО для III категории условий эксплуатации представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Периодичность проведения технических воздействий над автомобилями КАМАЗ-43118 для города Лянтор

	Периодичность технического воздействия			
	ЕО	ТО-1	ТО-2	СО
Наработка, км	2 раза в смену	8 000	24 000	1 раз в год

Все виды технического воздействия имеют определенную последовательность действий над той или иной системой автомобиля, при этом на каждое ТО предусмотрен индивидуальный перечень операций. Вместе с тем допускается совмещать несколько видов технических воздействий и проводить их одновременно, например, ТО-1 и СО, ТО-2 и СО [105].

График технического обслуживания системы питания автомобилей КАМАЗ-43118 в основной период эксплуатации представлена на рисунке 4.2.

Наименование работ	Виды технических воздействий			
	ЕО	ТО-1	ТО-2	СО
Пыль и грязь				
Герметичность системы, состояние шланговых соединений, трубопроводов	○	○	○	
Отстой из фильтра грубой очистки топлива	●			
Отстой из фильтра тонкой очистки топлива		●		
Гайки крепления скоб форсунок		○		
Болты крепления деталей в приводе ТНВД		○		
Фильтрующий элемент фильтра грубой очистки топлива			□	
Фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки топлива (каждое второе ТО-1)		□		
Турбокомпрессор			○	○*
Техническое обслуживание ТНВД			(○, ◇)*	
Условные обозначения:   - очистить ○ - проверить и/или подтянуть, долить ● - слить ◇ - отрегулировать □ - сменить *-один раз в 2 года				

Рисунок 4.2 - График ТО топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118 в основной период эксплуатации

Для реализации наиболее полного ресурса автомобилей необходимо учитывать условия эксплуатации при корректировании периодичности ТО элементов топливной аппаратуры. В связи с этим предлагается дополнить перечень операций ТО операциями планово-предупредительного ремонта малой трудоемкости [105, 132].

Согласно методике, описанной выше, для повышения надёжности системы питания автомобилей КАМАЗ-43118, которые эксплуатируются в Лянгторском районе, определим периодичность профилактической замены

(сопутствующего ремонта) распылителя форсунки. Модель будет иметь следующий вид:

$$R(L) = 1,1018 - 0,0153L - 0,0002L^2.$$

Далее определим периодичность профилактической замены распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-43118 для данных условий эксплуатации:

$$L_{ТО} = \frac{0,0153 - \sqrt{-0,153^2 + 4 \cdot 0,0002 \cdot 0,95}}{-2 \cdot 0,0002} = 40 \text{ тыс. км.}$$

Таким образом, для повышения надёжности системы питания автомобилей КАМАЗ-43118 в Лянторском районе при каждом четвертом ТО-1 цикла технического обслуживания необходимо проводить профилактическую замену распылителя форсунки.

Далее выполнены аналогичные расчёты для турбокомпрессора, ТНВД, ТННД, топливной форсунки и топливного бака автомобилей КАМАЗ-43118. Скорректированные операции представлены в графике ТО топливной аппаратуры исследуемых автомобилей с учётом условий эксплуатации в Лянторском районе на рис. 4.3.

Жёлтым цветом выделены дополнительно введенные операции. При этом их трудоемкость не превышает 20% от общей трудоёмкости работ ТО.

Помимо повышения эффективности подвижного состава автотранспортного предприятия за счёт более полного использования ресурса автомобилей, представленные изменения ведут к равномерной загрузки исполнителей, выполняющих операции ТО, а также к увеличению их производительности труда.

Наименование работ	Виды технических воздействий			
	ЕО	ТО-1	ТО-2	СО
Пыль и грязь				
Герметичность системы, состояние шланговых соединений, трубопроводов	○	○	○	
Отстой из фильтра грубой очистки топлива	●			
Отстой из фильтра тонкой очистки топлива		●		
Гайки крепления скоб форсунок		○		
Распылитель форсунки (каждое четвертое ТО-1)		□**		
Топливоподкачивающий насос (ТННД)		○**		
Топливный бак			○	
Топливная форсунка			○, ◇	
Болты крепления деталей в приводе ТНВД		○		
Фильтрующий элемент фильтра грубой очистки топлива			□	
Фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки топлива (каждое второе ТО-1)		□		
Турбокомпрессор		○**	○	○*
Техническое обслуживание ТНВД		○**	(○, ◇)*	
Условные обозначения:   - очистить ○ - проверить и/или подтянуть, долить ● - слить ◇ - отрегулировать □ - сменить * - один раз в 2 года ** - каждое четвертое ТО-1				

Рисунок 4.3 – Скорректированный график ТО топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118 с учётом условий эксплуатации в Лянторском районе

### 4.3 Методика определения потребности в запасных частях элементов топливной аппаратуры с учетом условий интенсивности эксплуатации автомобилей

Обычно при планировании потребности автомобильных предприятий в запасных частях применяется один из нескольких подходов – детерминированный или стохастический.

Для эффективного учета запасных частей в производстве используется детерминированный подход. Он основан на вычислении потока требований с использованием средних значений. Качество расчетов зависит от интервала времени, в течение которого собирались эти средние значения, а также от



интенсивности потока требований на запасные части. Данный метод является более простым, но при этом менее точным.

Стохастический подход позволяет учесть различные факторы, а также случайность процесса поступления запасных частей. Данный метод заключается в создании имитационной модели, которая на практике практически не используется.

В современных условиях функционирования автотранспортных предприятий отмечается несколько недостатков в системе материально-технического снабжения. Один из ключевых недостатков заключается во временном несоответствии потребностей в запасных частях и их поставке на предприятие.

На практике поставки запасных частей на автотранспортные предприятия осуществляются либо ежегодно, либо один раз в квартал. При этом потребность в них определяется по статистике расхода за предыдущие годы. Такой подход не позволяет получать точный результат в меняющихся условиях. Для устранения этого недостатка разработана методика, позволяющая планировать поставки запасных частей для системы питания с учетом изменения условий эксплуатации. В качестве методологической основы использовался подход, предложенный Захаровым Н.С. и Вознесенским А.В. при разработке методики планирования потребности в ресурсах с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации [59].

В соответствие с предлагаемой методикой потребность в запасных частях и материалах для системы питания дизельных двигателей за период времени  $T_i$  рассчитывается по формуле:

$$N_i = H \cdot T_i \cdot \sum_{j=1}^{A_c} l_{ij} \cdot K_{СП} \cdot K_{V_3},$$

где  $H$  – норма расхода ресурсов на километр пробега автомобиля;  
 $l_{ji}$  – интенсивность эксплуатации  $j$ -го автомобиля за  $i$ -й период;  
 $A_c$  – списочное количество автомобилей;

$K_{СП}$  – корректирующий коэффициент, учитывающий сезонность требований на запасные части для системы питания двигателей;

$K_{VЭ}$  – корректирующий коэффициент, учитывающий среднюю эксплуатационную скорость автомобилей.

Численные значения корректирующих коэффициентов, учитывающих температуру окружающего воздуха и среднюю эксплуатационную скорость автомобилей при расчёте потребности в запасных частях и материалах для системы питания двигателей, рассчитываются по формулам:

$$K_{СПi} = 12 \cdot \frac{\omega_i(t)}{\sum_{j=1}^{12} \omega_j(t)} ; K_{VЭi} = n \cdot \frac{\omega_i(VЭ)}{\sum_{j=1}^n \omega_j(VЭ)},$$

где  $\omega_i(t)$ ,  $\omega_j(t)$  – параметр потока отказов в  $i$ -м и  $j$ -м месяцах;

$\omega_i(VЭ)$ ,  $\omega_j(VЭ)$  – параметр потока отказов в  $i$ -м и  $j$ -м интервалах эксплуатационной скорости;

$n$  – количество интервалов.

В качестве примера взяты автомобили УРАЛ-4320, которые эксплуатируются в городе Лянтор. Значения корректирующего коэффициента, учитывающего сезонность требований на запасные части для системы питания двигателя для города Лянтор представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Значения корректирующего коэффициента, учитывающего сезонность требований на запасные части для системы питания двигателей

№ месяца	Значения корректирующего коэффициента $K_{СП}$ для элементов системы питания					
	Турбо- компрессор	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Распылитель форсунки	Топливный бак
1	2	3	4	5	6	7
1	2,04	1,87	1,67	1,79	2,29	2,70
2	1,83	1,70	1,53	1,70	2,08	2,41
3	0,98	0,82	0,98	1,08	1,53	0,37
4	0,53	0,54	0,73	0,74	0,59	0,51
5	0,85	0,78	0,87	0,67	0,51	0,56
6	0,46	0,76	0,84	0,50	0,67	0,30
7	0,72	0,45	0,75	0,89	0,34	0,27

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7
8	0,41	0,64	0,76	0,71	0,34	0,51
9	0,86	0,66	0,78	0,55	0,35	0,29
10	0,67	0,73	0,91	0,69	0,26	0,28
11	1,02	1,27	1,17	1,48	1,24	1,52
12	1,62	1,79	1,02	1,18	1,80	2,28

Рекомендуемые значения коэффициента, учитывающего эксплуатационную скорость автомобиля при расчёте потребности в запасных частях и материалах элементов топливной аппаратуры представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Значения корректирующего коэффициента, учитывающего среднюю эксплуатационную скорость автомобилей при расчёте потребности в запасных частях и материалах для системы питания двигателей

Интервал $V_{э}$ , км/ч	Значения корректирующего коэффициента $K_{V_{э}}$ для элементов системы питания					
	Турбо- компрессор	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Распылитель форсунки	Топливный бак
0 ... 5	3,25	3,15	1,98	1,83	8,10	7,03
5 ... 10	1,63	2,91	1,35	1,13	6,70	2,23
10 ... 15	0,77	1,87	0,81	1,16	3,43	1,99
15 ... 20	0,50	0,58	0,15	0,49	1,09	1,13
20 ... 25	0,48	0,31	0,38	0,25	0,36	0,88
25 ... 30	0,15	0,32	0,40	0,33	0,92	1,04
30 ... 35	0,22	0,70	0,44	0,72	1,42	0,88

#### 4.4 Оценка эффективности результатов исследований

Оценка эффективности результатов проведенных исследований осуществляется согласно целевой функции, которая заключается в минимизации затрат на проведение ТО и ремонта автомобилей. Для выявления результата выполняются расчёты при существующей системе ТО и ремонта и оптимизированной с учётом условий эксплуатации. Разница затрат между ними будет показателем по реализации поставленной цели.

В качестве заработной платы исполнителей на автотранспортных предприятиях, на которых выполняются ТО  $C_{ТО}$  и ремонт  $C_{ТР}$  автомобилей, обычно применяется повременная форма оплаты труда, которая заключается в оплате отработанного времени рабочим по определенным тарифным ставкам (в зависимости от квалификации работника). Средняя стоимость нормо-часа для выполнения работ ТО  $C_{н.ч. ТО}$  данных автомобилей составляет 1500 руб./чел.-час, стоимость выполнения работ по ремонту  $C_{н.ч. ТР}$  равно 2000 руб./чел.-час.

$$C_{ТО} = C_{н.ч. ТО} \cdot T_{ТО},$$

$$C_{ТР} = C_{н.ч. ТР} \cdot T_{ТР},$$

где  $C_{н.ч. ТО}$  и  $C_{н.ч. ТР}$  – стоимость нормо-часа для проведения ТО и ремонта соответственно, руб./чел.-час;

$T_{ТО}$  и  $T_{ТР}$  – средняя трудоёмкость выполняемых работ при ТО и ремонте автомобилей соответственно, чел.-час.

Для нахождения суммарных затрат рассмотрим компоненты, входящие в затраты на запасные части системы питания дизельных двигателей.

$$Z_{пр.} = Q_{П} \cdot C_{П};$$

где  $Q_{П}$  – объем поставки запасных частей системы питания, ед.;

$C_{П}$  – стоимость покупки запасных частей, руб./ед.;

$K$  – коэффициент учёта сезонных условий эксплуатации автомобилей.

$$Z_{тр.} = Q_{П} \cdot L \cdot C_{пер.} / Q_{1П};$$

где  $L$  – наработка автомобиля для одной поставки запасных частей системы питания, км;

$C_{пер.}$  – стоимость перевозки запасных частей, руб./км;

$Q_{1П}$  – объем одной перевозки запасных частей, ед.

$$Z_{хр.} = K_{хр.} \cdot \bar{Q}_{хр.} \cdot C_{П};$$

где  $K_{хр.}$  – коэффициент, учитывающий затраты на хранение запасных частей в долях от цены запаса на складе ( $K_{хр.} = 0,1$  [32]);

$\bar{Q}_{\text{хр.}}$  – среднее количество запасных частей системы питания, находящихся на складе предприятия, ед.

$$\bar{Q}_{\text{хр.}} = \frac{R_{\text{год}}}{360} \cdot T_{\text{пост.}};$$

где  $R_{\text{год}}$  - годовой расход материалов системы питания, ед./год;

$T_{\text{пост.}}$  – интервал поставок, дни.

$$Z_{\text{оф}} = K_{\text{оф}} \cdot \bar{Q}_{\text{хр.}} \cdot C_{\text{п}};$$

где  $K_{\text{оф}}$  – коэффициент, выражающий процент затрат на обращение оборотных фондов относительно стоимости запасов запасных компонентов на складе.

$$K_{\text{оф}} = \frac{C_{\text{кр.}}}{100};$$

где  $C_{\text{кр.}}$  – ставка по кредиту определяется на основе ставки, предложенной ПАО «Сбербанк России» в качестве базовой. ( $C_{\text{кр.}} = 14,5$ ), %.

Расчеты выполнены для Сургутского управления технологического транспорта № 2 ПАО «Сургутнефтегаз» для автомобилей КАМАЗ-43118. Результаты расчёта приведены в табл. 4.4.

С учётом условий эксплуатации изменяется объем поставки запасных частей во времени. Это связано с тем, что в зимний период времени интенсивность эксплуатации автомобилей возрастает, что ведет к увеличению поставкам запасных частей системы питания. Таким образом, в зимний период количество поставок будет выше, чем в летний.

Таблица 4.4 – Расчет эффекта от оптимизации с учётом условий эксплуатации автомобилей

Наименование показателя	Значения	
	До внедрения	После внедрения
1	2	3
Общий объем запасных частей системы питания, необходимый на год АТП, ед.	600	600
Количество поставок	1	12

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3
Объем одной поставки, ед.	600	
Количество ЗЧ, приобретаемое в месяц:		
Январь		68
Февраль		63
Март		53
Апрель		48
Май		41
Июнь		38
Июль		36
Август		38
Сентябрь		41
Октябрь		48
Ноябрь		62
Декабрь		68
Среднее количество запасных частей на складе	600	50
Средняя стоимость покупки ЗЧ	3620	3620
Наработка автомобиля для одной поставки запасных частей системы питания, км	100	100
Ставка по кредиту, %	14,5	14,5
Заработная плата исполнителей, которые осуществляют ТО отдельно взятого автомобиля, руб.	2700	2700
Заработная плата исполнителей, которые осуществляют ТР отдельно взятого автомобиля. руб.	13400	13400
Затраты на приобретение запасных компонентов, руб.	2172000	2172000
Затраты на транспортировку запасных компонентов, руб.	2147	2147
Затраты на хранение запасных компонентов на складе, руб.	217200	18100
Потери от вложения средств в оборотный фонд, руб.	314940	26245
Суммарные затраты на запасные компоненты, руб.	2706287	2218492
Суммарные затраты, руб.	5457334	4888240
Экономический эффект, руб. в год:		
по парку автомобилей		569 094
на один автомобиль		5 691

Расчёты показали, что при оптимальной периодичности поставки запасных частей, учитывая условия эксплуатации, экономический эффект на

парк в 100 ед. техники составит 569 тыс. руб./год или 5 691 руб./год на один автомобиль.

Исходя из проведенных исследований, разработана эффективная стратегия для планирования потребности в запасных компонентах системы питания дизельных двигателей. Применение данного подхода позволит автотранспортному предприятию значительно сократить свои расходы.

#### **4.5 Выводы по разделу 4**

Разобраны и описаны методологические вопросы использования результатов проведенных исследований. Рассмотрены существующие методики корректирования периодичности ТО автомобилей. Предложена оптимальная методика необходимого нормативного корректирования периодичности технического обслуживания системы питания автомобильных дизельных двигателей с учётом условий эксплуатации автомобилей.

Описаны подходы, применяемые для планирования потребности в запасных компонентах автотранспортных предприятий. Разработана методика планирования потребности в запасных компонентах элементов системы питания с учетом вариации условий интенсивности эксплуатации автомобилей для автотранспортных предприятий, заключающийся в использовании корректирующего коэффициента учёта сезонных условий эксплуатации автомобилей.

Методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе принята к использованию в Сургутском управлении технологического транспорта № 2 ПАО «Сургутнефтегаз». Расчетный экономический эффект от применения полученных результатов составил 5,691 тыс. руб. на один автомобиль в год.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена научно-практическая задача по повышению надёжности системы питания автомобильных дизельных двигателей путем корректирования периодичности ТО и определения потребности в запасных частях элементов топливной аппаратуры с учетом вариации условий эксплуатации.

2. На основе сформированного по результатам анализа ранее выполненных исследований исходного перечня, а также экспертного анализа, определены факторы, существенно влияющие на надёжность системы питания дизельных двигателей: климатические условия, транспортные условия и качество топлива. На основе пассивного эксперимента установлено, что параметры потока отказов элементов топливной аппаратуры статистически значимо циклически изменяются в течение года. В качестве обобщающего показателя транспортных условий выбрана средняя эксплуатационная скорость.

3. Установлены закономерности и разработаны математические модели влияния температуры воздуха и эксплуатационной скорости на параметр потока отказов системы питания дизельных двигателей. С помощью пассивного эксперимента установлено, что вероятностью не ниже 0,95 эти закономерности адекватно описываются квадратичными моделями, определены численные значения их параметров.

4. Разработана методика корректирования периодичности технических воздействий по обеспечению работоспособности элементов топливной аппаратуры дизельных двигателей с учётом условий эксплуатации автомобилей. Скорректирован перечень и периодичности профилактических воздействий, направленных на обеспечение работоспособности системы питания дизельных двигателей в условиях холодного климата.



5. Разработана методика определения рационального количества запасных частей и материалов элементов для ТО и ремонта системы питания, учитывающая вариацию условий эксплуатации автомобилей. Рассчитаны численные значения корректирующих коэффициентов, учитывающих среднюю эксплуатационную скорость автомобилей и температуру окружающего воздуха при расчёте потребности в запасных частях и материалах для системы питания двигателей.

6. Внедрение полученных результатов позволяет снизить вероятность отказа элементов системы питания и соответственно повысить коэффициент технической готовности парка, а также уменьшить эксплуатационные затраты на 5 961 руб. в год на один автомобиль.

7. Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на выявление закономерностей влияния условий эксплуатации на параметр потока отказов элементов топливной аппаратуры специальных машин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев, А. С. Анализ причин, вызывающих износ деталей автотранспортных средств / А. С. Абдуллаев // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. – с. 314-317. – EDN QOAJIJ.

2. Авдонькин Ф.Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации. Саратов : Изд-во СГУ, 1973. – 192 с.

3. Авдонькин Ф.Н. Повышение срока службы автомобильных двигателей. Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1969. – 278 с.

4. Азаматов, Р.А. Автомобили КамАЗ: Техническое обслуживание и ремонт / Р.А. Азаматов, В.Н. Барун, В.А. Трынов, Р.М. Ахтареев // Москва : Транспорт, 1984. – 19 с.

5. Андрианов, Ю.В. Исследование влияния дорожных и транспортных условий на эффективность технической эксплуатации автомобилей / Юрий Васильевич Андрианов : Диссертация ... канд. техн. наук. – Москва, 1979. – 178 с.

6. Анисимов, И.А. Приспособленность автомобилей с дизельными двигателями к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов: Дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2003. – 195 с.

7. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. – Москва : Транспорт, 1993. – 271 с.

8. Баженов, Ю. В. Исследование надежности конструктивных элементов электронного управления подсистемой питания топливом двигателя / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов, В. П. Каленов // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта, – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2020. – С. 75-79. – EDN IBHXKH.

9. Баженов, Ю. В. Исследование работоспособности двигателей в условиях эксплуатации / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов // Владимир : ВлГУ. – 2016. – С. 36-42. – EDN YUDIYW.

10. Баженов, Ю. В. Исследование эксплуатационной надежности автомобильных двигателей / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов // Владимир : ВлГУ. – 2018. – С. 22-27. – EDN YPNTNJ.

11. Бедняк, М.Н. Техническая эксплуатация автомобильного транспорта / М.Н. Бедняк, В.Н. Черкис, И.А. Луйк и др. – Киев : Техника, 1979. – 295 с.

12. Берштейн, А.И. Проблемы технической эксплуатации топливной аппаратуры дизельных двигателей автомобилей / А.И. Берштейн, А.Г. Чередник // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – С. 429-432.

13. Бурцев, А. Ю. Исследования эксплуатационной надежности турбокомпрессоров К27-145 автомобилей КАМАЗ-65115 / А. Ю. Бурцев, А. В. Гриценко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – С. 176-183. – EDN ZOFIEN.

14. Бурцев, А. Ю. Мероприятия по торможению ротора турбокомпрессора и исследование границ помпажа / А. Ю. Бурцев, А. В. Гриценко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – С. 32-36. – EDN XAYATX.

15. Васильев, В.И. Совершенствование методики корректирования нормативов управления эксплуатацией подвижного состава предприятий автомобильного транспорта региональных транспортных систем / В. И. Васильев, С. П. Жаров // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – С. 7-9. – EDN VZXHWH.

16. Викерт, М.М. Топливная аппаратура автомобильных дизелей / Викерт М.М., Мазинг М.В. // Москва : Машиностроение. 1978. – 185 с.

17. Вознесенский, А.В. Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей / Анатолий Викторович

Вознесенский : Диссертация ... канд. техн. наук : 05.22.10. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – 167 с.

18. Вохмин, Д. М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вохмин Дмитрий Михайлович. – Тюмень, 2005. – 212 с. – EDN NNPКСВ.

19. Вохмин, Д. М. Влияние условий работы на надежность форсунок / Д. М. Вохмин, Н. С. Захаров // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин : Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2005. – С. 52-56. – EDN TPAGFT.

20. Вохмин, Д. М. Влияние условий работы автомобиля на надежность форсунок дизельного двигателя / Д. М. Вохмин, Н. С. Захаров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – С. 123-126. – EDN THHLOL.

21. Вохмин, Д. М. Направления повышения надежности системы топливоподачи дизеля / Д. М. Вохмин // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин : Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2005. – С. 40-46. – EDN TPAGEZ.

22. Вохмин, Д. М. Предпосылки повышения надежности систем топливоподачи дизелей / Д. М. Вохмин // Транспортные и транспортно-технологические системы. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2014. – С. 34-39. – EDN SYFDSB.

23. Габитов, И. И. Передовые технологии технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры дизелей / И. И. Габитов, А. В. Неговора // Vestnik Bashkir State Agrarian University. – 2015. – С. 40-44. – EDN ULWOYD.

24. Габитов, И. И. Современные тенденции технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / И. И.

Габитов, А. В. Неговора // Труды ГОСНИТИ. – 2008. – С. 38-44. – EDN SZTLCJ.

25. Газарян А.А., Техническое обслуживание автомобилей / А.А. Газарян // Москва: Транспорт, 1989. – 255 с.

26. Галиев, И. Г. Индивидуальная система смазки подшипникового узла турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / И. Г. Галиев, А. Т. Кулаков, А. Р. Галимов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2020. – С. 252-258. – EDN IKOPWA.

27. Галиев, И. Г. Модернизация смазочной системы подшипника турбокомпрессора дизельного двигателя / И. Г. Галиев, Е. П. Парлюк, Б. Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – С. 67-71. – EDN QQSGUF.

28. Галиев И. Г. Обеспечение работоспособности турбокомпрессоров / И. Г. Галиев // Уральский научный вестник. – 2017. – С. 62–66.

29. Галиев, И. Г. Обоснование параметра работоспособности турбокомпрессора / И. Г. Галиев, А. Т. Кулаков, А. Р. Галимов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2021. – № 2(72). – С. 251-256. – DOI 10.34771/UZCEPU.2021.72.2.048. – EDN UJDNEQ.

30. Галиев, И. Г. Определение перечня факторов, характеризующих условия эксплуатации тракторов / И. Г. Галиев, Р. К. Хусаинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. – С. 77-80. — EDN VJTLLN.

31. Галиев, И. Г. Усовершенствование системы смазки турбокомпрессора дизельного двигателя / И. Г. Галиев, А. Т. Кулаков, А. Р. Галимов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – С. 256-261. – EDN UYVACO.

32. Глухов, В.В. Математические методы и модели для менеджмента / В.В. Глухов, М.Д. Медников, С.Б. Коробко // Санкт-Петербург : Лань, 2000. – 480 с.

33. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н.Я. Говорущенко // Харьков : Вища школа, 1984. – 312 с.

34. Головных, И.М. Повышение эффективности использования топлива при различных условиях эксплуатации автомобилей / И.М. Головных, В.С. Колчин // Повышение эффективности работы колесных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации: Сб. трудов междунар. науч.-практ. конференц. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1996. – С. 36-39.

35. Гольверк, О.А. Исследование эксплуатационной надежности топливной аппаратуры тракторов Т-74 / О.А. Гольверк, В.Д. Бойко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: республ. межведомств. тематич. научно-техн. сб., – 1991. – С.55-60.

36. Гольд, Б.В. Основы прочности и долговечности автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский и др. // Москва : Машиностроение, 1967. – 211 с.

37. ГОСТ Р 27.0012009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения. – Введ.15.12.2009. – Москва : Стандартиформ, 2010. – 9 с.

38. ГОСТ 21624-81. Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий. – Введ. 01.01.1983. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 16 с.

39. Григорьев, М.А. Обеспечение надежности двигателей / М.А. Григорьев, В.А. Долецкий // Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 323 с.

40. Григорьев, М.А. Повышение надежности и долговечности автомобильных двигателей : Реферативный обзор / Канд. техн. наук М. А. Григорьев. - Москва, 1966. – 49 с.

41. Григорьев, М.А. Износ деталей двигателя при неустановившихся режимах работы / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев и др. // Труды НАМИ, 1974 – 147 с.

42. Григорьев, М.А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев // Москва: Машиностроение, 1976. – 248 с.

43. Гуреев, А.А. Автомобильные эксплуатационные материалы / А.А. Гуреев, Р.Я. Иванова, Н.В. Щеголев // Москва : Транспорт, 1974. – 278 с.

44. Демьянов, Л.А. Пути повышения надежности и долговечности автотракторных двигателей / Л.А. Демьянов, С.К. Сарафанов // Москва : Воениздат, 1967. – 105 с.

45. Денисов, А. С. Анализ деформаций и теплонапряженности корпуса турбокомпрессора двигателей КАМАЗ-ЕВРО / А.С. Денисов, А.Р. Асоян, Н.В. Орлов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – С. 177-181. – EDN OJOGGZ.

46. Денисов, А. С. Анализ смазки подшипникового узла турбокомпрессора на режимах пуска и остановки двигателя / А.С. Денисов, Б.Т. Утешев // Саратов : Вестник СГТУ. – 2013. – С. 9-16. – EDN YQSNFJ.

47. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов: диссертация ... доктора технических наук : 05.20.03. – Саратов, 1999. – 428 с.

48. Денисов, А. С. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров ткр-7н / А. С. Денисов, А.Ф. Малаховецкий, А.Т. Кулаков, Н.И. Светличный, Г.Г. Гаффаров, Р.Т. Тазеев // Саратов: Вестник СГТУ. – 2004. – С. 69-76. – EDN PIEUKH.

49. Денисов, А. С. Моделирование температуры подшипникового узла турбокомпрессора после остановки автомобильного двигателя / А.С. Денисов, А.Р. Асоян, А.А. Коркин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2012. – № 1. – С. 16-20. – EDN PEOAKV.

50. Довбня, Б.Е. Влияние сезонных изменений интенсивности эксплуатации на производственную программу предприятий по техническому обслуживанию автомобилей / Довбня Борис Евгеньевич : Диссертация ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Тюмень, 2000. – 165 с.

51. Довбня, Б.Е. Моделирование нестационарного потока требований на техническое обслуживание автомобилей / Б.Е. Довбня, Н.С. Захаров //

Проблемы адаптации техники к суровым условиям: Доклады международной научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – С. 49-56.

52. Ждановский, Н.С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей / Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко // Ленинград : Колос, 1975. - 223 с.

53. Жоробеков, Б.А. Испытание технико-эксплуатационных показателей автотранспортных средств в условиях высокогорья / Б.А. Жоробеков, И.О. Сабиров, С.М. Зулпуев, В.С. Жакыпджанова // Территория науки. – 2016. – № 3. – С. 43-47. – EDN WKEGQB.

54. Загородских, Б.П. Конструктивные и технологические мероприятия повышения надежности дизельной аппаратуры / Б.П. Загородских // Проблемы совершенствования рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания / Тезисы докладной всесоюзн. науч. конф Москва. – 1986. – 174 с.

55. Залознов, И.П. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей за счет обоснования периодичности обслуживания электромагнитных форсунок : Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10: – Омск, 2003 – 115 с.

56. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.

57. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.

58. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий на надежность автомобилей Урал-4320 / Н. С. Захаров, Г. В. Абакумов, Ю. М. Першин // Повышение эффективности работы колесных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации : Сборник трудов международной научно-технической



конференции, – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 1996. – С. 60-66. – EDN UEDZTN.

59. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей / Н. С. Захаров, Г. В. Абакумов, А. В. Вознесенский. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – С. 115.

60. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров // Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.

61. Захаров, Н. С. Определение периодичности технического обслуживания с учетом требуемого уровня надежности автомобилей / Н. С. Захаров, А. Н. Макарова // Сервис автомобилей и технологических машин : Материалы Всероссийской научно-практической конференции – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2011. – С. 89-91. – EDN TPAALJ.

62. Захаров, Н.С. О целевой функции в прикладных диссертационных исследованиях / Н.С. Захаров. // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы международ. науч.-техн. конф. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. – С. 113-114.

63. Захаров, Н. С. Факторы, влияющие на надежность автомобилей-самосвалов при работе в условиях Западной Сибири / Н. С. Захаров, А. Акжол Уулу, С. А. Теньковская // Транспортное дело России. – 2018. – С. 130-132. – EDN XWTSAX.

64. Захаров, Н. С. Формирования ресурса форсунок двигателей автомобилей КАМАЗ-5320 с учетом средней технической скорости эксплуатации / Н. С. Захаров, Д. М. Вохмин // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин : Доклады международной научно-технической конференции. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006. – С. 96-99. – EDN TRDEMJ.

65. Захаров, Ю. А. Мобильное оборудование для проверки и испытания топливных форсунок дизельных ДВС / Ю. А. Захаров // Транспорт.

Экономика. Социальная сфера. (актуальные проблемы и их решения). – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 45-50. – EDN UECDAZ.

66. Захаров, Ю. А. Основные дефекты корпусных деталей автомобилей и способы их устранения, применяемые в авторемонтном производстве / Ю. А. Захаров, Е. В. Ремзин, Г. А. Мусатов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – С. 43. – EDN TPMSUZ.

67. Захаров, Ю. А. Проверка, диагностика и испытание форсунок дизелей / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения). – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – С. 43-47. – EDN TOOYGR.

