

На правах рукописи



ГУСЕЛЬНИКОВ Андрей Сергеевич

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

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Тюмень – 2024

Работа выполнена на кафедре «Сервис автомобилей и технологических машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет».

Научный руководитель – **Захаров Николай Степанович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Денисов Александр Сергеевич**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры организации перевозок,
безопасности движения и сервиса автомобилей
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.»;

Дрючин Дмитрий Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой технической
эксплуатации и ремонта автомобилей
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный
университет»

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»,
г. Владимир

Защита диссертации состоится 18 апреля 2024 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01 на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (www.osu.ru).

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

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



Хасанов Ильгиз Халилович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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. Существенная доля отказов автомобилей связана с системой питания дизельных двигателей.

Повышение надёжности автомобилей, в том числе и за счет 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.

Следует отметить временную диспропорцию между потребностью АТП 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 надёжности 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. Проблему обеспечения надёжности автомобилей изучали большое количество авторов: Авдоськин Ф.Н., Андрианов Ю.В., Баженов Ю.В., 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., Резник Л.Г., Тахтамышев Х.М., Хазов Б.Ф., Хасанов Р.Х., 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 системы питания автомобильных дизельных двигателей предложен ряд методов и решений. Но большинство из них предполагают внесение конструктивных изменений, а эксплуатационным мероприятиям уделяется меньше внимания, и они ограничиваются изменениями нормативов ТО и ремонта.

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

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 системы питания автомобильных дизельных двигателей под влиянием эксплуатационных факторов.

Предмет исследований – закономерности влиянием температуры

воздуха и средней эксплуатационной скорости автомобиля на надёжность системы питания автомобильных дизельных двигателей.

Научная новизна:

1) установлены факторы, влияющие на надёжность системы 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 эксплуатационной 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 надёжность и сократить затраты на эксплуатацию автомобилей.

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.9.5 – Эксплуатации автомобильного транспорта: п. 11. Эксплуатационная надёжность 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;

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

Сургут 2022, 2023).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 7 статьях, из которых 2 – 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность исследований, цель и научная новизна, положения, выносимые на защиту, а также теоретическая и практическая ценность отражены во **введении**.

В первом разделе рассмотрены предшествующие исследования по данной теме. Ниже представлены ключевые факты, установленные в результате проведенного анализа.

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 системы 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.

Во **втором разделе** отражены теоретические аспекты исследований, описана методика исследований, целевая функция, структура изучаемой системы и закономерности её функционирования.

Поставленная цель достигается снижением количества отказов при корректировании периодичности ТО и сокращением простоев в ожидании ремонта из-за отсутствия запасных частей. Исходя из этого, целевая функция представлена в следующем виде:

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

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

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

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

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

$$Z_{\text{зч}} = Z_{\text{пр.}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{хр.}} + Z_{\text{оф.}}$$

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

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

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

$D_{\text{ТР}}^{(n)}$ – количество дней потенциального простоя автомобилей в 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 рамках системного подхода идентифицирована структура исследуемой системы (рис. 1). Для ее локализации необходимо выявить факторы, влияющие на надёжность системы питания. Исходный их перечень сформирован по результатам анализа ранее проведенных исследований.

