МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



САРБЕЙ Александр Владимирович

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТОКА ОТКАЗОВ

2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
ЗАХАРОВ Николай Степанович

Тюмень 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ **4**
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА **11**
1.1 Анализ состояния автомобильного транспорта РФ 11
1.2 Система обеспечения работоспособности автомобилей 15
1.3 Закономерности изменения наработки автомобилей в цикле ТО 25
1.4 Закономерности изменения потока отказов автомобилей в цикле ТО 28
1.5 Анализ стандартов и методик управления качеством услуг 31
1.6 Анализ показателей оценки качества ТО 40
1.7 Выводы и задачи исследований 49
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ **51**
2.1 Общая методика исследований 51
2.2 Обоснование цели и целевой функции 54
2.3 Концепция формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов 58
2.4 Структура и идентификация изучаемой системы 60
2.5 Закономерности изменения вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО 66
2.6 Алгоритм модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО 73
2.7 Влияние интегрального показателя оценки качества ТО на коэффициент технической готовности автомобилей в циклах ТО 77
2.8 Выводы по разделу 2 82
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ **83**
3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований 83
3.2 Методика экспериментальных исследований 84
3.3 Методика формирования статистической информации по ТО автомобилей 85
3.4 Методика обработки статистической информации с целью выделения потока отказов автомобилей в циклах ТО 88

3.5 Модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО 89
3.5.1 Методика исследований 89
3.5.2 Результаты 92
3.5.3 Выводы 98
3.6 Разработка интегрального показателя оценки качества ТО автомобилей 99
3.7 Модель влияния показателя качества ТО на коэффициент технической готовности автомобилей в циклах ТО 103
3.8 Выводы по разделу 3 106
4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ 109
4.1 Методология использования результатов исследований 109
4.2 Программное обеспечение для моделирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО 114
4.3 Программное обеспечение для формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов 116
4.4 Принятие и реализация управленческих решений 117
4.5 Оценка экономической эффективности результатов исследований 137
4.6 Выводы по разделу 4 138
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ 139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 141
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ 162
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 165
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 170
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 171
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 176
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 177
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 182
ПРИЛОЖЕНИЕ 7 184

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Повышение надежности автомобилей и эффективное их использование являются ключевыми свойствами, которые определяют технико-экономические показатели автомобильного парка. Расходы на эксплуатацию и содержание автомобильного парка составляют значительную долю в бюджете организаций, а их оптимизация является важной задачей, направленной на повышение эффективности их использования.

В транспортной стратегии Российской Федерации (РФ) до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года одной из целей развития транспортного комплекса является увеличение объема и скорости доставки грузов. Поставленная цель должна реализовываться путем выполнения двух частных и шести базовых задач. К частным задачам относятся повышение скорости, надежности и полноты услуг по осуществлению грузовых перевозок. Базовые задачи основываются на снижении негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду, обеспечении транспортной безопасности, эффективном обслуживании внешней торговли РФ, а также обеспечении обороноспособности и мобилизационной подготовки транспортного комплекса и других задач.

Успешная реализация разработанной стратегии непосредственно зависит от организации современной и эффективной технологической базы, обеспечивающей реализацию мероприятий, направленных на повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) путем совершенствования и создания методов управления качеством технического обслуживания (ТО).

С увеличением интенсивности эксплуатации автотранспортных средств, усложнением их конструкции, а также ужесточением требований к безопасности и надёжности особое значение приобретает совершенствование системы обеспечения работоспособности, важным элементом которой является ТО. Как показывает анализ технической готовности автомобильных парков, ТО не всегда выполняется своевременно, в нужном объеме и с соблюдением технологии, что снижает его эффективность и приводит к увеличению потока отказов в межсервисном интервале.

Для устранения этих недостатков необходимо применять подходы по управлению качеством ТО.

Существующие методы в значительной степени ориентированы на стратегическое управление и включают разработку стандартов, нормативов, процедур сертификации. Оперативное управление основано на непрерывном мониторинге показателей, характеризующих текущее техническое состояние автомобилей, и анализе полученной информации. В отличие от стратегического управления, формирующего общие методики и стандарты, оперативное управление направлено на своевременное выявление причин возникновения отказов, определение и реализацию мероприятий для их предотвращения и оценку их эффективности. Поскольку целью ТО является поддержание автомобилей в работоспособном состоянии до наступления очередного обслуживания, то источником информации для оценки качества ТО можно использовать отказы, возникшие вследствие некачественного обслуживания.

Таким образом, существует проблема разработки методики оперативного управления качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов, позволяющей снизить затраты на ремонт и повысить техническую готовность автомобилей.

Степень разработанности темы. Разработка систем стратегического управления качеством ТО реализована в ряде исследований. В частности, в исследованиях Якунина Н. Н., Якуниной Н. В. и Архирейского А. А. разработана система, позволяющая осуществлять стратегическое управление качеством на основе критериев системы сертификации. В рамках данного подхода предложена многокритериальная оценка уровня качества ТО и ремонта автомобилей. Полученные результаты позволяют формировать рейтинг предприятий и определять направления повышения качества услуг.

Существующие методики преимущественно ориентированы на стратегическое управление и предусматривают применение регламентов ТО в течение длительного периода без их корректирования с учетом фактических условий использования автомобильного парка. При этом применяемые методы не в полной мере

отражают стохастический характер потока отказов после проведения ТО, что ограничивает возможности оперативного управления качеством. В результате контроль технического состояния автомобилей в циклах ТО, особенно при эксплуатации в отрыве от производственных баз и обслуживании выездными бригадами, оказывается малоэффективным мероприятием, поскольку создает дополнительную нагрузку на техническую службу, что проявляется в увеличении количества обращений в зону текущего ремонта (ТР), росте числа внеплановых ремонтов и необходимости дополнительных диагностических мероприятий.

К примеру, предварительный анализ технической готовности автомобильных парков некоторых структурных подразделений ПАО «Сургутнефтегаз», в автотранспортных предприятиях которых (АТП) внедрены методики стратегического управления качеством ТО, показал несоответствие фактических значений коэффициента технической готовности (КТГ) плановым. Данное отклонение обусловлено совокупностью факторов, в том числе несоответствием регламентов ТО, установленных заводами-изготовителями автомобилей, фактическим условиям и специфике их эксплуатации, что свидетельствует о низкой эффективности системы обеспечения работоспособности автомобилей.

Таким образом, проблема разработки методики оперативного управления качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов остается недостаточно исследованной и требует дальнейшего научного обоснования и практической реализации.

Объект исследований – процесс формирования реализуемого качества ТО автомобилей.

Предмет исследований – закономерности формирования реализуемого качества ТО автомобилей.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов.

Задачи исследований.

1. Разработать модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

2. Установить закономерности и разработать модели формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

3. Разработать интегральный показатель оценки качества ТО на основе закономерностей изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в циклах ТО.

4. Разработать модель влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

5. Разработать методику практического применения результатов исследований и оценить ее эффективность.

Область исследований соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта:

– п. 12 «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации»;

– п. 15 «Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта; методы диагностирования технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов».

Научная новизна.

1. Разработана модель формирования вероятности отказов автомобилей в циклах ТО со стохастичной наработкой, учитывающая количество завершенных циклов ТО и автомобилей, прошедших обслуживание.

2. Установлены закономерности и разработаны модели формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО, позволяющие оценивать техническое

состояние автомобильного парка в первой половине цикла ТО и во второй половине перед последующим ТО.

3. Разработан интегральный показатель оценки качества ТО на основе закономерностей изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в циклах ТО, физический смысл которого аналогичен плотности вероятности отказов.

4. Разработана модель, позволяющая интерпретировать численные значения интегрального показателя оценки качества ТО через КТГ автомобилей в циклах ТО.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в установлении закономерностей и разработке модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО. Практическая значимость заключается в разработке методики оперативного управления качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов, применение которой позволяет по входящему потоку данных количественно оценивать реализуемое качество ТО с последующим принятием и реализацией управленческих решений, а также оценкой их эффективности. Применение методики обеспечивает снижение производственных потерь, обусловленных сокращением времени пребывания автомобилей в зоне ТР посредством оперативного управления качеством ТО.

Методология и методы исследований. Теоретический и экспериментальный этапы исследований выполнены на основе системного подхода. При решении поставленных задач применялись логический метод, анализ и синтез, а также аксиоматический и гипотетический методы. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием методов математической статистики, включая корреляционно-регрессионный анализ. Экспериментальная часть работы базировалась на результатах активного имитационного и пассивного натурного экспериментов.

Положения, выносимые на защиту.

1. Модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

2. Закономерности и модели формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

3. Интегральный показатель оценки качества ТО, основанный на закономерностях изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в циклах ТО.

4. Модель влияния интегрального показателя оценки качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

5. Методика практического применения результатов исследований с оценкой ее эффективности.

Степень достоверности результатов исследований. Научные положения и выводы, представленные в диссертационной работе, сформированы на основе результатов теоретических исследований и подтверждены экспериментальными данными. Достоверность результатов обеспечивается применением известных парадигм и апробированных методов исследований, использованием корректных математических подходов и сопоставлением результатов моделирования с экспериментальными данными.

Апробация результатов. Международные научно-практические конференции: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2021, 2022, 2023, 2025), «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, 2021, 2023), «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации» (Омск, 2021), «Железнодорожный транспорт и технологии» (Екатеринбург, 2022), «Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК» (Сургут, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026), «Инновационные процессы в науке, технике и экономике» (Нижневартовск, 2022), «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» (Нижневартовск, 2023), «Инновации. Интеллект. Культура» (Тобольск, 2023), «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2025, 2026).

Всероссийские, национальные и внутривузовские научно-практические конференции: «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2021, 2022, 2023, 2025), «Автомобилестроение: проектирование, конструирование,

расчет и технологии ремонта и производства» (Ижевск, 2022), «Инновационные технологии в ТЭК. Актуальные научные вопросы» (Сургут, 2022), «Передовые технологии нефтегазовой отрасли» (Сургут, 2023, 2024, 2025). X форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства» (Минск, 2021).

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, четыре тематических раздела, основные результаты и выводы, список использованных источников и приложения. Объем рукописи составляет 185 страницы. Работа содержит 62 рисунка, 23 таблицы и 7 приложений. Библиографический список включает 168 наименований.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Анализ состояния автомобильного транспорта РФ

Автомобильный транспорт является одним из наиболее востребованных элементов транспортной системы РФ. Он играет существенную роль в экономике и инфраструктуре страны, обеспечивая высокую мобильность населения и являясь одним из основных способ перевозки грузов и пассажиров [127].

По данным Федеральной службы государственной статистики [119], в 2025 году доля автобусных перевозок в общем объеме перевозок пассажиров транспортом общего пользования составила 58,6 %. На протяжении последних 25 лет данный показатель сохранялся на уровне выше 50 %.

В сфере грузовых перевозок автомобильный транспорт также занимает ведущую роль. В 2025 году его доля в структуре перевозок грузов по видам транспорта составила 73,7 %. Наибольший объем перевозок отмечен в сентябре – 675 млн тонн, наименьший – в январе (459,1 млн тонн). Анализ распределения объемов перевозок по субъектам РФ за 2025 год показал, что в Тюменской области данный показатель составил 121,6 млн тонн. При этом основная часть объема приходится на Ханты-Мансийский автономный округ – Югру, где объем перевозок составил 78,9 млн тонн.

По данным аналитического агентства «Автостат Инфо» на начало 2026 года парк грузовых автомобилей составил около 2,64 млн единиц, что на 2 % больше значения, зарегистрированного в предыдущем периоде [113]. К тому же на конец 2025 года парк легковых автомобилей составил 47,5 млн единиц, увеличившись на 2,89 % по сравнению с предыдущим периодом [93]. Рост количества эксплуатируемых автотранспортных средств приводит к увеличению интенсивности их использования и повышению требований к обеспечению транспортной безопасности.

По мнению Кузнецова Е. С., среди показателей эффективности автомобильного транспорта важное место занимает безопасность транспортного процесса, доля влияния которой на экологическую и дорожную составляющие оценивается в

24-34 %. К частным показателям эффективности ТЭА относится наработка на дорожно-транспортное происшествие (ДТП), влияющая на безопасность движения и окружающую среду. Наибольшая доля отказов элементов автомобилей приходится на тормозную систему, рулевое управление, а также систему освещения и сигнализации [117].

Анализ статистики [119] показал, что на сегодняшний день наблюдается тенденция к снижению ДТП на автомобильном транспорте. Если в 2007 году численность раненых в год в РФ составляло около 292 человека, то в настоящее время этот показатель снизился почти в 2 раза. Данные представлены на рисунке 1.1.

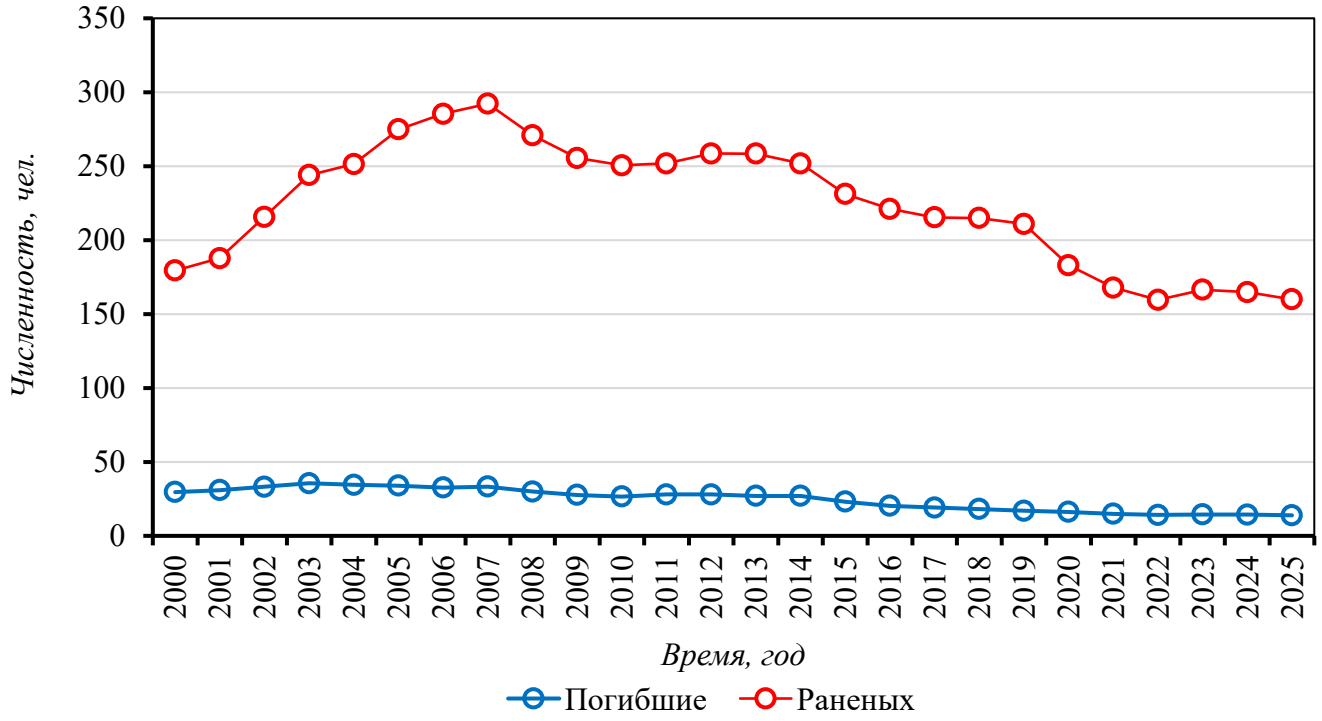


Рисунок 1.1. Численность погибших и раненых в происшествиях с автомобильными транспортными средствами по РФ

В Тюменской области, как и в РФ в целом, наблюдается похожая тенденция. В период с 2003 по 2007 год число лиц, получивших ранения в ДТП, составляло около 300 человек на 100 тыс. населения, тогда как к 2021 году данный показатель снизился примерно в 2 раза. Данные представлены на рисунке 1.2. Данные представлены на рисунке 1.2.

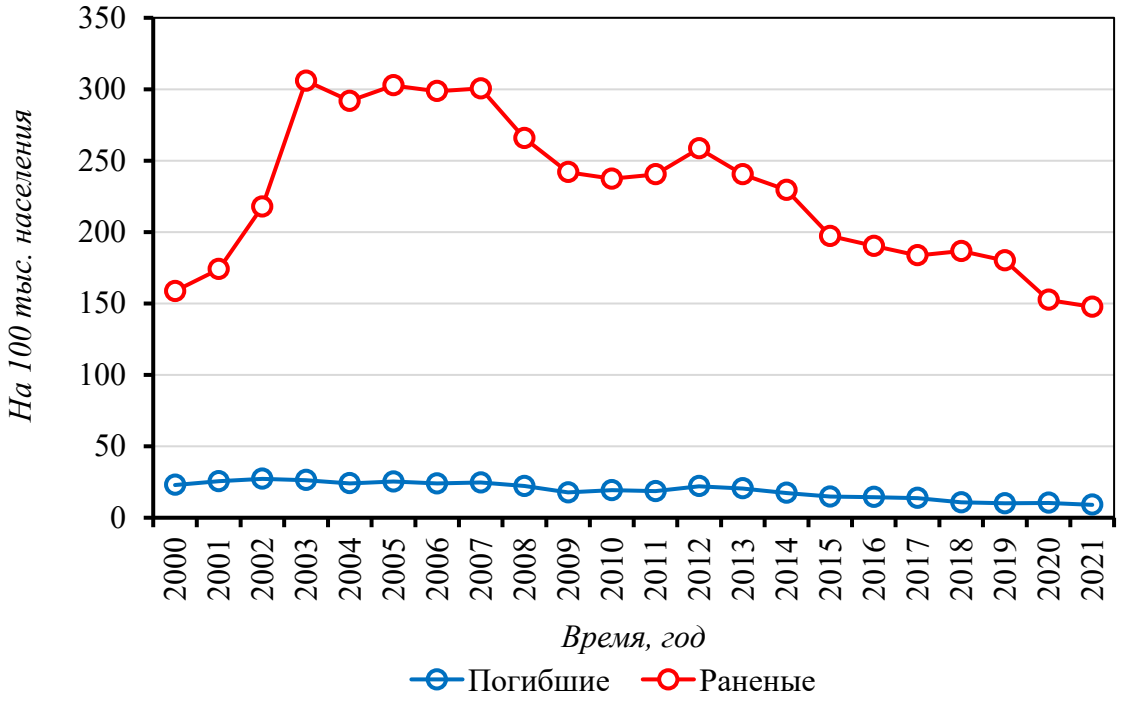


Рисунок 1.2. Число погибших и раненых в ДТП
на 100 тыс. населения в Тюменской области

В Московской декларации [86] поставлена цель стабилизации с последующим сокращением прогнозируемого уровня смертности в результате ДТП на период с 2011 по 2020 год. Отмечается, что в ДТП ежегодно погибают более 1,2 млн человек, а 50 млн получают травмы разной степени тяжести. Эксплуатация автомобилей, техническое состояние которых не удовлетворяет нормативным требованиям, является одной из основных причин возникновения ДТП.

Кондратьев В. Д. [61] при разработке структурно-функциональной модели повышения безопасности дорожного движения отмечает, что готовность автомобиля к эксплуатации во многом определяется качеством организации мероприятий по ТО.

По данным ЕЭК ООН [109], в большинстве стран, но в разной степени, зафиксировано снижение числа погибших в период объявления «Десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения». Результаты представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Количество погибших в результате ДТП по странам

Страна	Изменение числа погибших в результате ДТП по годам на 1 миллион жителей									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
РФ	196	195	188	187	158	138	130	124	116	110
Казахстан	148	180	178	149	138	133	115	114	129	106
Азербайджан	111	126	124	118	93	78	76	73	82	70
Словакия	60	65	46	54	57	51	51	48	50	45
Германия	5	45	41	42	39	39	39	40	37	-
Израиль	49	37	38	39	43	44	42	36	39	33
Испания	44	40	35	36	36	39	39	39	37	-
Италия	64	62	56	56	57	55	56	56	53	-
Литва	98	101	87	91	83	67	68	62	67	-
Польша	109	93	87	83	76	79	74	75	76	-
Сербия	101	96	91	75	84	86	83	79	77	71
США	104	107	104	103	111	117	116	113	110	-
Финляндия	54	47	47	42	49	47	43	43	38	-
Франция	61	56	50	51	52	52	51	48	48	-
Хорватия	98	92	87	73	83	74	80	78	73	-

Возрастная структура автомобильного парка в РФ характеризуется значительной долей транспортных средств с длительным сроком эксплуатации. По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», средний возраст легковых автомобилей по состоянию на середину 2026 года составляет 15,4 года [112]. При этом 69 % общего парка легковых автомобилей имеют возраст более 10 лет [97].

Аналогичная ситуация наблюдается и в сегменте грузовых автомобилей: на транспортные средства, выпущенные до 2016 года, приходится более 1,76 млн единиц, что составляет около двух третей грузового парка [113].

Известно, что увеличение возраста и наработки автомобилей сопровождается изменением их технического состояния [41, 18, 39, 164] вследствие накопления износа и повреждений элементов и систем. Рост количества отказов, обусловленный данными процессами, приводит к снижению технической готовности автомобилей.

В этих условиях особую актуальность приобретает совершенствование методов обеспечения работоспособности автомобилей. С учетом влияния технического состояния автотранспортных средств на безопасность и эффективность перевозочного процесса актуальным направлением исследований является повышение

эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов.