68. Звягин, А.А. Автомобили ВАЗ: надежность и обслуживание / А.А. Звягин, Р.Д. Кислюк, Л.Д. Егоров // Ленинград: Машиностроение, 1981. – 238 с.

69. Ивашко, В. С. Надежность автомобилей МАЗ в современных условиях / В. С. Ивашко, И. В. Матвиенко // Автомобиле- и тракторостроение : Материалы Международной научно-практической конференции в 2-ух томах. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2018. – С. 192-195.

70. Ипатов, А. Г. Модификация подшипниковых сопряжений турбокомпрессора ТКР 7С-6 / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, А. Г. Иванов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2020. – С. 101-106. – EDN RIVDEP.

71. Ипатов, А. Г. Особенности восстановления подшипниковых сопряжений турбокомпрессоров ДВС / А. Г. Ипатов, С. Н. Шмыков // Динамика механических систем. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 227-231. – EDN MABKIO.

72. Ипатов, А. Г. Повышение эффективности работы турбокомпрессора модификацией подшипниковых сопряжений / А. Г. Ипатов, А. Г. Иванов, А.

В. Малинин // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – С. 59-63. – EDN AEWVOL.

73. Исследование зависимости вязкости смазочных масел от температуры / Д. С. Розов, А. С. Ровенских, А. Д. Ваняшов, Е. Г. Шубенкова // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. – Омск: Омский государственный технический университет, 2020. – С. 340-343. – EDN BJNAWQ.

74. Исследование изнашивания прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры / А. В. Новичков, Е. В. Новиков, Е. Г. Рылякин [и др.] // Международный научный журнал. – 2014. – С. 108-111. – EDN SGRNMN.

75. Исследование кристаллообразования в дизельном топливе при низких температурах / Р. Р. Шарипов, Р. З. Фахрутдинов, Б. Р. Вагапов [и др.] // Международный научный журнал. – 2014. – Т. 17, № 15. – С. 277-280.

76. Исследование помпажа турбокомпрессора в режимах его торможения регулируемой заслонкой / А. Г. Игнатъев, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2017. – С. 222-227. – EDN ZQOBML.

77. Исследование причин выхода из строя иглы распылителя дизельных топливных форсунок / А. С. Бодров, А. А. Катунин, А. С. Маркин [и др.] // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. – Тула: Тульский государственный университет, 2017. – С. 34-40. – EDN YLADUL.

78. Исследование причин выхода из строя топливных форсунок современных автомобилей / А. Ю. Малахов, П. А. Юрин, Т. Е. Лихачева [и др.] // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – С. 38-47. – EDN YKYPTF.

79. Исследование причин образования коррозии на деталях дизельных топливных форсунок / А. С. Бодров, А. А. Катунин, А. С. Маркин [и др.] // Поколение будущего: взгляд молодых ученых. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. – С. 187-191. – EDN XDXHFX.

80. Исследование причин отказов топливной аппаратуры дизельных двигателей современных автомобилей / А. Ю. Малахов, Д. Е. Ивлиев, Т. Е. Лихачева [и др.] // Транспортные и транспортно-технологические системы. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2016. – С. 207-214. – EDN VSRLLL.

81. Исследование процесса кристаллизации нормальных парафинов в дизельных топливах в условиях отрицательных температур / А. Н. Приваленко, А. Б. Квашнин, И. В. Вингерт [и др.] // Международный технико-экономический журнал. – 2013. – № 4. – С. 95-103.

82. Исследовательское проектирование в машиностроении / В. В. Быков, В. П. Быков. - Москва : Машиностроение, 2011. – 255 с.

83. Исследование эксплуатационных характеристик смазочных масел / Д. С. Розов, А. С. Ровенских, О. В. Скоморощенко, Е. Г. Шубенкова // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 267-269.

84. Каримходжаев, Н. Влияние обводнённости топлива на надёжность работы топливной аппаратуры / Н. Каримходжаев, И. Н. Сайдалиев // Universum: технические науки. – 2022. – С. 40-42. – EDN GTVBZV.

85. Каримходжаев, Н. Определение структурных показателей пылевых частиц топливных загрязнений автомобильных двигателей / Н. Каримходжаев, Т. О. Алматаев, И. С. Косимов // Universum: технические науки. – 2021. – С. 77-79. – EDN PDYGTJ.

86. Карташевич, А.Н. Повышение эффективности работы линии низкого давления системы питания дизеля в условиях отрицательных температур / А.Н. Карташевич, А.В. Гордеенко, В.С. Бранцевич // Тезисы докладов XXI научно-технической конференции в рамках проблемы «Наука и мир». – Брест, 1994. – С. 51-52.

87. Катаргин, В.Н. Разработка методики проектирования режимов технического обслуживания газобаллонных автомобилей, работающих на

сжатом природном газе : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / В.Н. Катаргин. – Москва, 1987. – 288 с.

88. Князьков, А.Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы технического обслуживания и ремонта автомобилей : дис... канд. техн. наук : 05.22.10 / А.Н. Князьков ; Красноярский гос. технический ун-т. – Красноярск, 2004. – 235 с.

89. Костин, А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, М.А. Кочинев // Москва: Машиностроение, 1987. – 278 с.

90. Крайнюков, А. В. Пьезоэлектрическая ультразвуковая обработка моторного масла как способ подготовки смазочной системы дизеля к эксплуатации в условиях низких температур / А. В. Крайнюков, И. Н. Жегалов, Ю. В. Гармаш // Научный резерв. – 2018. – № 1(1). – С. 32-36.

91. Кривенко, П.М. Дизельная топливная аппаратура / П.М. Кривенко., И.М. Федосов // - Москва: Колос, 1970. - 536 с.

92. Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы / Кузнецов А. В. // Москва : КолосС, 2013. - 199 с.

93. Кузнецов, Е.С. Условия эксплуатации и надежность автомобилей / Е.С. Кузнецов, Ю.В. Андрианов // Автомоб. промышл., 1981. – С. 8-9.

94. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов // Москва : Транспорт, 1982. - 223 с.

95. Кузнецов, Е.С. Обобщающие показатели эксплуатационной надежности автомобилей / Е.С. Кузнецов // Автомоб. промышл., 1968. – С. 8-10.

96. Кузнецов, Е.С. Режимы технического обслуживания автомобилей / Е.С. Кузнецов // Москва : Автотранспорт, 1963. – 247 с.

97. Кузнецов, Е.С. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Е.С. Кузнецов // Москва : МАДИ, 1979. – 111 с.

98. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Е.С Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин // Москва : Транспорт, 1991. – 413 с.

99. Кулаков, А.Т. Совершенствование подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного ДВС / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин, А.Г. Гафаров // Тракторы и сельхозмашины, 2010. – С. 39–42.

100. Кулаков, А.Т. Эксплуатационная надежность КамАЗов / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович // Автотранспортное предприятие, 2013. – С. 45–48.

101. Кулаков, А.Т. Влияние автономной подачи смазки в узлы подшипников ТКР 7Н1 двигателя КАМАЗ 7403 / А.Т. Кулаков [и др.] // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. / Моск. гос. автом.дор. унт. – Москва, 2014. – С. 133-141.

102. Кулаков, А.Т. Ремонт и восстановление турбокомпрессоров ТКР-7Н1 дизелей КАМАЗ / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович // Магадан, 2013. – С. 121–129.

103. К чему приводит некачественное топливо в современном автомобиле. Цикл статей. Часть 1. Отказы топливной аппаратуры / А. Ю. Малахов, А. Н. Ливанский, М. А. Карпов [и др.] // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. – 2022. – С. 23-37. – EDN UVCPNG.

104. Лукинский, В.С. Модели и методы теории логистики [Текст] / В.С. Лукинский. – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 448 с.

105. Лиханов, В.А. Двигатели КАМАЗ: Учебное пособие / В.А. Лиханов, А.Н. Чувашев // Киров: Вятская ГСХА, 2018. – 190 с.

106. Лосавио Г.С., Эксплуатация автомобилей при низких температурах / Г.С. Лосавио // Москва : Транспорт, 1973. – 120 с.

107. Лосавио, Г.С. Зимняя эксплуатация автомобилей / Г.С. Лосавио, Н.В. Семенов // Москва : Автотрансиздат, 1961. – 136 с.

108. Лянденбургский, В.В. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей: моногр. / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов // Пенза : ПГУАС, 2013. – 220 с.

109. Ляхов, А. П. Влияние температуры на физические свойства и обводнение дизельного топлива / А. П. Ляхов, С. И. Оскирко, Г. И. Кошля //

Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 432-436.

110. Ляхов, А. П. Особенности эксплуатации тракторов в зимний период / А. П. Ляхов, В. Н. Кецко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. – Минск : БГАТУ, 2013. – С. 283-286.

111. Ляхов, А. П. Физические характеристики дизельного топлива и их влияние на работу двигателя / А. П. Ляхов, Г. И. Кошля // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве. – Минск : БГАТУ, 2013. – С. 104-108.

112. Макарова, А.Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук. – Оренбург, 2016. – 208 с.

113. Макарова, А. Н. Оценка фактической надежности автомобилей Урал-5557 КС-35714 / А. Н. Макарова, Н. С. Захаров // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 204-208. – EDN YTSHLZ.

114. Макаров, Е.И. Методика планирования потребности автотранспортных предприятий в моторном масле с учетом условий эксплуатации автомобилей / Егор Иванович Макаров: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Оренбург, 2017. – 191 с.

115. Макаров, Е.И. Целевая функция при разработке методики нормирования расхода и планирования потребности в моторном масле с учетом вариации интенсивности и условий эксплуатации автомобилей / Е.И. Макаров // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы международ. науч.–техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, – 2015. – С. 27–29.

116. Мальцев, Д. В. Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автобусов / Д. В. Мальцев, С. А. Пестриков // Мир транспорта. – 2018. – С. 96-105. – EDN XSMVTV.

117. Матвиенко, И. В. Исследования надежности автомобилей в процессе их технической эксплуатации / И. В. Матвиенко, В. С. Ивашко // Новости науки и технологий. – 2020. – № 2(53). – С. 30-37. – EDN FQBPJI.

118. Математическая модель индивидуальной системы смазки подшипника турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, Р. Р. Шайхутдинов, А. Р. Галимов // Техника и оборудование для села. – 2020. – С. 39-43. – EDN WLFEPD.

119. Монгуш, С. Ч. Моделирование процессов влияния климатических факторов и рельефа местности на производительность наземных транспортно-технологических машин / С. Ч. Монгуш, О. А. Чооду, С. А. Евтюков // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – С. 108-111. – EDN PQBOWH.

120. Мусин, К. С. Исследование и повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей / К. С. Мусин, Н. С. Сабралиев, М. А. Адилбеков // Вестник Алматинского технологического университета. – 2018. – С. 75-81. – EDN YLWEQP.

121. Надежность и эффективность в технике : Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский, И.В. Аполлонов, Е.Ю. Барзилович и др. – Москва : Машиностроение, 1989. – 319 с.

122. Неелов, Ю.В. Управление техническими системами / Ю.В. Неелов. – Тюмень: Вектор Бук, 1999. – 108 с.

123. Нормы расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей [Электронный ресурс]. – Москва : Центроргтрудоавтотранс, 1996. – Режим доступа: [https://znaytovar.ru/gost/2/Normy\\_rasxoda\\_materialov\\_i\\_zap.html](https://znaytovar.ru/gost/2/Normy_rasxoda_materialov_i_zap.html).

124. Обеспечение работоспособности турбокомпрессора дизельного двигателя / И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, А. В. Гриценко, Э. Р. Галимов // Вестник НГИЭИ. – 2021. – С. 62-71. – EDN QLKGHE.



125. Определение и обеспечение работоспособности турбокомпрессора / А. Р. Галимов, И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, Э. Р. Галимов // Вестник НГИЭИ. – 2021. – С. 42-50. – EDN SLPBSD.

126. Основы технической эксплуатации автомобилей : Учебное пособие / Р.Х. Хасанов // Оренбург: ОГУ, 2003. – 193 с.

127. Патрушев, С. А. Совершенствование рабочего процесса дизельного двигателя / С. А. Патрушев, Д. М. Вохмин // Сервис автомобилей и технологических машин. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2011. – С. 159-161. – EDN TPAAUZ.

128. Петровский, Д. И. Анализ технического состояния топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственных машин / Д. И. Петровский, А. Д. Ралко // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. – С. 141-146. – EDN UQABFZ.

129. Плаксин, А. М. Обеспечение безотказности подшипников ротора турбокомпрессора / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – С. 95-100. – EDN XAYAYX.

130. Повышение надежности турбокомпрессоров автотракторных двигателей улучшением смазывания подшипникового узла / Г.Г. Гаффаров, Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, А.Т. Кулаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Машиностроение. – 2015. – С. 18-27. – EDN UKKQMV.

131. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров ТКР-7Н / А. С. Денисов, А. Ф. Малаховецкий, А. Т. Кулаков [и др.] // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2004. – С. 69-76. – EDN PIEUKH.

132. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. – Москва: Транспорт, 1986. – 73 с.

133. Попцов, В. В. Влияние низких температур на надёжность двигателей автомобилей КАМАЗ-44108 / В. В. Попцов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – С. 25-27. – EDN ZSJPYV.

134. Применение гидроаккумулятора в системе смазки турбокомпрессора / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, И. Г. Ганиев, А. Ю. Бурцев // Kishovarz. – 2015. – С. 58-60. – EDN WPOSPF.

135. Причины отказов турбокомпрессоров и рекомендации по ремонту узлов уплотнения / Д. А. Никитин, Г. Д. Межецкий, А. С. Денисов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – С. 50-54. – EDN ZUDZMT.

136. Проников, А.С. Надежность машин / А.С. Проников // Москва : Машиностроение, 1978. – 592 с.

137. Ракитин, А.Н. Влияние сезонных изменений условий и интенсивности эксплуатации на поток отказов автомобилей : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А.Н. Ракитин ; Тюменский гос. нефтегазовый ун-т. – Тюмень, 2004. – 163 с.

138. Ракитин, А. Н. Влияние сезонных условий на параметр потока отказов спецавтомобилей на шасси КраЗ-255 / А. Н. Ракитин, Н. С. Захаров // Приспособленность автомобилей, строительных и дорожных машин к суровым условиям эксплуатации : Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 1999. – С. 134-137. – EDN TOZWMH.

139. Ракитин, А. Н. Оценка сезонных факторов, влияющих на поток отказов автомобилей / А. Н. Ракитин, Т. А. Григорьян, Н. С. Захаров // Проблемы адаптации техники к суровым условиям : Доклады международной научно-практической конференции, – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 1999. – С. 206-208. – EDN TPACML.

140. Резник Л.Г. Научные основы приспособленности автомобилей к условиям эксплуатации. — Дис. докт. техн. наук. Тюмень, 1981. – 358 с.
141. Резник Л.Г., Копотилов В.И. Эксплуатация автомобилей при низких температурах. – Тюмень: ТюмИИ, 1989. – 64 с.
142. Резник, Л.Г. Основные направления, цели и задачи теории приспособленности автомобиля к суровым условиям эксплуатации / Л.Г. Резник, А.И. Петров // Проблемы эксплуатации машин в суровых условиях Сибири: Межвузовский сб. научн. тр./ ТюмИИ – Тюмень, 1991. – С. 3-4.
143. Резник, Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков // Москва : Транспорт. 1989. – 126 с.
144. Резник, Л.Г. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков // Тюмень: ТГУ, 1985. – 104 с.
145. Результаты исследования влияния условий функционирования турбокомпрессора на его работоспособность / А. Р. Галимов, И. Г. Галиев, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – С. 70-74. – EDN FBDFLX.
146. Результаты производственных испытаний системы смазки турбокомпрессоров с автономно-смазочным тормозным устройством / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, В. Д. Шепелев, З. В. Альметова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – С. 54-61. – EDN ZRSXCT.
147. Ременцов, А. Н. Особенности эксплуатации автомобилей в условиях высокогорья / А. Н. Ременцов, Д. Ш. Тошев // Грузовик. – 2015. – С. 43-48. – EDN UJFSGL.
148. Самсонов, А. Н. Способ повышения качества обслуживания и ремонта автомобилей / А. Н. Самсонов, М. Ю. Иванов, Н. Н. Тончева // Автомобильный транспорт: эксплуатация и сервис. – Чебоксары : Чувашский

государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2022. – С. 32-35. – EDN QYFQRH.

149. Сапоженков, Н.О. Влияние сезонных условий на надежность элементов электрооборудования автомобилей / Н.О. Сапоженков, А.Н. Макарова // Научно–технический вестник Поволжья. – 2014. – С. 318-320.

150. Северцев, Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и обработке / Н.А. Северцев // Москва : Высшая школа, 1989. – 432 с.

151. Семенов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н.В. Семенов // Москва : Транспорт, 1993. – 190 с.

152. Сергиенко, Е.В. Оптимизация количества постов текущего ремонта с учетом неравномерности поступления автомобилей [Текст] : Дис. ... канд. техн. наук; 20.22.10 / Евгений Викторович Сергиенко; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2004. – 165 с.

153. Совершенствование плунжерной пары топливного насоса высокого давления для систем топливоподачи Common Rail / К. В. Гаврилов, В. С. Худяков, И. К. Умурзаков, Е. А. Подвысоцкая // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2022. – С. 5-12. – EDN BHNLOB.

154. Суханов, Б.Н. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: пособие по курсовому проектированию / Б.Н. Суханов, И.О. Борзых, Ю.Ф. Бедарев // Москва : Транспорт, 1985. – 224 с.

155. Тахтамышев, Х.М. Теоретические основы формирования и использования внутрипроизводственной мощности автотранспортных предприятий [Текст] : Дис. ... д-ра техн. наук; 05.22.10 / Хизир Махмудович Тахтамышев; Киевский автомобильно-дорожный институт. – Киев, 1989. – 429 с.

156. Ташпулатов М. М. Обеспечение работоспособности топливоподающей аппаратуры дизелей / М. М. Ташпулатов // Ташкент : Фан, 1990. – 128 с.

157. Техническая эксплуатация автомобилей: Краткий конспект лекций / И.Г.Галиев; Каз.федер.ун-т. – Казань, 2014. – 71 с.
158. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. / Под ред. Е. С. Кузнецова. - 3-е изд., перераб. и доп. // Москва : Транспорт, 1991. - 413 с.
159. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – 4-е изд., перераб. и дополн. – Москва : Наука, 2001. – 535 с.
160. Тихомирова, О.Б. Особенности использования топлива со сверхнизким содержанием серы в дизельных двигателях / О.Б. Тихомирова, Д.В. Лысич // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16215> (дата обращения: 05.12.2023).
161. Турсунов, А. А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации / А.А. Турсунов // Душанбе: Маориф ва Фарханг, 2003. – 356 с.
162. Удлер, Э. И. Повышение эффективности дизельной техники в условиях низких температур / Э. И. Удлер, Г. Г. Петров, Д. П. Пеньков // Повышение эффективности работы колесных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации : Сборник трудов международной научно-технической конференции, Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 1996. – С. 132-133.
163. Улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлива / А.А. Уразаева, Г.М. Сидоров, Р.Р. Валинуров, Ш.Т. Азнабаев // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – С. 93-98.
164. Усовершенствованный ремонтный комплект подшипникового узла для восстановления турбокомпрессоров автомобильных дизелей / А.Т. Кулаков, С.Н. Девянин, Г.Г. Гаффаров, А.Г. Гаффаров // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – С. 41-48. – EDN UMHFLJ.

165. Хазов, Б. Ф. Надежность строительных и дорожных машин / Б.Ф. Хазов // Москва : Машиностроение, 1979. – 192 с.
166. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие / Р.Х. Хасанов // Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.
167. Цыплакова, Е.Г. Анализ климатических условий и их влияние на экологоэкономический ущерб при эксплуатации автотранспорта / Е. Г. Цыплакова // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. – 2012. – С. 188-199. – EDN PVTEZR.
168. Чебоксаров, А.Н. Основы теории надежности и диагностика: курс лекций / А.Н. Чебоксаров // Омск : СибАДИ, 2012. – 76 с.
169. Чооду, О. А. Обеспечение надежности транспортно-технологических машин в условиях эксплуатации / О. А. Чооду // Bulletin of Tuvan State University. – 2019. – С. 66-76. – EDN GSWPUN.
170. Чооду, О.А. Проблемы повышения технической готовности комплектов техники в сложных климатических условиях / О.А. Чооду, С.А. Евтюков // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2017. – № 3 (34). – С. 45-52.
171. Шевелев, Е.С. Определение параметров зоны технического обслуживания с учетом неравномерности поступления автомобилей / Евгений Сергеевич Шевелев : Диссертация ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2009. – 154 с.
172. Шишмарев, В. Ю. Надежность технических систем / В.Ю. Шишмарев // Москва : Academia, 2010. – 304 с.
173. Щетина, В.А. Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте / В.А. Щетина, В.С. Лукинский, В.И. Сергеев // Москва : Транспорт, 1988. – 112 с.
174. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин / К.В. Щурин // Оренбург : ОГУ, 2010. – 585 с.
175. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания : учебное пособие / Б. Л. Охотников // Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 140 с.

176. Якубович, И. А. Улучшение характеристик двигателей КамАЗ-7403 путем автономной подачи масла к турбокомпрессорам / И. А. Якубович, А. Т. Кулаков, Д. Р. Шафеев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – С. 219-223. – EDN TPNROB.

177. Cavallo, M. Fuel Influence on Single-Piston Common Rail Pump Performance / Cavallo M., Frattini E., Palmieri F. // SAE Technical Paper. – 2021. – no 1. – pp. 101-108.

178. Knauder, C. Analysis of the journal bearing friction losses in a heavy-duty diesel engine. / Knauder C., Allmaier H., Sander D.E., Salhofer S., Reich F.M., Sams T. // Lubricants. – 2015. – no. 3. – pp. 142-154.

179. Kumar, A. A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks / Kumar A., Krishnan V. // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. – 2017. – pp. 76-85.

180. Jia, H. Effect of compound texture on lubrication and sealing performance of plunger pump / Jia H., Zhou Z., Yin B., Zhou H., Xu B. // Lubrication Science. – 2020. – pp. 43-59.

181. Jia, H. Influence of microdimple on lubrication performance of textured plunger pump / Jia H., Zhou Z., Yin B., Zhou H., Xu B. // Industrial Lubrication and Tribology. – 2021. – no. 4. – pp. 563-571.

182. Iordache, R.C. Wear's issues on high-pressure common rail pumps / Iordache R.C., Petrea N.D., Bujoreanu C. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – pp. 78-84.

183. Rameshkumar, A. A Study of Bulldozers in Reliability Analysis / Rameshkumar A., Krishnan V. // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2016. – no. 5. – pp. 32-40.

184. Bimal, S. Reliability analysis of shovel machines used in an open cast coal mine / Bimal S., Bijan S., Mukherjee, S. // Mineral Resources Engineering. – 2001. – pp. 219-231.

185. Veerapaneni, A. Reliability Modeling and Performance Analysis of Dumper Systems in Mining by KME Method / Veerapaneni, A. // International Journal of Current Engineering and Technology. – 2014. – pp. 255-258.
186. Młynarski, S. Evolution of Machine Reliability and Life and Economics of Operational Use / Młynarski S. // Management and Production Engineering Review. – 2016. – pp. 76-85.
187. Sun, Wenfu Simulation of Solenoid Valve Characteristics of Electronically Controlled Fuel System for Diesel Engine / Sun Wenfu, Xiaoqin Mo // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – pp. 56-64.
188. Peng, Liu Research on key factors and their interaction effects of electromagnetic force of high-speed solenoid valve / Peng Liu, Liyun Fan, Qaisar Hayat, De Xu, Xiuzhen Ma, and Enzhe Song // The Scientific World Journal. – 2014. – pp. 45-58.
189. Kumar, A. A Study on System Reliability in Weibull Distribution / Kumar A., Krishnan V. // International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. – 2017. – no. 5. – pp. 38-41.
190. Zhang, Q. Multi-medium running induced piston pump erosion / Zhang Q. Fu Y., Yuan Z., Song Z. // Science and Technology Review. – 2012. – no. 30. – pp. 44-48.
191. Gismeteo [Electronic resource] <https://www.gismeteo.ru/>.



## **ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА, В КОТОРЫХ ИЗЛОЖЕНЫ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Публикации в изданиях, входящих в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых опубликованы основные научные результаты диссертаций**

1. **Гусельников, А. С.** Влияние сезонных условий на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 / А. С. Гусельников, Н. С. Захаров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 111-120.

2. **Гусельников, А. С.** Исследование влияния условий эксплуатации на надёжность элементов топливной аппаратуры автомобилей Урал-4320 / А. С. Гусельников, Н. С. Захаров // Транспорт Урала. – 2023. – № 4. – С. 83-89.

3. **Гусельников, А. С.** Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 / А. С. Гусельников // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 2. (в печати)

### **Публикации в других изданиях**

4. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий эксплуатации на надёжность турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320 / Н. С. Захаров, **А. С. Гусельников** // Транспортные и транспортно-технологические системы, Тюмень, 21 апреля 2022 года. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 182-184.

5. Захаров Н. С. Влияние условий эксплуатации на надёжность распылителя автомобильных дизельных двигателей / Н. С. Захаров, **А. С. Гусельников** // Транспортные и транспортно-технологические системы, Тюмень, 15 апреля 2021 года / Отв. редактор Н.С. Захаров. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 87-88.

6. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на надёжность топливного насоса высокого давления автомобильных дизельных двигателей

/ Н. С. Захаров, **А. С. Гусельников** // Проблемы функционирования систем транспорта, Тюмень, 07–09 декабря 2021 года / Отв. редактор П.В. Евтин. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 141-143.

7. Захаров, Н. С. Влияние условий эксплуатации на надежность турбокомпрессора автомобильных дизельных двигателей / Н. С. Захаров, **А. С. Гусельников** // Проблемы функционирования систем транспорта, Тюмень, 02–04 декабря 2020 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 269-270.

8. **Гусельников, А. С.** Исследование влияния сезонных условий на надежность топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей / **А. С. Гусельников, Р. В. Тяг** // Транспортные и транспортно-технологические системы, Тюмень, 22 октября 2020 года / Отв. редактор Н.С. Захаров. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 134-135.

**Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания  
автомобилей**

Таблица П1.1 - Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания  
автомобилей КАМАЗ-43118

Наименование параметра	Значение					
	Турбо-компрессор	Распылитель форсунки	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Топливный бак
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла
Объем выборки	293	675	468	290	50	47
Минимальное значение (тыс. км)	4,12	5,76	4,70	6,15	7,49	8,27
Максимальное значение (тыс. км)	539,09	534,05	591,21	536,09	477,02	404,71
Выборочное среднее (тыс. км)	159,45	123,83	157,02	156,82	144,32	176,36
Среднее квадратическое отклонение среднего	6,01	3,32	4,57	5,79	13,71	15,79
Дисперсия	10583,81	7458,94	9776,55	9730,34	9396,03	11717,61
Среднее квадратическое отклонение	102,88	86,37	98,88	98,64	96,93	108,25
Коэффициент вариации	0,645	0,697	0,630	0,629	0,672	0,614
Коэффициент асимметрии	0,716	1,112	0,806	0,952	1,153	0,287
Коэффициент эксцесса	0,032	1,300	0,468	0,852	1,459	-1,039
Статистика Пирсона:						
- нормальный закон	0,981	5,530	2,416	4,883	5,136	1,689
- логнормальный закон	1,082	1,265	3,925	2,430	1,358	5,922
- закон Вейбулла	0,115	0,142	0,304	0,431	1,033	0,946
- TP-закон	4,971	1,096	2,332	6218,225	5,268	8,640
Вероятность соответствия закону распределения	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	
Параметры закона Вейбулла:						
$\alpha =$	1,611	1,481	1,654	1,656	1,542	1,700
$\beta =$	4239,7092	1462,4645	5178,7347	5211,7351	2523,8861	8078,5165

Таблица П1.2 - Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания автомобилей КАМАЗ-6520

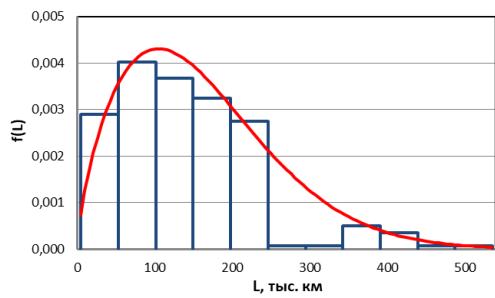
Наименование параметра	Значение					
	Турбо-компрессор	Распылитель форсунки	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Топливный бак
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	
Объем выборки	118	162	141	55	17	
Минимальное значение (тыс. км)	18,99	9,68	29,93	35,02	44,35	
Максимальное значение (тыс. км)	426,81	406,36	434,38	385,52	292,76	
Выборочное среднее (тыс. км)	181,92	158,82	201,42	191,15	164,38	
Среднее квадратическое отклонение среднего	7,78	6,03	7,50	11,11	16,67	
Дисперсия	7151,39	5888,24	7934,09	6791,26	4723,53	
Среднее квадратическое отклонение	84,57	76,73	89,07	82,41	68,73	
Коэффициент вариации	0,465	0,483	0,442	0,431	0,418	
Коэффициент асимметрии	0,539	0,442	0,211	0,256	0,312	
Коэффициент эксцесса	0,192	-0,341	-0,375	-0,767	-1,023	
Статистика Пирсона:						
- нормальный закон	0,972	0,981	0,727	0,570	3,058	
- логнормальный закон	3,088	11,582	4,146	1,764	4,213	
- закон Вейбулла	0,585	0,567	0,600	0,318	2,672	
- TP-закон	2,487	5,442	2,075	1,639	6,929	
Вероятность соответствия закону распределения	0,95	0,95	0,95	0,95	0,9	
Параметры закона Вейбулла:						
$\alpha =$	2,296	2,202	2,423	2,491	2,574	
$\beta =$	204487,0032	92041,4351	512174,7345	648221,7362	689177,8303	

Таблица П1.3 - Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320

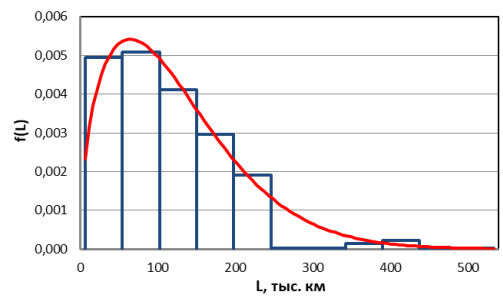
Наименование параметра	Значение					
	Турбо-компрессор	Распылитель форсунки	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Топливный бак
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла
Объем выборки	247	2457	1135	675	386	504
Минимальное значение (тыс. км)	2,94	2,04	2,20	2,75	2,39	4,15
Максимальное значение (тыс. км)	619,52	923,58	914,16	886,43	684,04	729,06
Выборочное среднее (тыс. км)	165,31	194,74	194,71	204,65	167,59	222,12
Среднее квадратическое отклонение среднего	6,74	2,76	3,89	5,02	6,24	5,52
Дисперсия	11208,06	18752,43	17186,54	17026,90	15035,79	15341,11
Среднее квадратическое отклонение	105,87	136,94	131,10	130,49	122,62	123,86
Коэффициент вариации	0,640	0,703	0,673	0,638	0,732	0,558
Коэффициент асимметрии	0,883	1,093	1,330	1,030	1,166	0,986
Коэффициент эксцесса	1,048	1,511	2,576	1,301	1,512	0,836
Статистика Пирсона:						
- нормальный закон	5,122	12,775	39,686	19,280	6,571	2,779
- логнормальный закон	5,305	1,496	0,747	1,656	2,011	2,331
- закон Вейбулла	0,536	0,083	0,305	0,200	0,234	0,532
- TP-закон	6723,472	8276,766	8295,376	8182,702	7499,732	8315,767
Вероятность соответствия закону распределения	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Параметры закона Вейбулла:						
$\alpha =$	1,624	1,468	1,538	1,631	1,406	1,886
$\beta =$	4812,8977	2662,7618	3911,8732	7087,8775	1533,5779	33462,7487