На основе априорного ранжирования определены наиболее значимые

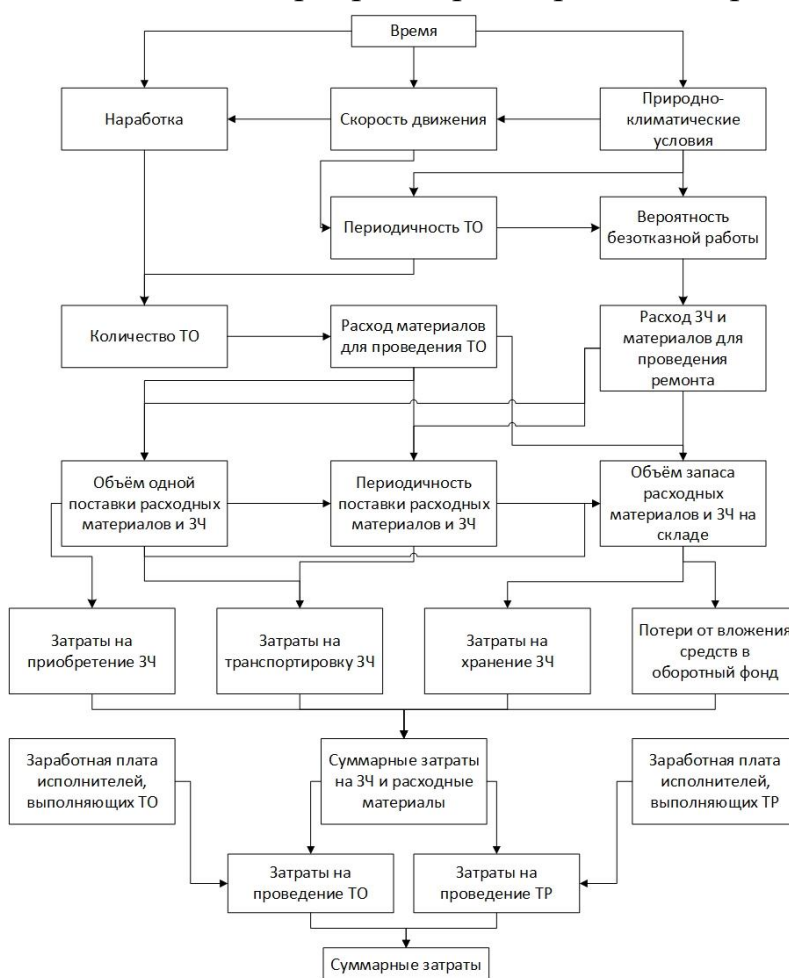


Рисунок 1 – Структура изучаемой системы

из них: климатические и транспортные условия, качество топлива (рис. 2).

Транспортные условия включают ряд факторов, оцениваемых большим количеством показателей.

Определить их на основе имеющейся в АТП информации невозможно. Кроме того, в рамках одной диссертационной работы исследовать влияние всех этих показателей не представляется возможным. Поэтому

в качестве обобщающего

показателя принята средняя эксплуатационная скорость.

Качество дизельного топлива – управляемый фактор. Поэтому необходимо выбирать марку топлива и поставщика для обеспечения требуемого уровня качества.

Климатические условия включают ряд факторов. Ранее установлено, что факторы, меняющиеся сезонно, имеют статистически значимую корреляционную связь с температурой воздуха. Поэтому в качестве обобщающего фактора климатических условий принята температура воздуха.

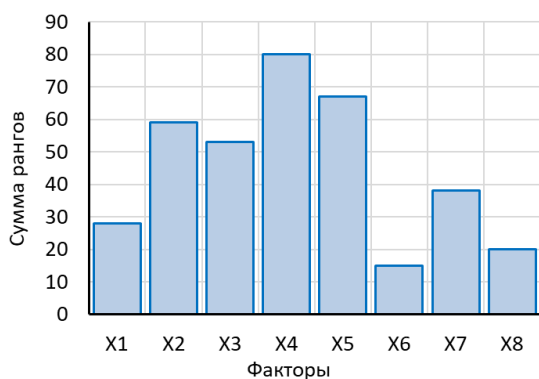


Рисунок 2 – Априорная диаграмма рангов факторов, влияющих на надёжность системы питания дизельных двигателей: X1 – качество топлива; X2 – квалификация водителей; X3 – качество проведения технических воздействий; X4 – оснащённость производственными площадями; X5 – способ хранения автомобилей; X6 – транспортные, X7 – дорожные и X8 – климатические условия

Для установления закономерностей влияния выбранных факторов на надёжность элементов системы питания на основе анализа результатов ранее выполненных исследований установлено следующее.

При низких температурах воздуха: повышается вязкость топлива, что приводит к ухудшению его прокачиваемости и снижению качества распыления в камере сгорания; повышается нагрузка на прецизионные пары насосов; возможна парафинизация топлива и затруднение его поступления.

При высоких температурах воздуха: снижается плотность и вязкость топлива; увеличивается количество топлива, перетекающего через зазоры в плунжерных парах; возможно полусухое и сухое трение сопряжённых деталей и образование задиров.

При низких эксплуатационных скоростях: вероятно вариация скорости движения, вызывающая переменные напряжения в системе питания, при этом ускоряется изнашивание сопряжённых деталей; количество оборотов коленчатого вала на единицу пути выше, чем при движении со средней скоростью; доля времени работы двигателя на холостом ходу увеличивается.

При высоких эксплуатационных скоростях: увеличивается вероятность работы двигателей при высокой частоте вращения коленчатого вала и повышенных нагрузках на элементы системы питания.

На этой основе выдвинуты гипотезы о том, что закономерности влияния температуры воздуха t и средней эксплуатационной скорости $V_{Э}$ на параметр потока отказов ω элементов системы питания описываются квадратичными моделями:

$$\omega_t = a_0 + a_1t + a_2t^2; \quad (1)$$

$$\omega_{V_3} = b_0 + b_1V_3 + b_2V_3^2, \quad (2)$$

где $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – эмпирические коэффициенты.

Третий раздел посвящен экспериментальным исследованиям, направленным на проверку гипотез о виде математических моделей и определение значений их параметров.