1.2 Система обеспечения работоспособности автомобилей

Стремительное развитие автомобильного транспорта во многом связано с его высокой мобильностью и способностью обеспечить эффективную перевозку пассажиров и грузов. Эксплуатационные свойства автотранспортных средств определяются их техническим состоянием, которое зависит от мероприятий по обеспечению работоспособности, условий эксплуатации и уровня надежности, заложенного при проектировании.

Техническое состояние – это совокупность свойств объекта, характеризующихся установленными в документации параметрами и качественными признаками, которые изменяются в процессе производства, эксплуатации, транспортировки и хранении и определяют способность объекта выполнять требуемые функции в заданных условиях [26].

В процессе эксплуатации изменение технического состояния многих узлов и деталей автомобиля имеет плавный, монотонный характер [117, 87]. Для своевременного выявления этих изменений и оценки состояния элементов автомобиля применяются следующие методы диагностического контроля: прямой и косвенный.

В прямом методе техническое состояние оценивается по фактическому значению конструктивного параметра, который в большинстве случаев связывается с наработкой (пробегом, моточасами). К таким параметрам относятся геометрические размеры деталей, величина зазоров, степень износа поверхностей и другие характеристики, непосредственно отражающие состояние узлов и агрегатов. Прямой метод позволяет достаточно точно определить фактическое состояние элемента, однако измерение конструктивных параметров зачастую требует применения специальных измерительных средств и частичной разборки агрегатов. В связи с этим на практике широко применяется косвенных метод оценки технического

состояния. В данном методе используются диагностические параметры, связанные с конструктивными и содержащие информацию о состоянии объекта. К таким параметрам относятся, например, вибрация, температура, давление, шум и другие эксплуатационные показатели. Основным преимуществом косвенного метода является возможность проведения диагностики без разборки агрегатов, что обеспечивает оперативность контроля и позволяет оценить техническое состояние объектов непосредственно в процессе эксплуатации [117]. Методы оценки технического состояния шин представлены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3. Методы определения технического состояния шин

В соответствии с ГОСТ [26] техническое состояние подразделяется на 5 видов, которые представлены на рисунке 1.4.

Работоспособность конструктивных элементов автомобиля определяется его техническим состоянием. Если значения параметров изделия соответствуют требованиям нормативно-технической документации и характеризуют способность

выполнять требуемые функции, то техническое состояние объекта является работоспособным. Объект является неработоспособным в том случае, когда требуемые функции не выполняются по причине хотя бы одного значения параметра, не соответствующего требованиям документации (например, отказ шатунно-поршневой группы, разряд аккумуляторной батареи и другие).

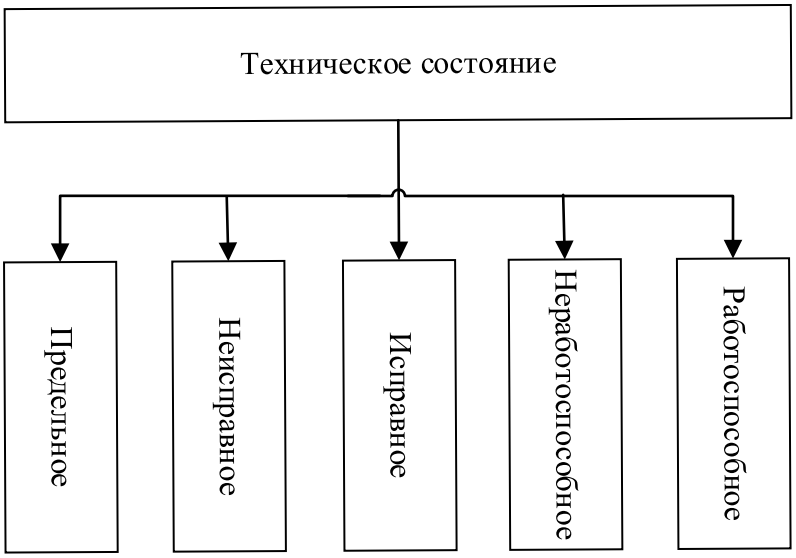


Рисунок 1.4. Виды технического состояния

В случае, когда объект выполняет требуемые функции, но некоторые конструктивные параметры не соответствуют нормативно-технической документации, техническое состояние объекта будет неисправным, но работоспособным (например, отказ лампы наружного освещения, низкое напряжение бортовой сети и другие).

Предельное техническое состояние – это состояние, при котором не допустима или невозможна дальнейшая эксплуатация. Конструктивные показатели технически неисправного, но работоспособного автомобиля стремятся к предельным значениям (в зависимости от неисправности), приближая момент отказа (наработка на отказ объекта снижается). Своевременное устранение неисправности в момент приближения значений параметра к предельным является важным условием обеспечения работоспособности.

Готовность автомобилей к эксплуатации осуществляется посредством применения стратегий обеспечения работоспособности. Под стратегией понимается совокупность принципов планирования, организации и управления техническими воздействиями, направленных на поддержание или восстановление технического состояния автомобилей. В зависимости направленности технических воздействий выделяют следующие стратегии, которые представлены на рисунке 1.5.

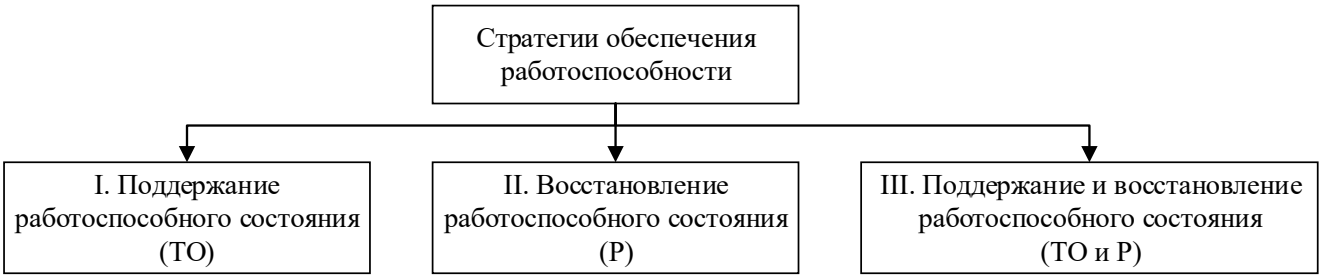


Рисунок 1.5. Стратегии обеспечения работоспособности

Стратегия № 1 реализуется проведением ТО. Стратегия № 2 реализуется ремонтом, направленным на восстановление утраченной работоспособности объекта. Стратегия № 3 – сочетание стратегий № 1 и № 2 [117, 15, 77]. Факторы, влияющие на систему ТО и ремонта представлены на рисунке 1.6 [117].

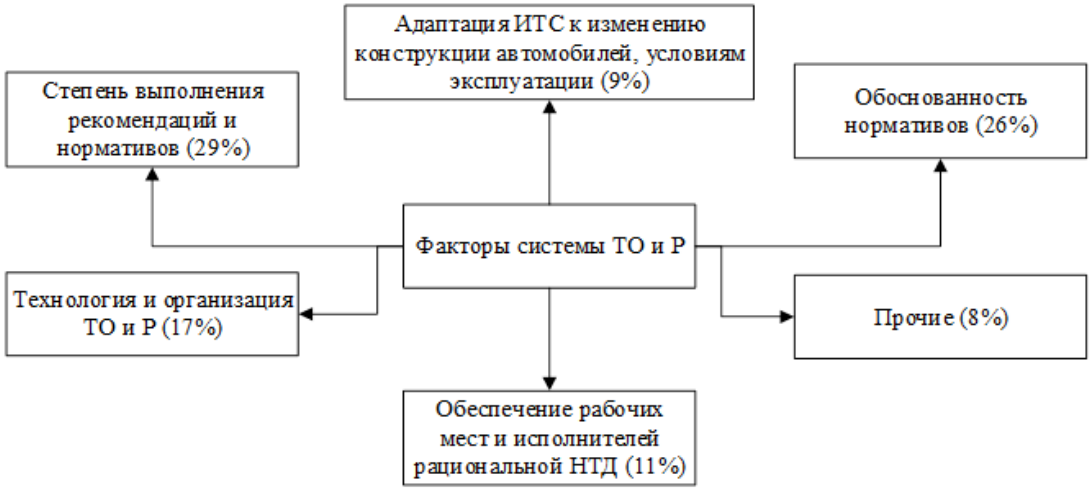


Рисунок 1.6. Факторы, влияющие на систему ТО и ремонта [117]

Известно, что качественно проведенное ТО влияет на техническое состояние и, соответственно, на эксплуатационные свойства автомобиля (тягово-скоростные и тормозные свойства, топливная экономичность, экологичность, плавность хода и другие) [17, 77].

В нормативно-технической документации существует несколько определений термина «техническое обслуживание».

В ГОСТ 18322-2016 приведен обобщенный вариант определения. В соответствии с ним ТО – это комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при использовании по назначению, хранению, ожидании и транспортировании [26]. Определение данного термина в ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» является дополнением данного термина и в нем указано, что организационные мероприятия и технические действия направлены не только на поддержание работоспособности объекта, но и на снижение вероятности отказов при использовании по назначению, хранению и транспортированию [27].

ГОСТ 27.002-2015 в настоящее время утратил действие и заменен ГОСТ Р 27.101-2021, содержащим аналогичное определение ТО [28].

Определение ТО в работе Федорова А. Г. дополняет ГОСТ 27.002-2015 тем, что ТО должно обеспечивать заданный уровень надежности и безотказную работу объекта и его элементов в пределах установленной периодичности [126].

В работах [133, 1, 2] указано, что ТО является комплексом технологических мероприятий, целью которых является предупреждение отказов, поддержание работоспособности автомобилей, обеспечение безопасной и экономичной их эксплуатации.

В вопросах эксплуатации автомобильного подвижных составов Байков А. В. и Выгодский С. Д. отмечают, что своевременное и качественное обслуживание значительно увеличивает межремонтный пробег, снижая затраты на эксплуатацию и себестоимость перевозок [9].

Наблюдение Карташова В. П. и Мальцева В. М. в работе [54] аналогично утверждению из источника [9] и заключается оно в том, что в между очередными

ТО происходит заметное уменьшение ремонтных листов в том случае, когда плановому ТО уделяется повышенное внимание.

Определение термина в стандарте по ТО и ремонту автотракторной, дорожно-строительной и специальной нефтепромысловой техники ПАО «Сургутнефтегаз» [120] отличается от других. В данном стандарте указано, что ТО – это не только комплекс мероприятий по поддержанию техники в работоспособном состоянии и надлежащем внешнем виде, но и мероприятия по обеспечению надежности и экономичности работы, защите окружающей среды, безопасности движения, уменьшению интенсивности ухудшения параметров технического состояния, предупреждению и выявлению отказов и неисправностей с целью их своевременного устранения. В стандарте также отмечается, что техника направляется на плановое ТО только в технически исправном состоянии.

В научных работах определение ТО железнодорожного подвижного состава во многом аналогично определению ТО автомобилей, но существуют и отличия.

Смирнов В. А. отмечает [111], что поддержание железнодорожного подвижного состава в технически исправном и санитарно-гигиеническом состоянии, обеспечение заданного уровня комфорта, безаварийной работы и пожарной безопасности при организации пассажирских перевозок осуществляется проведением периодических технических воздействий (ТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3). Остальные виды ТО (ТО-4, ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в, ТО-5г) планируются по необходимости.

В диссертации [21] Веселовой А. С. указано, что ТО систем железнодорожной автоматики и телематики носит сугубо профилактический характер. Результатом ТО является обеспечение безотказной работы средств. Результат достигается поддержанием работоспособности технической системы путем предотвращения отказов, которые приводят к полному прекращению эксплуатации. Автор отмечает, что ТО – это основной производственный процесс технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телематики.

ТО автомобилей по назначению, периодичности и трудоемкости подразделяется на ежедневное ТО (ЕО), сезонное ТО (СО), первое (ТО-1), второе (ТО-2) и периодическое ТО (ТО-10 000, ТО-20 000 и так далее) [104, 105].

ЕО выполняется в межсменное время: непосредственно перед выездом автомобиля на линию и после [22]. Назначение ЕО заключается в комплексном контроле технического состояния, включающего меры по обеспечению безопасности движения, поддержания автомобиля в надлежащем внешнем и внутреннем виде (санитарная обработка), а также контроле требуемого уровня технических жидкостей [118, 23, 124, 56].

ТО-1 проводится в межсменное время в соответствии с установленным интервалом периодичности. Перечень работ ТО-1 включает крепежно-диагностические, регулировочные, заправочные, электротехнические и смазочные работы. Безопасность движения автомобиля обеспечивается комплексом диагностических работ (Д-1), входящих в ТО-1, путем проверки тормозной системы, рулевого управления, двигателя, освещения и других. Цель ТО-1 – обеспечение безотказной работы автомобиля до следующего планового обслуживания [83].

При ТО-2 проводится тот же перечень работ, что и в ТО-1, а также диагностирование Д-2, в результате которого обеспечиваются тягово-экономические свойства автомобиля. Диагностирование Д-2 проводится перед проведением ТО-2. Цель Д-2 – обеспечение поста ТО-2 информацией по объему работ. Если в результате проведения Д-2 выявлены отказы и неисправности, то автомобиль направляется в зону ТР [88, 23].

СО проводится с целью подготовки автомобиля к осенне-зимнему и весенне-летнему периоду (2 раза в год). Проводится совместно с основным видом обслуживания. В холодном климатическом районе рекомендуется проводить отдельно [104, 118].

Эффективность видов ТО оценивается по критериям, которые представлены на рисунке 1.7 [50, 78, 77].

При проведении ТО автомобилей применяются следующие тактики: по наработке и по техническому состоянию. Цель применения тактик – доведение значений параметров автомобиля до нормативных [77, 117].

ТО по наработке автомобиля и его элементов проводится в соответствии с установленными нормативами по времени или пробегу, а также с перечнем работ,

указанным в сервисной книжке [106]. Например, ТО автомобилей УАЗ Профи проводится с периодичностью 15 000 км либо раз в год.

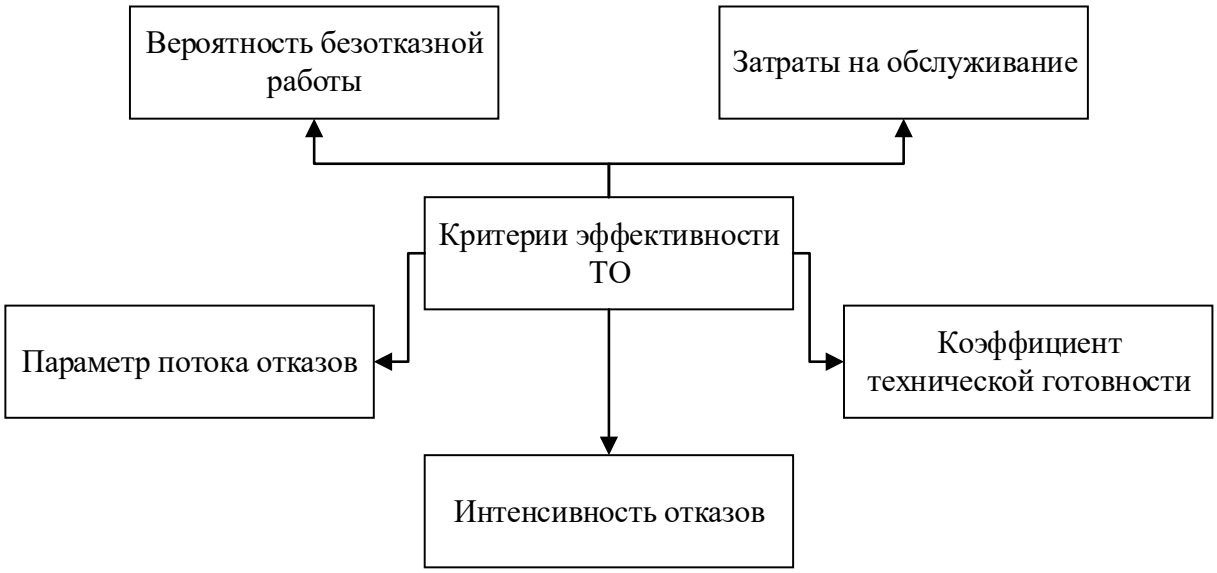


Рисунок 1.7. Критерии эффективности ТО

ТО по наработке отмечается простотой применения. Основным преимуществом данного метода является достижение заданной вероятности безотказной работы путем выполнения всего перечня работ ТО. Но так как замена запасных частей и эксплуатационных материалов происходит до наступления предельного состояния, возможно увеличение дополнительных затрат на ТО.

При проведении ТО по техническому состоянию обеспечивается более полное использование ресурса деталей. Макарова А. Н. отмечает: «При каждом ТО проверяется техническое состояние всех изделий. Изделия, способные по своему ТС проработать без отказа до следующего ТО, не обслуживаются. Если же ПТС изделия близки к предельным, то обслуживание выполняется» [77]. Применение этой тактики снижает потребление запасных частей, что, в свою очередь, значительно сокращает затраты на ТО. Однако увеличение трудоемкости ТО, связанной с диагностикой каждого элемента автомобиля, способствует задействованию больших ресурсов, что увеличивает затраты на проведение ТО.

В исследованиях зарубежных ученых предлагается проводить ТО по техническому состоянию с использованием различных техническим систем.

Например, Кайзер К. А. и Гебраил Н. З в исследовании [152] предлагают предиктивное управление ТО с использованием моделей изменения технического состояния на основе информации, передаваемой датчиками (sensory-updated degradation-based predictive maintenance, SUDM). Концепция SUDM заключается в анализе данных ТС объекта, которые получают в процессе эксплуатации в режиме реального времени. Полученные данные сравниваются с предельно допустимыми значениями параметров показателей технического состояния в результате определяя остаточный ресурс объекта.

Имитационная модель SUDM представлена на рисунке 1.8.

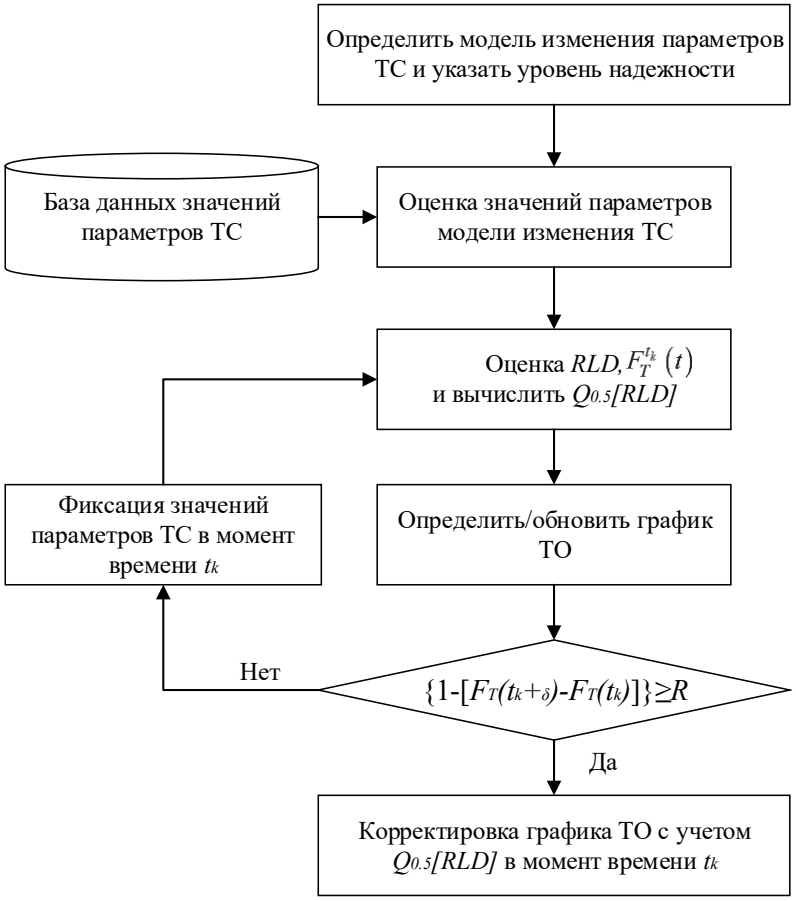


Рисунок 1.8. Имитационная модель SUDM (изменено из [152])

На первом этапе определяется вид модели изменения параметров технического состояния объекта (линейный, экспоненциальный и другие), который подвергается мониторингу. Далее на основании сформированной базы данных выполняется оценка модели изменения значений параметров. В результате проверки

адекватности моделей объекта необходимо оценить функцию распределения вероятности отказа $F_T^{(t)}(t)$, распределение остаточного ресурса *RLD.* Гебраил и другие отмечают [143], что невозможно вычислить среднее значение *RLD*. Поэтому предложено использовать медиану в качестве оценки прогнозируемого остаточного срока службы $Q_{0.5}$ *[RLD]*, где $Q_{0.5}$ – 50-й процентиль распределения.

Таким образом, предварительный цикл ТО определяется на основе прогнозируемого остаточного срока службы, $Q_{0.5}$*[RLD]*.

Затем происходит обновление цикла ТО.

Алгоритм продолжается до тех пор, пока не будет выполнено представленное ниже:

$$\min_{0<t_k<\infty} \left\{1-\left[F_T(t_{k+\delta})-F_T(t_k)\right]\right\} \geq R, \qquad (1.1)$$

где R – заданный уровень надежности;

$F_T^{(t)}(t)$ – функция распределения в момент времени t_k;

t_k – момент времени наблюдения последнего сигнала ТС объекта;

δ – приращение времени.