Таблица П1.4 - Основные статистические характеристики распределений наработок на отказ элементов системы питания автомобилей УРАЛ-5557

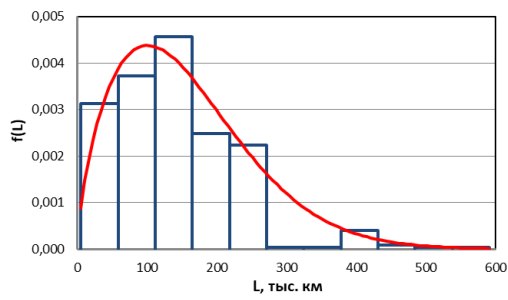
Наименование параметра	Значение					
	Турбо-компрессор	Распылитель форсунки	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Топливный бак
Закон распределения	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла	закон Вейбулла
Объем выборки	52	620	564	284	101	166
Минимальное значение (тыс. км)	26,11	4,52	8,69	15,03	6,39	15,03
Максимальное значение (тыс. км)	544,52	801,00	567,53	477,88	447,18	554,41
Выборочное среднее (тыс. км)	204,14	177,95	208,84	181,41	165,06	181,93
Среднее квадратическое отклонение среднего	16,76	3,92	4,36	5,38	9,82	7,91
Дисперсия	14610,24	9506,21	10713,02	8231,49	9734,87	10377,21
Среднее квадратическое отклонение	120,87	97,50	103,50	90,73	98,67	101,87
Коэффициент вариации	0,592	0,548	0,496	0,500	0,598	0,560
Коэффициент асимметрии	0,845	0,738	0,571	0,673	0,693	1,019
Коэффициент эксцесса	0,092	1,575	0,112	0,283	-0,362	1,270
Статистика Пирсона:						
- нормальный закон	2,259	7088,708	0,833	2,011	1,471	7,302
- логнормальный закон	1,822	4,045	12,218	5,196	1,844	1,926
- закон Вейбулла	1,192	5,593	0,156	0,640	0,779	1,534
- TP-закон	9,781	6437,114	7091,688	6288,143	6,151	7067,210
Вероятность соответствия закону распределения	0,95	0,9	0,95	0,95	0,95	0,95
Параметры закона Вейбулла:						
$\alpha =$	1,767	1,922	2,142	2,121	1,749	1,877
$\beta =$	14912,5376	26743,1831	121383,6326	80394,2489	9327,9524	21945,4940



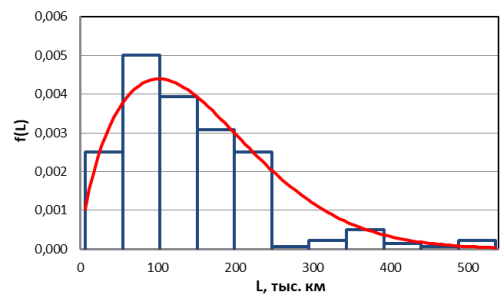
а)



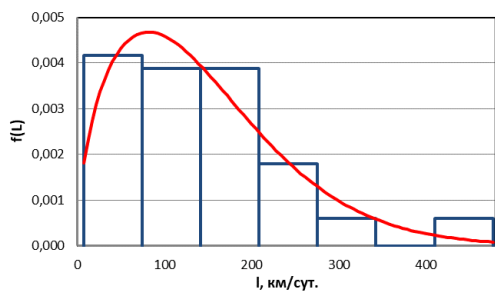
б)



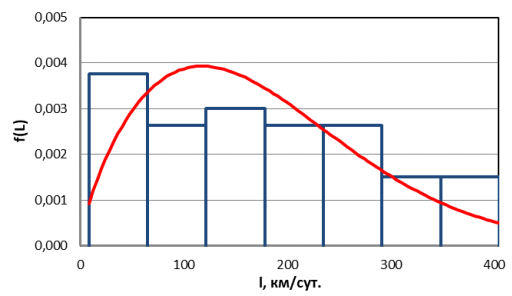
в)



г)

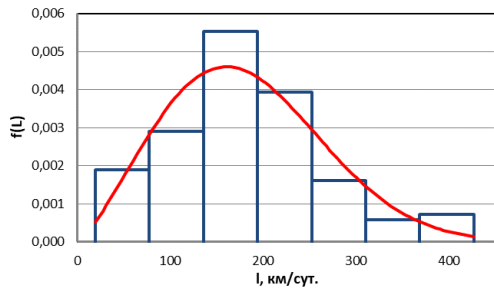


д)

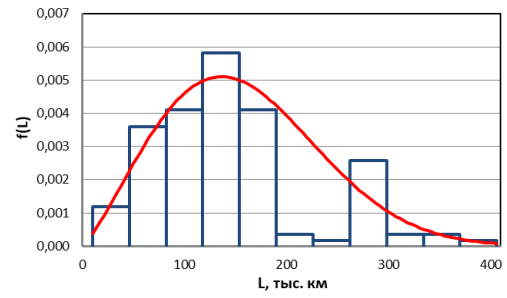


е)

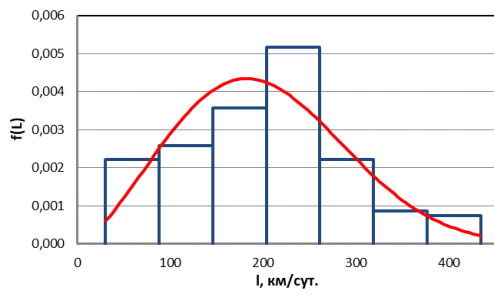
Рисунок П1.1 - Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118: а) турбокомпрессор; б) распылитель форсунки; в) ТНВД; г) ТННД; д) топливная форсунка; е) топливный бак



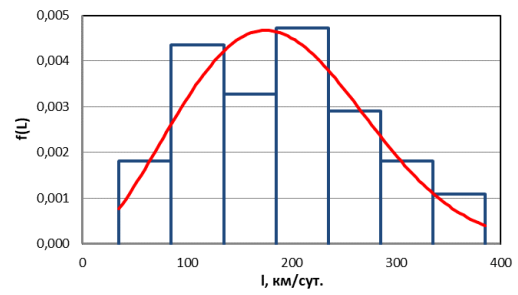
а)



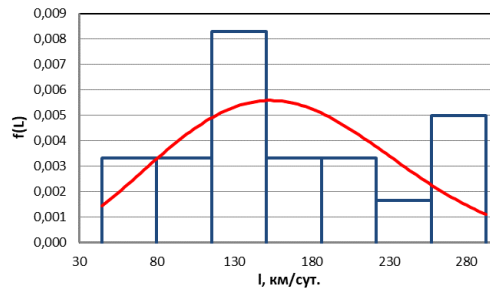
б)



в)



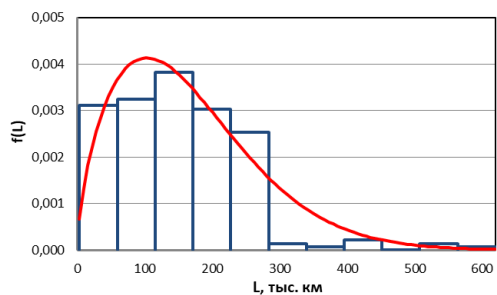
г)



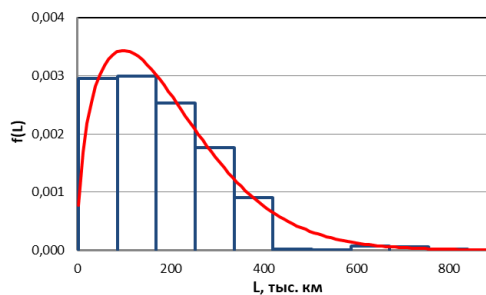
д)

Рисунок П1.2 - Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-6520: а) турбокомпрессор; б) распылитель форсунки; в) ТНВД; г) ТННД; д) топливная форсунка

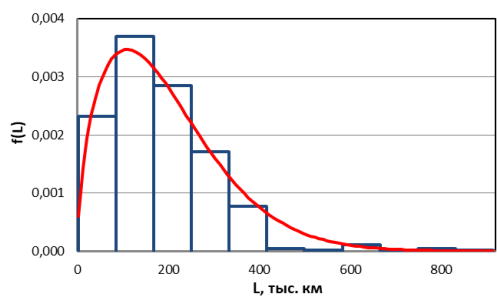




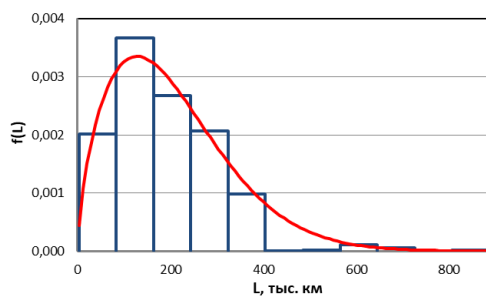
а)



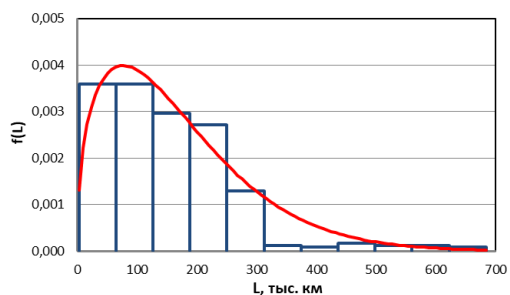
б)



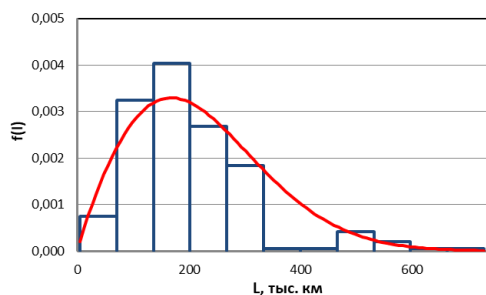
в)



г)

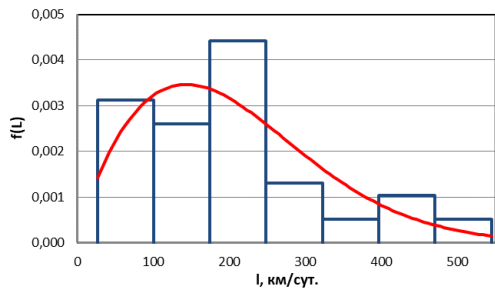


д)

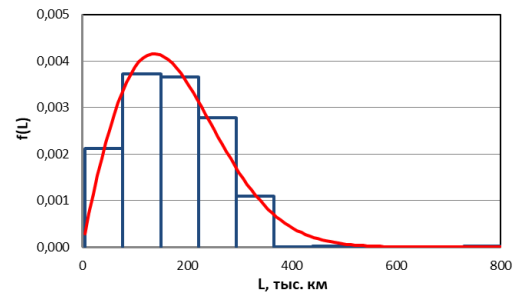


е)

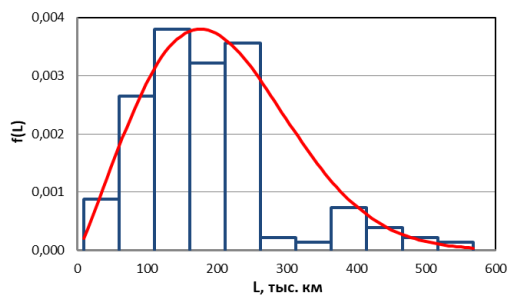
Рисунок П1.3 - Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320: а) турбокомпрессор; б) распылитель форсунки; в) ТНВД; г) ТННД; д) топливная форсунка; е) топливный бак



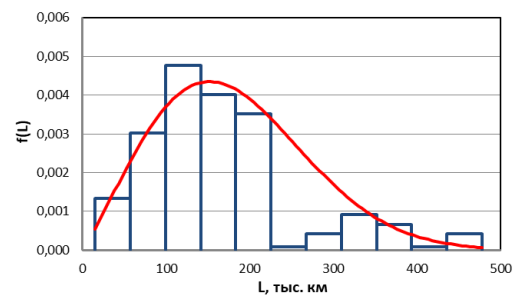
а)



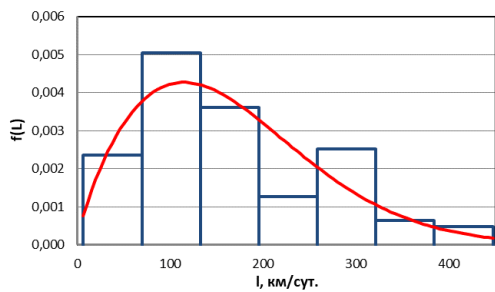
б)



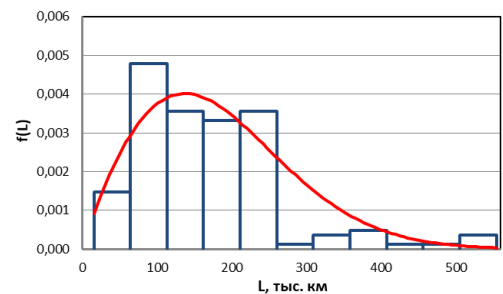
в)



г)



д)



е)

Рисунок П1.4 - Распределения наработок на отказ элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-5557: а) турбокомпрессор; б) распылитель форсунки; в) ТНВД; г) ТННД; д) топливная форсунка; е) топливный бак

**Результаты гармонического анализа изменения параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118 в течение года**

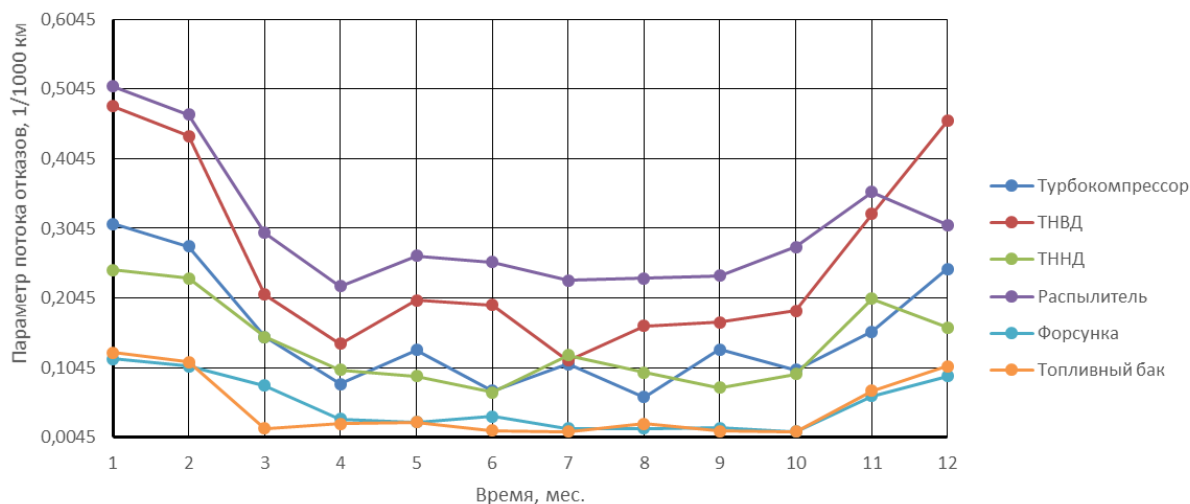


Рисунок П2.1 - Изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-43118 в течение года

Таблица П2.1 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,62	0,98	0,7018	0,8377	4,85	2,23
2	0,31	2,11	0,1794	0,4236	1,48	2,23
3	0,19	3,71	0,0634	0,2518	0,82	2,23
4	0,03	7,53	0,0017	0,0412	0,13	2,23
5	0,13	10,87	0,0301	0,1735	0,56	2,23

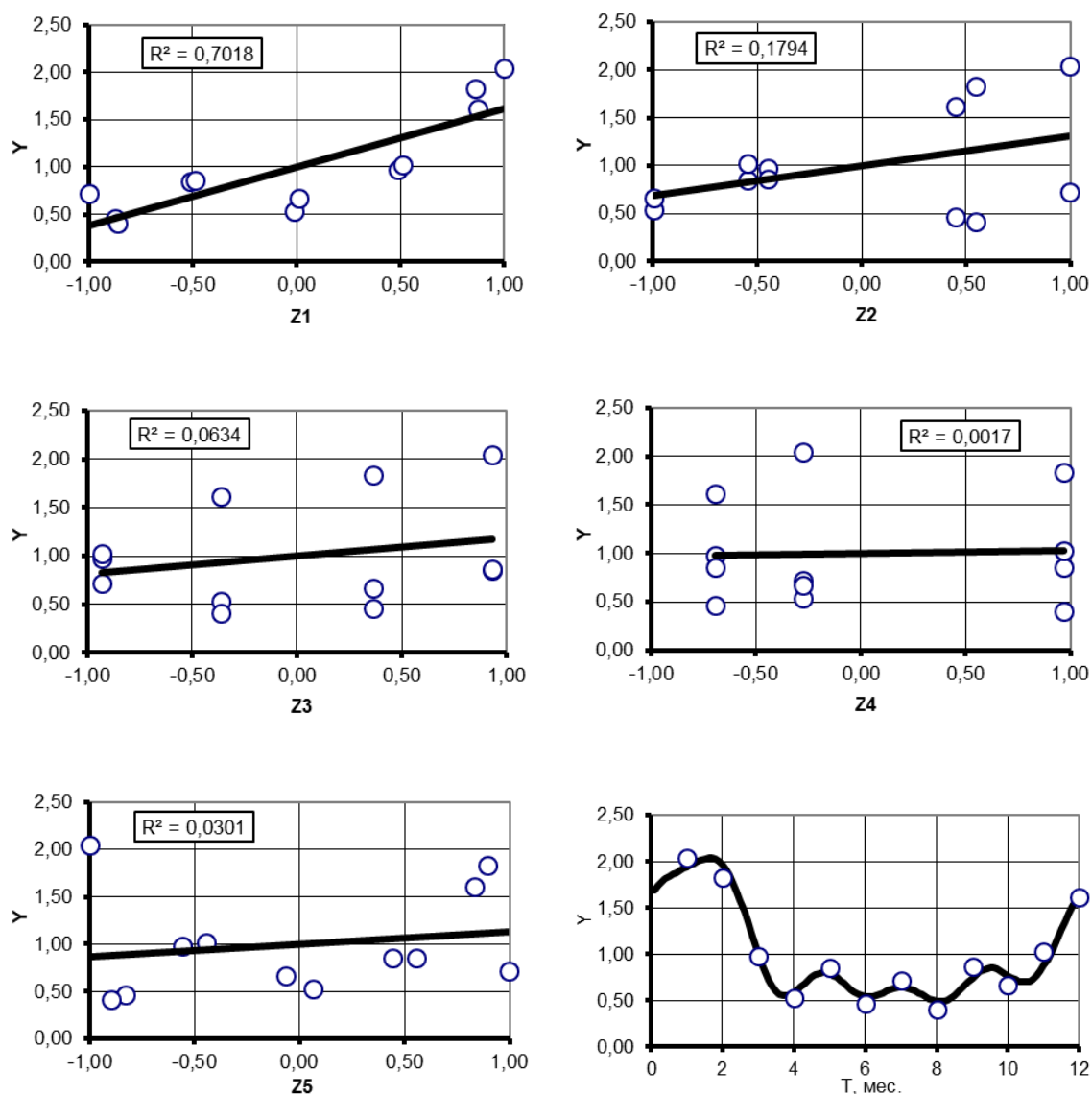


Рисунок П2.2 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица П2.2 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,60	0,76	0,7339	0,8567	5,25	2,23
2	0,31	1,29	0,1963	0,4431	1,56	2,23
3	0,14	3,51	0,0377	0,1942	0,63	2,23
4	0,12	9,10	0,0283	0,1682	0,54	2,23
5	0,02	9,04	0,001	0,0316	0,10	2,23

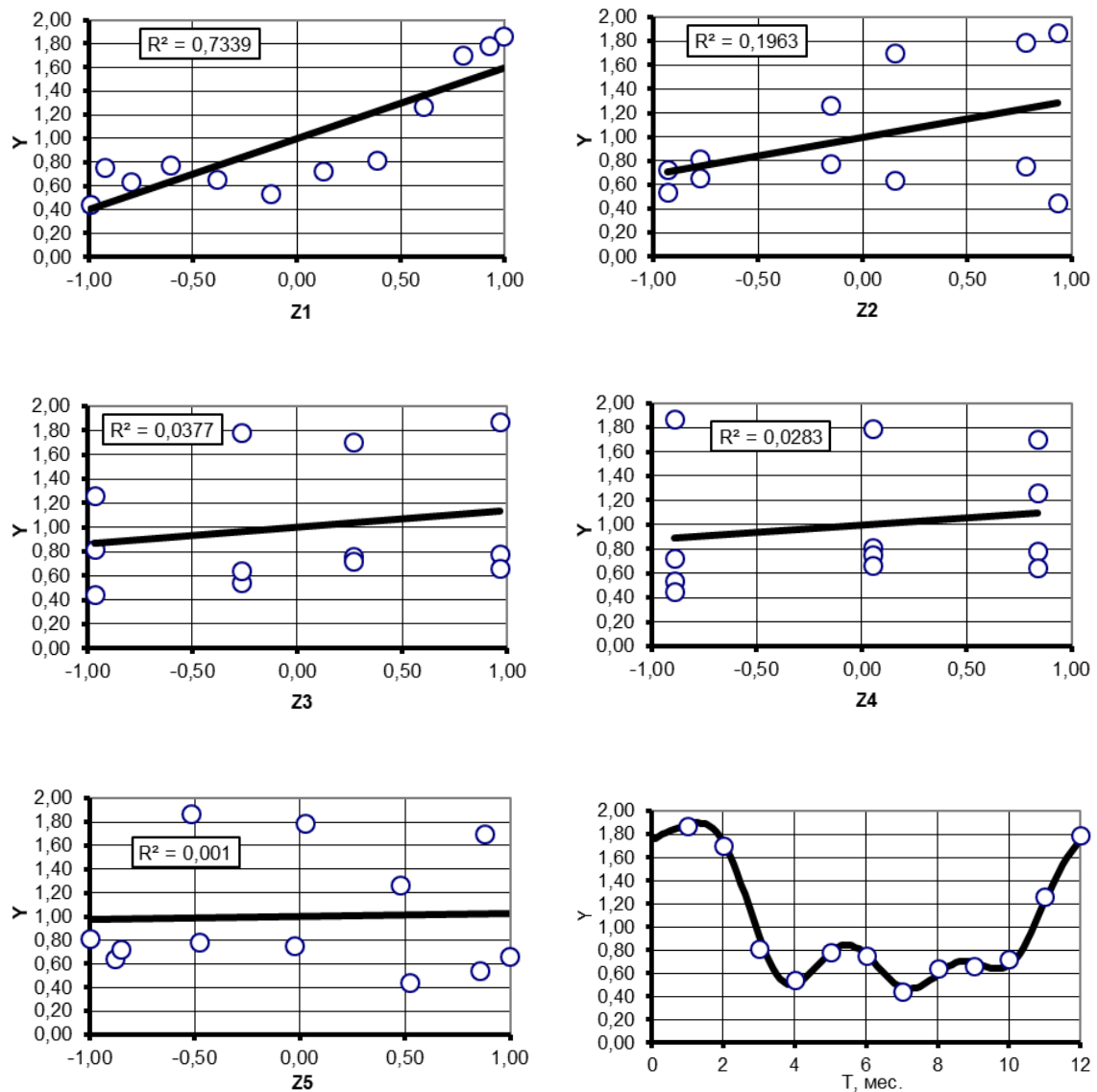


Рисунок П2.3 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица П2.3 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,50	0,98	0,6892	0,8302	4,71	2,23
2	0,23	2,23	0,1506	0,3881	1,33	2,23
3	0,09	8,00	0,0206	0,1435	0,46	2,23
4	0,18	6,70	0,0902	0,3003	0,99	2,23
5	0,08	7,49	0,0159	0,1261	0,40	2,23

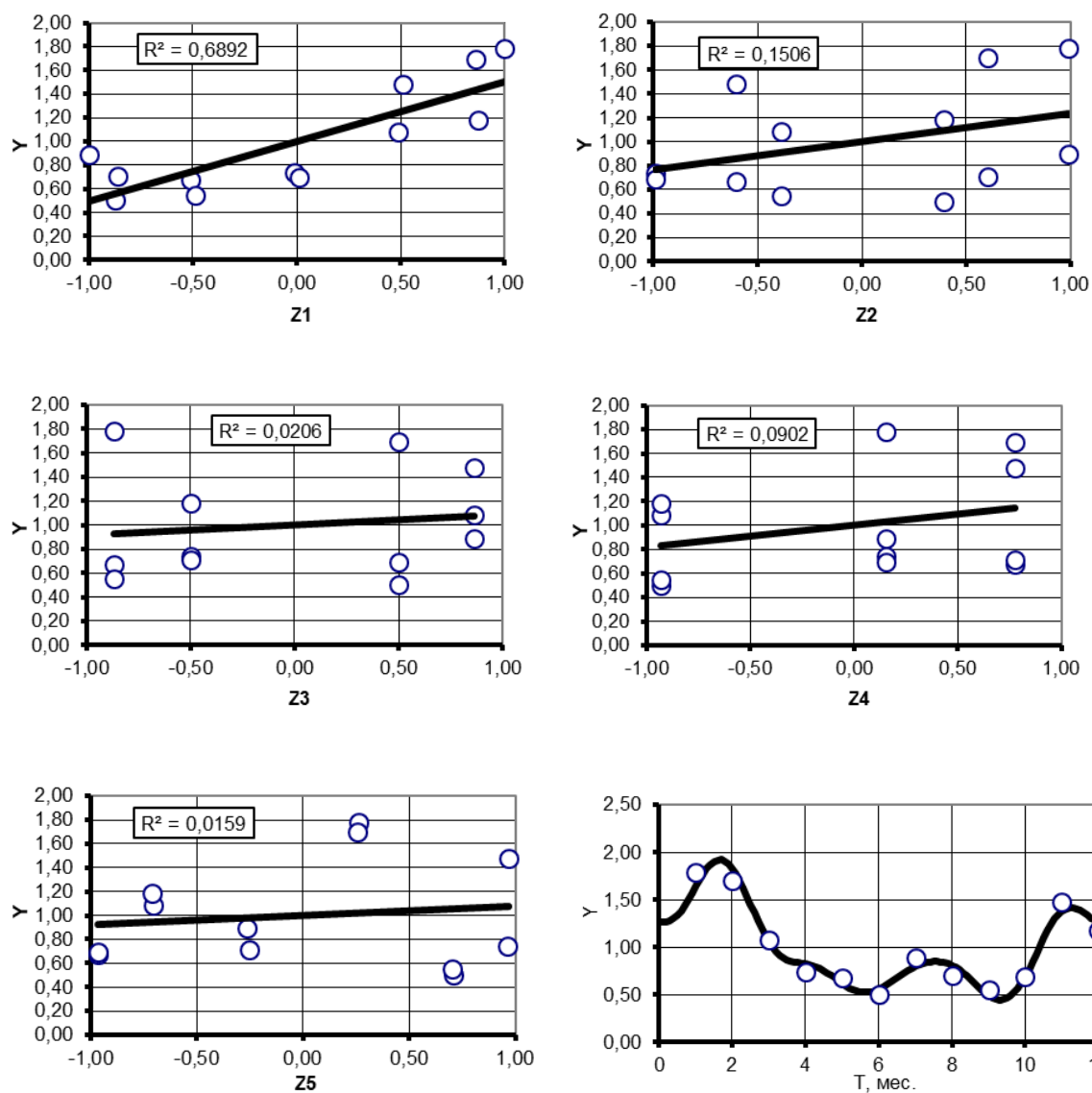


Рисунок П2.4 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТННД автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица П2.4 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,33	1,03	0,623	0,7893	4,06	2,23
2	0,16	2,27	0,1507	0,3882	1,33	2,23
3	0,15	5,07	0,1234	0,3513	1,19	2,23
4	0,11	6,74	0,0637	0,2524	0,82	2,23
5	0,07	6,00	0,025	0,1581	0,51	2,23

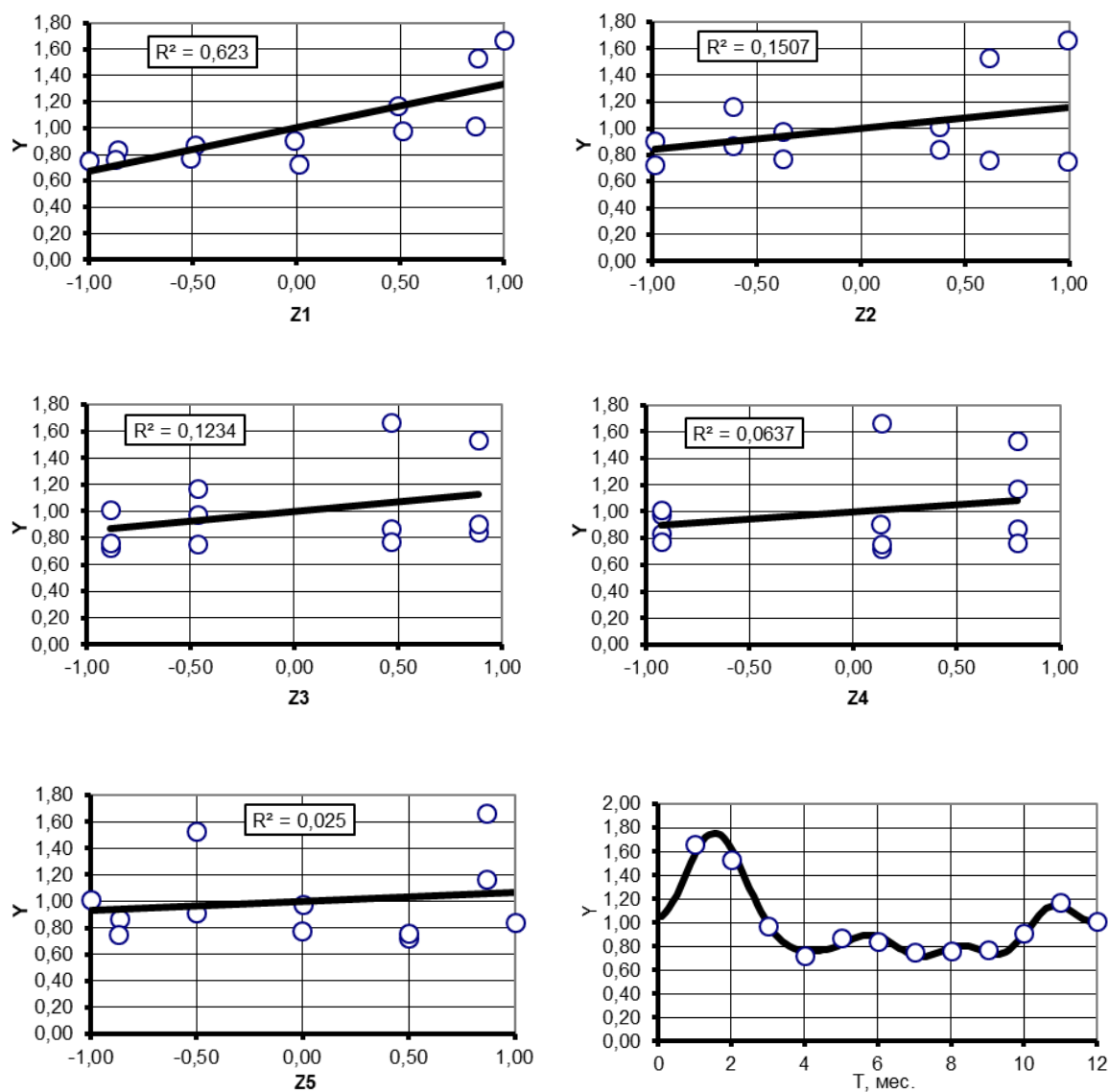


Рисунок П2.5 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица П2.5 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,91	1,36	0,8144	0,9024	6,62	2,23
2	0,40	2,05	0,1562	0,3952	1,36	2,23
3	0,04	5,76	0,0019	0,0436	0,14	2,23
4	0,13	10,38	0,0173	0,1315	0,42	2,23
5	0,08	6,04	0,0064	0,0800	0,25	2,23