На первом этапе эксперимента производится оценка фактической надёжности элементов системы питания. Суть исследований состоит в обработке статистических данных о наработках на отказ автомобилей семейств Урал-4320 и КАМАЗ-43118, полученных из корпоративной базы данных ПАО «Сургутнефтегаз». В результате установлено, что наибольшее количество отказов связано с турбокомпрессорами, топливными форсунками, топливными насосами высокого давления (ТНВД), топливными насосами низкого давления (ТННД), распылителями форсунок, топливными баками. Эмпирические распределения наработок на отказ по всем указанным элементам с вероятностью не ниже 0,95 соответствуют закону Вейбулла.

На следующем этапе оценена значимость сезонных изменений параметра потока отказов ω элементов системы питания.

Данные о фактических значениях ω по месяцам аппроксимированы полигармонической моделью (рис. 3). Статистическая оценка значимости гармоник проводилась по критерию Стьюдента. Сезонные изменения считались значимыми, если статистически значимой являлась первая (период – один год) гармоника (рис. 4).

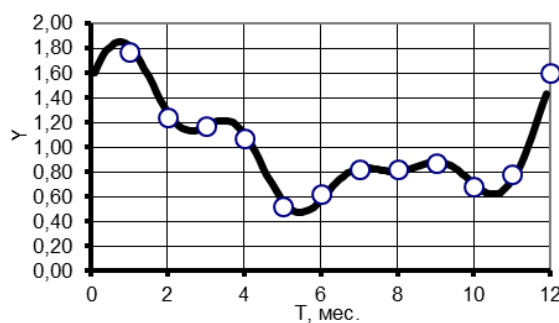


Рисунок 3 – Изменение в течение года параметра потока отказов турбокомпрессора (экспериментальные точки и аппроксимация полигармонической моделью)

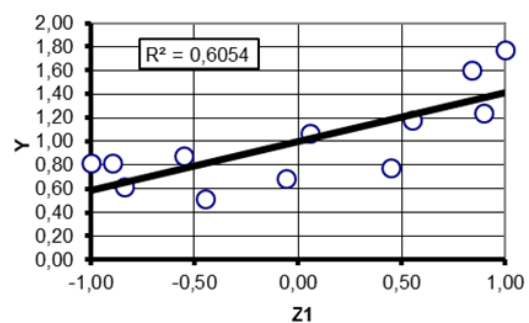


Рисунок 4 – Линейризованная первая гармоника полигармонической модели изменения в течение года параметра потока отказов турбокомпрессора

В результате установлено, что для всех рассматриваемых элементов системы питания сезонные изменения параметра потока отказов статистически значимы с вероятностью не ниже 0,95.

Далее установлено влияние температуры окружающего воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания. Фрагмент результатов эксперимента представлен на рис. 5. Проверка значимости

корреляционного отношения по критерию Стьюдента показала адекватность модели (1) для всех элементов с вероятностью не ниже 0,95. Численные значения параметров этой модели представлены в табл. 1.

Следующий этап экспериментальных исследований направлен на проверку гипотезы о значимости влияния средней эксплуатационной скорости автомобиля на параметр потока отказов элементов системы питания. Проверка по критерию Фишера подтвердила эту гипотезу. Аппроксимация экспериментальных данных моделью (2) (рис. 6) показала ее адекватность с вероятностью не ниже 0,95 для всех рассматриваемых элементов системы питания. Численные значения параметров этой модели приведены в табл. 2.

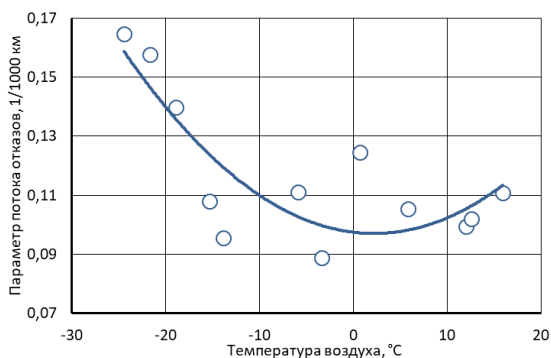


Рисунок 5 – Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов форсунок двигателей автомобилей Урал-4320