При заданном уровне надежности R непрерывно обновляется информация по остаточному ресурсу объекта до момента времени t_k, когда текущая надежность объекта превысит заданную. В момент, когда условие выполнено соответствующий остаточный ресурс используется для планирования ТО наблюдаемого объекта.

Таким образом, поддержание работоспособности автомобилей в эксплуатации во многом определяется эффективностью проведения ТО. Однако существующие подходы к управлению качеством обслуживания имеют ограничения, связанные с недостаточным учетом вероятностного характера потока отказов и изменения технического состояния автомобилей в циклах ТО, что обусловливает необходимость совершенствования методов управления качеством ТО.

1.3 Закономерности изменения наработки автомобилей в цикле ТО

Интервал времени или наработка между двумя последующими видами ТО является периодичностью ТО.

В научной литературе авторы указывают, что фактическая периодичность ТО в большинстве случаев не соответствует нормативному значению [133, 77, 65, 107] и ее распределение подчиняется нормальному закону [59].

При планировании ТО по пробегу наработка автомобиля каждую смену контролируется производственно-техническим отделом, и за несколько дней до приближения наработки к нормативному значению предусматривается постановка автомобиля в зону ТО.

В ПАО «Сургутнефтегаз» постановка автомобилей в зону ТО планируется по пробегу. Анализ наработок в циклах ТО автомобилей УАЗ Патриот, представленный на рисунке 1.9, показал, что плотность фактической периодичности ТО близка к нормальной при коэффициенте вариации 0,22. Для автомобилей КАМАЗ-53228, Урал-4320 и УАЗ-3909 коэффициент вариации фактической периодичности ТО изменяется от 0,17 до 0,23.

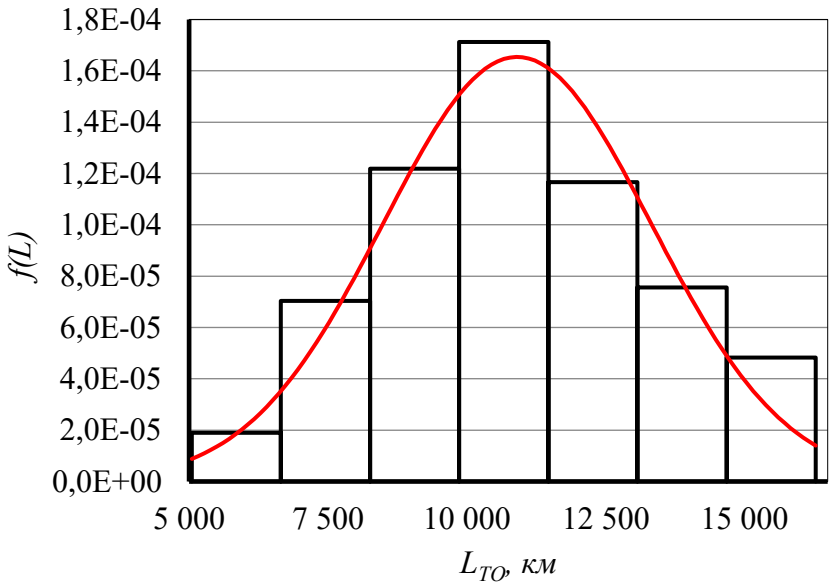


Рисунок 1.9. Плотность распределения фактической периодичности ТО автомобилей УАЗ Патриот

При календарном планировании день проведения ТО определяется ориентировочно исходя из достижения автомобилем нормативной наработки. Недостатком этого метода является невозможность учесть случайные простои автомобиля в зоне ТР и вариацию суточных пробегов, отмечают Колесник П. А. и Шейнин В. А., что приводит к существенным отклонениям фактической периодичности ТО от нормативной [59].

По данным Кузнецова Е. С. коэффициент вариации фактической периодичности ТО-1 при календарном способе планирования равен 0,51, а при планировании по пробегу 0,08. Отклонение от нормативной периодичности наблюдается при планировании по пробегу, но довольно в узком диапазоне. При изменении фактической периодичности на ±12,5 % число отклонений по пробегу составляет 89, а при календарном 24. В широком диапазоне (от ±12,5 % и более) число отклонений при календарном планировании больше (76), чем по пробегу (11) [65].

Кузнецов Е. С. отмечает, что изменение наработки между последующими ТО имеет стохастический характер [65]. Наработка в цикле ТО – это сумма суточных пробегов автомобиля, значения которых являются случайными величинами. Вариация суточных пробегов влияет на интенсивность эксплуатации и, следовательно, проведение ТО в точном соответствии с нормативной периодичностью становится затруднительным. Автор в работе [64] приводит распределение суточных пробегов автомобилей, которые подчиняются нормальному закону с коэффициентом вариации 0,2 … 0,5.

В качестве примера на рисунках 1.10 и 1.11 представлены плотности распределений суточных пробегов автомобилей КАМАЗ-43118 и КАМАЗ-43114 структурного подразделения ПАО «Сургутнефтегаз» ЦБПО ПРНСиНО, которые подчиняются распределению, близкому к нормальному закону, с коэффициентами вариации 0,34 и 0,26.

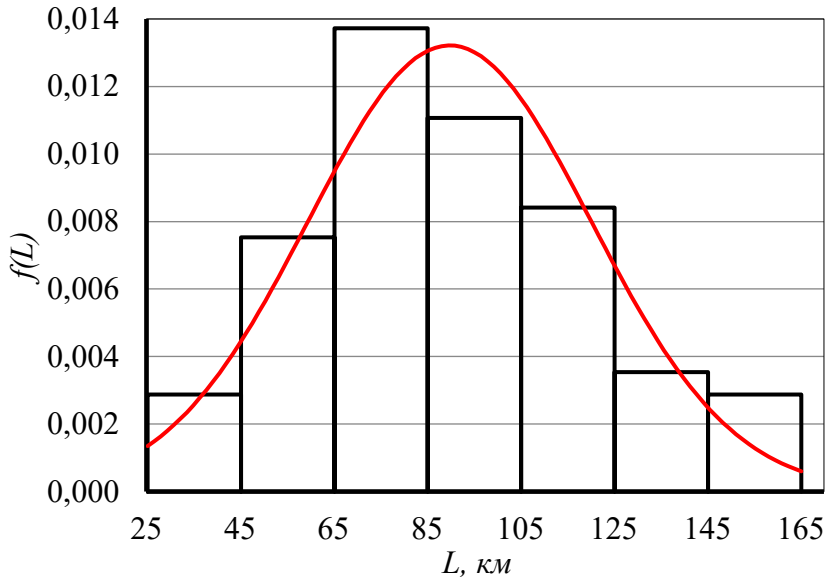


Рисунок 1.10. Плотность распределения суточных пробегов автомобилей КАМАЗ-43118

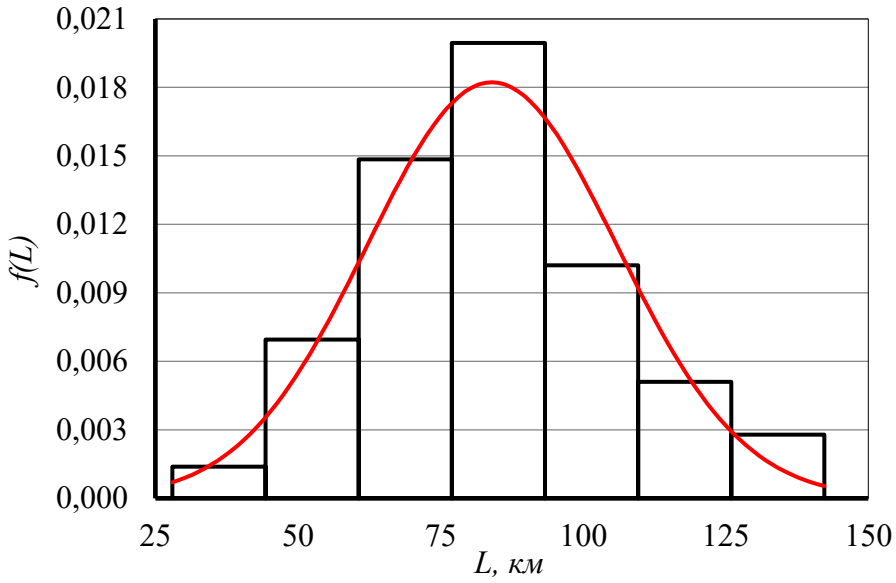


Рисунок 1.11. Плотность распределения суточных пробегов автомобилей КАМАЗ-43114

Одним из факторов отклонения фактической периодичности ТО от норматива является невозможность своевременного вывода автомобилей из эксплуатации для выполнения ТО [94, 11]. Во многом это связано со спецификой производственных процессов. При выполнении важных и трудоемких технологических операций проведение планового ТО в момент достижения нормативной наработки

становится невозможным до завершения выполняемых работ. Сиротов А. В. и соавторы указывают, что в условиях удаленности от стационарных мастерских проведение ТО связано с необходимостью несвоевременного отрыва техники от выполняемых работ, что приводит к приостановке технологического процесса [107].

В результате проведенного анализа подтверждены ранее установленные закономерности.

1. Распределение фактической наработки цикла ТО подчиняется закону, близкому к нормальному. В приведенных примерах значения коэффициента вариации находятся в пределах от 0,17 до 0,23.

2. Фактическая наработка цикла ТО на практике не соответствует нормативному значению вследствие вариации суточных пробегов автомобилей. В приведенных примерах значения коэффициента вариации составляют 0,34 и 0,26.

1.4 Закономерности изменения потока отказов автомобилей в цикле ТО

При анализе закономерностей изменения наработок в циклах ТО установлено, что фактическая периодичность меняется в широком диапазоне и не соответствует нормативной вследствие влияния различных факторов. При варьировании наработки между последующими ТО изменяется плотность возникновения отказов в циклах ТО. В результате этого изменяются вероятность отказа и КТГ. Выявленные предположения согласуются с результатами исследований Макаровой А. Н., в работе которой установлена закономерность влияния периодичности ТО на вероятность безотказной работы [77]. Результаты имитационного эксперимента свидетельствуют о том, что математическая модель изменения вероятности отказа по наработке аппроксимируется экспоненциальной функцией.

КТГ, как комплексный показатель надежности, оценивает эффективность подсистемы технической эксплуатации. На АТП КТГ используется для количественной оценки технического состояния автомобилей и определения доли календарного времени, в течение которого автомобильный парк находится в исправном

работоспособном состоянии [104, 27, 26]. КТГ определяется по следующей формуле:

$$\alpha_t = \frac{Д_р}{Д_Р + Д_{ТОиР}}, \qquad (1.2)$$

где $Д_Р$ – количество дней в работоспособном состоянии;

$Д_{ТОиР}$ – количество дней простоя в зоне ТО и Р.

Известно, что наработка с начала эксплуатации влияет на КТГ автомобильного парка. Так, Теньковская С. А. установила виды моделей закономерностей влияния наработки на КТГ, которые аппроксимируются линейной и экспоненциальной функциями [115]. Следует отметить, что зависимость между КТГ и наработкой имеет обратный характер: с увеличением наработки возрастает вероятность отказов, что обусловливает увеличение времени пребывания автомобилей в зоне ТР и, как следствие, снижению КТГ.

Отказ в технике – это событие, которое заключается в полном или частичном нарушении работоспособного состояния. Виды отказов классифицируются по характеру, причинам, последствиям, а также по функциям, выполнение которых невозможно. Более точное определение понятия «отказ автомобиля» привел Кузнецов Е. С. в четвертом издании учебника по ТЭА: «…такое изменение его технического состояния, которое приводит к невозможности начать транспортный процесс или к прекращению уже начатого транспортного процесса» [117].

Следовательно, последовательность отказов, возникающих одним за другим в определенные моменты времени, называется потоком отказов [99]. Поскольку отказ – это событие, то в теории вероятностей существует определение потока событий, по смыслу аналогичное потоку отказов: «…последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то моменты времени» [19].

Поток отказов характеризуется закономерностями процесса восстановления, которые являются частным случаем закономерностей ТЭА третьего вида по

классификации Кузнецова Е. С. [66]. Третий вид закономерностей позволяет оценить надежность и работоспособность автомобилей, прогнозируя на этой основе целевые показатели и нормативы. Частный случай отражает процесс возникновения и устранения отказов и неисправностей автомобилей во времени. Следует отметить аксиомы этих закономерностей [42, 117]:

– наработки до отказа для каждого автомобиля случайны и их распределение описывается соответствующей функцией;

– наработки до отказа группы автомобилей независимы между собой;

– не имеет значения, какой автомобиль отказал и какой отказ по счету.

Автомобиль является сложной технической системой, состоящей из множества взаимосвязанных элементов, отказ которых может приводить к отказу других элементов или даже к отказу всего автомобиля. Следовательно, можно утверждать, что возникновение отказов в процессе эксплуатации носит случайный характер. Кроме того, моменты возникновения отказов подчиняются случайным процессам, вследствие чего наработка между ними изменяется [44].

Зная закономерности случайных величин, можно своевременно проводить мероприятия, предупреждающие отказы. Вентцель Е. С. и другие авторы отмечают, что распределение отказов последовательных систем описывается распределением Вейбулла – Гнеденко [20, 10, 68, 76]. Этой же функцией описывается распределение ресурса и интенсивности изменения технического состояния деталей и механизмов, являющихся элементами систем автомобиля, дополняет Крамаренко Г. В. Например, ресурс подшипника качения ограничивается конкретным участком сепаратора, шариком или роликом и описывается распределением Вейбулла – Гнеденко [63]. Стоит отметить, что данный закон распределения, как и нормальный, характерен при определении времени безотказной работы таких деталей, которые подвергаются постепенному старению и изнашиванию. Экспоненциальный закон распределения недостаточно обеспечивает желаемый уровень точности в данном случае [52].

Таким образом, поток отказов автомобилей представляет собой стохастический процесс, обусловленный совокупностью отказов взаимосвязанных элементов,

возникающих во времени. Закономерности изменения потока отказов определяются случайным характером наработки до отказа и ее распределением по соответствующим законам. Установлено, что изменение наработки в циклах ТО влияет на вероятностные характеристики законов распределения, а также на КТГ, что необходимо учитывать при разработке методов управления качеством ТО.

1.5 Анализ стандартов и методик управления качеством услуг

В современных проблема управления качеством является одним из приоритетных направлений развития различных сфер деятельности. Значительный вклад в развитие принципов, методов и инструментов управления качеством внесли организации и профессиональные сообщества, среди которых.

1. Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) – организация, осуществляющая разработку и публикацию международных стандартов в различных областях, включая системы управление качеством [51].

2. Международная академия качества (International Academy for Quality, IAQ) – профессиональное сообщество, деятельность которого направлена на развитие и распространение современных методов обеспечения качества в производстве, сфере услуг и общественной деятельности [148].

3. Американское общество качества (American Society for Quality, ASQ) – одно из крупнейших профессиональных объединений специалистов в области качества, способствующее развитию методов управления и совершенствованию процессов организации [139].

4. Европейская организация качества (European Organization for Quality, EOQ) – объединение национальных организаций и специалистов в области качества, обеспечивающее обмен знаниями, опытом и современными подходами к управлению качеством [142].

5. Японское общество по управлению качеством (Japanese Society for Quality Control, JSQC) – организация, деятельность которой связана с развитием методов

управления качеством, повышением эффективности процессов и внедрением инновационных подходов в различных отраслях [151].

Проблема качества имеет важное значение для всего народного хозяйства. В новой экономической реальности, особенно в условиях рыночной среды, успешное функционирование предприятий во многом определяется созданием (предоставления) продукции (услуги) высокого качества, которая будет конкурентоспособной как на внутренних, так и на внешних рынках [89]. Организации и институты в условиях усиления конкуренции разрабатывают программы и стандарты повышения качества, которые способствуют достижению высокого качества продукции и услуг.

К. Ишикава считал, что обеспечение качества заключается в предоставлении потребителю продукции или услуг, способных удовлетворять его потребности на протяжении всего периода эксплуатации [150]. Гарантия достигается за счет соответствия продукта или услуги установленным стандартам качества.

Д. Б. Кечеджиоглу дополняет данное положение, отмечая, что установленный уровень качества должен быть приемлемым для пользователей, заказчиков и общества в целом, обеспечивая выполнение объектом заданных функций с минимальными ограничениями при эксплуатации [153].

Качество продукции и услуг в РФ регламентируется стандартами различных уровней [129], включая международные [51, 139, 142, 151, 148, 166], государственные [30, 31, 35, 25, 32], отраслевые [149, 138, 162] и стандарты организаций [120, 122, 92, 121].

Международные стандарты, такие как стандарты ISO, широко применяются в России для стандартизации качества. Эти стандарты разрабатываются международными комитетами экспертов и предоставляют общепризнанные рекомендации и требования по управлению качеством.

В таблице 1.2 представлены наиболее распространенные международные стандарты и методологии, применяемые в мировой практике.

Таблица 1.2 – Международные стандарты и методологии управления качеством

Стандарты/ методологии управления качеством	Описание
1	2
ISO 9000, 9001 и 9004 [51]	Серии международных стандартов. Являются взаимосвязанными стандартами и предоставляют основу для разработки, внедрения и улучшения системы менеджмента качества в организациях.
Six Sigma (шесть сигм) [34, 128]	Методология управления качеством, которая позволяет устранить дефекты, повысить эффективность процессов в организации. Разработана компанией Motorola в 1980-х годах и получила широкое распространение в различных отраслях. В основе методологии лежит использование статистических инструментов и анализ данных для принятия обоснованных решений. Принята многими другими компаниями по всему миру, включая Amazon, Boeing, Ford.
Бережливое производство (Lean production) [30, 31, 32]	Методология управления производственными процессами, разработанная компанией Toyota. Основная идея заключается в максимальной оптимизации производственных процессов с целью устранения потерь и повышения эффективности.
Всеобщее производственное обслуживание (Total Productive Maintenance, TPM) [166, 167]	Стратегия по обслуживанию, которая направлена на достижение максимальной производительности и эффективности оборудования. Основная цель TPM заключается в предотвращении отказов и сбоев оборудования, а также в обеспечении его непрерывной работоспособности.
Всеобщее управление качеством (Total Quality Management, TQM) [163, 34]	Метод, который основывается на системном подходе к управлению качеством, ориентации на клиента, непрерывном улучшении и вовлечении всех работников в процесс обеспечения качества.
Канбан (Kanban, в переводе с японского «рекламный щит») [154, 155]	Метод бережливого производства, который был разработан японской компанией Toyota. Изначально применен в производственных процессах, но впоследствии был адаптирован и применяется в различных областях, включая разработку программного обеспечения.
Точно-в-срок (Just-In-Time, JIT) [141]	Метод управления производством, минимизирующий запасы и сокращает время цикла производства. Основная идея заключается в производстве и доставке товаров в нужное время, в нужном количестве и с минимальными запасами. Применяется в рамках бережливого производства.

Продолжение таблицы 1.2

1	2
Статистический контроль процесса (Statistical Process Control, SPC) [144]	Методология, используемая в управлении качеством, позволяет контролировать и совершенствовать производственные процессы и обеспечивать их стабильность. SPC основывается на статистических методах и принятии решений на основе анализа данных.

На государственном уровне стандартизация качества осуществляется Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Росстандарт разрабатывает и утверждает государственные стандарты (ГОСТ) и технические регламенты, которые устанавливают требования к качеству продукции и услуг, а также процедуры сертификации и испытаний.

Отраслевые стандарты также играют важную роль в стандартизации качества. Они разрабатываются организациями и ассоциациями, специализирующимися в определенной отрасли. Такие стандарты применяются в автомобильной, нефтегазовой, авиационной промышленности и других отраслях, где устанавливают требования к качеству и безопасности продукции с учетом конкретных отраслевых особенностей.

Стандарты организаций разрабатываются и утверждаются непосредственно организациями с учетом специфики их деятельности. Они устанавливают требования к продукции, работам, услугам, а также к внутренним производственным и организационным процессам. Такие стандарты позволяют регламентировать отдельные этапы деятельности организации, обеспечить единообразие выполняемых операций и поддержать необходимый уровень качества.

Общая цель стандартизации качества в России заключается в обеспечении соответствия продукции и услуг определенным требованиям, повышении конкурентоспособности российских предприятий на мировых рынках, защите интересов потребителей и обеспечении безопасности продукции [129, 130, 100, 101].

В научно-технической документации и исследованиях приводится разные определения понятия «качество». Это связанно тем, что понятие «качество» является многогранным и может по-разному трактоваться в зависимости от отрасли.

Однако, в общих чертах, качество может быть определено как степень, в которой продукт, услуга или система соответствует предопределенным требованиям.

Разнообразие определений качества может быть связано с эволюцией самого понятия. С течением времени и развитием научных и практических подходов к управлению качеством, определения могут изменяться и дополняться, отражая новые аспекты и требования [7, 12, 102, 24].

В стандарте ИСО 9000–2015 [35] понятие «качество» определяется как степень соответствия совокупности собственных характеристик объекта (продукции, услуги, процесса и т.д.) установленным требованиям. Примечание, указанное в стандарте, подчеркивает, что термин «качество» может использоваться в сочетании с различными прилагательными, такими как «низкое», «хорошее» или «превосходное». Это позволяет оценивать и описывать качество, выражая его уровень через степень соответствия установленным требованиям.