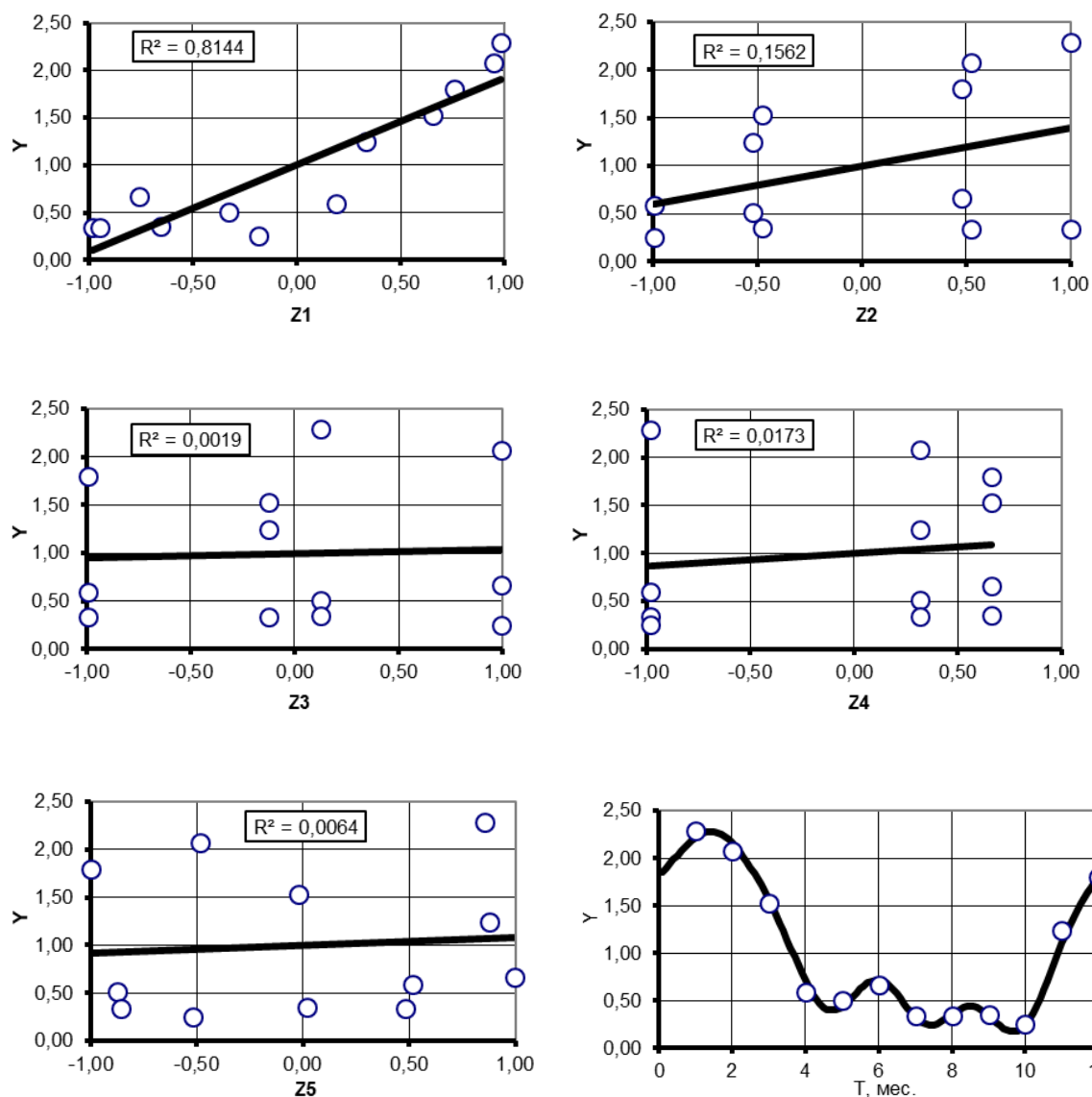


Рисунок П2.6 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица П2.6 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливного бака автомобилей КАМАЗ-43118 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	1,06	0,83	0,6772	0,8229	4,58	2,23
2	0,61	1,51	0,2271	0,4766	1,71	2,23
3	0,24	2,58	0,0342	0,1849	0,59	2,23
4	0,26	7,45	0,041	0,2025	0,65	2,23
5	0,17	8,78	0,0177	0,1330	0,42	2,23



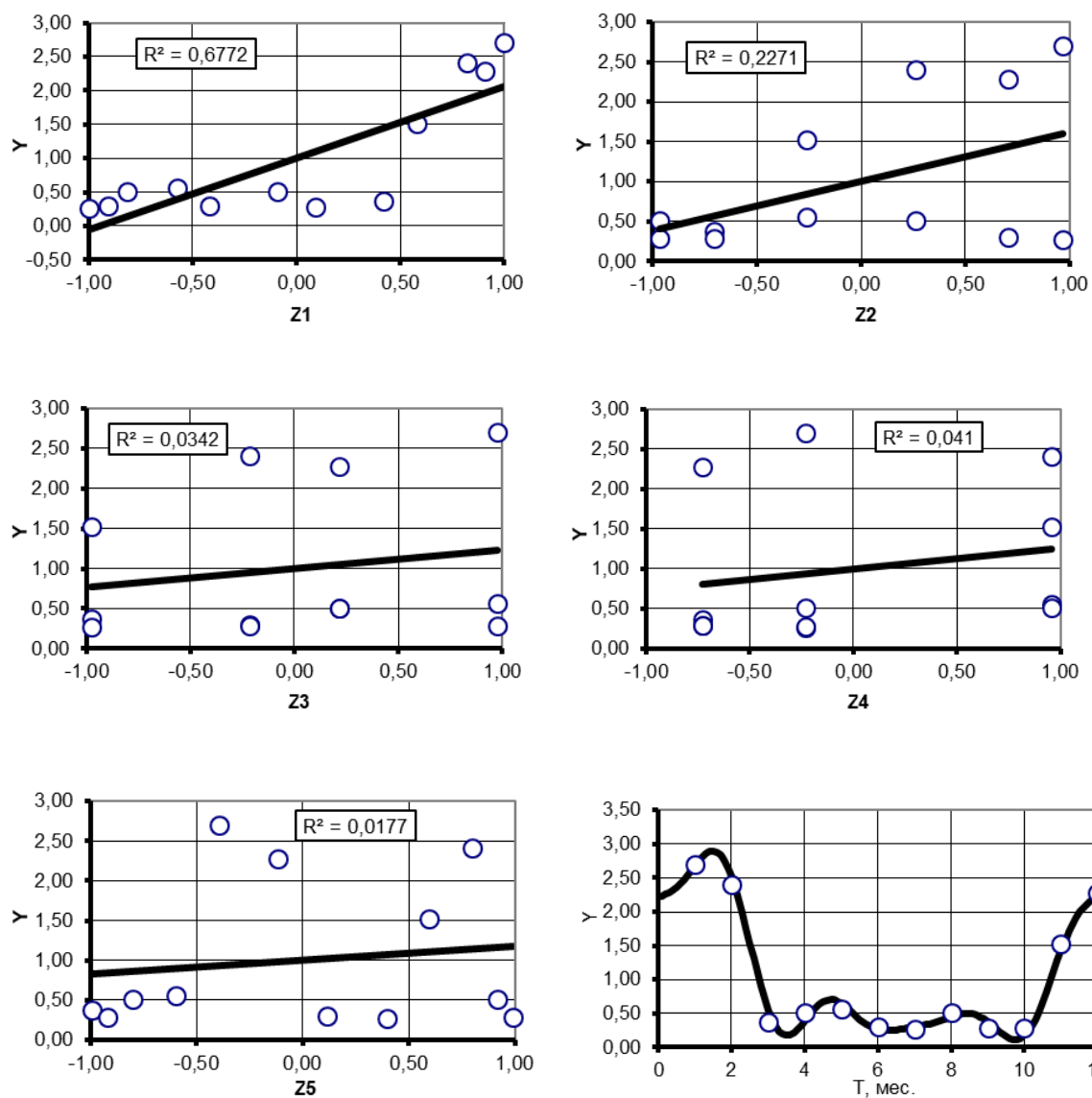


Рисунок П2.7 - Гармонический анализ изменения по времени параметра  
 потока отказов топливного бака автомобилей КАМАЗ-43118

## Результаты гармонического анализа изменения параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-6520 в течение года

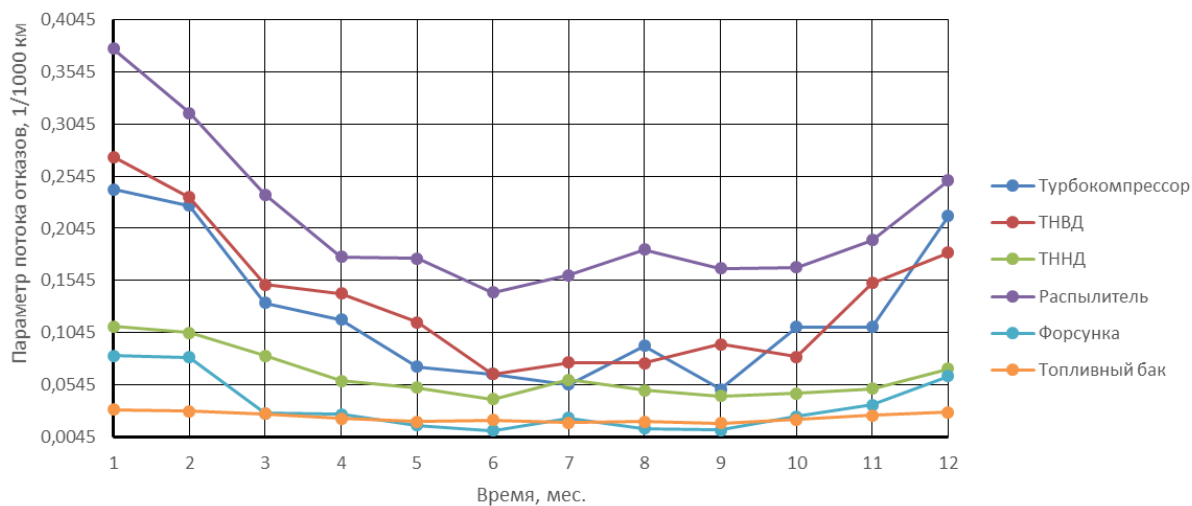


Рисунок П2.8 - Изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей КАМАЗ-6520 в течение года

Таблица П2.8 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,67	1,14	0,8075	0,8986	6,47	2,23
2	0,25	2,35	0,118	0,3435	1,16	2,23
3	0,09	2,33	0,0162	0,1273	0,41	2,23
4	0,07	5,25	0,0087	0,0933	0,30	2,23
5	0,05	1,97	0,0053	0,0728	0,23	2,23

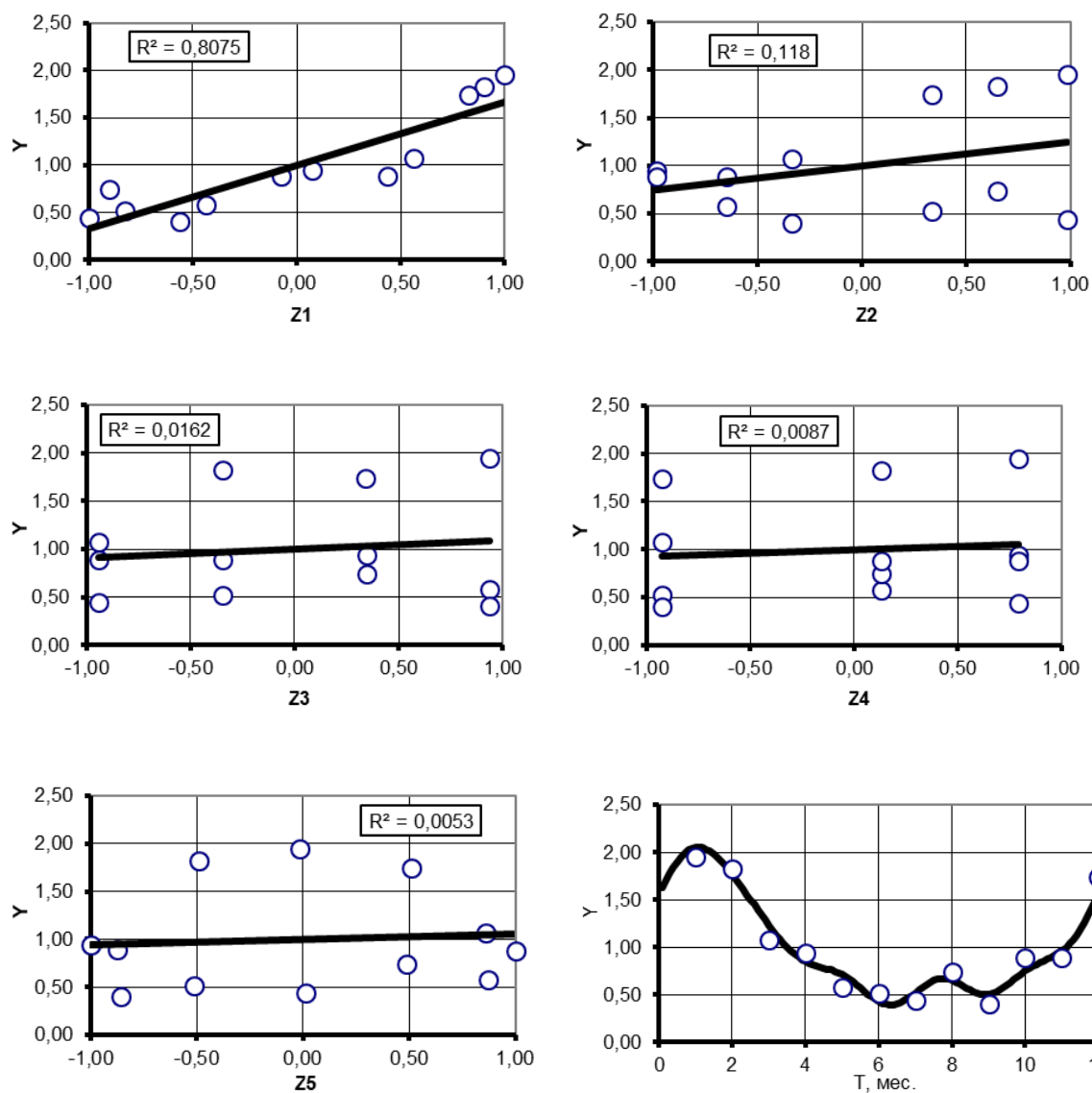


Рисунок П2.9 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей КАМАЗ-6520

Таблица П2.9 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,60	1,38	0,8334	0,9129	7,07	2,23
2	0,19	2,45	0,0793	0,2816	0,93	2,23
3	0,13	2,67	0,0372	0,1929	0,62	2,23
4	0,10	6,07	0,0245	0,1565	0,50	2,23
5	0,08	7,82	0,146	0,3821	1,31	2,23

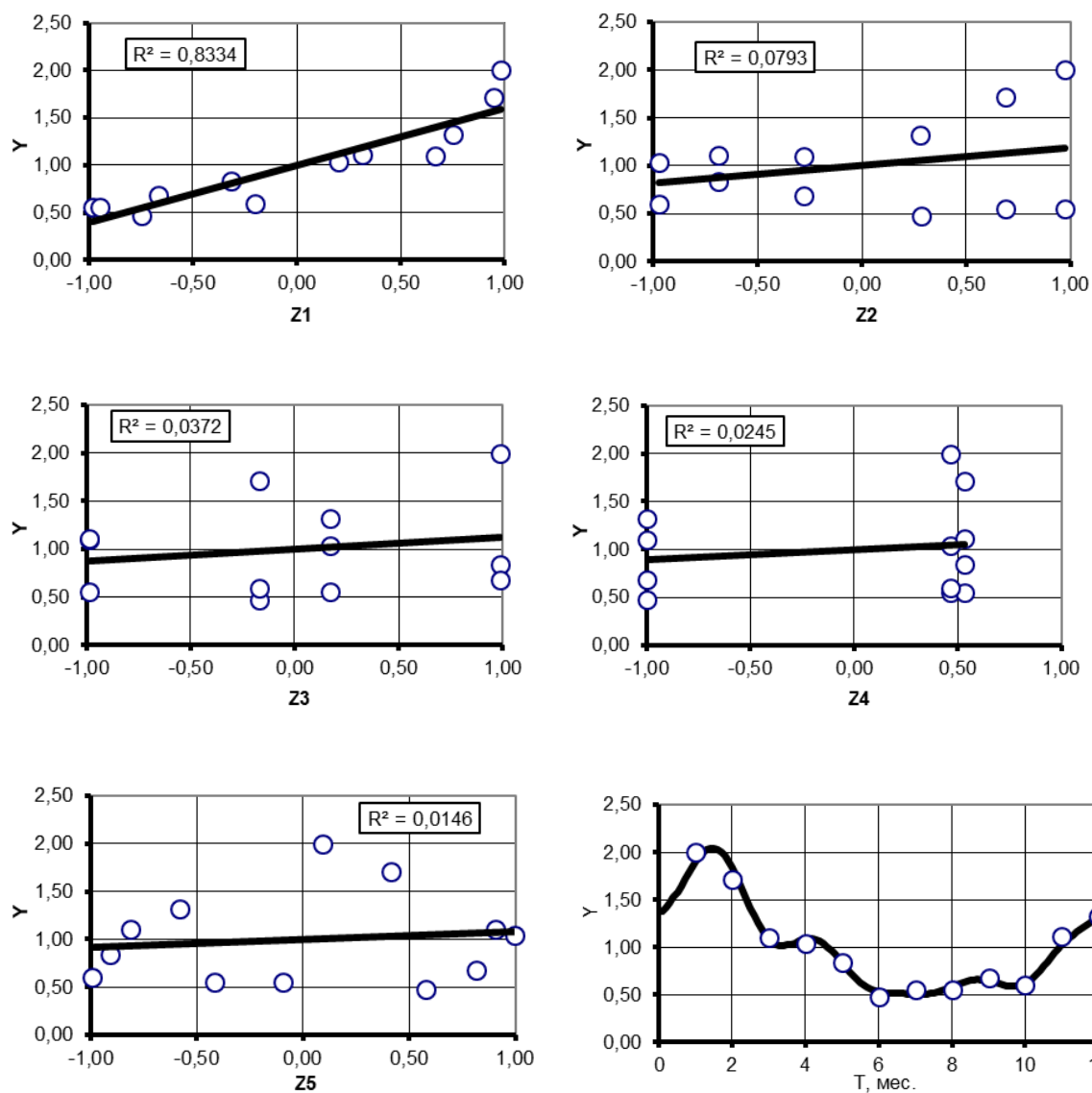


Рисунок П2.10 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-6520

Таблица П2.10 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,40	1,76	0,6596	0,8122	4,40	2,23
2	0,26	3,16	0,2849	0,5338	1,99	2,23
3	0,05	4,45	0,0104	0,1020	0,32	2,23
4	0,08	5,05	0,298	0,5459	2,06	2,23
5	0,03	1,34	0,0028	0,0529	0,17	2,23

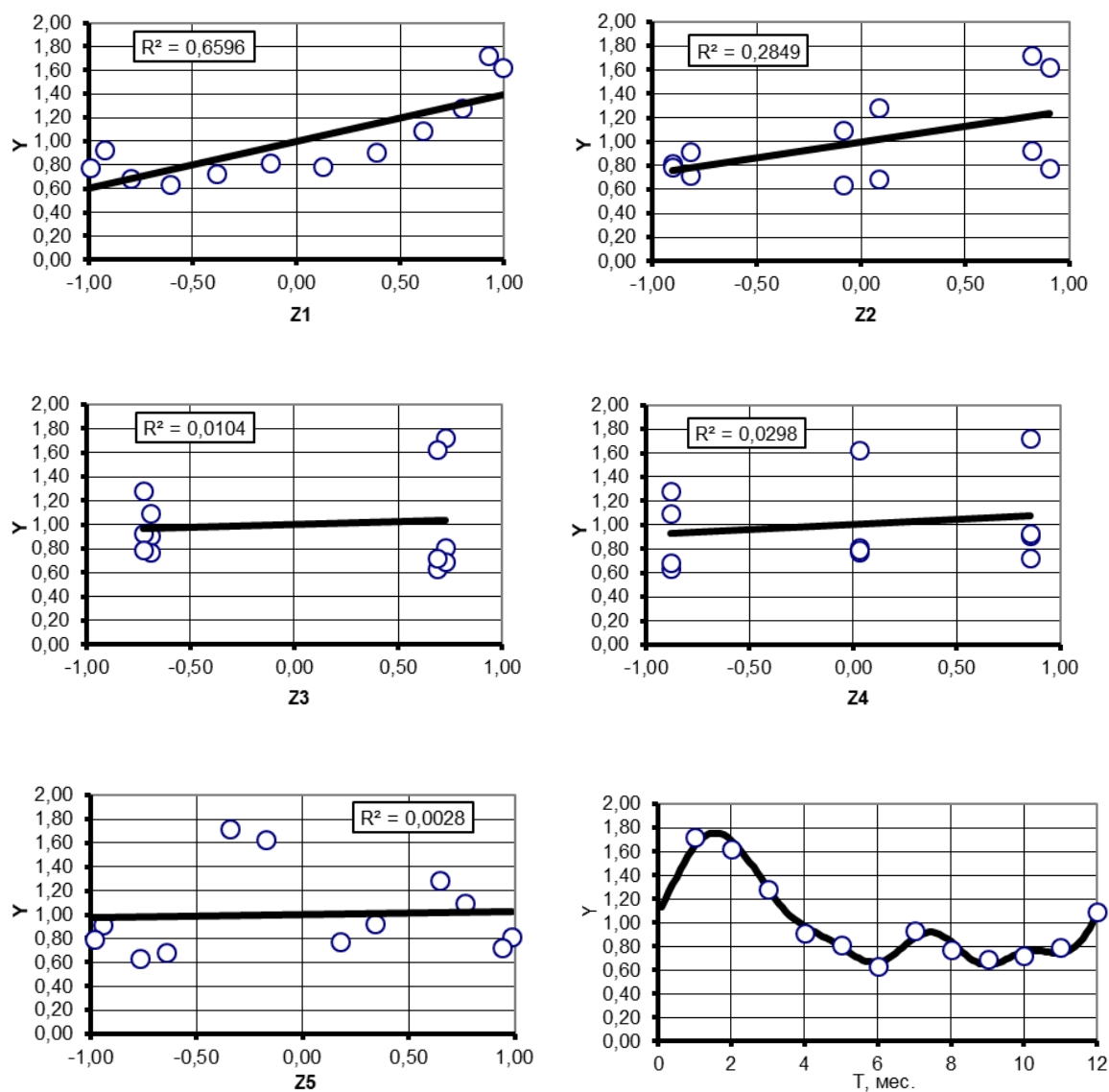


Рисунок П2.11 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТННД автомобилей КАМАЗ-6520

Таблица П2.11 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,37	1,27	0,6744	0,8212	4,55	2,23
2	0,22	2,86	0,2377	0,4875	1,76	2,23
3	0,10	3,20	0,0506	0,2249	0,73	2,23
4	0,06	5,75	0,0187	0,1367	0,44	2,23
5	0,05	4,21	0,0108	0,1039	0,33	2,23

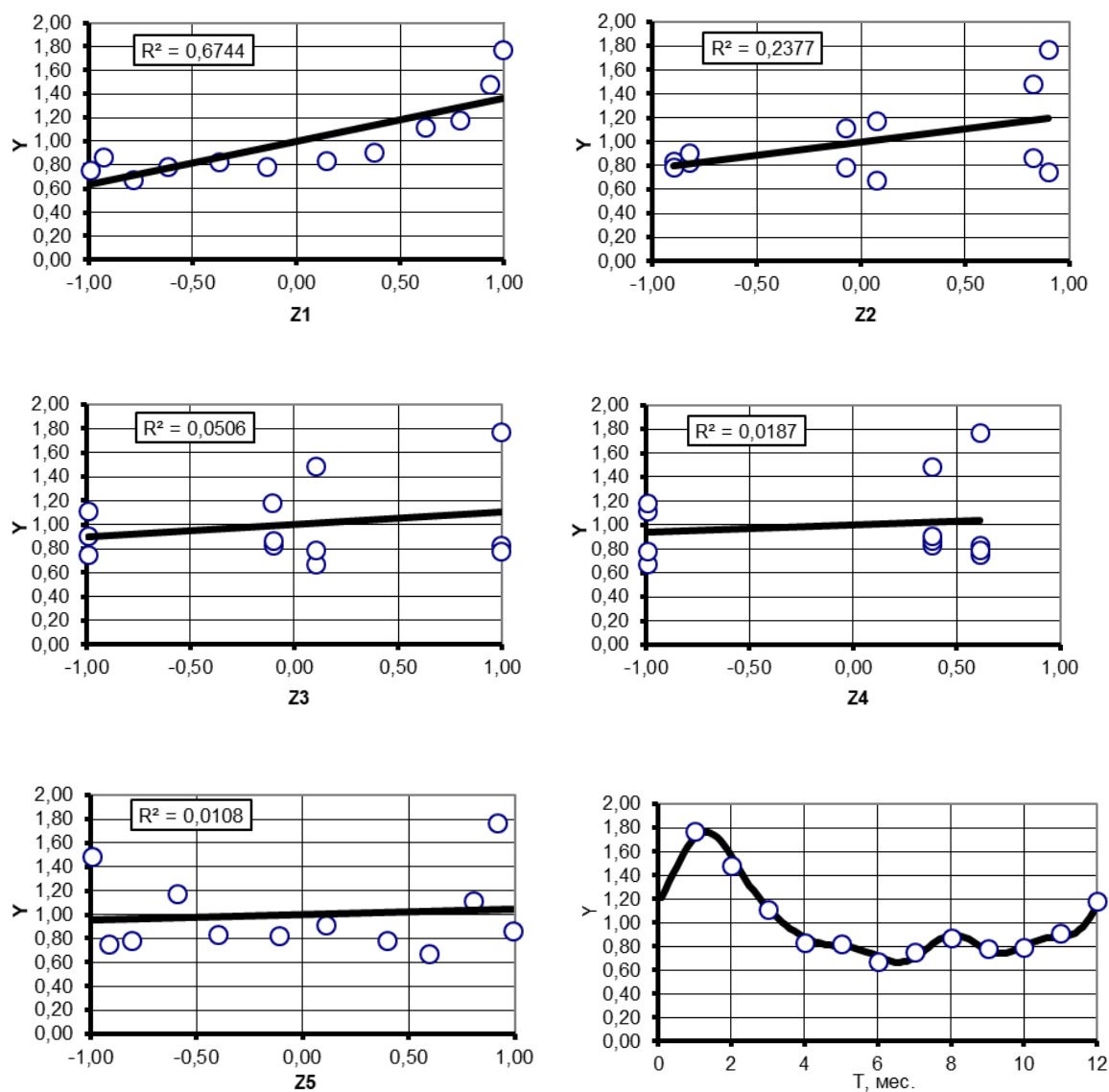


Рисунок П2.12 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-6520

Таблица П2.12 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,87	1,07	0,7306	0,8548	5,20	2,23
2	0,45	2,13	0,1925	0,4387	1,54	2,23
3	0,13	3,98	0,0163	0,1277	0,41	2,23
4	0,19	5,53	0,0344	0,1855	0,60	2,23
5	0,15	10,12	0,205	0,4528	1,60	2,23

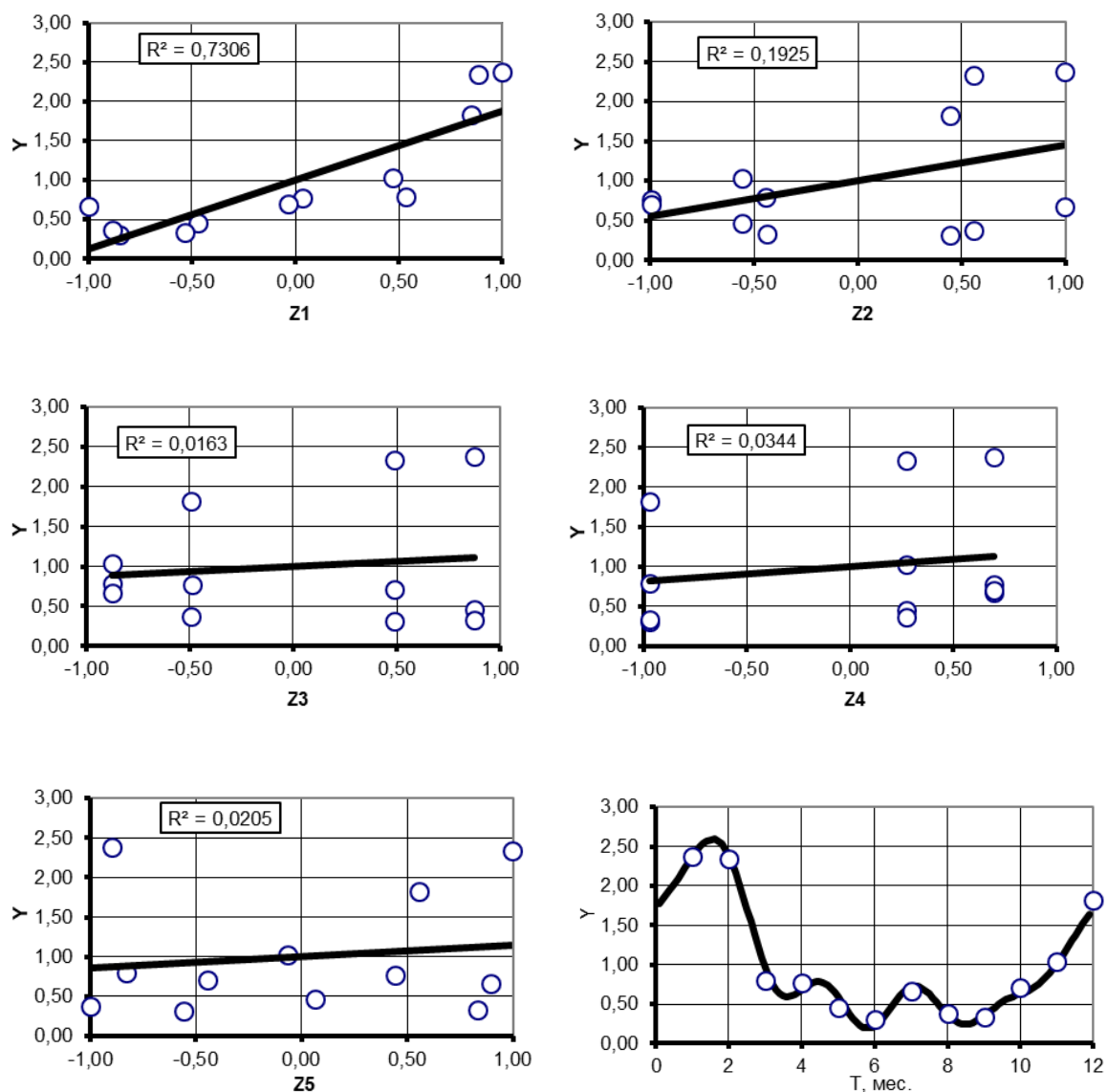


Рисунок П2.13 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей КАМАЗ-6520

Таблица П2.13 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливного бака автомобилей КАМАЗ-6520 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,25	1,24	0,9064	0,9521	9,83	2,23
2	0,07	1,79	0,0699	0,2644	0,87	2,23
3	0,02	8,05	0,0052	0,0721	0,23	2,23
4	0,00	10,43	0,0001	0,0100	0,03	2,23
5	0,03	4,89	0,0153	0,1237	0,39	2,23