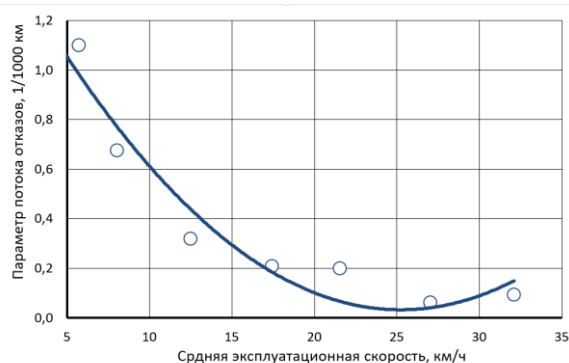


Рисунок 6 – Влияние средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов турбокомпрессора двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Таблица 1 – Численные значения параметров математической модели влияния температуры воздуха на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Элемент	Численные значения параметров модели			R ²
	a ₀ , 1/1000 км	a ₁ , 1/(1000 км·°C)	a ₂ , 1/(1000 км·(°C) ²)	
Турбокомпрессор	0,0886	-0,0028	0,0002	0,88
ТНВД	0,1599	-0,0049	0,0004	0,87
ТННД	0,0877	-0,0020	0,0002	0,91
Топливная форсунка	0,0221	-0,0015	0,0001	0,95
Распылитель форсунки	0,2314	-0,0029	0,0003	0,85
Топливный бак	0,0112	-0,0014	0,0001	0,88

Таблица 2 – Численные значения параметров математической модели влияния средней эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Элемент	Численные значения параметров модели			R ²
	b ₀ , 1/1000 км	b ₁ , ч/1000 км ²	b ₂ , ч ² /1000 км ³	
Турбокомпрессор	1,62	-0,126	0,0025	0,98
ТНВД	1,89	-0,133	0,0026	0,94

ТННД	1,19	-0,108	0,0027	0,97
Топливная форсунка	0,84	-0,125	0,0055	0,90
Распылитель форсунки	4,71	-0,362	0,0073	0,96
Топливный бак	3,17	-0,411	0,0140	0,89

В четвертом разделе изложена методика практического использования полученных результатов.

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.

Известны несколько методов определения и корректирования нормативов периодичности технического обслуживания автомобилей. Все они предполагают использование выборки статистических данных о наработке 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.

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 :

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

3. Определение периодичности технических воздействий $L_{ТО}$, соответствующей допустимой вероятности безотказной работы R_d (рис. 8):

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

С целью повышения надёжности системы питания скорректирована периодичность профилактических воздействий, обеспечивающих ее работоспособность. Кроме того, предложено дополнить перечень операций ТО операциями планово-предупредительного ремонта малой трудоемкости:

- замена распылителей форсунок – при каждом четвертом ТО-1;
- проверка крепления топливного бака и при необходимости протяжка резьбовых соединений – при каждом ТО-2;
- и другие (полный перечень приведен в диссертации).

При разработке методики, позволяющей 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.

В соответствии 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 (табл. 3);

K_{V_3} – корректирующий коэффициент, учитывающий среднюю эксплуатационную скорость автомобилей (табл. 4).

Таблица 3 – Значения корректирующего коэффициента, учитывающего сезонность требований на запасные части для системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

№ месяца	Значения корректирующего коэффициента $K_{СП}$ для элементов системы питания					
	Турбо- компрессор	ТНВД	ТННД	Топливная форсунка	Распылитель форсунки	Топливный бак
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
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

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.

Таблица 4 – Значения корректирующего коэффициента, учитывающего среднюю эксплуатационную скорость автомобилей при расчёте потребности в запасных частях и материалах для системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118

Интервал $V_{э}$, км/ч	Значения корректирующего коэффициента K_{V_3} 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

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 с 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 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 5 691 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.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

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.

Публикации в других изданиях:

3. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий эксплуатации на надёжность турбокомпрессора автомобилей УРАЛ-4320 / Н. С. Захаров, А. С. Гусельников // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции / ТИУ, Тюмень, 2022. – С. 182-184.

4. Захаров, Н. С. Влияние условий эксплуатации на надёжность распылителя автомобильных дизельных двигателей / Н. С. Захаров, А. С. Гусельников // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции, 15 апреля 2021 г. – Тюмень, 2021. – С. 87-88.

5. 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: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 7-9 декабря 2021 г. – Тюмень, 2022. – С. 141-143.

6. Захаров, Н. С. Влияние условий эксплуатации на надёжность турбокомпрессора автомобильных дизельных двигателей / Н. С. Захаров, А. С. Гусельников // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 02–04 декабря 2020 г. – Тюмень, 2020. – С. 269-270.

7. Гусельников, А. С. Исследование влияния сезонных условий на надёжность топливной аппаратуры автомобильных дизельных двигателей / А. С. Гусельников, Р. В. Тян // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции, 22 октября 2020 г. – Тюмень, 2020. – С. 134-135.

Подписано в печать 16.02.2024 г.
Формат 297x210 1/2. Бумага офсетная.
Уч.-изд. листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 04
Отпечатано: ИП Востриков Павел Владимирович
460052, г. Оренбург, ул. Плеханова, д. 13
Тел.: +7-903-395-33-60
www.poliart.ru; e-mail: poliart@gmail.com