Качеством продукции, согласно ГОСТ [25], является совокупность свойств, которые определяют ее способность удовлетворять потребности в соответствии с назначением. Это определение подчеркивает связь между свойствами продукции и ее пригодностью для использования, показывая, что качество зависит не только от характеристик, но и от того, насколько продукция соответствует ожиданиям потребителей.

В бережливом производстве существует понятие «встроенное качество». Это означает, что качество обеспечивается на всех этапах жизненного цикла продукции: начиная с проектирования и производства и заканчивая эксплуатацией и обслуживанием. Применяются методы и инструменты, направленные на предотвращение дефектов, например, статистическое управление процессами. Этот метод помогает контролировать и анализировать данные, выявлять проблемы и принимать меры для их предотвращения. Принцип «не принимай, не делай, не передавай брак» является основой бережливого производства, исключая дефекты на всех этапах производства.

В контексте автосервисных услуг Архирейский А. А. [8] под термином «качество» подразумевает способность удовлетворять потребности клиентов путем

поддержания и восстановления работоспособности автомобиля. Качество предоставляемых услуг характеризуется функцией, которая состоит из шести критериев: состояния организационно-технического обеспечения производственного процесса, состояния зданий и сооружений, технологического и контрольно-диагностического оборудования, кадрового обеспечения и обеспечения нормативно-технологической документацией [79].

В своей работе автор использовал результаты исследований Якунина Н. Н. и Якуниной Н. В. [135, 136], в которых предложен метод оценки состояния системы ТО и ремонта на предприятии. Для проведения оценки сформирована совокупность вышеуказанных критериев, характеризующих соответствие исследуемых процессов установленным требованиям. Оценивание выполнялось экспертным методом с применением критериев, позволяющих определить степень выполнения требований нормативно-технологической документации. Использование единой десятибалльной шкалы обеспечивает возможность количественного сравнения полученных показателей.

Антонова У. А. [6] под качеством технологического процесса ремонта соединения «поршень-гильза» сельскохозяйственной техники понимает совокупность свойств данного процесса, которые соответствуют установленным требованиям. Автор отмечает, что качество ремонта зависит от систематизации экономических, технологических, организационных, экологических и других его составляющих. Технологическая составляющая является наиболее важной среди перечисленных и включает в себя ряд мероприятий по обеспечению нормативно-технической документацией, качества моечных и разборочно-сборочных работ, контроля уровня качества запасных частей и материалов, а также поддержанию уровня качества работы технологического, контрольно-измерительного оборудования и инструментов.

Следует отметить, что обеспечение высокого уровня качества технологических процессов оказывает непосредственное влияние не только на эксплуатационные характеристики автотранспортных средств, но и на экономические показатели предприятия. Высокий уровень качества способствует снижению затрат,

повышению удовлетворенности потребителей и укреплению конкурентных позиций предприятия, что в конечном итоге положительно отражается на результатах его деятельности.

Выбор соответствующего контрольно-измерительного оборудования во многом определяет управление качеством ТО и ремонта. Леонов О. А. отмечает, что снижение себестоимости ТО и ремонта достигается за счет уменьшения внутренних и внешних потерь благодаря правильному выбору средств измерений. Например, на рисунке 1.12 автор выявил зависимость потерь при измерении шатунных шеек коленчатого вала двигателя ЯМЗ-238 от вида и погрешности рычажных скоб [69, 82].

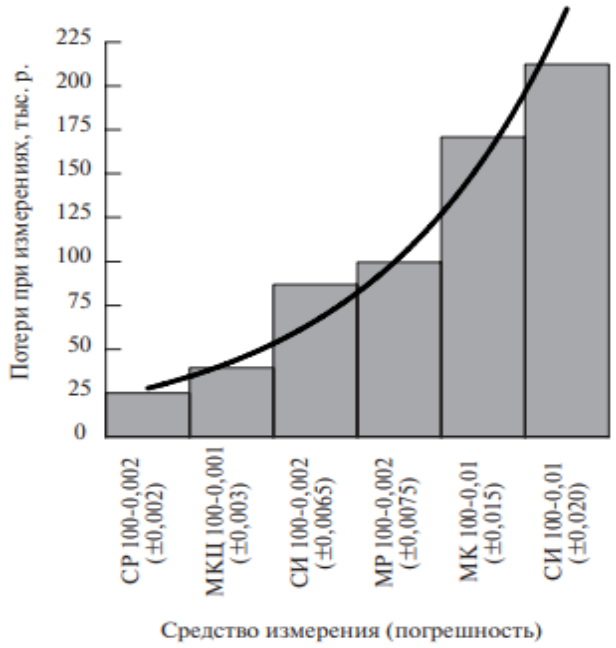


Рисунок 1.12. Потери при измерениях шатунных шеек в зависимости от вида и погрешности средств измерений [69]

Бондарева Г. И. и соавторы отмечают [14], что в процессе оказания услуг по ТО и ремонту существуют риски появления внутренних и внешних потерь. Внутренние потери связаны с нарушением технологического процесса, которые приводят к отказам восстанавливаемого узла, но в итоге обнаруживаются и устраняются внутри предприятия. При внешних потерях неисправности обнаруживаются в

послеремонтный гарантийный период и являются наиболее опасными, поскольку включают в себя репутационные потери для предприятия, выполняющего ТО и ремонт [70]. Причиной возникновения неисправностей являются скрытые дефекты, появляющиеся по причине низкого уровня метрологического обеспечения на всех стадиях технического контроля, что отражает низкую эффективность управления качеством [71, 38, 81].

Смирнов В. А. [111], отмечает , что к важным задачам производственного комплекса в ОАО «Российские железные дороги» относятся проведение планового и непланового ТО и ремонта, а также подготовка подвижного состава к эксплуатации. Оценка качества ТО осуществляется по количеству случаев брака в работе, особых случаев брака, а также по крушениям и авариям. Эффективность выполнения ремонтных работ оценивается по статистическим показателям (параметр потока отказов, вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ) [16].

Автор отмечает, что причиной возникновения отказов железнодорожного транспорта является низкое качество ТО и ремонта, которое связано с недостаточной эффективностью контроля качества [84, 85]. Для решения этой проблемы в современной практике применяются различные подходы, среди которых автоматизация контрольно-испытательных операций с использованием средств микропроцессорной техники и электронных баз данных. Данный подход обеспечивает сбор, хранение и анализ информации о состоянии ответственных узлов и механизмов подвижного состава, а также позволяет проводить диагностику и контроль на основе заданных параметров [110].

В международной практике широко используется понятие готовности подвижного состава к эксплуатации, характеризующее эффективность системы ТО и ремонта. Критерий состоит из коэффициентов внутренней $K_{вг}$, технической $K_{тг}$ (КТГ) и оперативной $K_{ог}$ готовности, которые определяются по следующим выражениям:

$$K_{вг} = \frac{T_{он}}{T_{он} + T_{в}}; \quad (1.3)$$

$$K_{тг} = \frac{T_{он}}{T_{он} + T_{в} + T_{п}}; \quad (1.4)$$

$$K_{ог}(t, \tau) = K_{тг}(t) P_{\tau}. \quad (1.5)$$

где $T_{в}$ – время восстановления;

$T_{он}$ – наработка на отказ;

$T_{п}$ – время профилактических работ при ТО и ремонте;

P_{τ} – вероятность безотказной работы.

Для локомотивов оптимальные значения КТГ от 0,90 до 0,95. Если значение показателя ниже 0,70, то это свидетельствует о недостаточном качестве организации ТО и ремонта.

В ПАО «Сургутнефтегаз» контроль качества ТО и ремонта осуществляется технической службой [120, 122, 92]. Основными задачами контроля качества ТО и ремонта являются:

– оценка технического состояния автомобилей до и после выполнения технических воздействий с применением средств инструментального контроля;

– контроль качества поступающих запасных частей и горюче-смазочных материалов на соответствие техническим требованиям и сертификатам качества;

– контроль исправного состояния оборудования, контрольно-измерительных приборов и инструментов;

– соблюдение технологического регламента.

При планировании работ по ТО механик автомобильной колонны своевременно предоставляет автомобиль в зону ТО и принимает участие в осмотре, фиксируя перечень выявленных неисправностей. После проведения ТО совместно с отделом технического контроля оценивается качество работ в соответствии с

технологическими картами. В случае готовности к эксплуатации механик ставит отметку в ремонтном и путевом листе и допускает автомобиль к выпуску на линию. Если ТО выполнено некачественно, то мастер по техническому контролю выписывает новый ремонтный лист и указывает тот перечень операций, качество которых не соответствует требованиям. В заключении мастер оформляет докладную записку на имя главного инженера и не допускает автомобиль к эксплуатации.

Таким образом, международная и отечественная практика демонстрирует широкое применение методик и стандартов управления качеством. Однако значительная часть из них ориентирована на стратегическое управление и стандартизацию технологических процессов, не обеспечивая необходимой оперативности при принятии управленческих решений.

1.6 Анализ показателей оценки качества ТО

Действующий ГОСТ 15467-79 [25] предусматривает четыре метода оценки качества продукции: дифференциальный, комплексный, смешанный и статистический.

Дифференциальный метод основан на использовании единичных показателей качества; комплексный – комплексных показателей, смешанный – на одновременном использовании единичных и комплексных показателей; статистический – на применении правил математической статистики.

Единичный показатель характеризует одно свойство продукции, а комплексный – несколько ее свойств. Интегральный показатель качества представляет собой отношение суммарного полезного эффекта, получаемого при использовании продукции, к совокупным затратам на ее создание и эксплуатацию. Показатель, по которому принимается решение об оценке качества продукции, называется определяющим.

Значения показателей качества продукции определяются с помощью шести методов: расчетного, органолептического, социологического, экспертного, измерительного и регистрационного.

Анализ научных исследований показывает, что в литературе наряду с описанием показателей качества, представленным в ГОСТ, предлагаются и их прикладные интерпретации. Так, например, в работе А. Н. Макаровой, Н. С. Захарова и других соавторов количественной оценкой качества ТО является интегральный показатель, определяемый по отношению приращений плотности вероятности отказа до и после ТО. Несмотря на информативность предложенного показателя, исследование имеет ограничение, обусловленное его применением только к новым гарантийным автомобилям, ТО которых выполняется на автосервисных предприятиях. В указанный период эксплуатации вариация периодичности ТО минимальна, поэтому при разработке интегрального показателя отсутствует необходимость учитывать ограничения, связанные с изменением интервалов ТО [157].

В работе Л. П. Карповой [53], основным показателем оценки качества ТО является эксплуатационная надежность. Данный показатель имеет важное значение как для производителей, так и для потребителей, поскольку практически связан с такими свойствами автомобиля как динамичность, проходимость, топливная экономичность и управляемость.

Эксплуатационная надежность $H_э$ состоит из надежности, обеспеченной при изготовлении $H_н$, коэффициента дефектности при ТО и ремонте $D_э$, а также коэффициента качества услуг Y_k:

$$H_э = \left[H_н + (1 - H_н) \cdot D_э\right] \cdot Y_k. \qquad (1.6)$$

А. В. Погодин [96] разработал методику оценки качества ремонта по динамике изменения параметра, характеризующего техническое состояние элемента автомобиля в постремонтный период. Критерий качества ремонта $K_р$ представлен в следующем виде:

$$K_{\text{р}} = \frac{\int_0^{t_{\text{б}}} [P_n - P(t)]dt}{(P_n - P_{\text{б}})t_{\text{б}}}. \qquad (1.7)$$

Смысл выражения заключается в том, что критерий характеризует долю фактического качества относительно эталонного. Знаменатель отражает качество базового параметра элемента автомобиля, а числитель – «оставшееся» качество, зафиксированное в определенный момент времени.

Поскольку элементы автомобиля (например, двигатель) характеризуются совокупностью параметров, таких как, например, мощность, крутящий момент, удельный расход топлива, то целесообразно оценивать качество ремонта по комплексному показателю K_{Σ}, представляющему собой взвешенную оценку совокупности единичных показателей. Данный показатель формируется с учетом нормированного коэффициента весомости m_i каждого параметра, критерия качества ремонта элемента автомобиля K_{pi} и числа параметров n, используемых при оценке:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} m_i K_{pi}. \qquad (1.8)$$

Д. А. Колесников [60] в методике управления качеством процессов при ремонте изделий выделил номенклатуру показателей качества процессов обслуживания. Автор отмечает, что в зависимости от специфики предприятия и особенностей направления деятельности, номенклатура показателей может быть увеличена или уменьшена. План эксперимента заключался в ранжировании показателей качества по шкале порядка, определении коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей K_{ei}, K_{ej}, измерении единичных показателей P_i и их оценке по разработанным шкалам оценок K_{oi}.

Расчет единичных K_i, комплексных Q_i и интегрального показателя Q_o определяется по следующим выражениям:

$$K_i = K_{вi} K_{oi};$$ (1.9)

$$Q_j = K_{вj} K_i;$$ (1.10)

$$Q_o = Q_j.$$ (1.11)

Интегральный показатель качества процесса обслуживания потребителей (на примере ремонта бетоносмесительных установок) состоит из показателей назначения $Q_{Назн}$, безопасности $Q_{Безопас}$, надежности $Q_{Надеж}$, профессионализма $Q_{Проф}$ и определяется по выражению:

$$Q_o = Q_{Назн}, Q_{Безопас}, Q_{Надеж}, Q_{Проф}.$$ (1.12)

В общем виде интегральный показатель качества формируется на основе 25 единичных и 12 комплексных показателей. Например, комплексный показатель профессионализма включает показатели уровня подготовки $Q_{УрПодг}$ и профессиональной этики $Q_{ПрофЭтик}$. Показатель $Q_{УрПодг}$ определяется 3 единичными показателя: уровнем образования $K_{образ}$, стажа $K_{стаж}$ и соблюдением руководящей документации $K_{соблРукДок}$, а показатель $Q_{ПрофЭтик}$ – индивидуальными свойствами, включая внимательность $K_{индив}$ и эмпатию $K_{эмп}$:

$$Q_{Проф} = (Q_{УрПодг}; Q_{ПрофЭтик});$$ (1.13)

$$Q_{УрПодг} = K_{образ}; K_{стаж}; K_{соблРукДок};$$ (1.14)

$$Q_{ПрофЭтик} = K_{индив}; K_{вним}; K_{эмп}.$$ (1.15)

В работах [72, 73, 74, 75] Ломакина Д. О. и соавторов предложен подход оценки уровня качества услуг предприятий автосервиса. Методика предусматривает последовательное формирование системы показателей качества, установление их значимости и последующий расчет обобщенного показателя.

На первом этапе в качестве исходной структуры оценки авторами выделены четыре группы показателей, характеризующих назначение, безопасность, надежность и профессиональный уровень персонала.

На втором этапе для более полной оценки уровня качества услуг разработаны показатели, представленные в виде следующих коэффициентов: отказа в обслуживании $k_{отк}$, обеспеченности (площадью k_s, оборудованием $k_{об}$, персоналом $k_{пер}$), качества запасных частей $k_{зч}$, безопасности $k_{без}$, сохранности имущества $k_{сохр}$, надежности предоставления услуг $k_{ну}$, профессиональной подготовки персонала $k_{проф}$, относительной экологической безопасности $k_{эко}$, технической готовности $k_{тг}$, потребительской оценки $k_{потр}$.

Например, коэффициент отказов в обслуживании определяется по выражению:

$$k_{отк} = \frac{N_{обр} - (N_{отк}^{тех} + N_{отк}^{техн} + N_{отк}^{орг})}{N_{обр}}. \qquad (1.16)$$

В знаменателе данного выражения количество обращений в автосервис за определенный промежуток времени $N_{обр}$, а в числителе разница между $N_{обр}$ и суммой отказов в обслуживании по техническим $N_{отк}^{тех}$, технологическим $N_{отк}^{техн}$ и организационным причинам $N_{отк}^{орг}$.

На третьем этапе путем метода экспертных оценок определены весовые коэффициенты относительных показателей. Наиболее значимым показателем является коэффициент качества запасных частей (0,15), а наименее – КТГ (0,034).

На четвертом этапе разработаны комплексные средневзвешенные арифметический и геометрический показатель:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} (k_{вi} q_1); \tag{1.17}$$

$$Q = \prod_{i=1}^{n} q^{k_{вI}}. \tag{1.18}$$

Причем, арифметический показатель применяется в том случае, когда справедливо неравенство $q_i > 0,5$, а геометрический обратом случае $q_i < 0,5$.

Профессор Новиков А. Н. утверждает, что качество предоставляемых услуг в сфере автосервиса значительно зависит от личностных и профессиональных свойств персонала [90].

Автор отмечает, что подготовка квалифицированных работников и формирование у них новых компетенций требуют значительных затрат. В связи с этим передовые организации рассматривают расходы на повышение квалификации персонала как вложение, направленное на повышение уровня качества выполняемых работ [91].

В своем исследовании профессор методом корреляционно-регрессионного анализа оценивает влияние квалификации персонала автосервиса на качество предоставляемых услуг и определяет степень зависимости качества услуг от уровня подготовки работников. Общий вид зависимости, оценивающей качество услуг, представлен следующей функцией:

$$y = f(x_1, x_1, ...x_n). \tag{1.19}$$

Факторами (параметрами функции, $x_1, x_1, ...x_n$), по мнению автора, являются технико-организационные, социально-экономические, естественно-биологические, социально-психологические и рыночные [72].

Денисовым А. С. установлено [36], что одним из факторов, снижающих техническую готовность автомобильного парка, являются непроизводственные потери, достигающие 45 % рабочего времени персонала. Кроме того, отмечается недостаточный уровень реализации операций ТО: полнота выполнения составляет до 55 % для ТО-1 и 52 % для ТО-2, а качество выполненных операций, оцениваемое по отсутствию повторных отказов, достигает 34 % и 45 % соответственно [123].

Кроме того, отмечает автор, превышение нормативного значения периодичности ТО приводит к уменьшению наработки на отказ в 1,9 раз, а наибольшее влияние (2,5 раз) на снижение наработки является не соблюдение операций по регулировочным работам.

В настоящее время актуальным направлением поддержания транспортно-технологических машин и оборудования в работоспособном состоянии является предиктивное обслуживание (predictive maintenance, PdM) [160, 156], применяемое в рамках четвертой промышленной революции (Industry 4.0) [158].

Предиктивное обслуживание (PdM) – это стратегия, основанная на систематическом анализе данных в условиях реального времени, с применением интеллектуальных систем. Целью PdM является контроль технического состояния, определение оптимального момента времени проведения ТО и предотвращения отказов [134, 98, 114, 57].

Томас Т. М. в исследовании [165] представил методы испытаний электродвигателей с применением PdM, сущность которого изображена на рисунке 1.13.

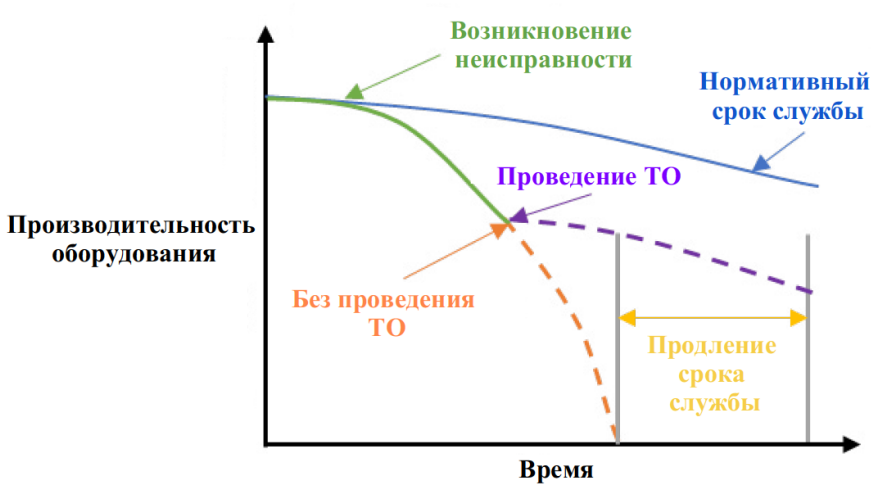


Рисунок 1.13. Продление срока службы посредством PdM (изменено из [165])

В исследовании [159] отмечено, что в США ежегодно затраты на незапланированные простои оцениваются в 50 млрд долларов, что снижают производственную мощность предприятий на 20 %. Причиной незапланированных простоев являются недостатки в организации ТО.

Данная стратегия применима не только для контроля технического состояния автомобилей, корректировки периодичности ТО и прогнозированием возможных отказов, но и для оценки качества ТО. Такая оценка основана на сравнении параметров технического состояния обслуживаемых элементов автомобиля, полученных с помощью датчиков, до и после проведения ТО.

Например, Во Чжэ Ли и соавторы [160], проводя трибологическое исследование [161], предложили оценивать техническое состояние подшипников качения по геометрическим изменениям внутреннего и наружного кольца. Износ определяется посредством применения акселерометров и пьезоэлектрических датчиков, измеряющие вибрации [140, 146]. Учитывая, что износ подшипника носит локальный характер, частоты дефектов могут быть рассчитаны математически с использованием геометрических размеров по следующим выражениям:

$$f_{вк} = f_c \frac{N_ш}{2}(1 + \frac{D_ш}{D_ц}\cos\alpha); \qquad (1.20)$$

$$f_{нк} = f_c \frac{N_ш}{2}(1 - \frac{D_ш}{D_ц}\cos\alpha); \quad (1.21)$$

$$f_ш = f_c \frac{D_ц}{2D_ш}(1 - \frac{D_ш^2}{D_ц^2}\cos^2\alpha); \quad (1.22)$$

$$f_{сеп} = f_c \frac{1}{2}(1 - \frac{D_ш}{D_ц}\cos\alpha). \quad (1.23)$$

На рисунке 1.14 изображены виды локальных дефектов и соответствующие им характерные частоты: дефект внутреннего кольца $f_{вк}$, дефект наружного кольца $f_{нк}$, дефект шарика $f_ш$ и дефект сепаратора $f_{сеп}$.