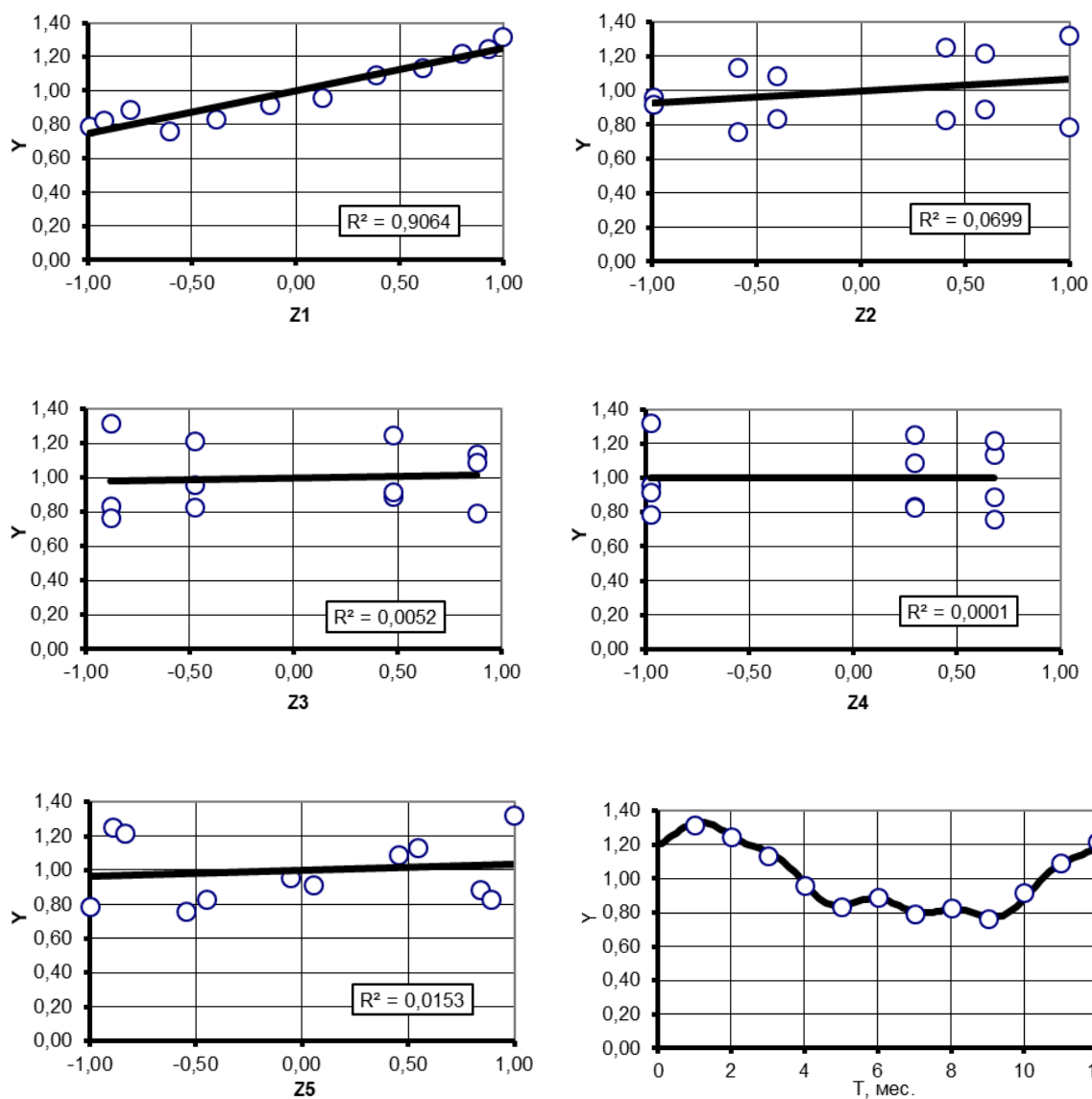


Рисунок П2.14 - Гармонический анализ изменения по времени параметра  
 потока отказов топливного бака автомобилей КАМАЗ-6520



### Результаты гармонического анализа изменения параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320 в течение года

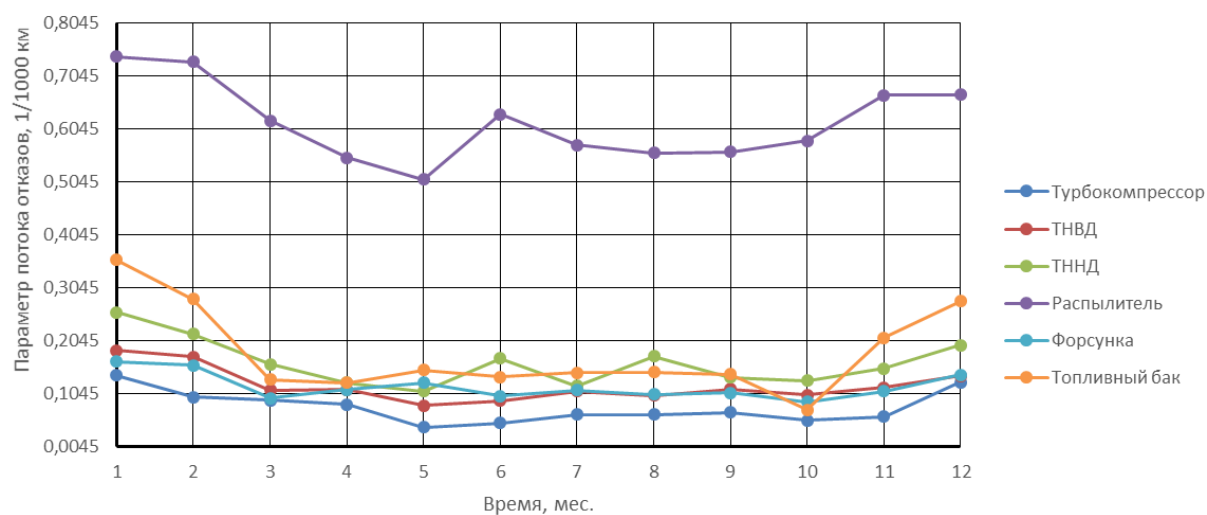


Рисунок П2.15 - Изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-4320 в течение года

Таблица П2.16 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,41	1,11	0,6054	0,7781	3,91	2,23
2	0,23	2,71	0,1966	0,4434	1,56	2,23
3	0,17	0,75	0,1062	0,3259	1,09	2,23
4	0,16	2,14	0,0906	0,3010	1,00	2,23
5	0,01	7,73	0,0005	0,0224	0,07	2,23

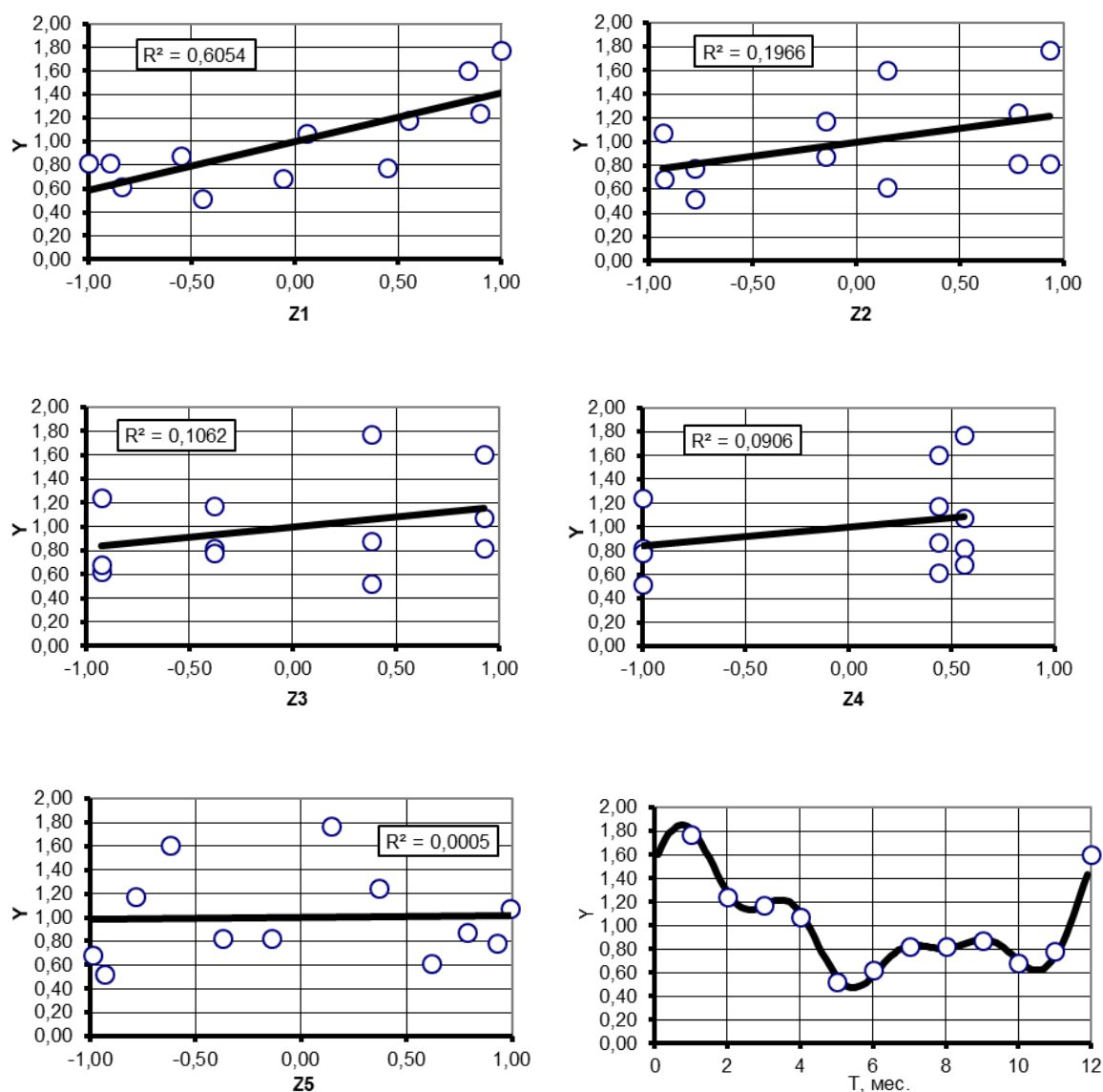


Рисунок П2.17 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320

Таблица П2.17 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,28	0,93	0,5935	0,7704	3,82	2,23
2	0,19	2,90	0,2869	0,5356	2,00	2,23
3	0,07	3,67	0,0346	0,1860	0,60	2,23
4	0,07	4,66	0,0385	0,1962	0,63	2,23
5	0,08	8,37	0,0465	0,2156	0,70	2,23

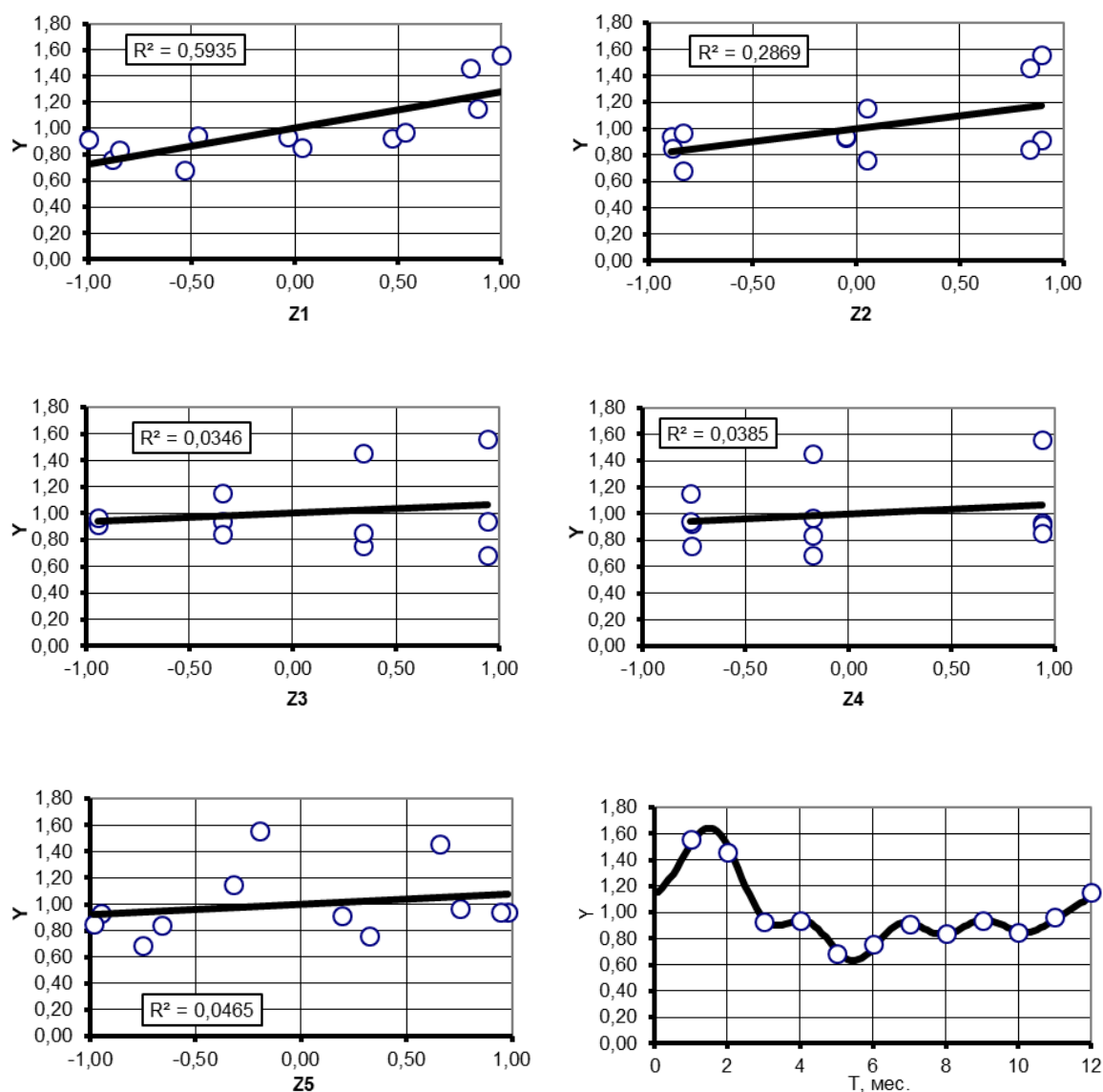


Рисунок П2.18 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320

Таблица П2.18 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,24	0,91	0,4137	0,6432	2,65	2,23
2	0,24	2,43	0,4089	0,6395	2,63	2,23
3	0,08	3,53	0,0418	0,2045	0,66	2,23
4	0,03	10,63	0,006	0,0775	0,25	2,23
5	0,12	5,34	0,1059	0,3254	1,09	2,23

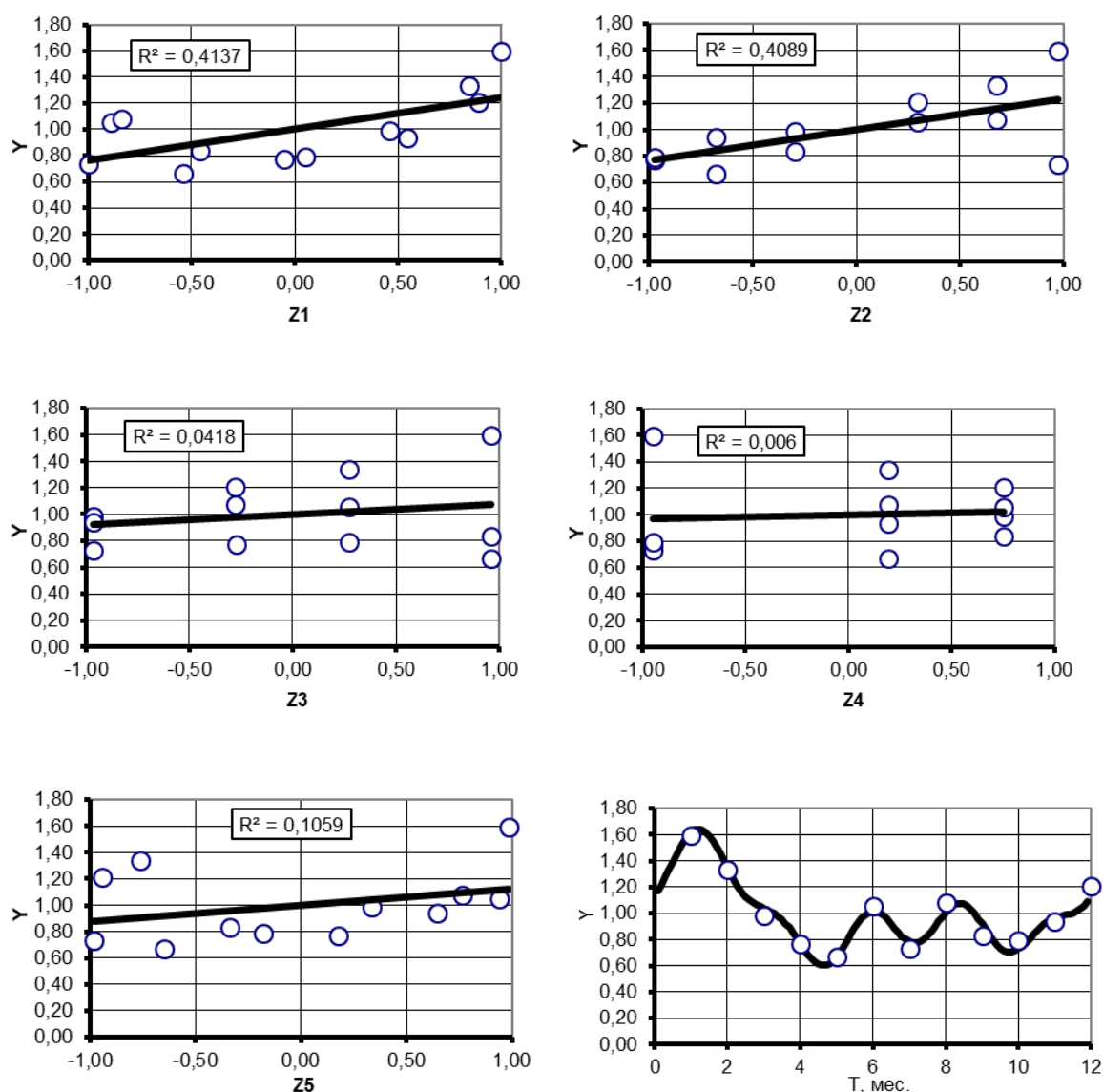


Рисунок П2.19 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТННД автомобилей УРАЛ-4320

Таблица П2.19 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,12	0,79	0,5916	0,7692	3,80	2,23
2	0,08	1,97	0,2495	0,4995	1,82	2,23
3	0,05	6,56	0,0853	0,2921	0,96	2,23
4	0,01	10,82	0,0026	0,0510	0,16	2,23
5	0,04	6,74	0,0676	0,2600	0,85	2,23

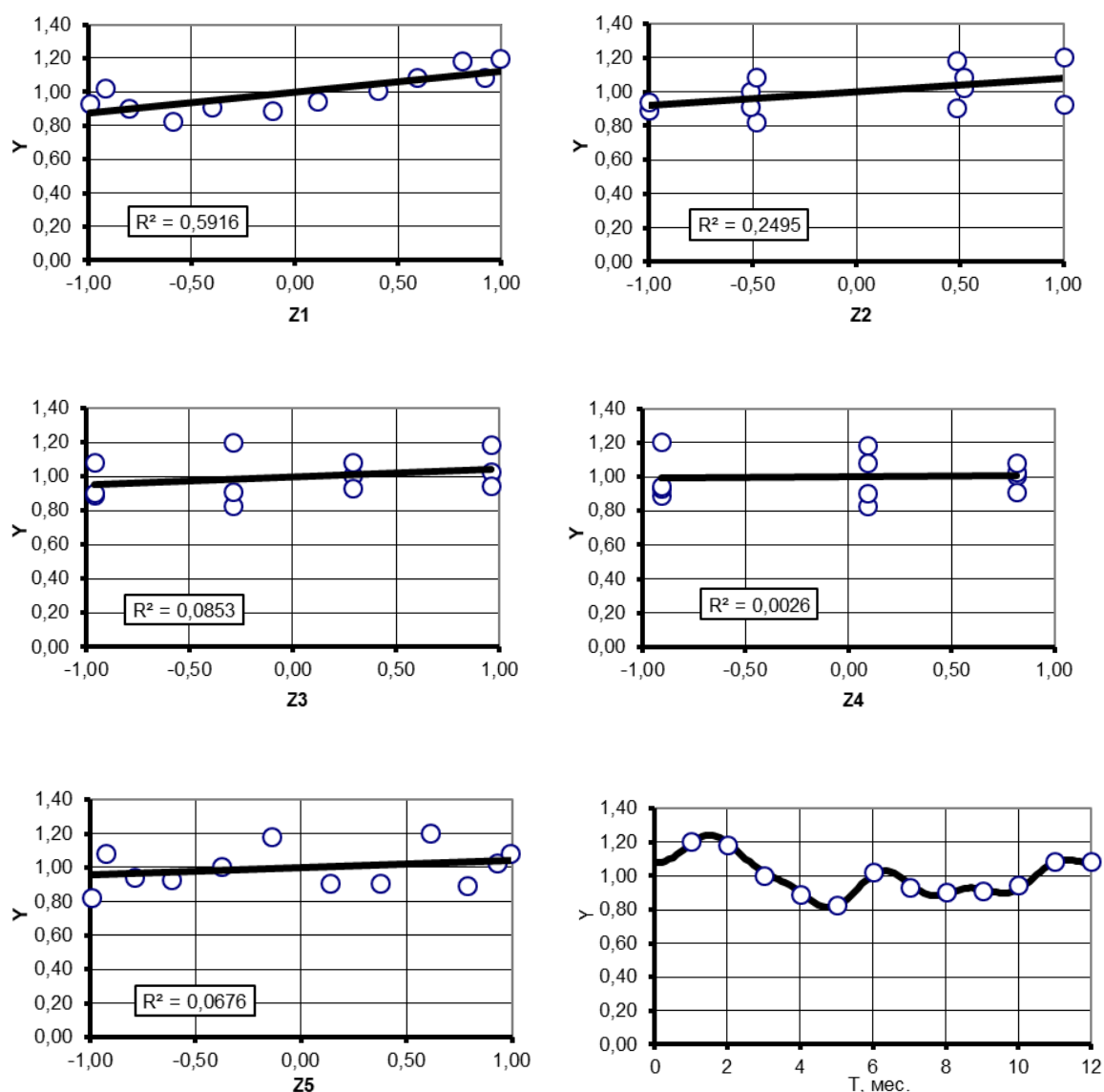


Рисунок П2.20 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей УРАЛ-4320

Таблица П2.20 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,18	1,54	0,4201	0,6482	2,69	2,23
2	0,15	1,83	0,3008	0,5485	2,07	2,23
3	0,11	2,83	0,164	0,4050	1,40	2,23
4	0,07	6,62	0,0533	0,2309	0,75	2,23
5	0,07	10,02	0,0605	0,2460	0,80	2,23

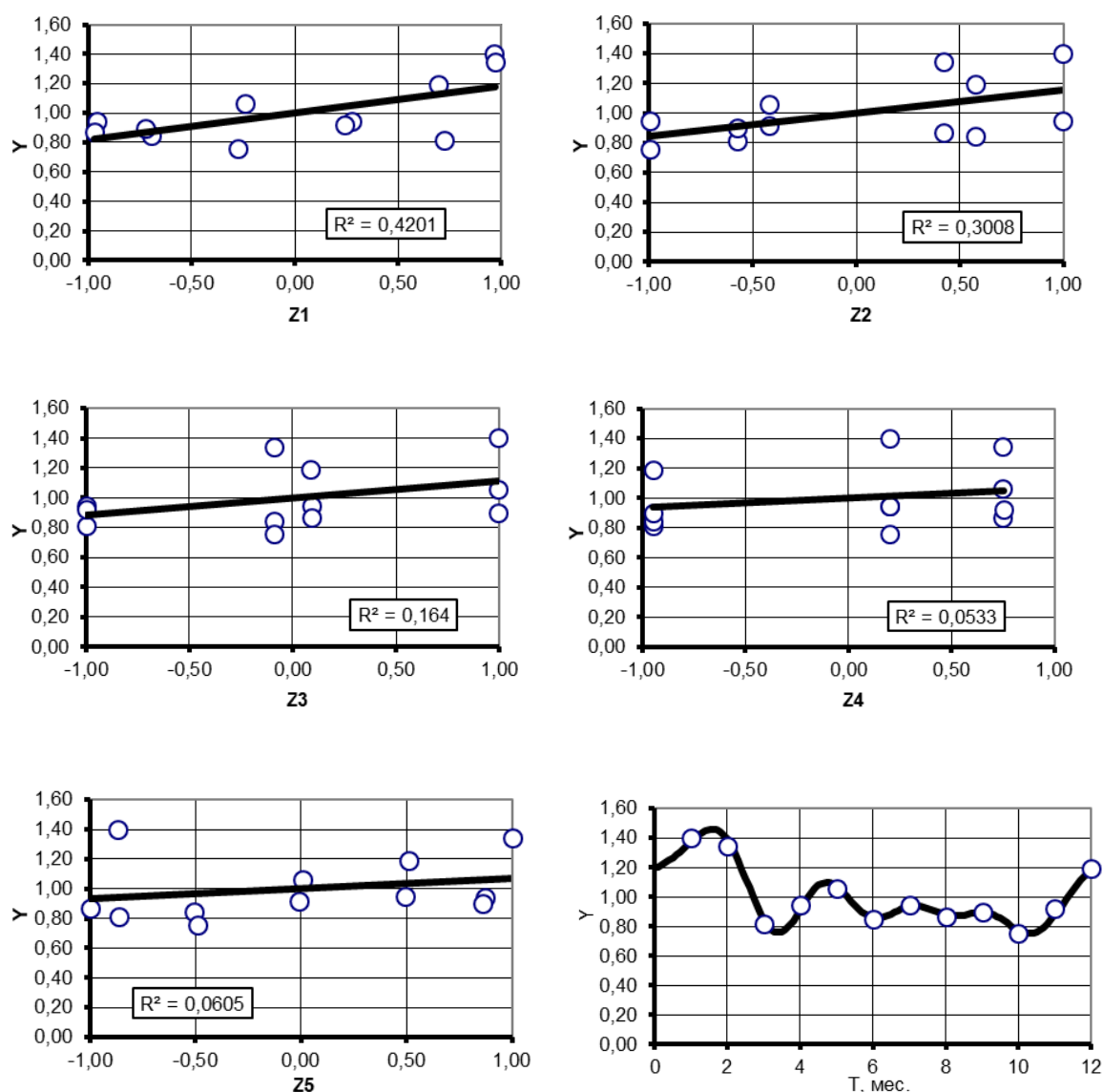


Рисунок П2.21 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей УРАЛ-4320

Таблица П2.21 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливного бака автомобилей УРАЛ-4320 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,44	0,95	0,5066	0,7118	3,20	2,23
2	0,38	1,70	0,3742	0,6117	2,44	2,23
3	0,16	2,36	0,0644	0,2538	0,83	2,23
4	0,09	7,79	0,0198	0,1407	0,45	2,23
5	0,10	8,08	0,0264	0,1625	0,52	2,23

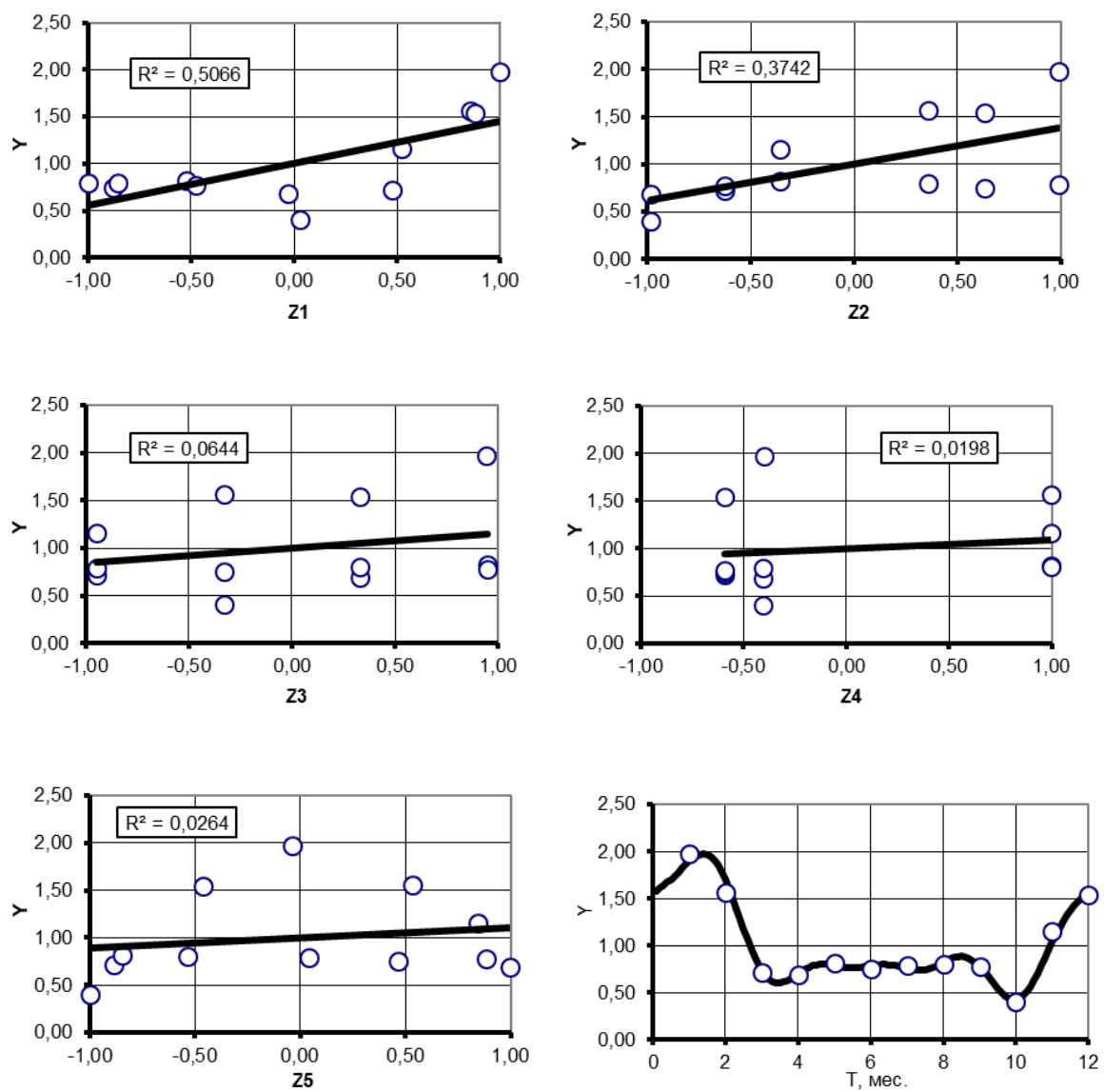


Рисунок П2.22 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливного бака автомобилей УРАЛ-4320

**Результаты гармонического анализа изменения параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-5557 в течение года**

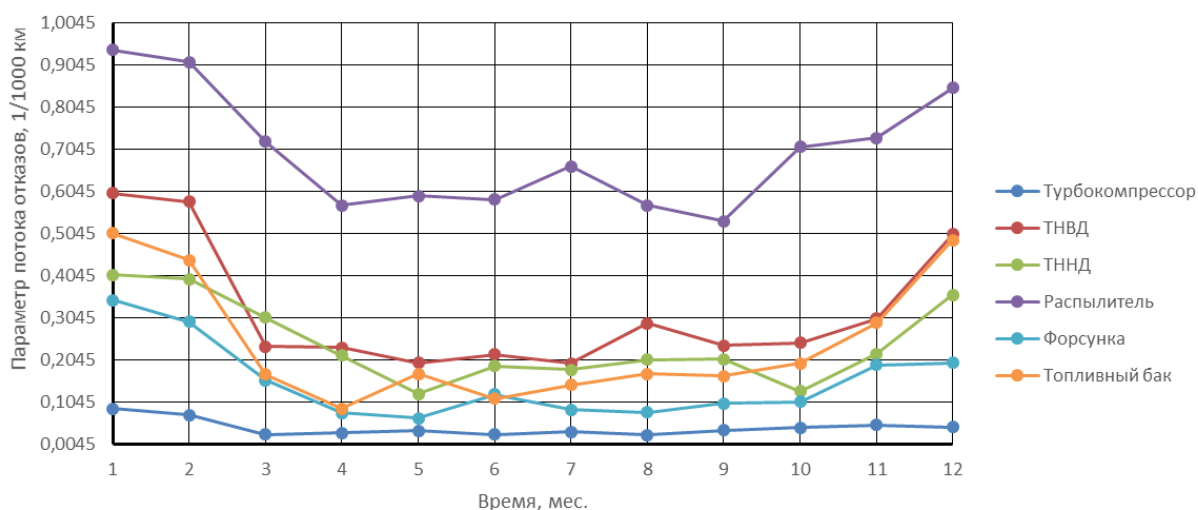


Рисунок П2.23 - Изменение параметра потока отказов элементов топливной аппаратуры автомобилей УРАЛ-5557 в течение года

Таблица П2.23 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,45	0,68	0,5376	0,7332	3,41	2,23
2	0,22	2,22	0,1344	0,3666	1,25	2,23
3	0,26	4,35	0,1766	0,4202	1,46	2,23
4	0,21	5,70	0,1168	0,3418	1,15	2,23
5	0,09	7,94	0,0216	0,1470	0,47	2,23



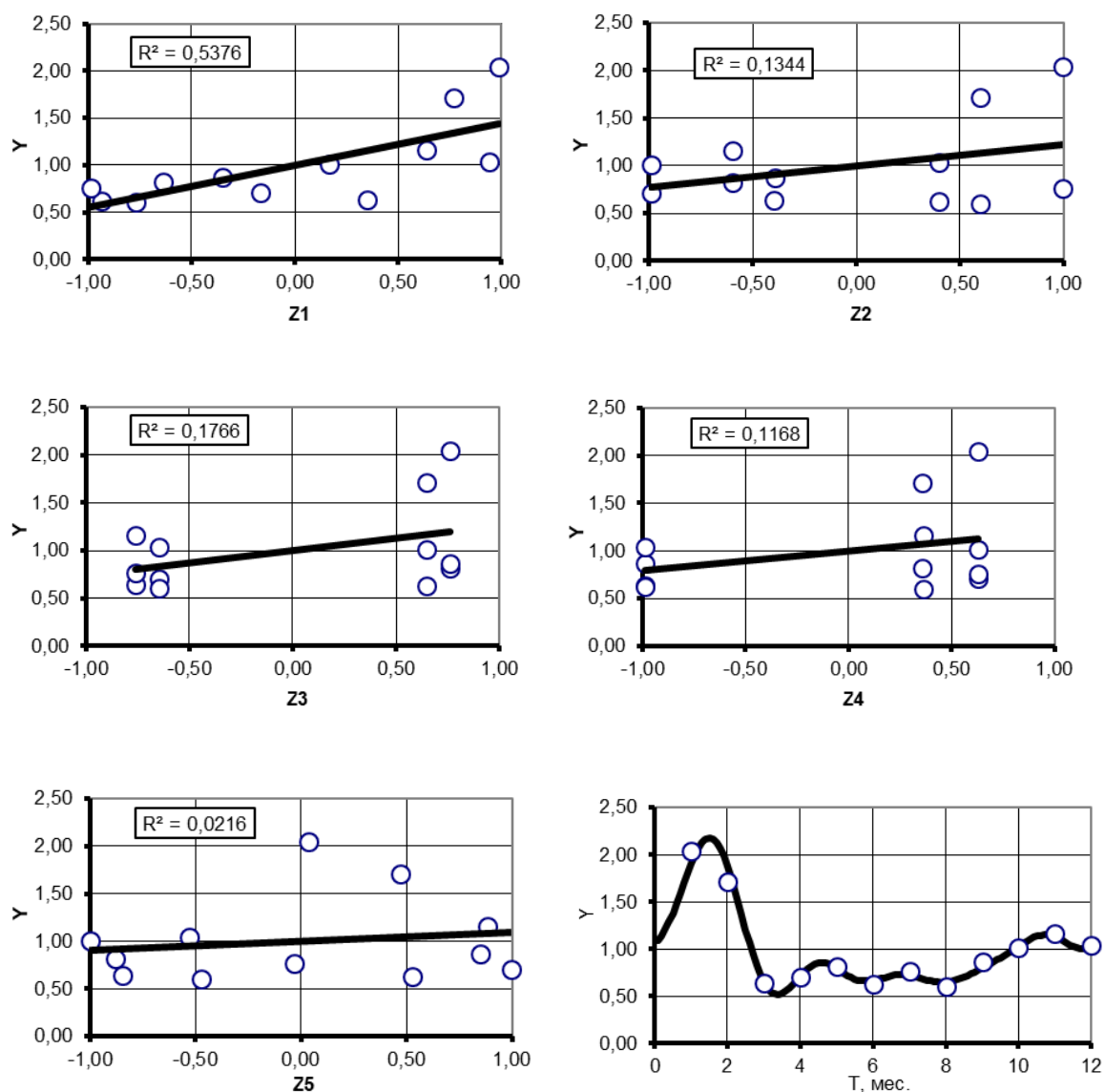


Рисунок П2.24 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-5557

Таблица П2.24 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,50	0,80	0,616	0,7849	4,00	2,23
2	0,33	2,33	0,2715	0,5211	1,93	2,23
3	0,16	3,09	0,0609	0,2468	0,80	2,23
4	0,08	7,09	0,0156	0,1249	0,40	2,23
5	0,05	8,90	0,0057	0,0755	0,24	2,23

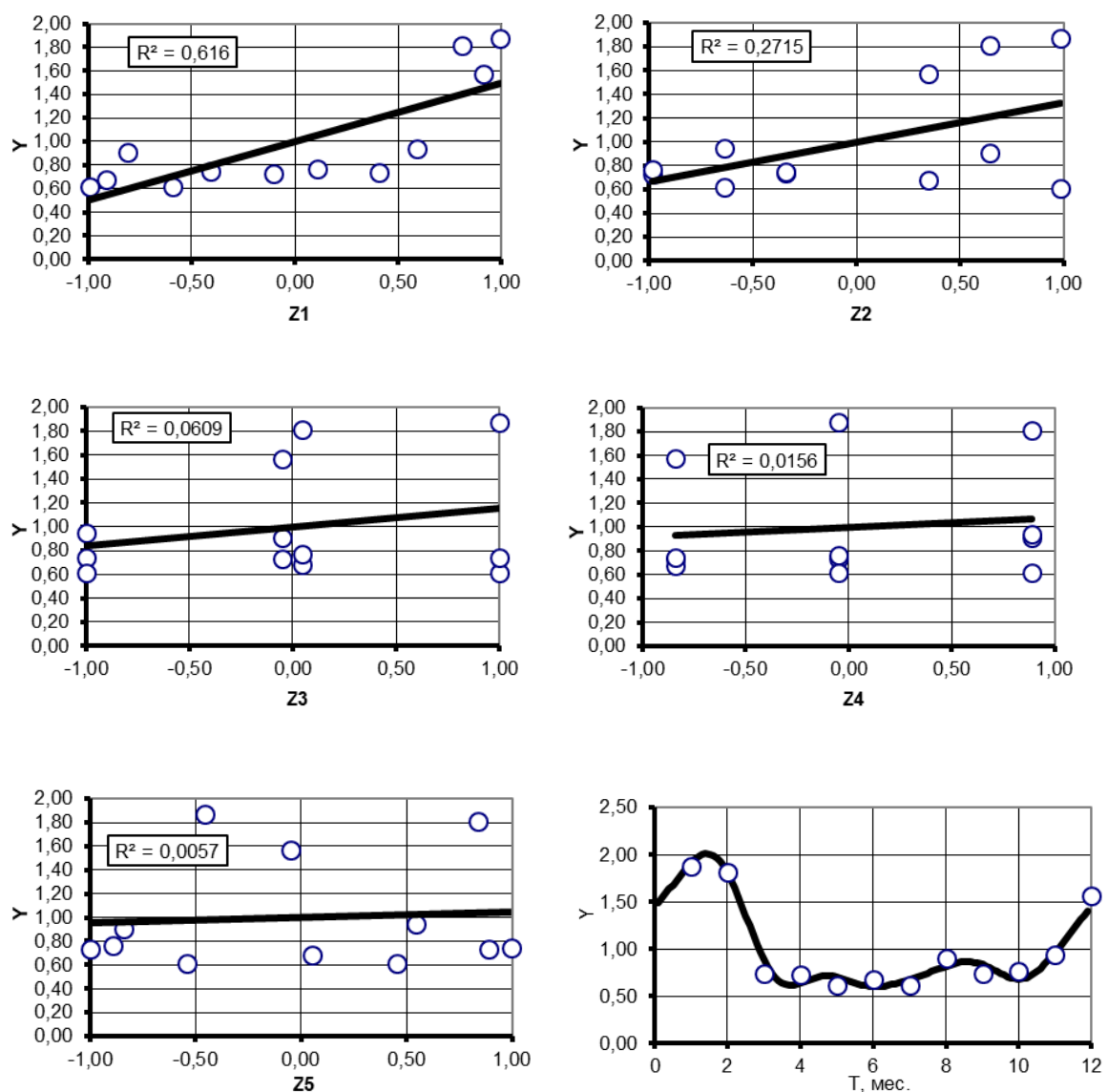


Рисунок П2.25 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-5557

Таблица П2.25 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,44	1,30	0,6537	0,8085	4,34	2,23
2	0,30	2,87	0,299	0,5468	2,06	2,23
3	0,05	0,88	0,0078	0,0883	0,28	2,23
4	0,08	11,89	0,0236	0,1536	0,49	2,23
5	0,06	7,77	0,0135	0,1162	0,37	2,23

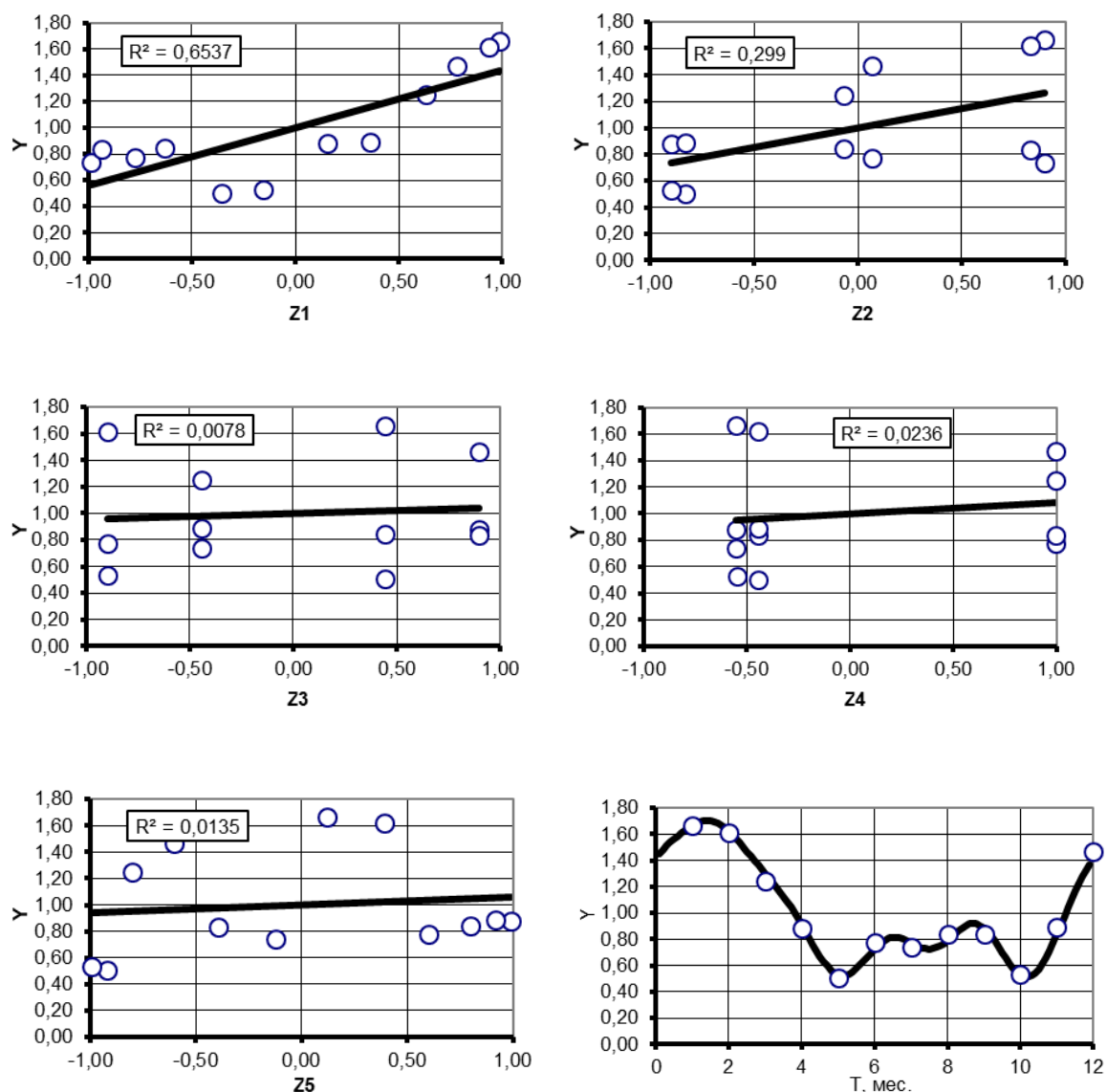


Рисунок П2.26 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов ТННД автомобилей УРАЛ-5557

Таблица П2.26 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,23	0,89	0,7291	0,8539	5,18	2,23
2	0,12	1,93	0,188	0,4336	1,52	2,23
3	0,05	6,43	0,038	0,1949	0,63	2,23
4	0,04	5,23	0,222	0,4712	1,69	2,23
5	0,04	0,99	0,0226	0,1503	0,48	2,23

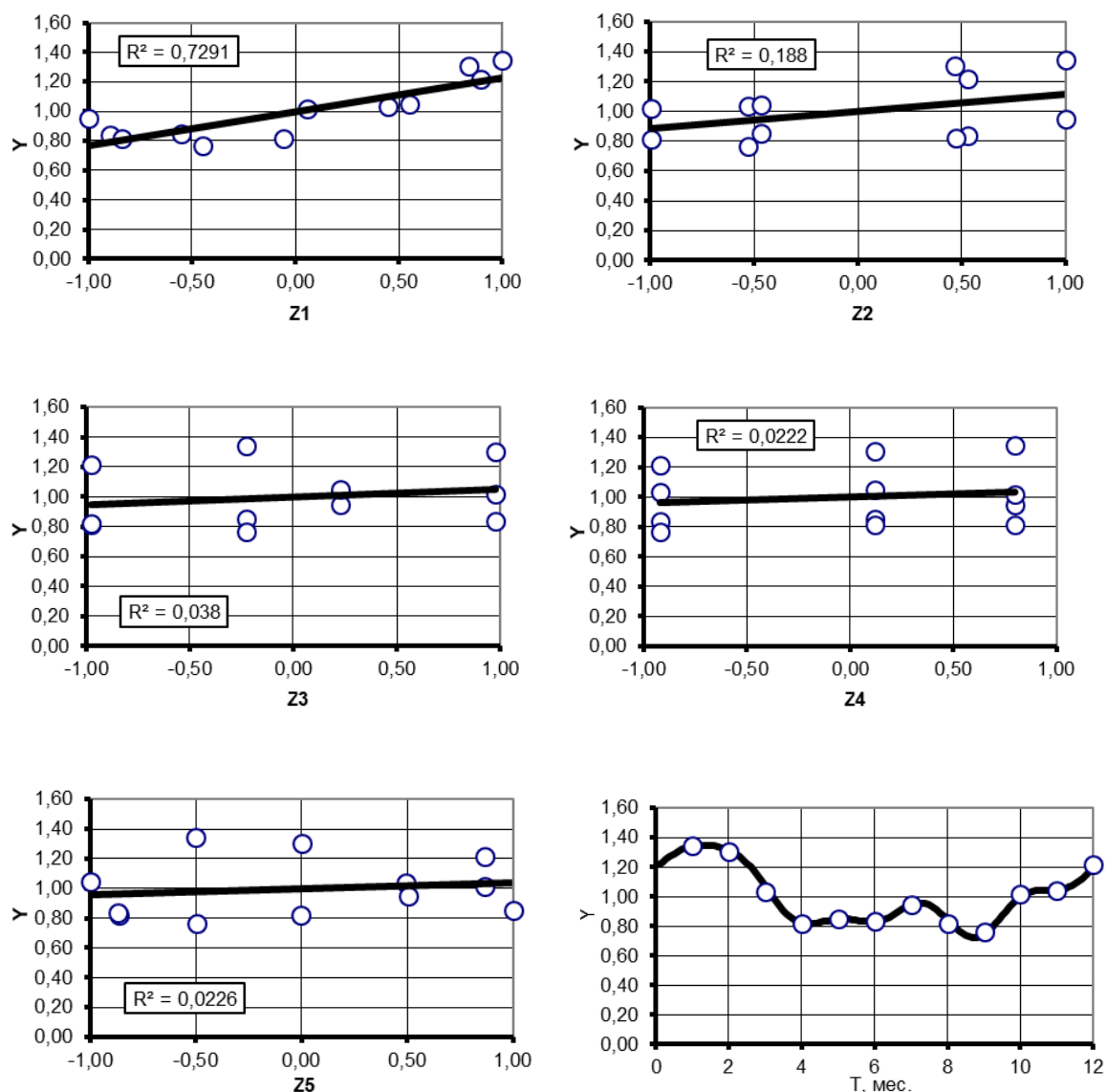


Рисунок П2.27 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов распылителя форсунки автомобилей УРАЛ-5557

Таблица П2.27 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	$r$	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,66	0,95	0,6738	0,8209	4,54	2,23
2	0,37	2,26	0,2162	0,4650	1,66	2,23
3	0,20	5,15	0,0625	0,2500	0,82	2,23
4	0,05	6,63	0,0044	0,0663	0,21	2,23
5	0,16	6,55	0,0386	0,1965	0,63	2,23

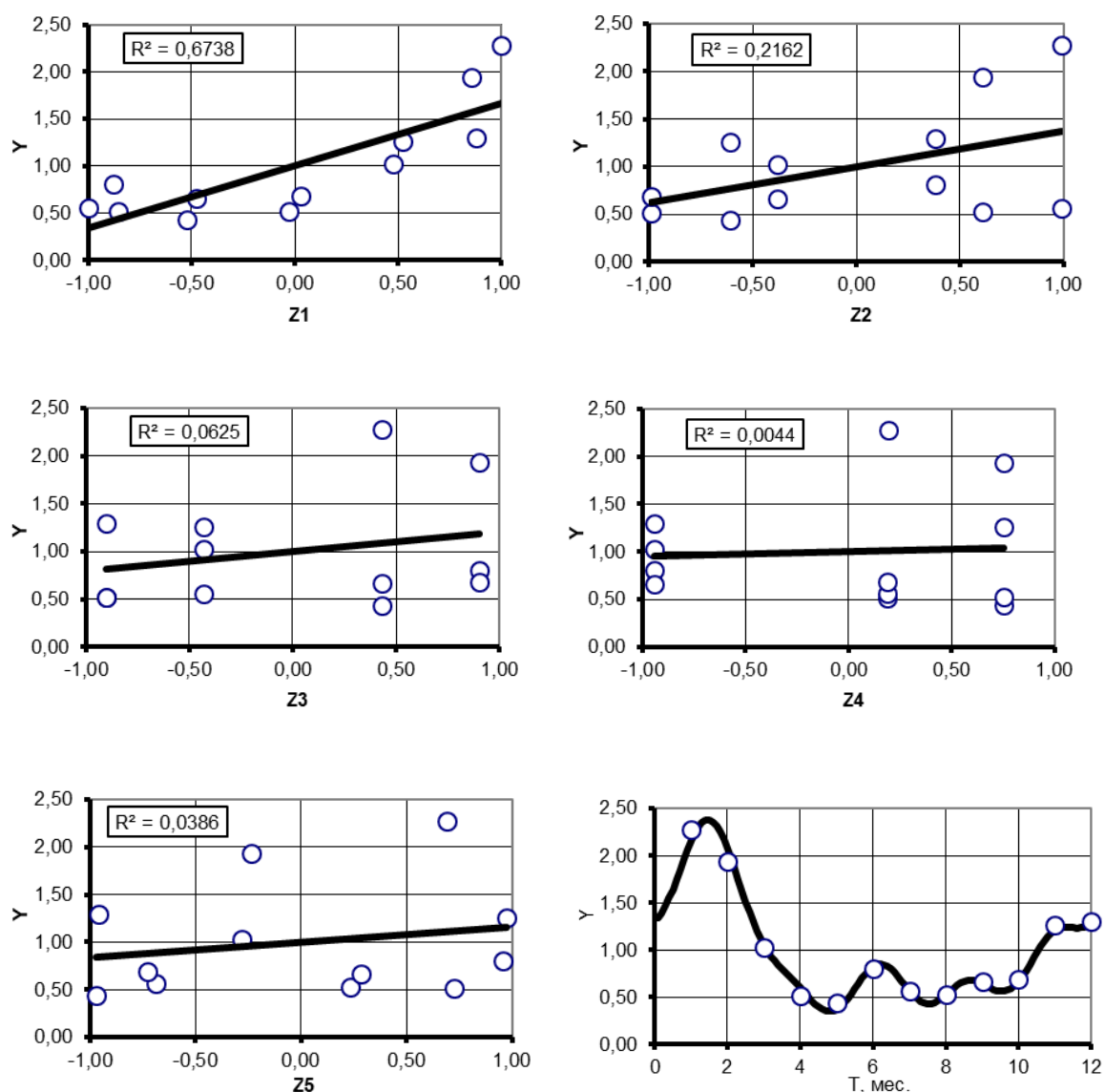


Рисунок П2.28 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливной форсунки автомобилей УРАЛ-5557

Таблица П2.28 - Статистическая характеристика гармонической модели изменения параметра потока отказов топливного бака автомобилей УРАЛ-5557 по времени

Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	$r^2$	r	$t_r$	$t_{0,95}$
1	0,69	0,50	0,704	0,8390	4,87	2,23
2	0,39	1,67	0,2292	0,4787	1,72	2,23
3	0,16	3,02	0,0376	0,1939	0,62	2,23
4	0,10	8,05	0,0133	0,1153	0,37	2,23
5	0,10	11,76	0,0151	0,1229	0,39	2,23

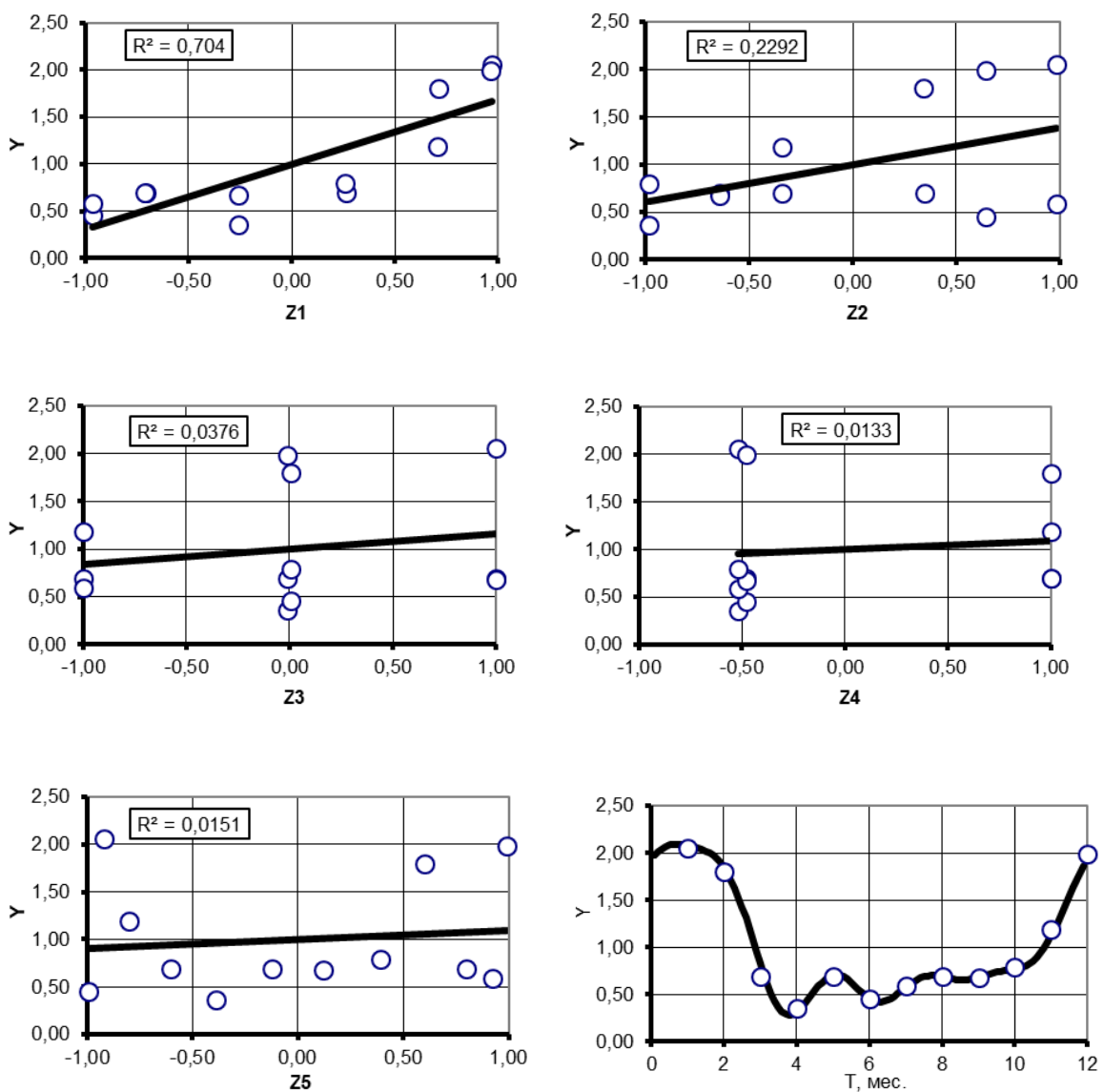


Рисунок П2.22 - Гармонический анализ изменения по времени параметра потока отказов топливного бака автомобилей УРАЛ-5557

**Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобилей КАМАЗ-43118**

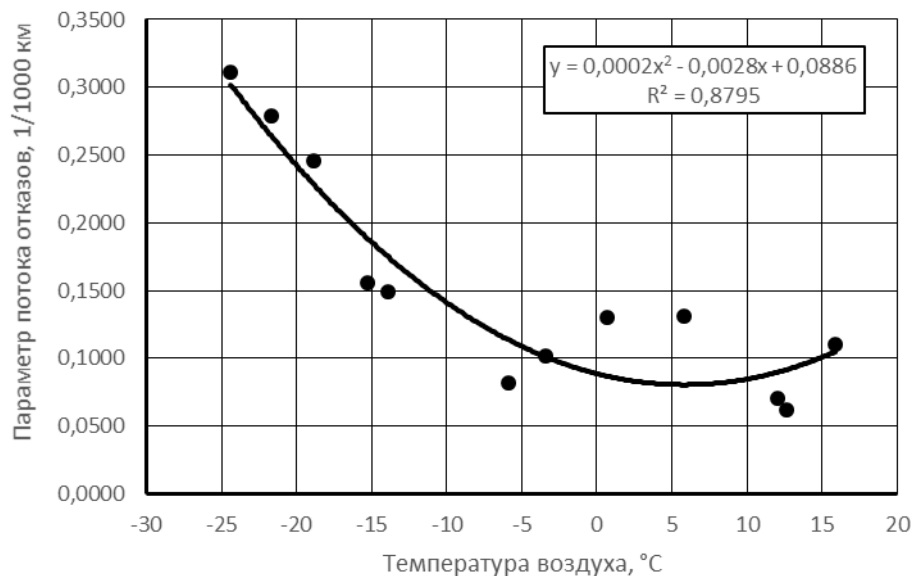


Рисунок ПЗ.1 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора

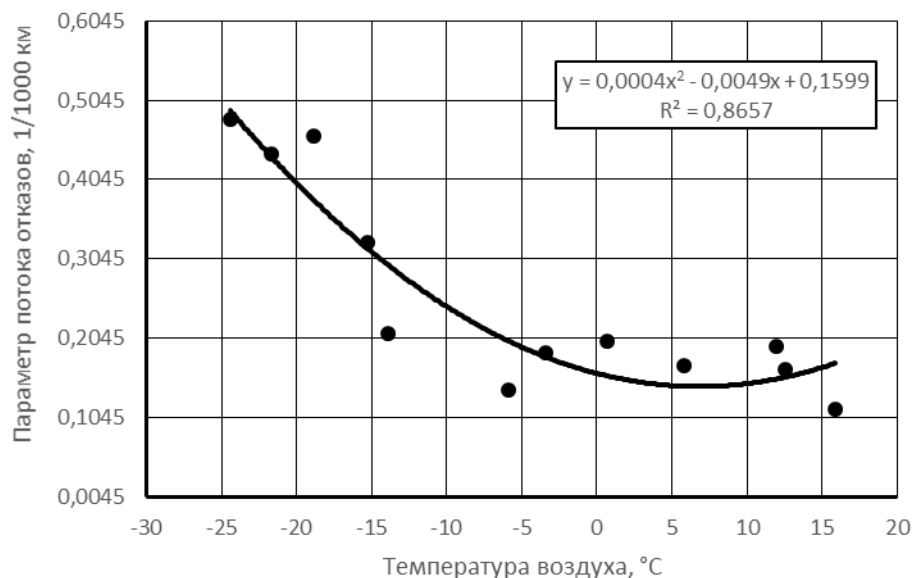


Рисунок ПЗ.2 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД

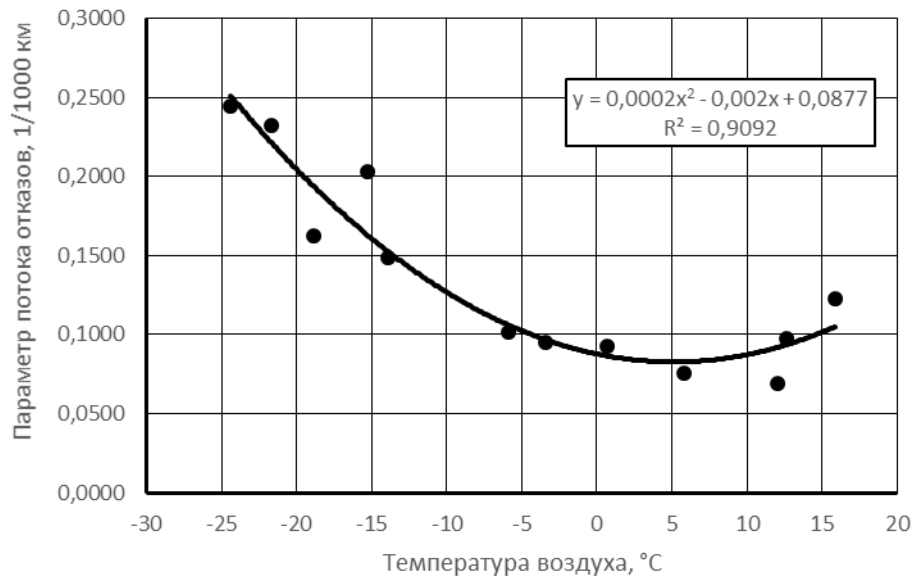


Рисунок ПЗ.3 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТННД

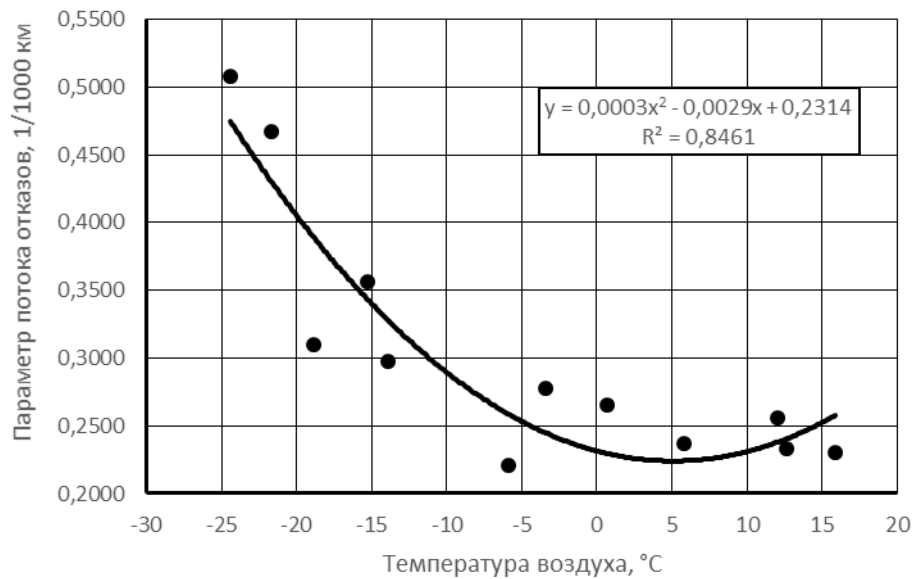


Рисунок ПЗ.4 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов распылитель форсунки



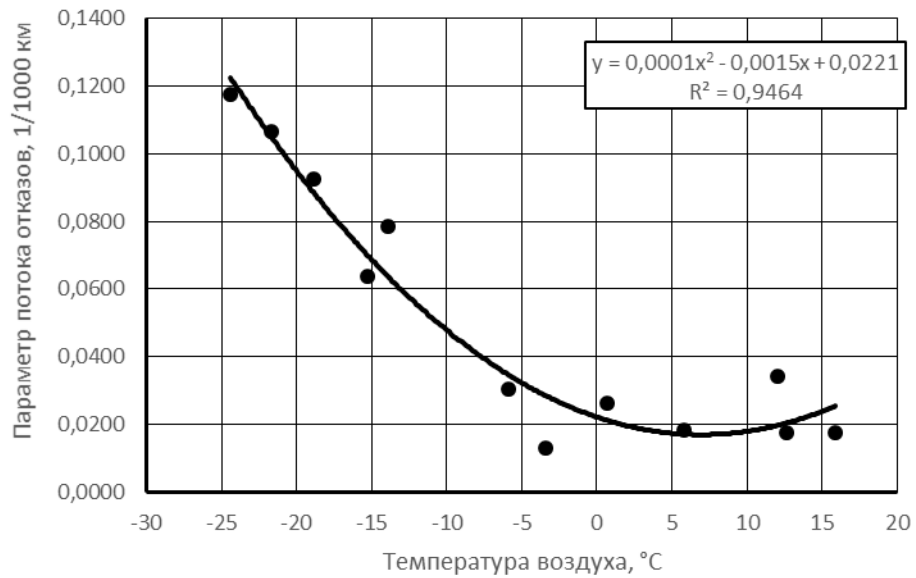


Рисунок ПЗ.5 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки

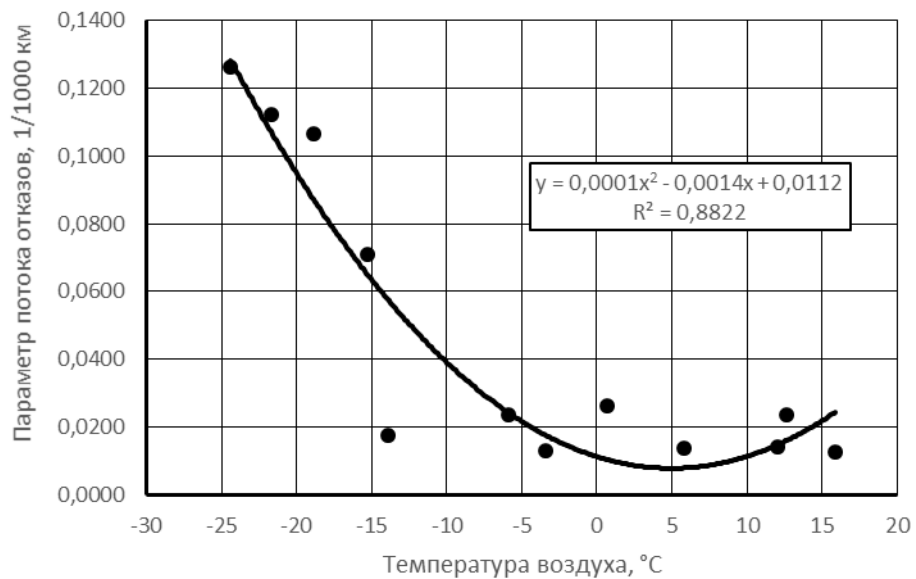


Рисунок ПЗ.6 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака

## Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобилей КАМАЗ-6520

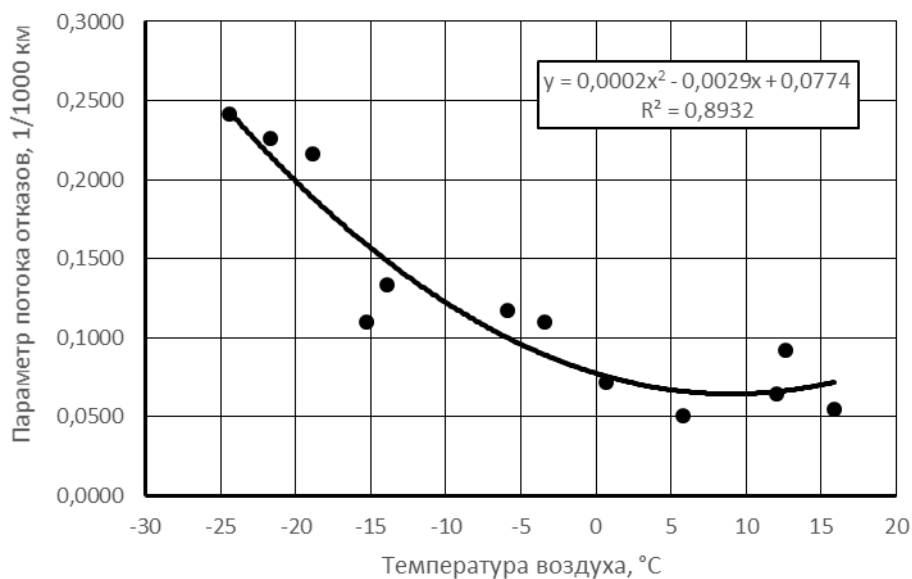


Рисунок ПЗ.7 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора

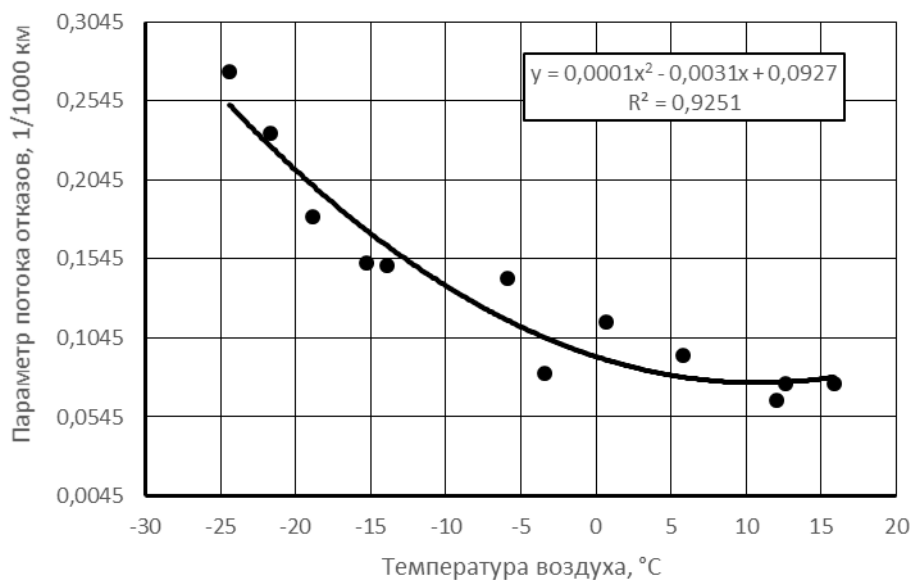


Рисунок ПЗ.8 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД

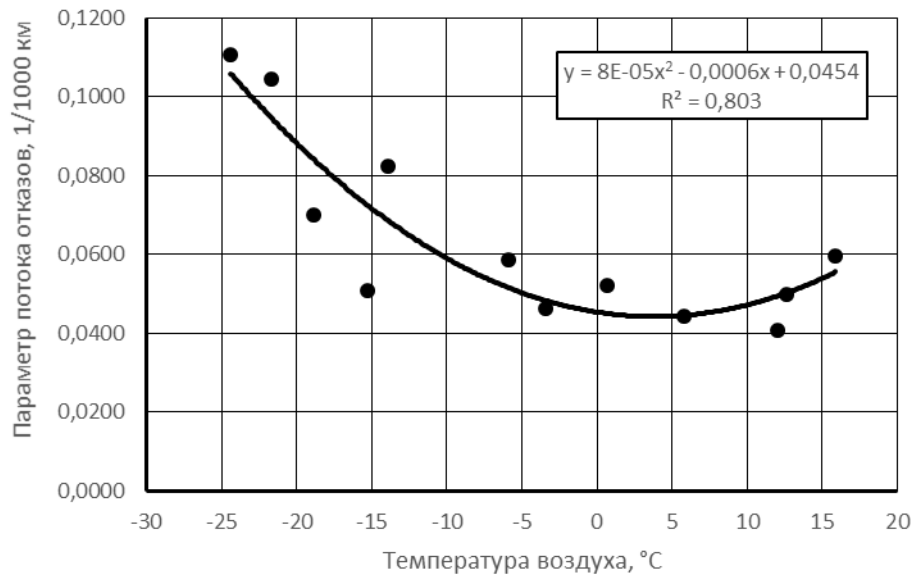


Рисунок ПЗ.9 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТННД

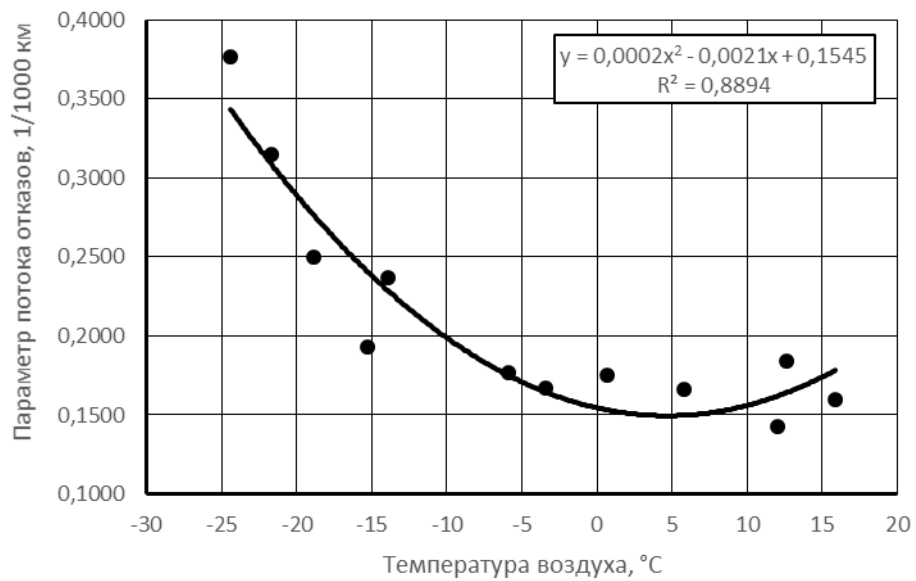


Рисунок ПЗ.10 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов распылитель форсунки

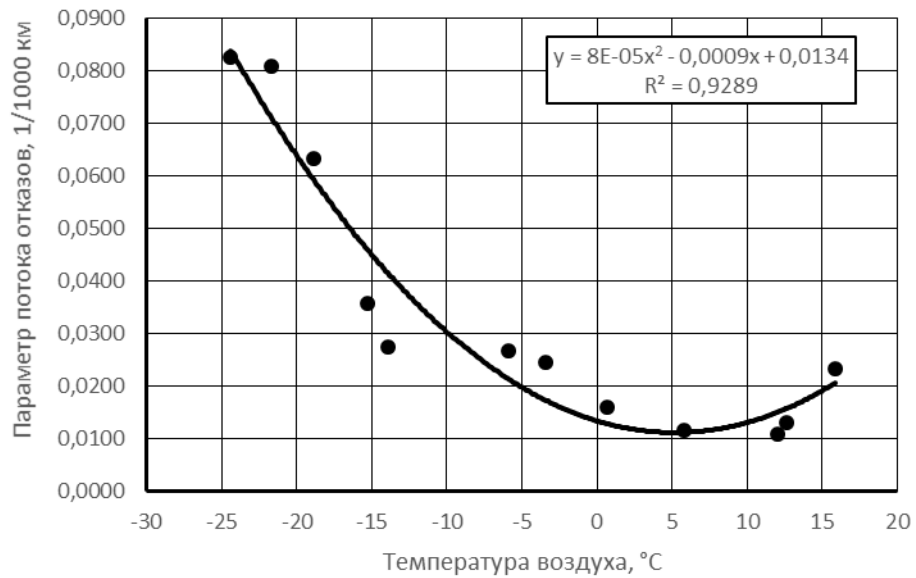


Рисунок ПЗ.11 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки

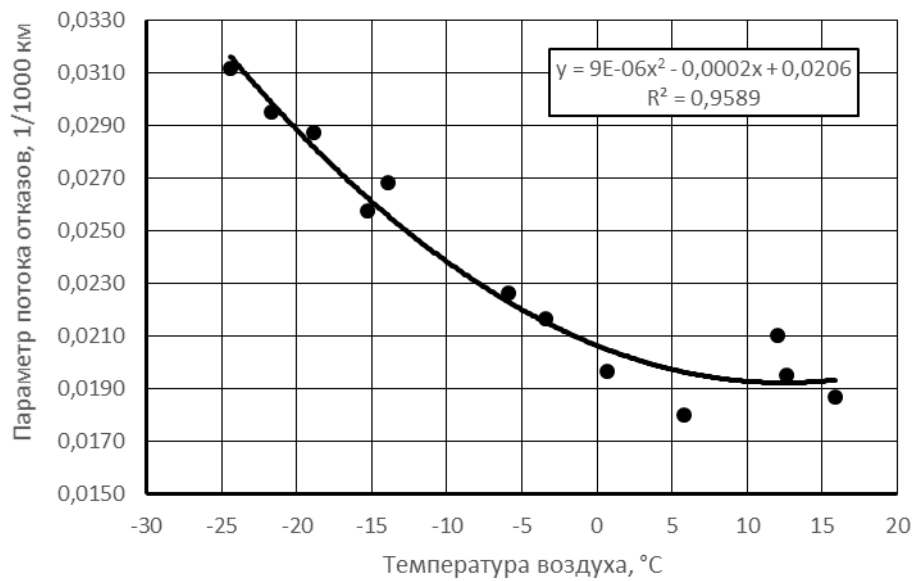


Рисунок ПЗ.12 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака

### Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобилей УРАЛ-4320

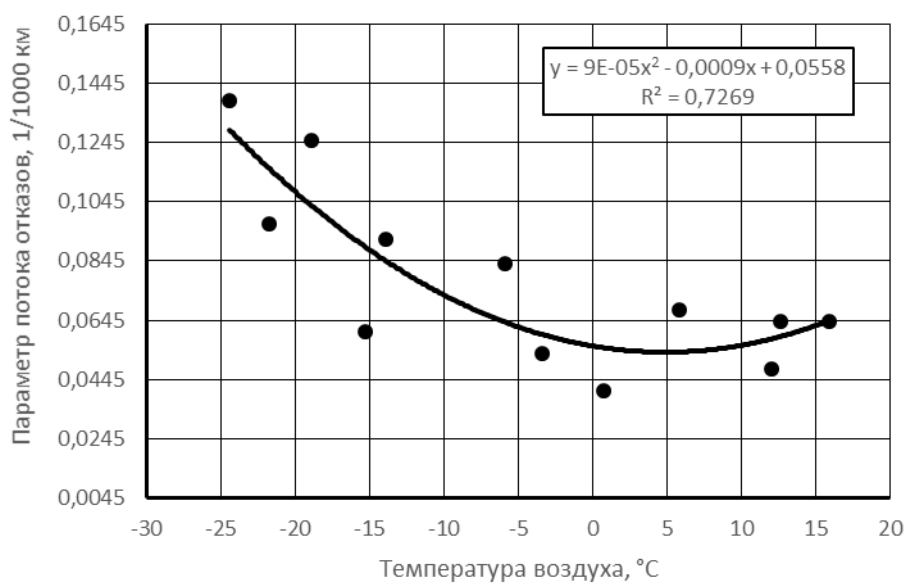


Рисунок ПЗ.13 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора

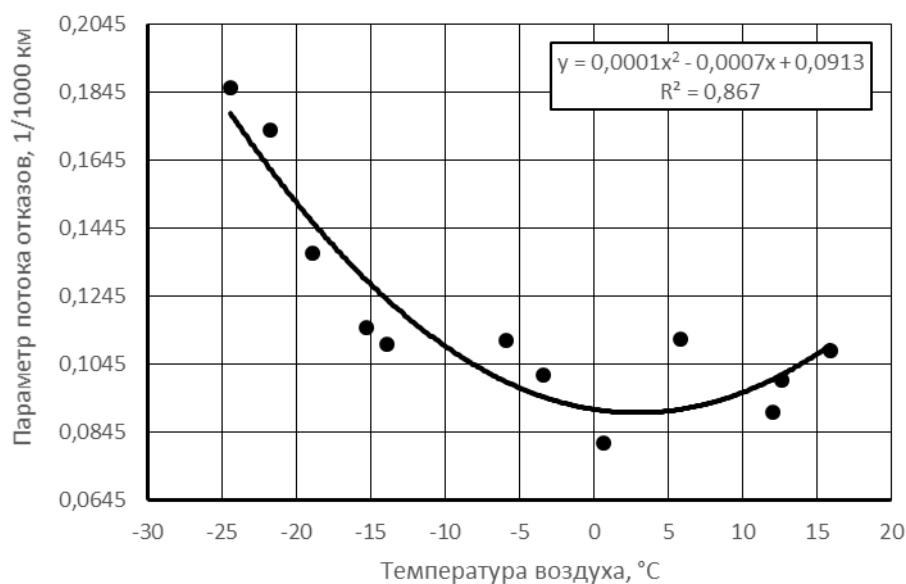


Рисунок ПЗ.14 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД

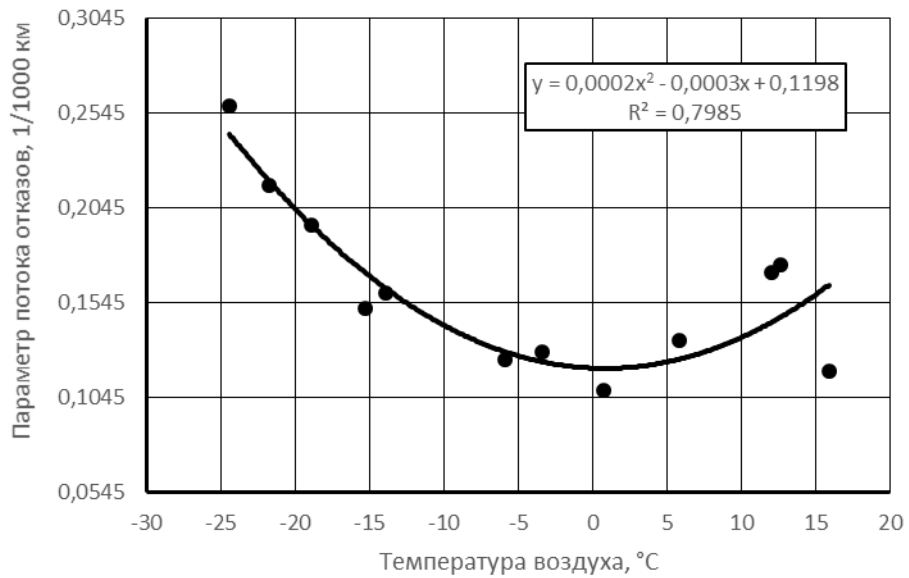


Рисунок ПЗ.15 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТННД

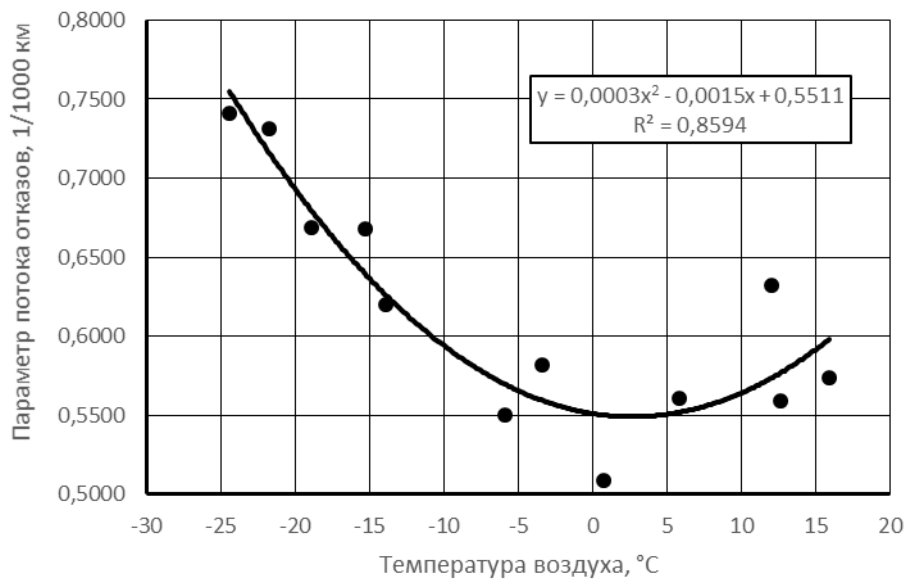


Рисунок ПЗ.16 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов распылитель форсунки

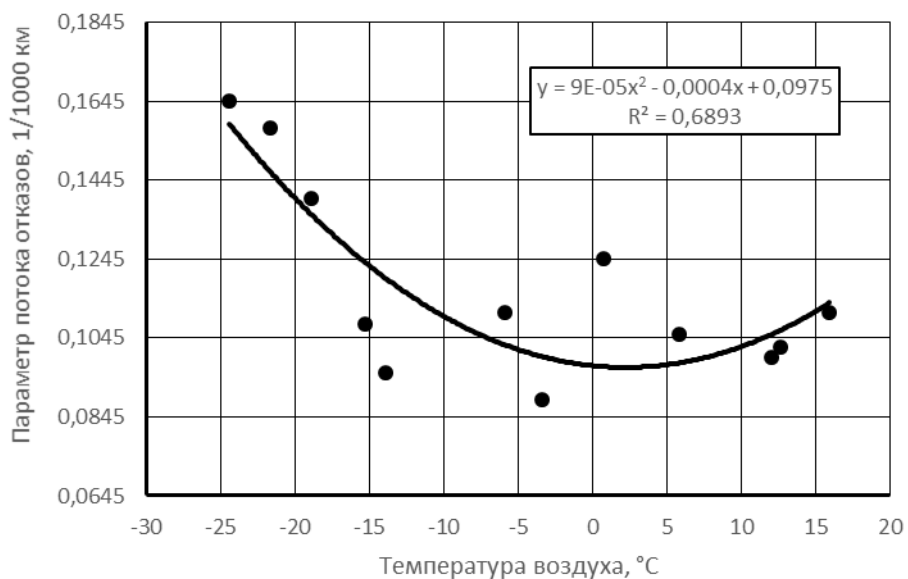


Рисунок ПЗ.17 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки

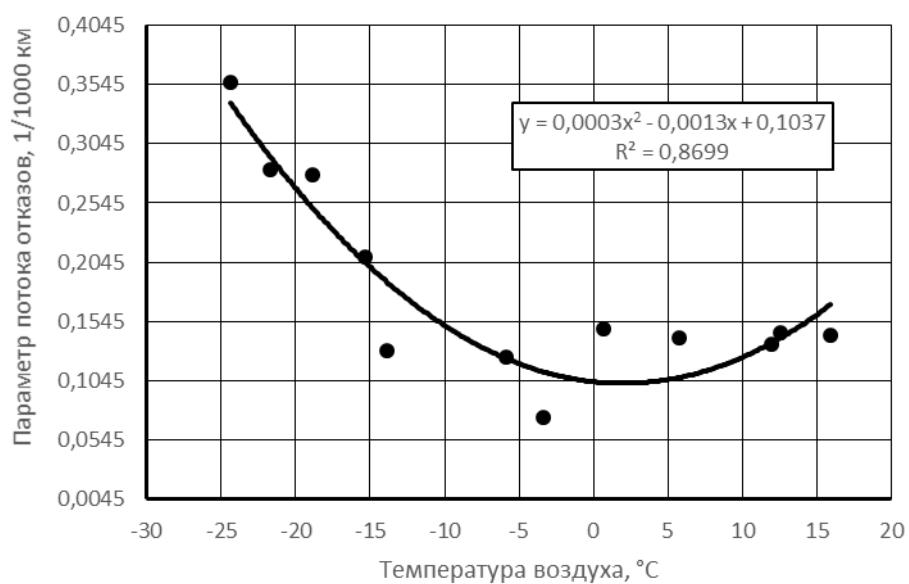


Рисунок ПЗ.18 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака

### Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания автомобилей УРАЛ-5557

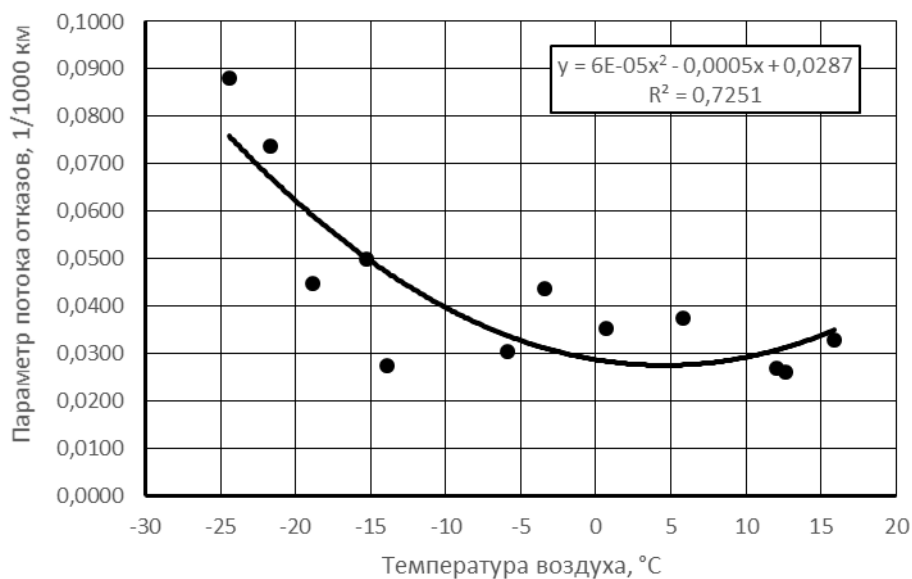


Рисунок ПЗ.19 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов турбокомпрессора