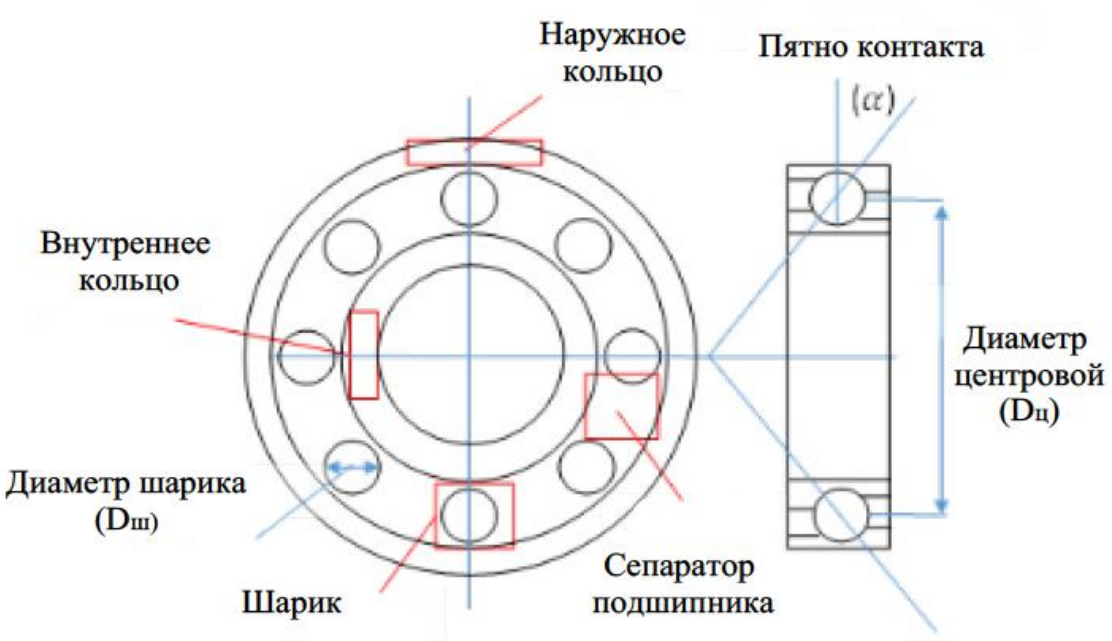


Рисунок 1.14. Подшипник качения и вывод характерных частот (изменено из [161])

После определения выражений локальных дефектов и соответствующих им характеристик частот проведен эксперимент [160], в ходе которого на вал

испытательного стенда установлены четыре подшипника качения и задана постоянная скорость вращения 2 000 об/мин. С помощью пружинного механизма на вал, и соответственно на подшипники, воздействована радиальная нагрузка величиной 2 750 кг.

Вывод характерных частот выполнялся посредством установки на корпусы подшипников высокочувствительных акселерометров с частотой дискредитации 20 кГц. Подшипники тестировали до отказа и полученный массив данных распределили на три категории, которые соответствуют техническим состояниям: исправному, аварийному, неисправному. Категории соответствуют оставшемуся сроку службы 100 – 66,7 %, 66,7 – 33,4 % и 33,4 – 0 % соответственно [145]. Контроль технического состояния подшипника выполняется путем применения двух алгоритмов искусственного интеллекта: сверточной нейронной сети (CNN) и рекуррентной нейронной сети (RNN) [147, 168].

1.7 Выводы и задачи исследований

Анализ состояния исследуемой проблемы позволил установить следующие выводы.

1. Анализ состояния автомобильного транспорта РФ показал, что, несмотря на снижение в последние годы количества ДТП и числа пострадавших, сохраняется вероятность возникновения аварийных случаев. Кроме того, увеличение численности автотранспортных средств и рост их среднего возраста способствуют повышению степени износа узлов и агрегатов, накоплению неисправностей и увеличению отказов в эксплуатации. Это обусловливает необходимость совершенствования существующих подходов к управлению качеством выполнения ТО.

2. В существующих стандартах не учитывается изменение параметров технического состояния автомобилей в течение цикла ТО. Отсутствие своевременного реагирования на снижение фактических значений параметров технического состояния элементов автомобилей может привести к возникновению отказов и снижению эффективности их использования.

3. Анализ закономерностей изменения наработки автомобилей в циклах ТО показал, что фактическая периодичность ТО стохастична и отличается от нормативной вследствие изменения суточных пробегов и производственных факторов.

4. Анализ закономерностей изменения потока отказов в циклах ТО показал, что отказы автомобилей относятся к случайным событиям. Использование информации об отказах в качестве основы для принятия управленческих решений позволяет своевременно корректировать мероприятия по ТО с целью повышения качества обслуживания и поддержания требуемого уровня надежности автомобилей.

5. Современные методы управления качеством преимущественно направлены на стратегическое управление. Однако для обеспечения эффективного функционирования автомобильного транспорта необходимо сочетание стратегического и оперативного управления качеством ТО, при котором решения принимаются не только на основе нормативных требований, но и с учетом текущего состояния автомобилей.

Анализ исследуемой проблемы позволил сформулировать следующие задачи исследований.

1. Разработать модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

2. Установить закономерности и разработать модели формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

3. Разработать интегральный показатель оценки качества ТО на основе закономерностей изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в циклах ТО.

4. Разработать модель влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

5. Разработать методику практического применения результатов исследований и оценить ее эффективность.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая методика исследований

Общая методика исследований, представленная на рисунке 2.1, основана на применении системного подхода, который заключается в изучении структуры, взаимосвязей между ее элементами и функционировании системы в целом. Системный подход представляет собой совокупность общенаучных методологических принципов, позволяющих рассматривать объект исследований как систему, состоящую из взаимосвязанных элементов [67, 47].

В результате анализа состояния вопроса обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлены цель и задачи исследований, определены объект и предмет исследований.

Исследования выполнены в соответствии с научной специальностью 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта и соответствует следующим направлениям:

«п.12. Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации.

п.15. Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта; методы диагностирования технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов» [95].

Существующие методики преимущественно ориентированы на стратегическое управление качеством ТО и не в полной мере отражают стохастический характер возникновения потока отказов после проведения ТО, что ограничивает возможность оперативного управления качеством. Таким образом, проблема оперативного управления качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов остается недостаточно исследованной и требует дальнейшего научного обоснования и практической реализации.



Рисунок 2.1. Общая методика исследований

Для решения научной проблемы проставлена цель – повышение эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов.

В качестве объекта исследований выбран процесс формирования реализуемого качества ТО автомобилей.

Предметом исследований являются закономерности формирования реализуемого качества ТО автомобилей.

Процесс оперативного управления качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов состоит из четырех этапов.

На первом этапе – контроля потока данных о системе (I) – решается первая задача исследований: разработка модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

На втором этапе – анализа потока данных о системе (II) – решаются следующие задачи:

– вторая задача исследований: установление закономерностей и разработка моделей формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО;

– третья задача исследований: разработка интегрального показателя оценки качества ТО на основе закономерностей изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в циклах ТО;

– четвертая задача исследований: разработка модели влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

На третьем этапе – принятия и реализации управленческих решений (III), а также четвертом этапе – оценки эффективности решений (IV) – решается заключительная задача исследований: разработка методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов и оценка ее эффективность.

Теоретический и экспериментальный этапы исследований выполнены на основе системного подхода. При решении поставленных задач применялись логический метод, анализ и синтез, а также аксиоматический и гипотетический методы. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием методов математической статистики, включая корреляционно-регрессионный анализ. Экспериментальная часть работы основана на результатах, полученных в ходе проведения активного имитационного и пассивного натурного экспериментов.

В теоретических исследованиях обоснована целевая функция, установлена структура изучаемой системы. Разработан алгоритм формирования вероятности отказов группы автомобилей по наработке в циклах ТО. Рассмотрены закономерности формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО, а также разработан интегральный показатель качества ТО. На основе концепции формирования реализуемого качества ТО автомобилей выдвинуты гипотезы о положении линейных трендов до и после проведения ТО. Выдвинута гипотезы о видах модели влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

В экспериментальных исследованиях, проводимых в пять этапов, осуществляется контроль (I) и анализ потока данных (II) изучаемой системы. В ходе проведения экспериментов устанавливаются закономерности и проверяются гипотезы, сформулированные в теоретических исследованиях, а также определяются численные значения эмпирических коэффициентов математических моделей.

На основе полученных результатов экспериментальных исследований разработана методика практического применения, основанная на принятии и реализации управленческих решений с оценкой их эффективности (III, IV).

2.2 Обоснование цели и целевой функции

Важная составляющая исследований – это постановка цели и определение целевой функции.

Захаров Н. С. отмечает, что формулировка цели исследования должна состоять из достигаемого результата, научности и практической реализации. Достигаемый результат определяется эффективностью функционирования системы [45].

Понятие «эффективность» является основополагающим при определении цели исследования, что обусловливает необходимость определения способов оценки эффективности.

В литературных источниках представлены различные подходы к определению и оценке эффективности. Так, эффективность может оцениваться с

использованием косвенных методов на основе установленных показателей [5]. Кроме того, эффективность рассматривается как результат последовательного выполнения операций, направленных на достижение поставленной цели [116].

В паспорте научной специальности 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта отмечено: «Значение решения научных и практических проблем данной специальности для экономики состоит в совершенствовании методов и средств перемещения пассажиров и грузов и процессов, их обеспечивающих, в целях повышения эффективности транспортного обслуживания и минимизации затрат ресурсов и потерь, связанных с ними» [95].

Приведенное положение показывает, что эффективность эксплуатации автомобилей определяется не только обеспечением требуемой технической готовности, но и рациональным использованием ресурсов.

В диссертационных исследованиях в качестве основного метода постановки цели используется программно-целевой метод. Кузнецов Е. С. во втором издании учебника по управлению ТЭА отметил: «…реальное управление носит многоэтапный характер, когда к цели система, как правило, приходит не за один, а за несколько шагов, последовательно корректируя действия с учетом достигнутых результатов» [66]. Сущность данного метода заключается в точном определении главной цели путем объединения всех видов деятельности, обеспечивающих достижение цели.

Инструментом реализации программно-целевого метода является дерево целей, представленное в виде ациклического графа. На рисунке 2.2 дерево целей отражает взаимосвязь между мероприятиями по оперативному управлению качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов и эффективностью эксплуатации автомобилей.

Дерево целей иллюстрирует, что реализация мероприятий по оперативному управлению качеством ТО автомобилей на основе анализа потока отказов направлена на достижение главной цели исследований – повышение эффективности эксплуатации автомобилей.

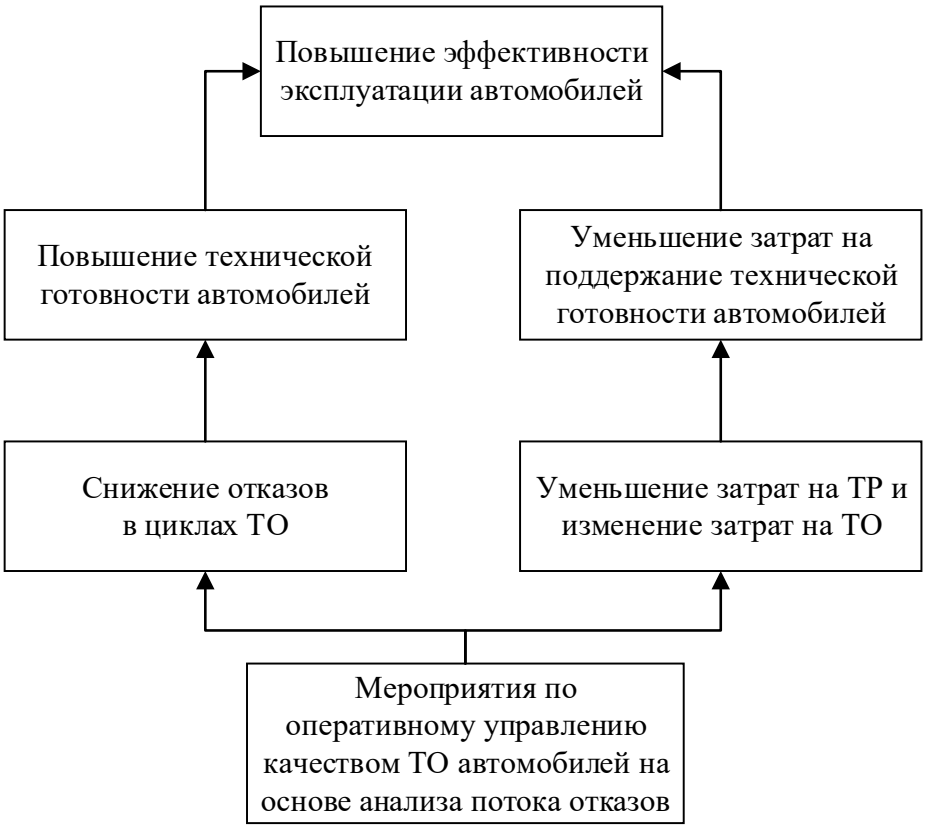


Рисунок 2.2. Дерево целей исследуемой системы

Главная цель дерева достигается посредством реализации двух направлений. Первое направление связано с повышением технической готовности автомобилей за счет снижения количества отказов в циклах ТО. Второе направление заключается в снижении затрат на поддержание требуемого уровня технической готовности автомобилей. Рассмотрение только одного из указанных направлений ограничивает возможность достижения общей цели исследований. Таким образом, целью диссертационных исследований является повышение эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов.

Далее необходимо разработать целевую функцию исследований, позволяющую оценить эффективность функционирования изучаемой системы. Для ее определения необходимо провести анализ дерева целей исследований с учетом аспектов, встречаемых в практике.

Целью ТО является обеспечение работоспособности автомобилей в течение межсервисного интервала. Поток отказов в циклах ТО свидетельствует об уровне

технической готовности автомобильного парка. Однако в процессе эксплуатации отказы возникают под воздействием различных факторов, поэтому анализ потока отказов необходим в циклах ТО, где не обеспечивается полнота выполнения операций обслуживания. Следовательно, для оценки реализуемого качества ТО необходимо анализировать выборочную совокупность отказов. Поток отказов определяет продолжительность пребывания автомобилей в зоне ТР, что непосредственно влияет на уровень технической готовности автомобильного парка.

Таким образом, в качестве критерия эффективности изучаемой системы целесообразно использовать КТГ автомобилей, который широко применяется в практике производственно-технической службы АТП при оценке эффективности эксплуатации автомобильного парка. При этом чувствительность [33] целевой функции обеспечивается только в случае учета циклов ТО, в которых отказы возникли вследствие нарушения полноты выполнения операций обслуживания.

Данный показатель назовем коэффициентом технической готовности автомобилей в циклах технического обслуживания (КТГ автомобилей в циклах ТО):

$$\alpha_{ЦТО} = \frac{Д^{э}_{ЦТО}}{Д^{э}_{ЦТО} + Д^{ТО}_{ЦТО} + Д^{ТР}_{ЦТО}} \to max, \qquad (2.1)$$

где $Д^{э}_{ЦТО}$ – дни автомобилей в эксплуатации в циклах ТО, в которых возникли отказы;

$Д^{ТР}_{ЦТО}$ – дни нахождения автомобилей в зоне ТР;

$Д^{ТО}_{ЦТО}$ – дни нахождения автомобилей в зоне ТО.

Для целевой функции приняты следующие ограничения:

$$\begin{cases} Д^{э}_{ЦТО} \to max, \\ Д^{ТР}_{ЦТО} \to 0. \end{cases}$$

2.3 Концепция формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов

Система управления качеством включает стратегическое и оперативное управление.

Стратегическое управление формирует условия для проведения ТО, в том числе наличие производственной базы, технологического оснащения, нормативного обеспечения, технологических карт, материально-технического снабжения и исполнителей необходимой квалификации. Однако реализация данного метода управления рассчитана на длительный период и не обеспечивает своевременного корректирования управляющих воздействий с учетом фактических условий использования автомобильного парка. В связи с этим применение данного подхода имеет ряд ограничений.

Во-первых, оценка качества ТО осуществляется на основе показателей, полученных в результате обработки статистических данных за определенный период эксплуатации. Показатели формируются только после завершения данного периода, поэтому их применение при оперативном управлении качеством ТО является нецелесообразным.

Во-вторых, на АТП соблюдение регламента ТО осуществляется технической службой путем проведения визуального контроля выполненных операций. Данный способ является важным элементом контроля качества, однако применяется, как правило, эпизодически и характеризуется повышенной трудоемкостью, что ограничивает возможность его применения на постоянной основе. При эксплуатации автомобилей вне производственных баз и выполнении ТО выездными бригадами применение данного способа контроля ограничено необходимостью постоянного участия технической службы. Кроме того, периодическая проверка выполненных операций ТО не обеспечивает непрерывный контроль технического состояния автомобилей в течение межсервисного интервала. Увеличение объема контрольных мероприятий повышает нагрузку на техническую службу, что при ограниченных производственных возможностях может приводить к снижению эффективности

контроля качества выполненных воздействий, возникновению отказов и росту количества обращений автомобилей в зону ТР.

В-третьих, уровень технической готовности автомобильного парка зависит от реализуемого качества ТО и изменяется в пределах межсервисного интервала. Однако возникающие в процессе эксплуатации отказы, обусловленные недостатками проведения ТО, в существующих исследованиях не рассматриваются как источник информации для оперативного управления качеством обслуживания, что снижает возможность своевременной разработки и реализации мероприятий, направленных на повышение качества ТО.

Оперативное управление качеством ТО обеспечивает своевременное выявление и устранение отклонений, возникающих в процессе реализации стратегии обеспечения работоспособности автомобилей. В отличие от стратегического управления, формирующего общие методики и стандарты, оперативное управление направлено на своевременное выявление причин возникновения отказов, определение и реализацию мероприятий по их предупреждению с последующей оценкой эффективности.

Известно, что целью ТО является поддержание автомобилей в работоспособном состоянии до наступления очередного обслуживания. Следовательно, источником информации для оценки качества ТО можно использовать отказы, возникшие вследствие некачественного обслуживания. Однако, поскольку отказ является случайным событием, при анализе необходимо использовать вероятностные характеристики.

Исследование рассматриваемой проблемы основано на системном подходе, направленном на разработку концепции формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов [108]. Методология теоретических исследований предусматривает использование аксиоматического метода. [80, 4].

Аксиомы исследований.

1. После проведения качественного ТО плотность вероятности отказов автомобилей снижается.

2. После проведения качественного ТО с увеличением наработки возрастает плотность вероятности отказов и перед очередным ТО достигает максимума.

Следствия, вытекающие из аксиом.

1. Плотность вероятности отказов на разных участках цикла ТО существенно отличается.

2. Сравнение плотностей вероятности отказов в первой половине цикла ТО и во второй половине перед очередным обслуживанием позволяет численно оценить эффект от проведения ТО.

Основываясь на концепции исследований, предлагается цикл ТО поделить на два равных участка и каждый аппроксимировать линейной моделью влияния наработки L на вероятность отказов F. В результате дифференцирования полученных зависимостей определяются коэффициенты k_1, k_2, которые по физическому смыслу аналогичны плотности вероятности отказов $f(L)$:

$$F(L_i)_{уч.1} = k_1 \cdot L_i + b_1; \qquad (2.2) \qquad F(L_i)_{уч.2} = k_2 \cdot L_i + b_2. \qquad (2.3)$$

Применение аксиоматического метода позволяет перейти к использованию гипотетического метода. Сформулируем основную гипотезу исследований.

Гипотеза № 1. Реализуемое качество ТО можно оценить по интегральному показателю Q_{EV}, равному отношению коэффициентов уравнений линейных регрессий k_2 и k_1:

$$Q_{EV} = \frac{k_2}{k_1}. \qquad (2.4)$$

2.4 Структура и идентификация изучаемой системы

Существующие методики управления качеством ТО преимущественно ориентированы на стратегическое управление и не обеспечивают оперативного

выявления и устранения недостатков операций обслуживания. Для решения данной проблемы применяется системный подход, обеспечивающий достижение цели исследований – повышение эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов. Реализация поставленной цели требует рассмотрения процесса управления качеством ТО как единой взаимосвязанной системы. Система характеризуется наличием структуры, объединяющей взаимосвязанные элементы, взаимодействующие между собой и внешней средой.

Оперативное управление качеством ТО автомобилей представляет собой непрерывный процесс, включающий последовательность взаимосвязанных действий, направленных на получение, обработку и использование информации о состоянии исследуемой системы, а также принятие управленческих решений и оценку их эффективности. В общем виде процесс оперативного управления качеством ТО представлен на рисунке 2.3.