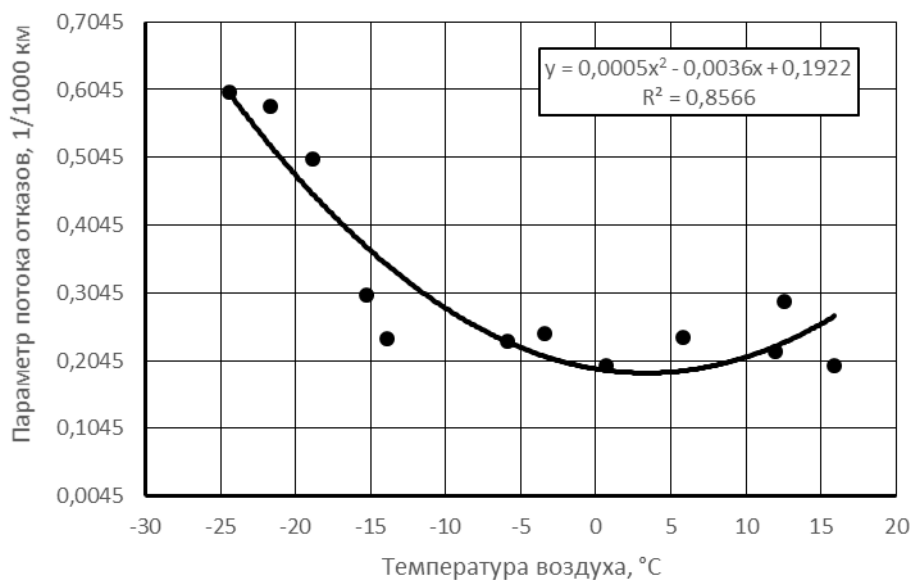


Рисунок ПЗ.20 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТНВД



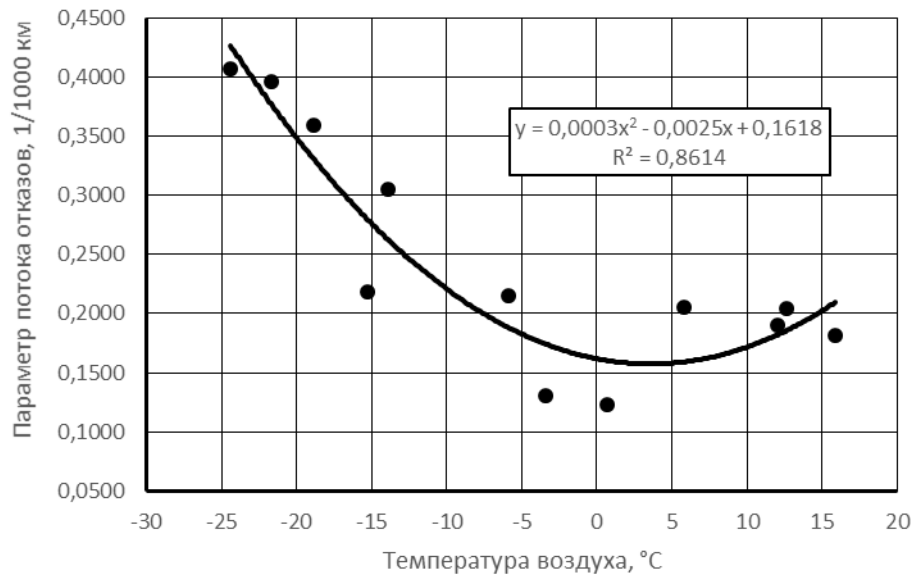


Рисунок ПЗ.21 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов ТННД

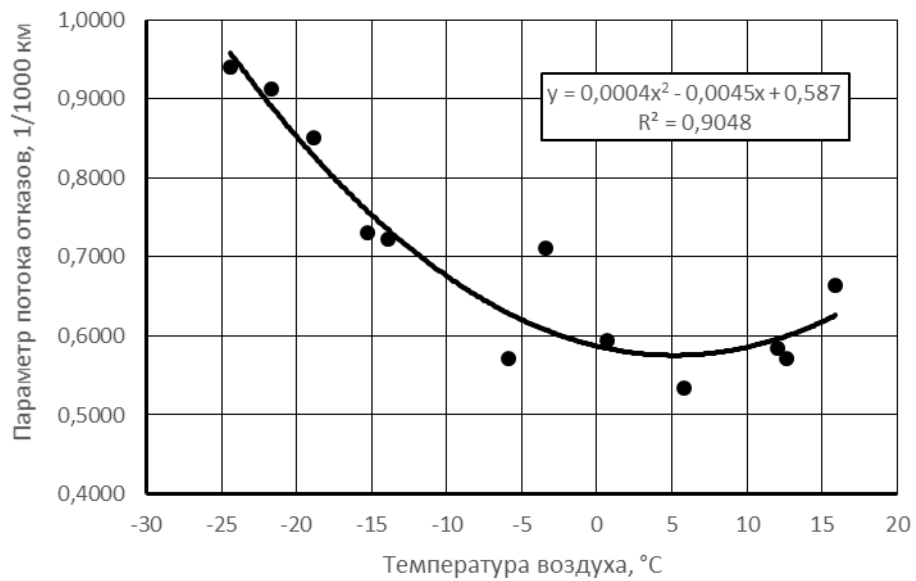


Рисунок ПЗ.22 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов распылитель форсунки

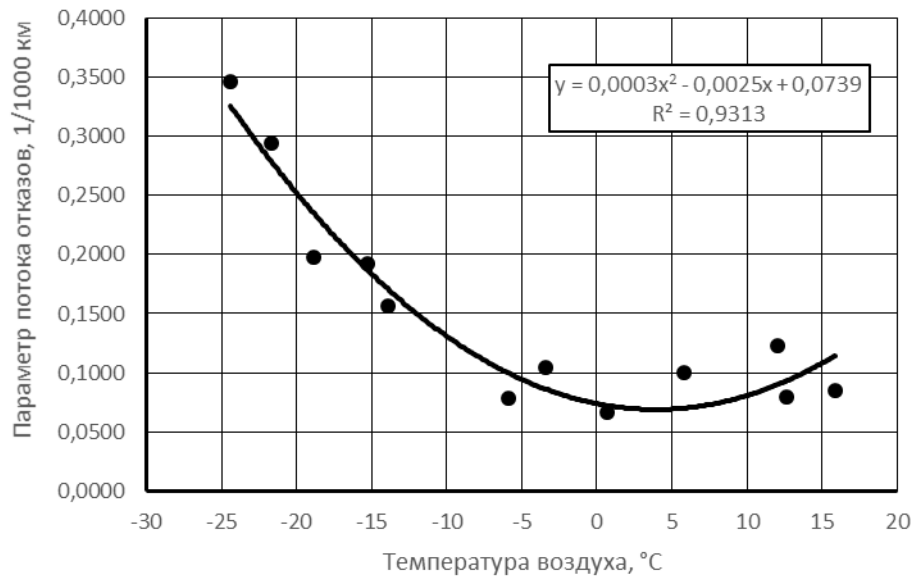


Рисунок ПЗ.23 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливной форсунки

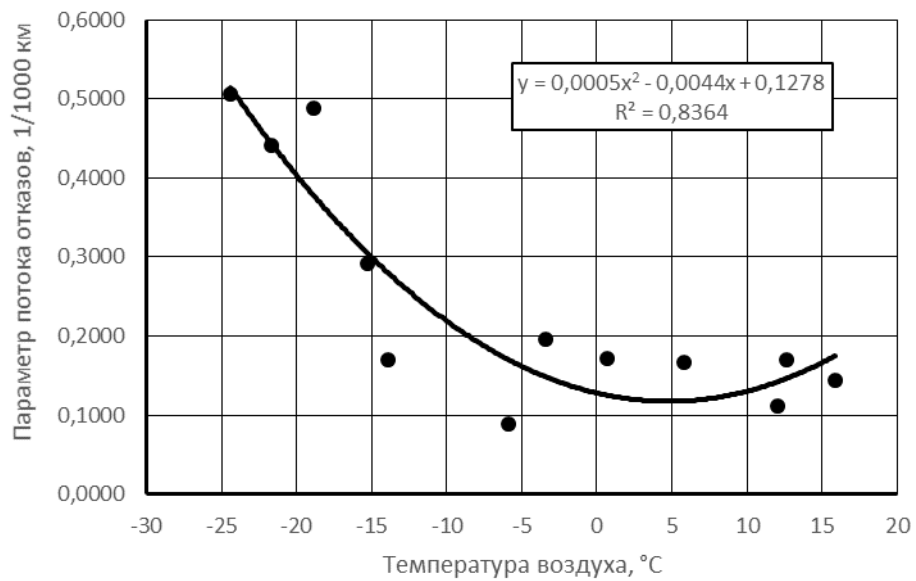


Рисунок ПЗ.24 - Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов топливного бака

**Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания автомобильных дизельных двигателей**

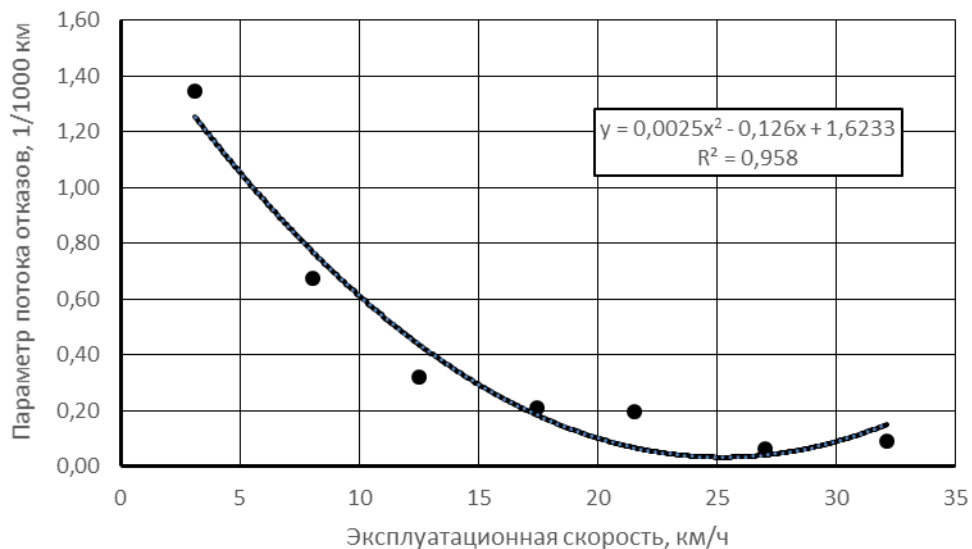


Рисунок П4.1 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов турбокомпрессора автомобилей КАМАЗ-43118

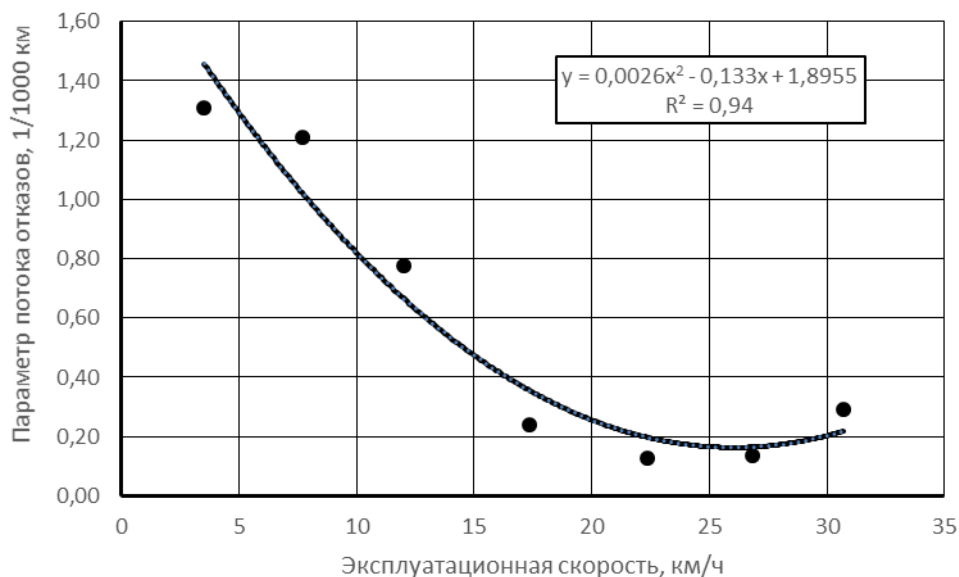


Рисунок П4.2 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов ТНВД автомобилей КАМАЗ-43118

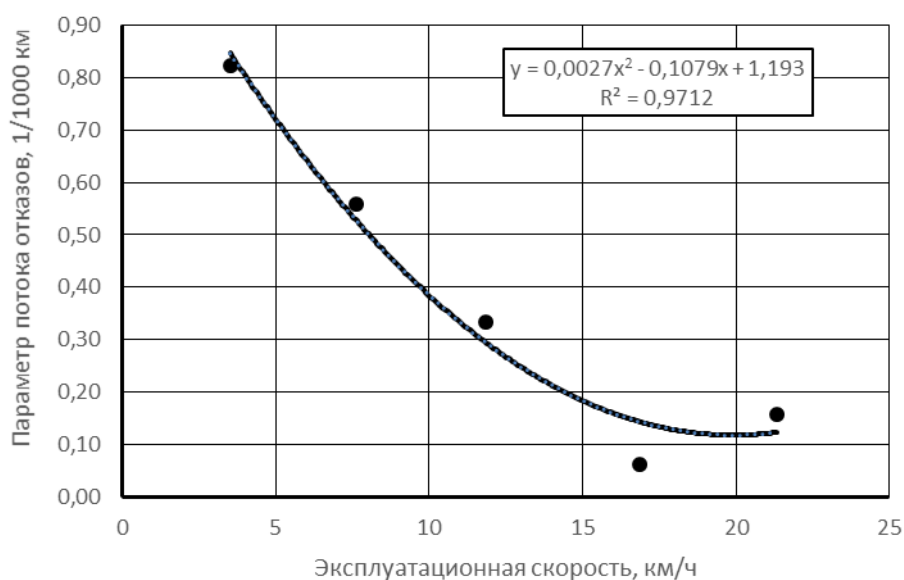


Рисунок П4.3 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов ТННД автомобилей КАМАЗ-43118

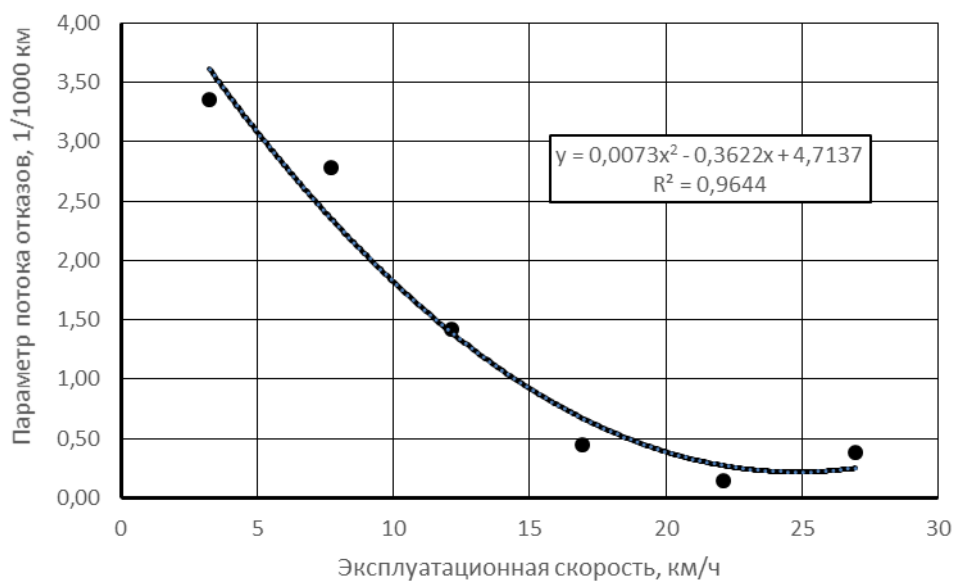


Рисунок П4.4 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов распылителя форсунки автомобилей КАМАЗ-43118

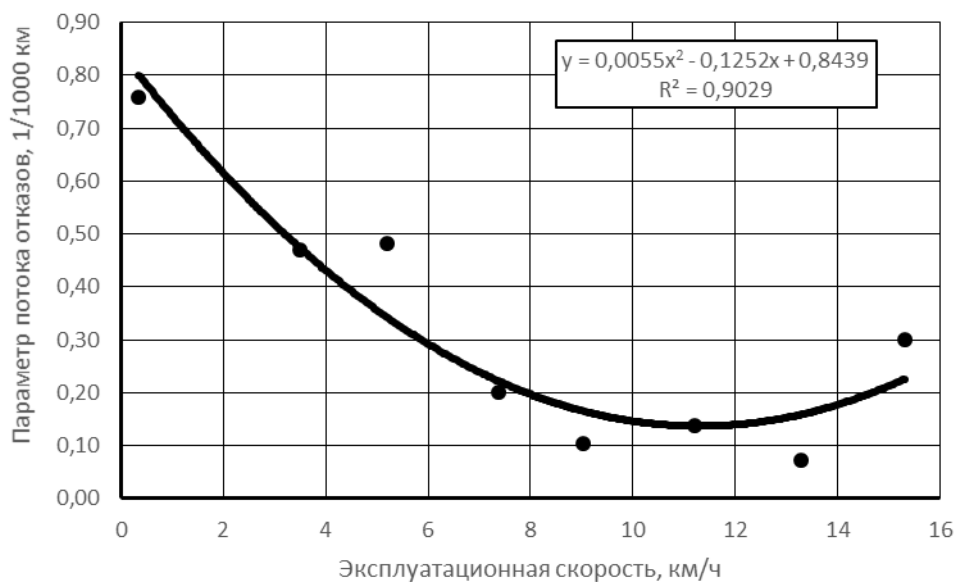


Рисунок П4.5 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов топливной форсунки автомобилей КАМАЗ-43118

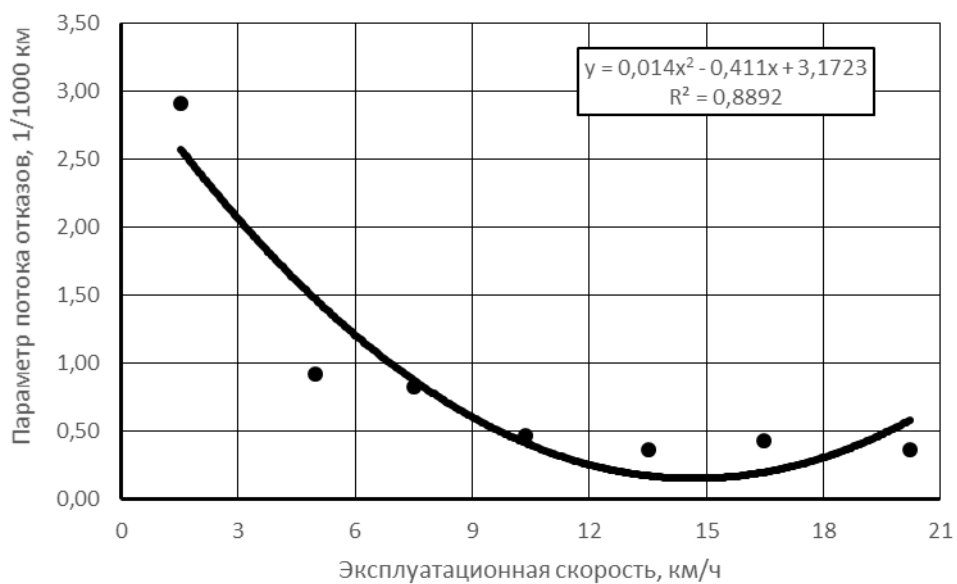


Рисунок П4.6 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов топливного бака автомобилей КАМАЗ-43118

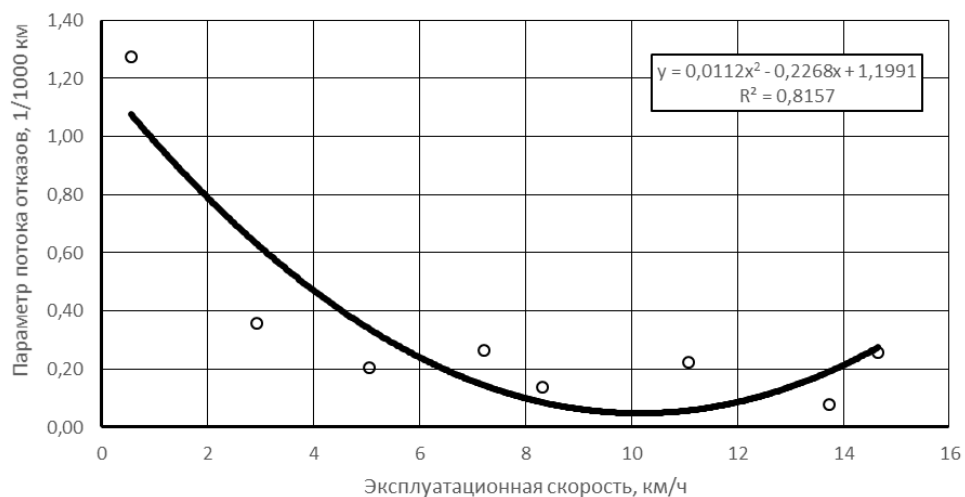


Рисунок П4.7 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320

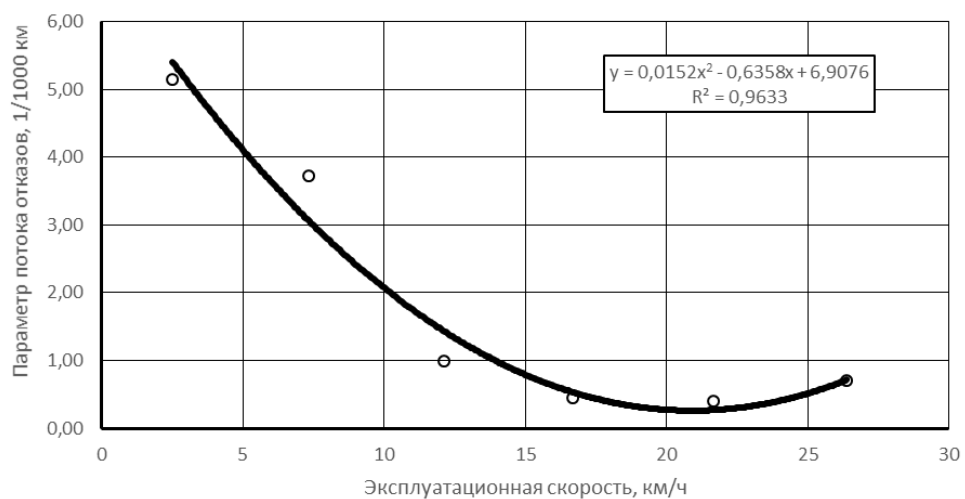


Рисунок П4.8 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов ТНВД автомобилей УРАЛ-4320

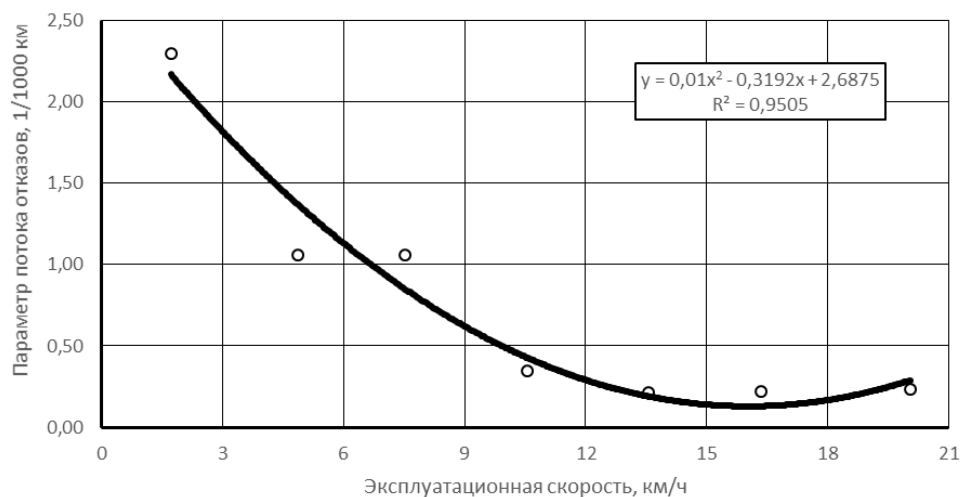


Рисунок П4.9 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов ТНД автомобилей УРАЛ-4320

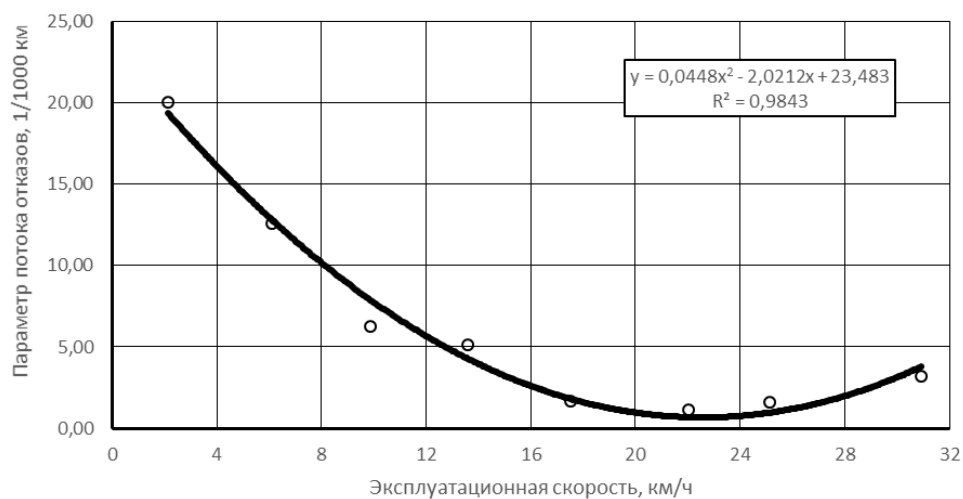


Рисунок П4.10 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов распылителя форсунки автомобилей УРАЛ-4320

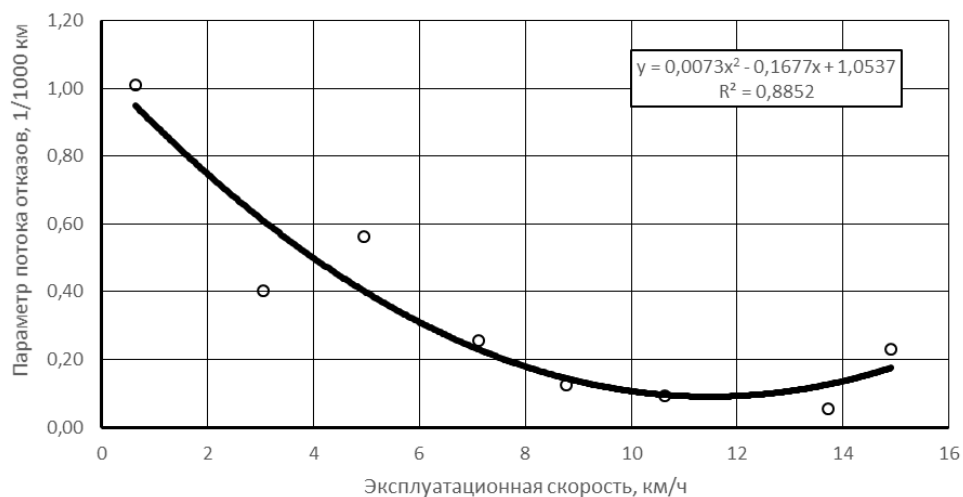


Рисунок П4.11 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов топливной форсунки автомобилей УРАЛ-4320

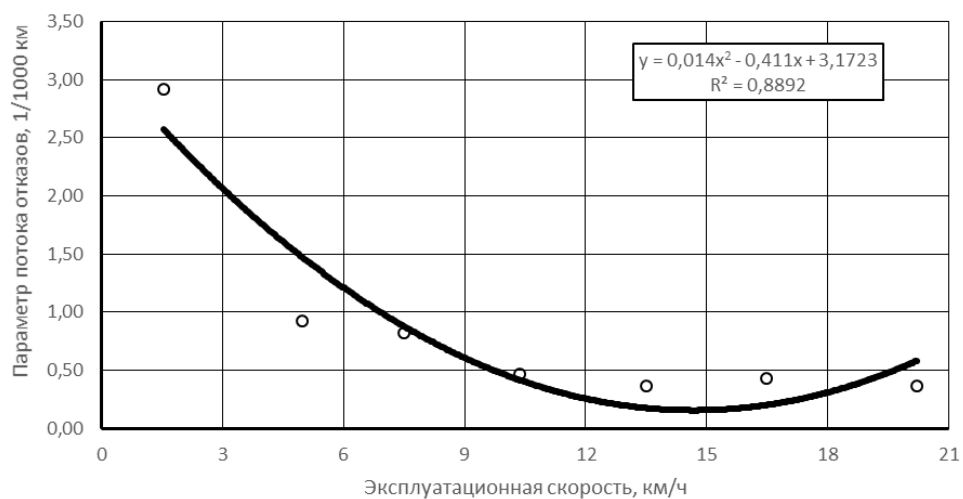


Рисунок П4.12 – Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов топливного бака автомобилей УРАЛ-4320



УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Института образовательной деятельности  
ФГБОУ ВО «Тюменский  
индустриальный университет»

Р.И. Абдразаков  
*Abdrakhmanov* 2024 г.



АКТ

о внедрении в учебный процесс кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин» (САТМ) Тюменского индустриального университета результатов диссертационной работы А. С. Гусельникова на тему «Методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе»

Комиссия в составе: председателя, заместителя директора Института транспорта кандидата технических наук, доцента Шарухи А. В. и членов комиссии: заведующего кафедрой САТМ доктора технических наук, профессора Захарова Н. С.; доцента кафедры САТМ кандидата технических наук, доцента Базанова А.В. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы аспиранта Гусельникова А.С. на тему «Методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе» используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 23.03.03 и 23.04.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных Гусельниковым А.С., применяются при чтении лекций по дисциплинам «Техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования», «Современные проблемы и направления развития технической эксплуатации транспортно-технологических машин и оборудования».

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин», протокол № 6 от 17.01 2024 г.

Председатель комиссии:  
заместитель директора Института транспорта  
канд. техн. наук, доцент



А.В. Шаруха

Члены комиссии:

зав. кафедрой САТМ  
д-р техн. наук, профессор



Н.С. Захаров

доцент кафедры САТМ  
канд. техн. наук, доцент



А.В. Базанов

УТВЕРЖДАЮ  
Главный инженер  
Сургутского УТТ № 2  
ПАО «Сургутнефтегаз»  
О.А.Малышкин  
"12" \_\_\_\_\_ 2024 г.



### АКТ

о внедрении диссертационной работы А.С. Гусельникова на тему  
«Методика обеспечения работоспособности топливной  
аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном  
климатическом регионе» в Сургутском УТТ № 2  
ПАО «Сургутнефтегаз»

Мы, нижеподписавшиеся заместитель начальника по производству Е.В.Вязиков, начальник технического отдела Г.В.Васильев, руководитель группы технического контроля Р.А.Аринин и аспирант А.С.Гусельников составили настоящий акт о том, что в Сургутском УТТ № 2 ПАО «Сургутнефтегаз» принята к использованию методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе.

Указанная методика разработана на основе исследований, выполненных в диссертационной работе А.С.Гусельникова на тему «Методика обеспечения работоспособности топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей в холодном климатическом регионе».

Эффект от использования методики образуется за счет снижения количества отказов автомобилей благодаря корректированию системы технического обслуживания двигателей и уменьшения стоимости оборотных фондов при более точном планировании потребности в запасных частях и материалах по месяцам.

Заместитель начальника  
по производству Сургутского УТТ №2

\_\_\_\_\_ Е.В.Вязиков

Аспирант

\_\_\_\_\_ А.С.Гусельников

Начальник технического отдела  
Сургутского УТТ №2

\_\_\_\_\_ Г.В.Васильев

Руководитель группы технического  
контроля Сургутского УТТ №2

\_\_\_\_\_ Р.А.Аринин