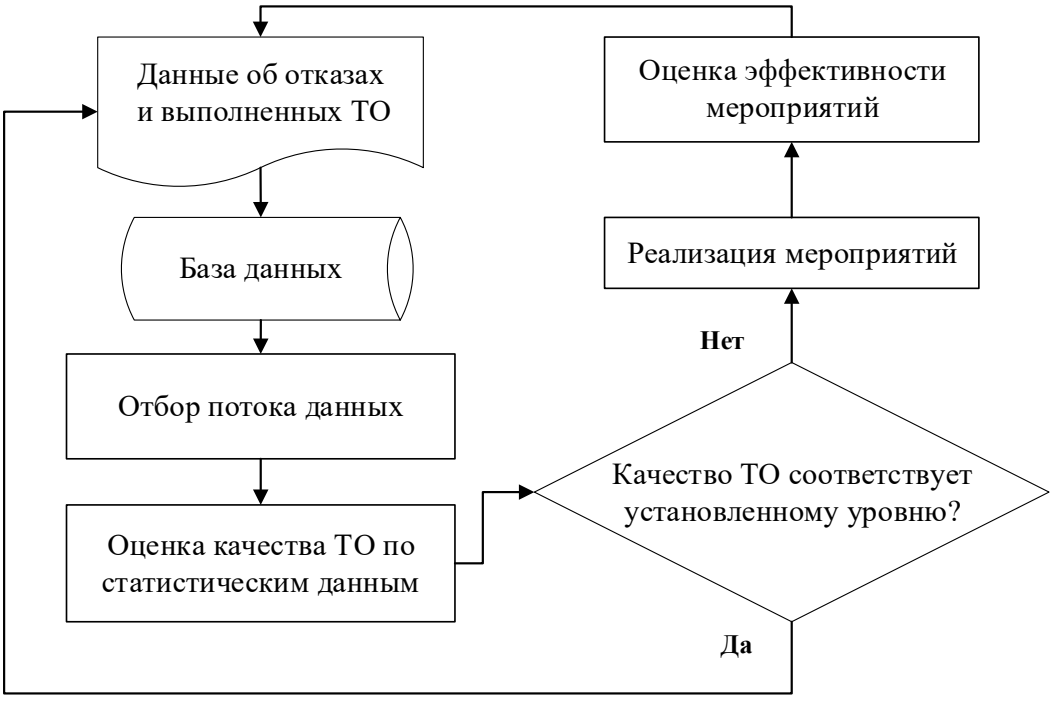


Рисунок 2.3. Общий вид процесса
оперативного управления качеством ТО автомобилей

Процесс состоит из следующих действий.

1. Формирование данных об отказах и выполненных ТО – информация, зафиксированная ответственными специалистами при контроле и организации ТО и ремонта автомобилей на носителе применяемого формата.

2. Формирование базы данных – информация, предоставленная специалистами, ответственными за контроль и организацию ТО и ремонта, хранящееся на устройстве с прямым доступом.

3. Отбор потока данных – формирование выборочной совокупности данных исследуемой системы.

4. Оценка качества ТО по статистическим данным – процесс разработки и интерпретации показателей, позволяющих оценить качество ТО.

5. Определение соответствия реализуемого качества ТО установленному уровню.

При соответствии качества ТО установленному уровню осуществляется переход к следующему циклу управления. При несоответствии выполняется разработка и реализация управленческих мероприятий.

6. Реализация мероприятий – комплекс управленческий решений, направленных на повышение качества операций обслуживания.

7. Оценка эффективности мероприятий – экономический эффект результатов реализации управленческих решений.

Для реализации исследуемого процесса необходимо формализовать структуру управляемой системы, определяющую взаимосвязь ее основных элементов. Схема структуры представлена на рисунке 2.4.

Входным параметром системы является время, в пределах которого изменяются условия и интенсивность эксплуатации, а также наработка с начала эксплуатации.

На этапе контроля потока данных о системе (I) указывается норматив периодичности ТО и осуществляется сбор следующих элементов системы:

– фактические наработки в циклах ТО;

– максимальные наработки автомобилей в циклах ТО;

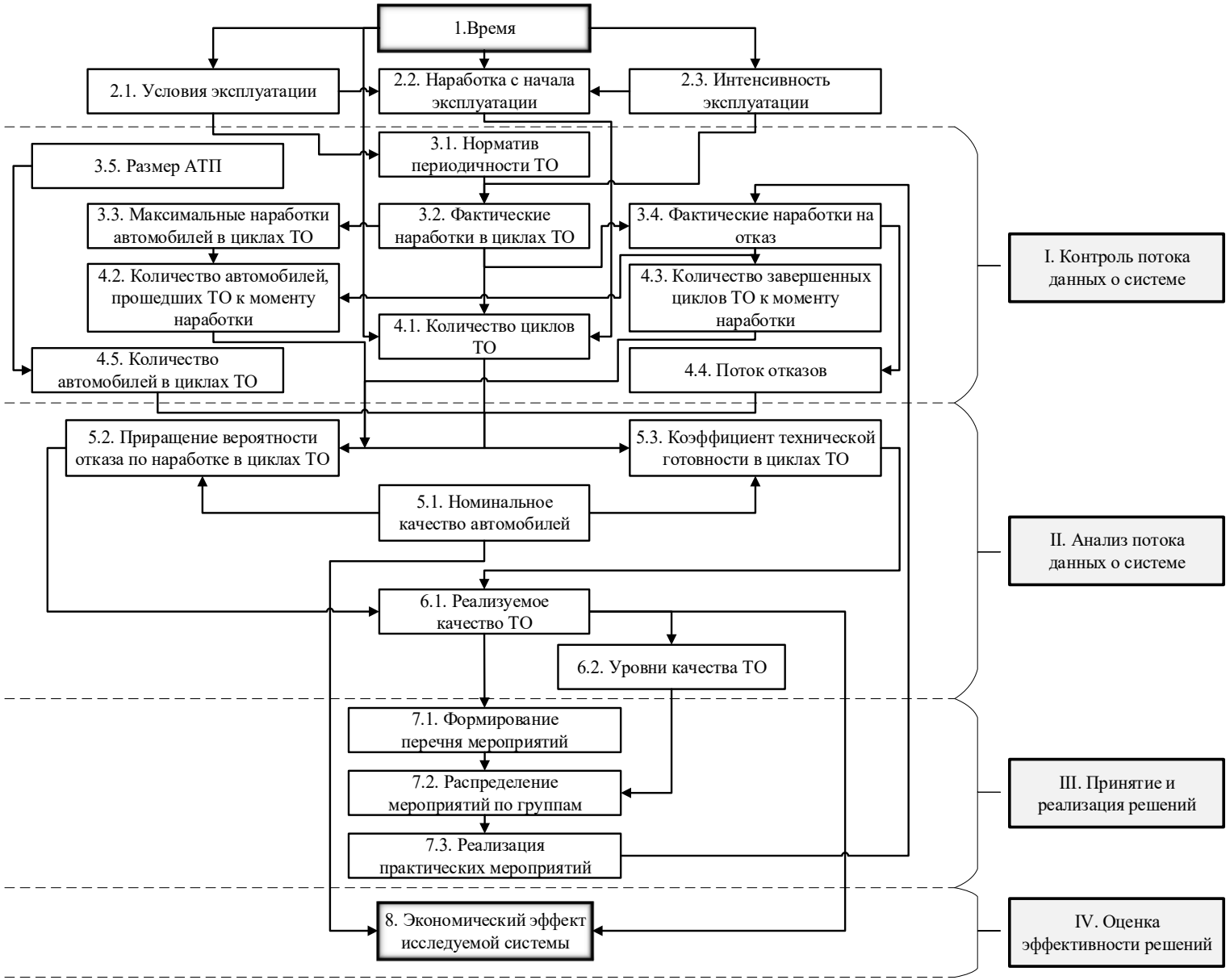


Рисунок 2.4. Структура изучаемой системы

– фактические наработки на отказ;

– количество циклов ТО;

– количество автомобилей, прошедших ТО к моменту наработки;

– количество завершенных циклов ТО к моменту наработки;

– поток отказов автомобилей;

– количество автомобилей в циклах ТО.

Этап анализа потока данных о системе (II) предусматривает определение приращения вероятности отказов по наработке в циклах ТО и КТГ автомобилей циклах ТО, а также номинального и реализуемого качества ТО.

На этапе принятия и реализации решений (III) осуществляется разработка и реализация практических мероприятий, целью которых является повышение качества ТО автомобилей.

Заключительным этапом является оценка эффективности реализованных мероприятий (IV), в результате которой определяется экономический эффект, являющийся выходным параметром исследуемой системы.

Составленная структура изучаемой системы позволяет моделировать вероятность отказов автомобилей по наработке в циклах ТО, а также формировать реализуемое качество ТО автомобилей на основе анализа потока отказов, возникающих по причине некачественного ТО. Для дальнейших исследований необходимо выполнить идентификацию элементов системы, представленную в таблице 2.1 и определяющую их функциональное назначение и обозначение.

Таблица 2.1 – Идентификация элементов системы

Наименование элемента	Описание	Обозначение	Единица измерения
1	2	3	4
Вероятность отказа	Вероятность возникновения отказа автомобиля	F	-
Количество циклов ТО	Общее количество завершенных циклов ТО	$N_{ЦТО}$	ед.
Фактическая периодичность ТО	Фактическая наработка автомобиля между последовательно выполненными ТО	L_{TO}^{ϕ}	км, моточасы

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Нормативная периодичность ТО	Установленная нормативная наработка автомобиля между ТО	$L_{TO}^{н}$	км, моточасы
Наработка на отказ	Наработка автомобиля от момента проведения ТО до возникновения отказа	L	км, моточасы
Отказ	Событие, заключающееся в потери работоспособного состояния автомобиля в цикле ТО	m	ед.
Количество автомобилей	Среднесписочное число автомобилей разных марок и моделей	A_c	ед.
Максимальная наработка автомобиля в циклах ТО	Максимальное значение наработки автомобиля с момента проведения последнего ТО среди всех значений, зарегистрированных в предыдущих циклах ТО	L_{TO}^{max}	км, моточасы
Коэффициент технической готовности в циклах ТО	Показатель технической готовности автомобилей. Отношение количества дней эксплуатации автомобилей в циклах ТО, в которых возникли отказы, к сумме дней в эксплуатации, ТО и ТР	$\alpha_{ЦТО}$	–
Количество автомобилей, прошедших ТО к моменту наработки	Автомобили, исключенные из эксперимента вследствие достижения максимальной наработки в цикле ТО среди значений, зарегистрированных в предыдущих циклах	$A_c(L_i)$	ед.
Количество завершенных циклов ТО к моменту наработки	Фактические периодичности ТО, исключенные из эксперимента по завершению цикла	$N_{ЦТО}(L_i)$	ед.
Интегральный показатель качества ТО	Реализуемое качество ТО, определяемое как отношение плотности вероятности отказов участка перед ТО к участку после ТО	Q_{EV}	–

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Коэффициент нормализации	Коэффициент, нормализующий наработки на отказ, возникшие в разных фактических периодичностях ТО, к периодичности нормативной	K	–
Нормализованная наработка на отказ	Наработка на отказ, нормализованная через коэффициент нормализации	$L_i^{норм}$	км, моточасы
Экономический эффект	Показатель эффективности изучаемой системы в расчете на один автомобиль	$Э$	руб.
Стоимость устранения одного отказа	Составляющая показателя эффективности изучаемой системы. Включает среднюю стоимость запасной части, трудовых затрат и потерь от простоя в расчете на один отказ	$C_{ОТК}$	руб.
Средняя стоимость запасной части	Среднее арифметическое затрат на приобретение запасной части, необходимой для устранения отказа	$\overline{C}_{ЗП}$	руб.
Стоимость трудовых затрат в расчете на один отказ	Среднее арифметическое трудовых затрат, связанных с выполнением работ по устранению одного отказа	$C_{ТЗ}$	руб.
Стоимость потерь от простоя в расчете на один отказ	Среднее арифметическое экономических потерь, обусловленных простоем автомобиля в период устранения одного отказа	$C_{ПР}$	руб.

2.5 Закономерности изменения вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО

Закономерность – устойчивая, повторяющаяся и объективно существующая связь между явлениями или процессами. Закономерности отражают внутренние причинно-следственные связи, которые предопределяют протекание процессов и

изменение параметров объектов в системе. Закономерности подразделяются на детерминированные и стохастические.

1. Детерминированные (функциональные) закономерности представляют собой однозначные связи между параметрами или явлениями, при которых каждому значению входной величины соответствует строго определённое значение выходной.

2. Стохастические (случайные) закономерности характеризуют статистически устойчивые зависимости между случайными величинами или событиями, проявляющиеся при массовых наблюдениях. Захаров Н. С. отмечает: «Стохастические закономерности существуют тогда, когда зависимая переменная определяется не только независимой переменной, но и рядом случайных факторов. При этом каждому значению Y соответствует ряд значений X с определенным математическим ожиданием и дисперсией» [42]. Выявление таких закономерностей осуществляется путем обработки статистической информации, что позволяет определить вероятность возникновения события.

Возникновение отказа – событие случайное, происходящие во времени в результате накапливающегося износа, скрытых дефектов или воздействия внешних факторов. Процесс возникновения отказов носит стохастический характер, так как момент наступления каждого отказа установить невозможно, однако можно предсказать вероятностные характеристики процесса на основе статистических данных.

Таким образом, процесс возникновения отказов относится к стохастическим закономерностям. Для количественного описания этого процесса используются вероятностные характеристики одного из свойств надёжности: безотказности.

Вероятность отказа $F(L)$ определяется как вероятность того, что отказ автомобиля произойдёт при наработке L [49]:

$$F(L) = \int_{-\infty}^{L} f(L) \cdot dL, \qquad (2.5)$$

где $f(L)$ – плотность вероятности отказов.

Плотность вероятности отказов *f(L)* характеризует вероятность того, что отказ произойдет в малом интервале наработки от *L* до *L+dL* и представляет собой производную функции вероятности отказа *F(L)*:

$$f\left(L\right)=\frac{dF(L)}{d(L)}. \tag{2.6}$$

Вероятность безотказной работы *R(L)* по определению является противоположным параметром по отношению к вероятности отказа *F(L)*. Этот параметр характеризует вероятность того, что отказ автомобиля не произойдет при наработке *L* [29]:

$$R\left(L\right)=1-F(L); \tag{2.7}$$

$$R\left(L\right)=\int_{L}^{\infty} f(L)\cdot dL. \tag{2.8}$$

Известно, что с увеличением наработки вероятность отказов возрастает. При этом фактические наработки в циклах ТО меняются в широком диапазоне: наблюдаются как случаи недопробега, так и перепробега автомобилей относительно установленной периодичности при коэффициенте вариации наработки 0,17 … 0,23. Анализ результатов ранее выполненных исследований позволил установить, что на вариацию фактической периодичности ТО влияют следующие факторы: средняя длина рейса, соблюдение технологической дисциплины и пропускная способность зоны ТО [77].

Таким образом установлено, что по существующим методам невозможно корректно определить вероятность отказов группы автомобилей по наработке в циклах ТО, поскольку к моменту наработки L_i часть автомобилей завершили

циклы ТО и в дальнейшем автомобили и циклы ТО учитывать не требуется. Предлагается использовать следующую эмпирическую формулу:

$$F(L_i) = \frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_i) - A_c(L_i)}, \quad (2.9)$$

где $m(L_i)$ – количество отказов, возникших к моменту наработки L_i по причине некачественного ТО;

$N_{ЦТО}$ – общее количество циклов ТО;

$N_{ЦТО}(L_i)$ – количество завершенных циклов ТО к моменту наработки L_i;

A_c – общее количество автомобилей, ед.;

$A_c(L_i)$ – автомобили, прошедшие ТО к моменту наработки L_i, ед.

Использование зависимости *F(L)* в условиях вариации фактической периодичности ТО без нормализации наработок на отказ также приводит к некорректному определению вероятности отказов. В связи с этим предлагается выполнить нормализацию наработок относительно нормативной периодичности ТО с использованием коэффициента нормализации *K*:

$$K = \frac{L_{TO}^{н}}{L_{TO}^{ф}}, \quad (2.10)$$

где $L_{TO}^{н}$ – нормативная наработка цикла ТО, тыс. км;

$L_{TO}^{ф}$ – фактическая наработка цикла ТО, тыс. км.

Нормализованная наработка имеет следующий вид:

$$L_i^K = L_i \cdot K. \quad (2.11)$$

Далее по парам значений выполняется построение функции $F(L_i)$, которая показывает изменение вероятности отказа группы автомобилей по наработке в циклах ТО.

Для проверки предположений о том, что вероятность отказов в цикле ТО меняется существенно, необходимо установить закономерности формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО. Сформулируем гипотезу № 2 теоретических исследований, отражающую предполагаемую закономерность.

Гипотеза № 2. В циклах ТО (интервал 0 … L_{TO}) асимптотика рассматриваемой функции (чувствительность модели) [33] зависит от качества операций обслуживания, то есть факт проведения ТО определяет поведение функции внутри интервала. В данном случае необходимо линейные тренды построить в координатах «Наработка L – отклонение вероятности отказа ΔF от тренда».

Следовательно, можно предположить, что зависимость пар значений L и ΔF аппроксимируется квадратичной функцией:

$$\Delta F(L) = a_2 \cdot L^2 + a_1 \cdot L + a_0, \tag{2.12}$$

где a_2, a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

Анализ зависимости *F(L)*, полученной на основе концепции исследований, позволил выдвинуть группу гипотез № 3 о наличии трех возможных положениях прямых участков цикла ТО в зависимости от реализуемого качества ТО Q_{EV}.

Гипотеза № 3.1. При значениях интегрального показателя качества ТО значительно меньше единицы плотность вероятности отказов после ТО (первый участок) больше, чем до ТО (второй участок):

$$\frac{dF(L)_1}{dL_1} >> \frac{dF(L)_2}{dL_2}. \tag{2.13}$$

Данный случай свидетельствует о серьезных проблемах в реализации стратегии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии, то есть ТО проводится некачественно.

Гипотетическое положение линейных трендов представлено на рисунке 2.5.

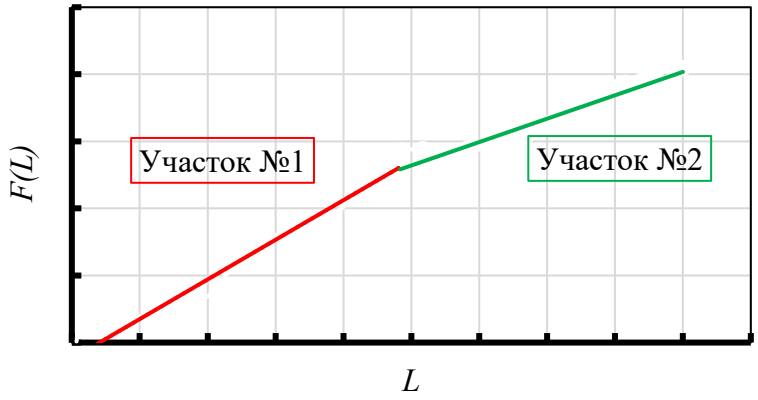


Рисунок 2.5. Гипотетическое положение линейных трендов в циклах ТО при значениях показателя качества значительно меньше 1 ($Q_{EV} << 1$)

Гипотеза № 3.2. При значениях интегрального показателя качества ТО, близких к единице, плотности вероятности отказов после ТО и до ТО примерно равны:

$$\frac{dF(L)_1}{dL_1} \approx \frac{dF(L)_2}{dL_2}. \qquad (2.14)$$

В данном случае плотность вероятности отказов после проведения ТО практически не отличается от плотности вероятности отказов до ТО. Это свидетельствует о том, что ТО не оказывает заметного влияния на надёжность автомобилей. Следовательно, ТО не повышает техническую готовность автомобилей, а поддерживает ее на прежнем уровне.

Гипотетическое положение линейных трендов представлено на рисунке 2.6.

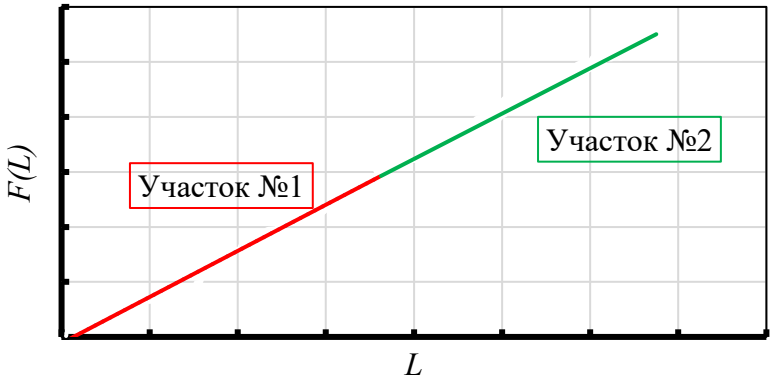


Рисунок 2.6. Гипотетическое положение линейных трендов в циклах ТО при значениях показателя качества около 1 ($Q_{EV} \approx 1$)

Гипотеза № 3.3. При значениях интегрального показателя качества ТО значительно больше единицы плотность вероятности отказов после ТО меньше, чем до ТО:

$$\frac{dF(L)_1}{dL_1} << \frac{dF(L)_2}{dL_2}. \qquad (2.15)$$

Снижение плотности вероятности отказов после проведения ТО свидетельствует о высоком качестве операций обслуживания. Это означает, что в ходе ТО были успешно выявлены и устранены потенциальные отказы.

Гипотетическое положение линейных трендов представлено на рисунке 2.7.

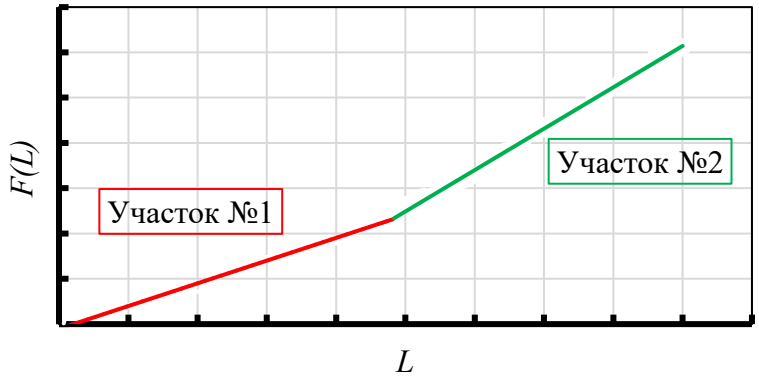


Рисунок 2.7. Гипотетическое положение линейных трендов в циклах ТО при значениях показателя качества значительно больше 1 ($Q_{EV} >> 1$)

Выдвинутые гипотезы проверяются в экспериментальных исследованиях, представленных в третьем разделе.

2.6 Алгоритм модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО

Согласно ГОТ Р 57188-2016, математическое моделирование представляет собой «исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей» [33].

Вопросы применения методов моделирования при исследовании сложных технических систем подробно рассмотрены в работе Никифорова А. Д. [89], в которой отмечается, что моделирование позволяет учитывать стохастический характер исследуемых процессов. Для решения данной проблемы предлагается использовать методы активного имитационного эксперимента, позволяющие установить закономерности функционирования исследуемой системы [40].

Необходимость применения методов моделирования также отражена в Концепции научно-технологического развития транспортного комплекса Российской Федерации [62].

Для реализации этапа контроля потока данных о системе (I) и исследования закономерностей формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей предлагается метод активного имитационного эксперимента, реализуемый с помощью алгоритма формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО. Особенностью алгоритма является учет изменения количества автомобилей, участвующих в циклах ТО, и числа завершенных циклов ТО по мере увеличения наработки, а также нормализация фактических значений наработки на отказ с использованием коэффициента нормализации.

Перед разработкой алгоритма необходимо определить входные параметры исследуемой системы:

– у автомобилей *A* фиксируются фактические наработки в циклах ТО путем анализа записей пробегов в момент последовательно проведенных обслуживаний. В результате определяются количество циклов ТО $N_{ЦТО}$ и соответствующие им фактические наработки $L_{TO}^{ф}$;

– далее формируется выборочная совокупность отказов *m* в циклах ТО, в которых не обеспечивается полнота выполненных операций обслуживания;

– последним этапом формирования исходных данных является определение максимальной наработки автомобиля во всех циклах ТО L_{TOi}^{max}.

Имея перечь исходных данных, выполняется активный имитационный эксперимент по формированию вероятности отказов автомобилей в циклах ТО.

Алгоритм, представленный на рисунке 2.8, включает следующие этапы.

1. Ввод исходных данных в рабочее поле программы:

– фактические наработки автомобилей в циклах ТО $L_{TOi}^{ф}$;

– нормативная наработка цикла ТО $L_{TO}^{н}$;

– количество циклов ТО $N_{ЦТО}$;

– наработки автомобилей до отказа L_i;

– количество отказов *m*;

– количество автомобилей в парке A_c;

– максимальная наработка автомобиля в циклах ТО L_{TOi}^{max}.

2. Расчет коэффициента нормализации *K*, определяемого как отношение нормативной наработки цикла ТО $L_{TO}^{н}$ к наработке фактической $L_{TO}^{ф}$.

3. Нормализация наработки на отказ посредством параметра *K*.

4. Сортировка отказов и их наработок по возрастанию. Номер первого отказа *i* принимается равным единице, при этом начальные значения количества завершенных циклов ТО $N_{ЦТО}(L_i)$ и количества автомобилей, прошедших ТО к моменту наработки $A_c(L_i)$ – нулю.

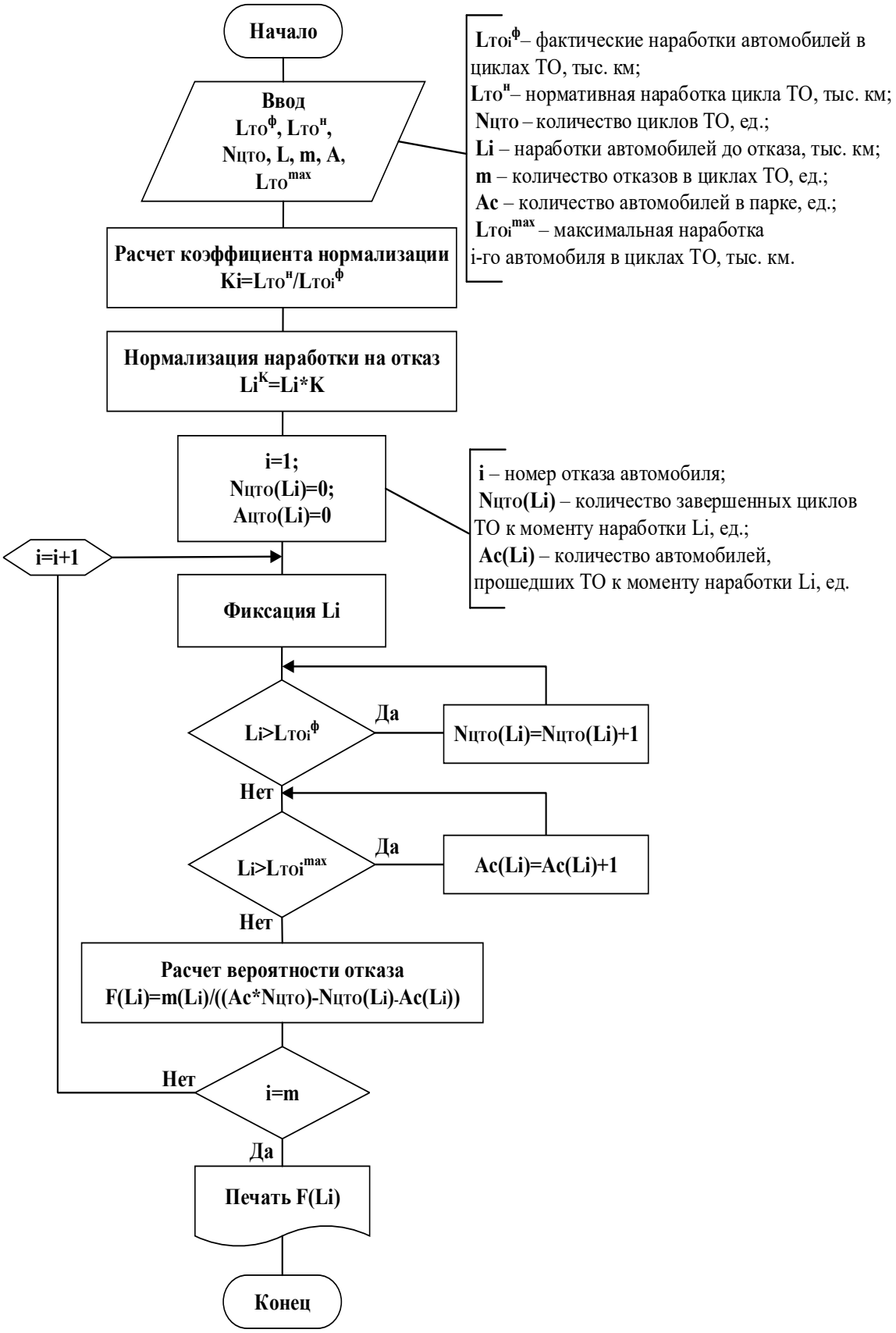


Рисунок 2.8. Алгоритм модели формирования вероятности отказов группы автомобилей по наработке в циклах ТО

5. Фиксация наработки первого отказа L_i для дальнейшего сравнения с выборками фактическими наработками в циклах ТО автомобилей L_{TOi}^{ϕ} и максимальными наработками автомобилей в циклах ТО L_{TOi}^{max}.

6. Определение количества завершенных циклов ТО путем сравнения фиксированной наработки L_i первого отказа со значением из выборки фактических наработок в циклах ТО L_{TOi}^{ϕ}. Проверяется выполнение условия $L_i > L_{TOi}^{\phi}$. Если наработка на отказ превышает наработку цикла ТО, это означает, что к моменту возникновения отказа ТО уже выполнено. При выполнении условия счетчик количества завершенных циклов ТО $N_{ЦТО}(L_i)$ увеличивается на единицу. Процесс повторяется до тех пор, пока условие сравнения выполняется. При первоначальном невыполнении условия значение $N_{ЦТО}(L_i)$ останется без изменений.

7. Сравнение фиксированной наработки первого отказа L_i с максимальной наработкой автомобиля в циклах ТО L_{TOi}^{max} выполняется по условию $L_i > L_{TOi}^{max}$. Если наработка на отказ превышает максимальную наработку автомобиля в циклах ТО, это значит, что к моменту возникновения отказа автомобиль прошел ТО, а счетчик количества автомобилей $A_c(L_i)$ увеличивается на единицу. Процесс повторяется до тех пор, пока условие сравнения выполняется. При первоначальном невыполнении условия значение $A_c(L_i)$ остается прежним.

8. Расчет вероятности возникновения первого отказа к моменту его наработки $F(L_1)$. Расчет выполняется при несоблюдении следующих условий: $L_i > L_{TOi}^{\phi}$ и $L_i > L_{TOi}^{max}$.

9. Расчет вероятности возникновения следующего отказа при переходе к следующему значению наработки.

10. Прекращение расчетов осуществляется при достижении условия $i = m$, соответствующего обработке всех зарегистрированных отказов.

11. Вывод графика зависимости $F(L_i)$ на рабочем поле программы.

2.7 Влияние интегрального показателя оценки качества ТО на коэффициент технической готовности автомобилей в циклах ТО

Анализ научной литературы [131, 55, 37, 132, 46, 48, 117, 77, 115] и опыт производственной деятельности АТП показали, что в качестве критерия эффективности ТЭА целесообразно использовать КТГ. Простота определения этого показателя, универсальность применения для АТП разного назначения независимо от состава и конструктивных особенностей автомобильного парка, а также практическая значимость позволяют оперативно оценивать уровень технической готовности.

Чувствительность показателя обусловлена величиной простоев, поскольку каждый дополнительный день нахождения автомобиля в ТО и ремонте снижает значение КТГ, что свидетельствует о недостатках в стратегии обеспечения работоспособности автомобильного парка.

На возникновение отказов влияет значительное количество факторов. Поток отказов, в свою очередь, влияет на продолжительность нахождения автомобилей в зоне ТР, а также способствует увеличению времени, затрачиваемого на проведение диагностических мероприятий в связи с накопленным износом агрегатов.

Интегральный показатель качества ТО позволяет оценить эффективность выполнения операций обслуживания путем учета отказов, возникших вследствие некачественного выполнения ТО. Данный подход целесообразно использовать при определении фактического значения КТГ групп автомобилей:

$$\alpha_{ЦТО} = \frac{Д^{э}_{ЦТО}}{Д^{э}_{ЦТО} + Д^{ТО,ТР}_{ЦТО}}, \qquad (2.16)$$

где $Д^{э}_{ЦТО}$ – дни автомобилей в эксплуатации в циклах ТО, в которых возникли отказы;

$Д^{ТО,ТР}_{ЦТО}$ – дни нахождения автомобилей в зоне ТО и ТР.

В зависимости от полноты и доступности исходных данных фактическая продолжительность нахождения автомобилей в зоне ТО и ТР может определяться по двум формулам:

$$Д_{ЦТО}^{ТО,ТР} = Д_{ЦТО}^{ТО} + Д_{ЦТО}^{ТР} \qquad \text{или} \qquad Д_{ЦТО}^{ТО,ТР} = Д_{ЦТО} - Д_{ЦТО}^{э}, \qquad (2.17)$$

где $Д_{ЦТО}$ – дни автомобилей в циклах ТО.

В одном цикле ТО, в котором возникли отказы, количество дней автомобиля в эксплуатации определяется по формуле:

$$Д_{ЦТОi}^{э} = \frac{L_{TOi}^{ф}}{l_{TOi}}, \qquad (2.18)$$

где l_{TOi} – интенсивность эксплуатации автомобиля, работающего на линии, в цикле ТО.

Интенсивность эксплуатации автомобиля – это скорость, с которой наработка L увеличивается во времени T:

$$l = \frac{dL}{dT}. \qquad (2.19)$$

Оценка этого параметра осуществляется по индивидуальному, групповому и среднему показателю [42, 117]. В данных исследованиях интенсивность эксплуатации автомобиля, работающего на линии, в цикле ТО определяется по индивидуальному показателю:

$$l_{TOi} = \frac{L_{i+1} - L_i}{T_{i+1} - T_i}, \qquad (2.20)$$

где L_{i+1} и L_i – наработка в цикле ТО в моменты времени T_{i+1} и T_i без учета дней простоя, затрачиваемых на ремонт.

Общее количество дней эксплуатации автомобилей во всех циклах ТО, в которых возникли отказы, определяется по следующей формуле:

$$Д^{э}_{ЦТО} = \sum_{i=1}^{N_{ЦТО}} \frac{L^{ф}_{TOi}}{l_{TOi}}. \qquad (2.21)$$

Соответственно, при преобразовании формулы КТГ в циклах ТО получается следующее выражение:

$$\alpha_{ЦТО} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ЦТО}} \frac{L^{ф}_{TOi}}{l_{TOi}}}{\sum_{i=1}^{N_{ЦТО}} \frac{L^{ф}_{TOi}}{l_{TOi}} + Д_{ЦТО} - \sum_{i=1}^{N_{ЦТО}} \frac{L^{ф}_{TOi}}{l_{TOi}}}. \qquad (2.22)$$

Известно, что качественное выполнение ТО влияет на уровень технической готовности автомобильного парка. С повышением качества операций обслуживания значение показателя качества возрастает, что свидетельствует о соблюдении установленных требований, своевременности технических воздействий и полноте их выполнения. Как следствие, снижается количество дней простоя автомобилей, связанных с отказами, возникшими в циклах ТО.

Таким образом, повышение показателя качества сопровождается увеличением значения КТГ автомобилей в циклах ТО, и наоборот, снижение качества обслуживания приводит к снижению технической готовности автомобильного парка.

Результатом рассуждений является формулирование группы гипотез № 4 о видах модели влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

Гипотеза № 4.1. КТГ автомобилей в циклах ТО связан с показателем качества ТО прямой линейной зависимостью:

$$\alpha_{ЦТО} = a_1 \cdot Q_{EV} + a_0, \tag{2.23}$$

где a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

Линейная аппроксимация модели представлена на рисунке 2.9.

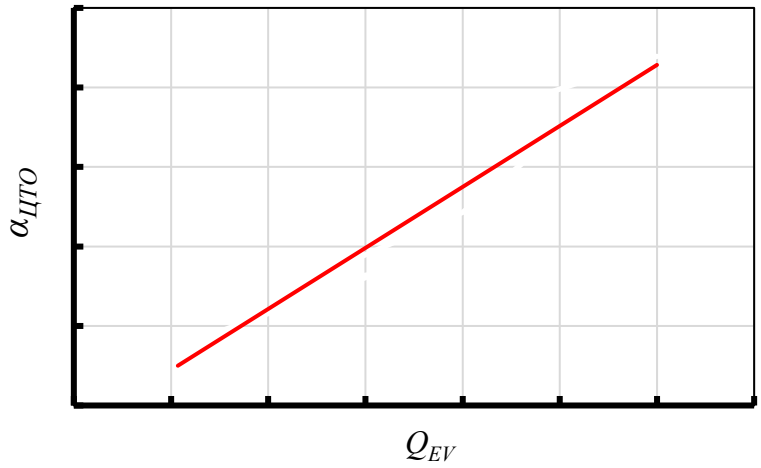


Рисунок 2.9. Гипотетический вид линейной модели зависимости КТГ автомобилей в циклах ТО от показателя качества ТО

Гипотеза № 4.2. КТГ автомобилей в циклах ТО связан с показателем качества ТО прямой квадратичной зависимостью:

$$\alpha_{ЦТО} = a_2 \cdot Q_{EV}^2 + a_1 \cdot Q_{EV} + a_0, \tag{2.24}$$

где a_2, a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

Квадратичная аппроксимация модели представлена на рисунке 2.10.

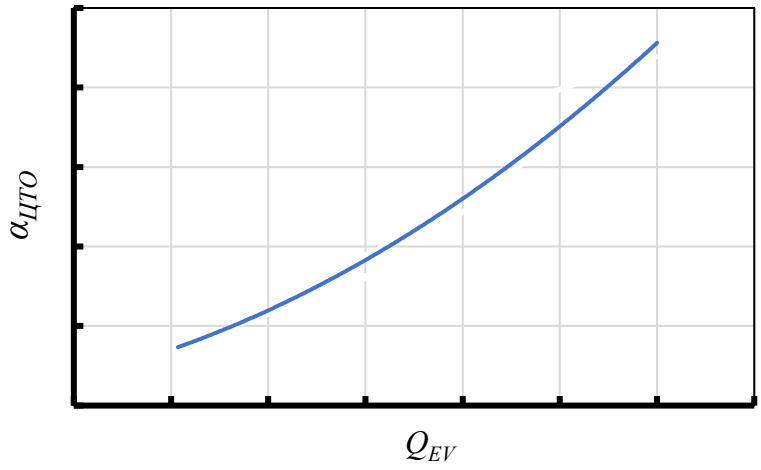


Рисунок 2.10. Гипотетический вид квадратичной модели зависимости КТГ автомобилей в циклах ТО от показателя качества ТО

Гипотеза № 4.3. КТГ автомобилей в циклах ТО связан с показателем качества ТО прямой экспоненциальной зависимостью:

$$\alpha_{ЦТО} = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot Q_{EV}}, \qquad (2.25)$$

где a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

Экспоненциальная аппроксимация модели представлена на рисунке 2.11.

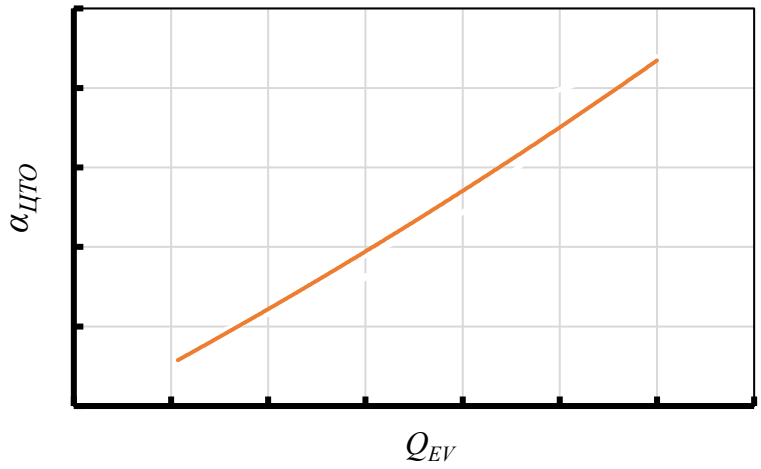


Рисунок 2.11. Гипотетический вид экспоненциальной модели зависимости КТГ автомобилей в циклах ТО от показателя качества ТО

Выдвинутые гипотезы проверяются в экспериментальных исследованиях, представленных в третьем разделе.

2.8 Выводы по разделу 2

В результате проведения теоретических исследований получены следующие результаты.

1. Разработана целевая функция исследований, направленная на достижение максимального значения КТГ автомобилей в циклах ТО, характеризующего эффективность функционирования системы.

2. Разработан интегральный показатель оценки качества ТО автомобилей, базирующийся на концепции формирования реализуемого качества ТО на основе анализа потока отказов.

3. Установлена структура системы оценки качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов, включающая этапы контроля и анализа потока данных о системе, принятия управленческих решений и оценки их эффективности.

4. Выдвинута гипотеза, направленная на установление закономерности формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

5. Выдвинута группа гипотез о наличии трех возможных вариантов положения прямых участков цикла ТО в зависимости от реализуемого качества ТО, определяющих характер изменения вероятности возникновения отказов автомобилей в процессе эксплуатации.

6. Разработан алгоритм модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО, учитывающий изменение количества автомобилей и завершенных циклов ТО при увеличении наработки, а также выполняющий нормализацию фактических значений наработок на отказ.

7. Выдвинута группа гипотез о видах модели влияния интегрального показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования направлены на проверку гипотез, выдвинутых в теоретических исследованиях, а также оценку статистической значимости, проверку адекватности и определение численных значений эмпирических коэффициентов разработанных математических моделей.

Для достижения цели экспериментальных исследований необходимо решить следующие задачи.

1. Сформировать условия, обеспечивающие получение репрезентативного потока данных о состоянии исследуемой системы.

2. Оценить статистическую значимость и проверить адекватность модели формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО, учитывающей изменение количества автомобилей и завершенных циклов в зависимости от наработки, а также нормализующей фактические значения наработок на отказ.

3. Проверить гипотезы, направленные на установление закономерностей формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

4. Определить численные значения интегрального показателя качества ТО групп автомобилей разных марок и моделей, базирующегося на концепции формирования реализуемого качества ТО на основе анализа потока отказов.

5. Проверить группу гипотез о положении прямых участков цикла ТО в зависимости от реализуемого качества ТО, характеризующих изменение вероятности возникновения отказов автомобилей в процессе эксплуатации.

6. Проверить группу гипотез о видах модели влияния интегрального показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО.

3.2 Методика экспериментальных исследований

Реализация экспериментальных исследований осуществляется в пять этапов.

Первый этап экспериментальных исследований заключается в проведении пассивного натурного эксперимента, в ходе которого устанавливаются условия отбора потока данных, обеспечивающие репрезентативное формирование двух выборочных совокупностей на основе следующих методик.

1. Методика формирования статистической информации по ТО автомобилей.

2. Методика обработки статистической информации с целью выделения потока отказов автомобилей в циклах ТО.

Разработанные методики формируют основу для проведения следующих этапов экспериментальных исследований.

Второй этап экспериментальных исследований выполняется методом активного имитационного моделирования [44], в котором алгоритм на основе исходных данных определяет вероятность возникновения отказа в зависимости от наработки. В результате получения пар значений функции отклика F и аргумента L модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО проверяется на адекватность.

На *третьем этапе* экспериментальных исследований проверяются гипотезы, направленные на установление закономерностей формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей.

На *четвертом этапе* экспериментальных исследований методом активного имитационного эксперимента определяются численные значения интегрального показателя оценки качества ТО автомобилей разных марок и моделей.

Пятый этап заключается в интерпретации численных значений интегрального показателя качества через КТГ автомобилей в циклах ТО с последующей проверкой гипотез о видах модели, выдвинутых в теоретических исследованиях.

Сравнение результатов экспериментальных исследований с результатами, полученными во втором разделе, позволит установить наличие предполагаемых

закономерностей, оценить статистическую значимость, проверить адекватность предложенных моделей и определить численные значения их эмпирических коэффициентов, а также обосновать решение о подтверждении или отклонении сформулированных гипотез.

3.3 Методика формирования статистической информации по ТО автомобилей

В ПАО «Сургутнефтегаз» работоспособность автомобилей обеспечивается тактикой, при которой ТО проводится по наработке. Производственно-технический отдел каждого структурного подразделения составляет календарный график ТО, основываясь на рекомендациях завода-изготовителя, в которых указываются периодичность проведения ТО и перечень регламентных работ в зависимости от наработки с начала эксплуатации.

Периодичность ТО полноприводных автомобилей КАМАЗ с учетом II категории условий эксплуатации составляет 20 000 км с допустимым отклонением ± 10 %. Соответственно, максимальное допустимое значение наработки цикла ТО составляет 22 000 км. Однако в процессе эксплуатации соблюдение нормативной периодичности не всегда является выполнимым требованием.

В связи с этим следует отметить, что в рамках данного исследования не рассматривается вопрос корректирования установленной периодичности ТО в зависимости от фактических условий эксплуатации, поскольку данная проблема решена в диссертационных исследованиях Макаровой А. Н. [77]. Целью данного исследования является разработка методики оперативного управления качеством ТО, позволяющей своевременно выявлять и корректировать недостатки в организации и реализации мероприятий по ТО.

Анализ состояния вопроса позволил установить, что качество ТО автомобилей обеспечивается соблюдением установленной периодичности ТО, соответствием фактически выполняемого перечня операций требованиям нормативной документации и полнотой их выполнения. Следовательно, формирование

репрезентативной статистической информации по ТО возможно обеспечить при выполнении следующих условий.

1. Исключение фактических периодичностей ТО, превышающих нормативное значение.

2. Исключение циклов ТО, в которых фактически выполненный перечень работ не соответствует требованиям завода-изготовителя.

Соблюдение указанных условий обеспечивает формирование однородной выборки циклов ТО, позволяющей оценить полноту выполнения операций обслуживания. Реализация указанных условий обеспечивается отделом технического контроля: второе условие – путем проверки соответствия фактически выполненного перечня работ требованиям завода-изготовителя, первое – путем контроля соблюдения установленной периодичности ТО. Дополнительная проверка выполнения первого условия осуществляется при обработке результатов пассивного натурного эксперимента.

Формирование статистической информации по ТО проводилось на основе данных об эксплуатации автомобилей в подразделениях ПАО «Сургутнефтегаз».

В рамках пассивного натурного эксперимента исследовано 337 автомобилей, по которым зафиксирован 831 цикл ТО. Обобщенные сведения представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сведения о количестве автомобилей и циклах ТО

Наименования подразделений	Марки автомобилей	Количество автомобилей, ед.	Количество циклов ТО, ед.
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43118	27	85
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43114	14	39
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	Урал-4320	115	326
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-53228	18	51
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-43118	50	67
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	УАЗ Патриот	25	68
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	УАЗ-3309	43	79
Федоровское УПНПиКРС	Урал-4320	45	116
ИТОГО		**337**	**831**

Для исследования отбирались автомобили наиболее распространенных марок и моделей. Перед проведением ТО фиксировались марка автомобиля, государственный регистрационный номер, дата проведения ТО и показание одометра. Полученные данные представлены в таблице, приведенной на рисунке 3.1.

	A	B	C	D
1	**Марка автомобиля**	**Гос. номер**	**Дата проведения ТО**	**Пробег, км**
2	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	19.04.2012	98356
3	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	29.10.2012	107838
4	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	18.03.2013	116445
5	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	16.07.2013	127124
6	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	30.11.2013	138145
7	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	19.05.2014	152752
8	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	21.11.2014	166417
9	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	14.07.2015	178057
10	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	15.12.2015	192924

Рисунок 3.1. Фрагмент статистической информации по ТО автомобиля КАМАЗ-43114-15 ИК-502

Далее определялась фактическая наработка в циклах ТО как разность между последовательно зафиксированными значениями пробега. Фрагмент результатов представлен на рисунке 3.2.

	A	B	C	D	E
1	**Марка автомобиля**	**Гос. номер**	**Дата проведения ТО**	**Пробег, км**	**Lто, км**
2	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	19.04.2012	98356	
3	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	29.10.2012	107838	9482
4	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	18.03.2013	116445	8607
5	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	16.07.2013	127124	10679
6	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	30.11.2013	138145	11021
7	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	19.05.2014	152752	14607
8	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	21.11.2014	166417	13665
9	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	14.07.2015	178057	11640
10	АВТОМОБИЛЬ КАМАЗ-43114-15 ИК-502	В349СТ86	15.12.2015	192924	14867

Рисунок 3.2. Фрагмент фактических наработок в циклах ТО автомобиля КАМАЗ-43114-15 ИК-502

В результате сформирована выборочная совокупность по нескольким структурным подразделений ПАО «Сургутнефтегаз», содержащая статистическую информацию о проведении ТО автомобилей.

3.4 Методика обработки статистической информации с целью выделения потока отказов автомобилей в циклах ТО

В результате проведения эксперимента сформирована совокупность отказов элементов автомобилей, возникших в циклах ТО. При этом сформированная совокупность включает отказы, обусловленные различными причинами, что не соответствует концепции исследования. В связи с этим необходимо сформировать условия отбора, обеспечивающие репрезентативность выборочной совокупности отказов.

Формирование выборочной совокупности отказов в циклах ТО осуществлялось с учетом следующих условий.

1. Сбор отказов выполнялся только в тех циклах ТО, формирование которых основано на условиях, представленных в подразделе 3.3.

2. Выборочная совокупность состоит из отказов элементов автомобилей, на техническое состояние которых оказывает влияние качественно выполненное ТО. Исключаются элементы, обслуживание которых не предусмотрено установленным перечнем.

3. Исключаются сопутствующие неисправности, выявленные при диагностировании в рамках ТО, так как их устранение носит своевременный характер.

4. Отказы в циклах ТО исключаются в тех случаях, когда автомобиль находился продолжительное время в зоне ТР. При этом в ремонтном листе, как правило, фиксировались пять и более отказов различных элементов автомобиля при одинаковом значении наработки. Возникновение таких отказов не связано с качеством проведения ТО.

5. Отказы нескольких элементов одного узла, агрегата или механизма, имеющие причинно-следственную связь, учитываются как один отказ, поскольку выход из строя одного элемента может привести к последующей потере работоспособности других элементов. Например, несвоевременная замена поврежденного защитного чехла шарнира равных угловых скоростей может привести к повреждению его рабочих поверхностей и последующему отказу всего механизма привода колес.

3.5 Модель формирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО

3.5.1 Методика исследований

При разработке модели изменения вероятности отказов по наработке в циклах ТО необходимо установить следующие требования.

1. Адекватность.

2. Простота (приемлемая сложность) для практического применения.

3. Достаточная точность.

4. Отсутствие грубых несоответствий физическому смыслу.

Этапы отбора исходных данных модели следующие.

1. Формирование групп автомобилей A_c одной марки и модели. Фиксация количества выполненных циклов ТО автомобилей $N_{ЦТО}^{(1)}$, $N_{ЦТО}^{(2)}$, … , $N_{ЦТО}^{(n)}$.

2. Определение интервала наработки каждого цикла ТО: первый цикл $L_0^{(1)}$ … $L_{TO}^{(1)}$; второй цикл $L_0^{(2)}$ … $L_{TO}^{(2)}$; последний цикл $L_0^{(n)}$ … $L_{TO}^{(n)}$.

3. Фиксация наработок на отказ: первый цикл $L_1^{(1)}$, $L_2^{(1)}$, … , $L_m^{(1)}$; второй цикл $L_1^{(2)}$, $L_2^{(2)}$, … , $L_m^{(2)}$; последний цикл $L_1^{(n)}$, $L_2^{(n)}$, … , $L_m^{(n)}$.

4. Нормализация наработок на отказ фактических периодичностей $L_{TO}^{ф}$ к периодичности нормативной $L_{TO}^{н}$ через коэффициент нормализации *K*. Сортировка отказов по возрастанию в зависимости от их наработки с присвоением порядковых номеров L_1, L_2, … , L_m.

5. Определение вероятности отказов по наработке в циклах ТО.

С возрастанием наработки количество завершенных циклов ТО $N_{ЦТО}(L_i)$ увеличивается, как и количество автомобилей $A_c(L_i)$, прошедших ТО. Тогда, вероятности отказов при значениях наработок L_1, L_2, … , L_m в интервале $L_0^{(1)}$ … $L_{TO}^{(n)}$, равному нормативному значению периодичности, следующие:

$$F(L_1) = \frac{m(L_1)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_1) - A_c(L_1)}; \qquad F(L_2) = \frac{m(L_2)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_2) - A_c(L_2)};$$

$$F(L_m) = \frac{m(L_m)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_m) - A_c(L_m)}.$$

6. Построение зависимости *F(L)* с последующей аппроксимацией линейной функцией.

7. Оценка статистической значимости коэффициента парной корреляции *r* аппроксимируемой функции с использованием *t*-статистики Стьюдента и проверка адекватности модели по величине средней ошибки аппроксимации [3]:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_i - y_{pi}|}{y_i} \cdot 100\%, \qquad (3.1)$$

где y_i – эмпирическое значение функции отклика при наработке L_i;

y_{pi} – расчетное значение функции отклика при наработке L_i;

n – число наблюдений.

Коэффициент парной корреляции является значимым, если *t*-статистика Стьюдента превышает табличное значение для доверительной вероятности *p*:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1 - r^2}} \cdot \sqrt{n - m - 1} \geq t_p, \qquad (3.2)$$

где r – коэффициент парной корреляции;

t_p – табличное значение критерия Стьюдента для доверительной вероятности *p*;

m – число независимых переменных в модели.

7. Проверка гипотезы № 2, выдвинутой в теоретических исследованиях.

Изменение вероятности отказов на разных участках цикла ТО определяется качеством операций обслуживания. Для проверки данных предположений

необходимо линейные тренды построить в координатах «Наработка L – отклонение вероятности отказов ΔF от тренда». Пары значений L_i и ΔF_i предлагается аппроксимировать квадратичной функцией. Теснота корреляционных связей нелинейных моделей определяется по корреляционному отношению:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{S_{ост}^2}{S_y^2}}. \tag{3.3}$$

Остаточная $S_{ост}^2$ дисперсия и общая S_y^2 (второй центральный момент, m_2), которая является характеристикой рассеивания случайной величины около среднего значения, определяются по следующим формулам:

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum (y_i - f(x_i))^2}{n}; \tag{3.4}$$

$$S_y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}. \tag{3.5}$$

Подставив выражения (3.4) и (3.5) в формулу (3.3) получим следующее выражение корреляционного отношения:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - f(x_i))^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}. \tag{3.6}$$

Наличие предполагаемой закономерности осуществляется по *t*-статистике Стьюдента, которая оценивает значимость корреляционного отношения:

$$t = \eta \cdot \sqrt{\frac{n-m-1}{1-\eta^2}} \geq t_p . \qquad (3.7)$$

Согласованность разработанных математических моделей экспериментальным данным осуществляется с использованием дисперсионного отношения Фишера и средней ошибки аппроксимации:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{ост}^2} \geq F_p , \qquad (3.8)$$

где S_y^2 – общая дисперсия;

$S_{ост}^2$ – остаточная дисперсия, характеризующая ошибку предсказания результатов опыта;

F_p – табличное значение критерия Фишера для доверительной вероятности p.

Выполнение условия $F \geq F_p$ свидетельствует об адекватности полученной зависимости.

3.5.2 Результаты

Для формирования вероятности отказов в циклах ТО проводится активный имитационный эксперимент.

Сначала фиксируются данные о количестве автомобилей, выполненных обслуживаниях, фактических наработок и времени между очередными ТО.

Далее в каждом цикле ТО фиксируются отказы. При этом рассматриваются только те циклы ТО, в которых фактическая наработка ТО не превышает нормативного значения и выполненный перечень операций соответствует требованиям завода-изготовителя. В таких циклах ТО возникновение отказов обусловлено недостаточной полнотой выполнения операций обслуживания. Наработка до каждого отказа определяется от начала соответствующего цикла ТО.

Затем наработки на отказ L_i нормализуется через относительный коэффициент K и полученные значения сортируются по возрастанию.

В завершении рассчитываются значения вероятности отказов по наработке и пары значений F_i и L_i аппроксимируются линейной функцией.

На примере автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» на рисунках 3.3 … 3.5 представлены фрагменты результатов моделирования.

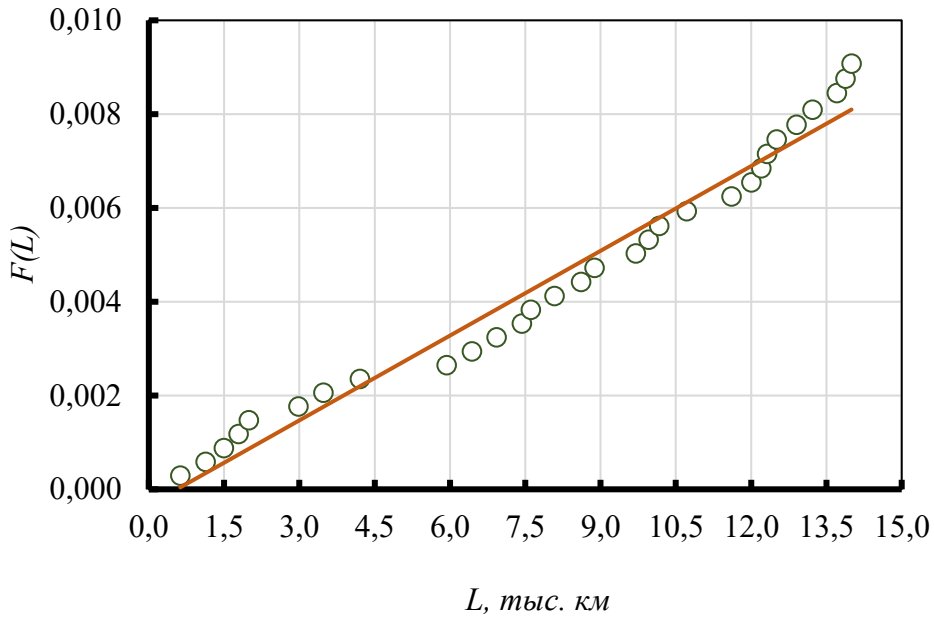


Рисунок 3.3. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ-3309 в циклах ТО

Аналитический вид модели влияния наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ-3309 в циклах ТО следующий:

$$F(L) = 0,0006L - 0,0003. \qquad (3.9)$$

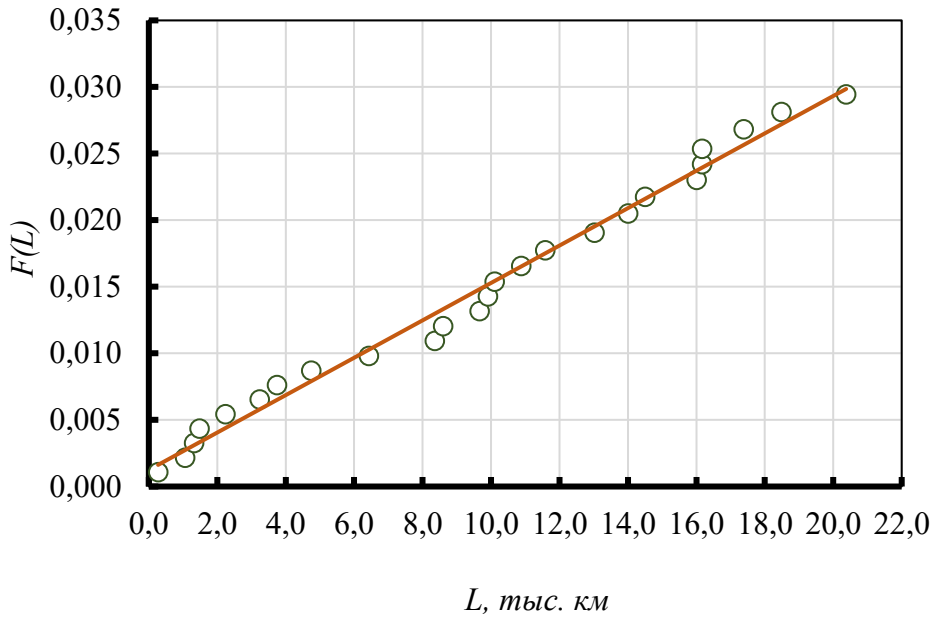


Рисунок 3.4. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-53228 в циклах ТО

Аналитический вид модели влияния наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 в циклах ТО следующий:

$$F(L) = 0,0014L + 0,0012. \tag{3.10}$$

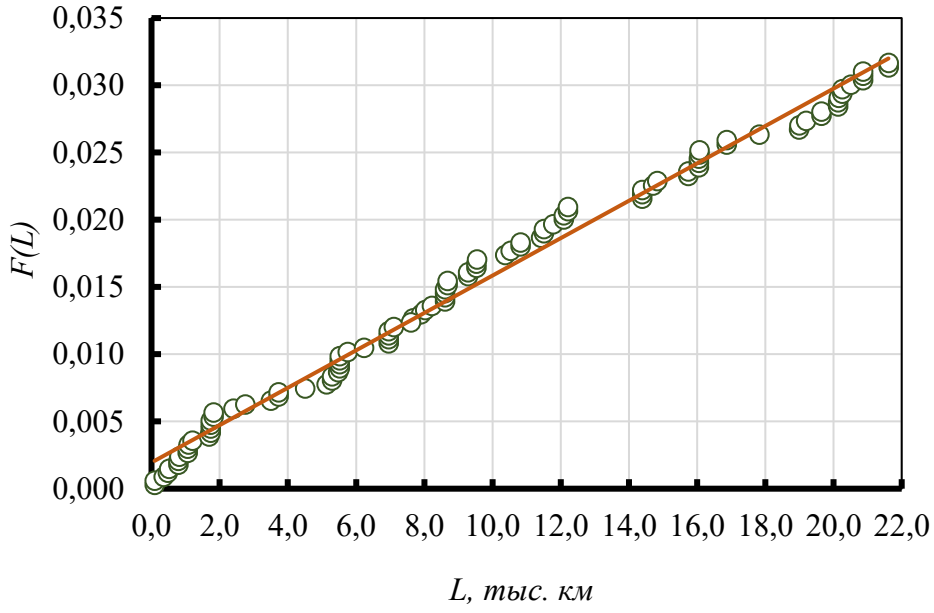


Рисунок 3.5. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 в циклах ТО

Аналитический вид модели влияния наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 в циклах ТО следующий:

$$F(L) = 0,0014L + 0,0019. \quad (3.11)$$

Статистическая значимость коэффициентов парной корреляции проверялась по *t*-статистике Стьюдента t_r, а адекватность модели проверялась по критерию Фишера *F*. Во всех случаях с вероятностью 0,99 коэффициенты парной корреляции статистически значимы, а модели адекватны. Средние ошибки аппроксимации разработанных моделей варьируются в пределах 5,64 … 8,82 %. Фрагмент статистических характеристик моделей изменения вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Фрагмент статистических характеристик модели влияния наработки на вероятность отказов автомобилей в циклах ТО УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

Марки автомобилей	Статистические характеристики						
	r^2	r	t_r	$t_{0,99}$	F	$F_{0,99}$	$\bar{\varepsilon}$,%
УАЗ-3909	0,97	0,98	34,91	2,76	1 218,61	7,64	8,82
КАМАЗ-53228	0,99	0,99	53,32	2,74	3 017,81	7,53	7,39
КАМАЗ-43118	0,99	0,99	99,51	2,63	9 903,00	6,90	7,40

Проверка гипотезы № 2 выполнялась путем построения линейного тренда в координатах «Наработка *L* – отклонение вероятности отказов *ΔF* от тренда».

Фрагменты результатов моделирования на примере автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» представлены на рисунках 3.6 … 3.8.

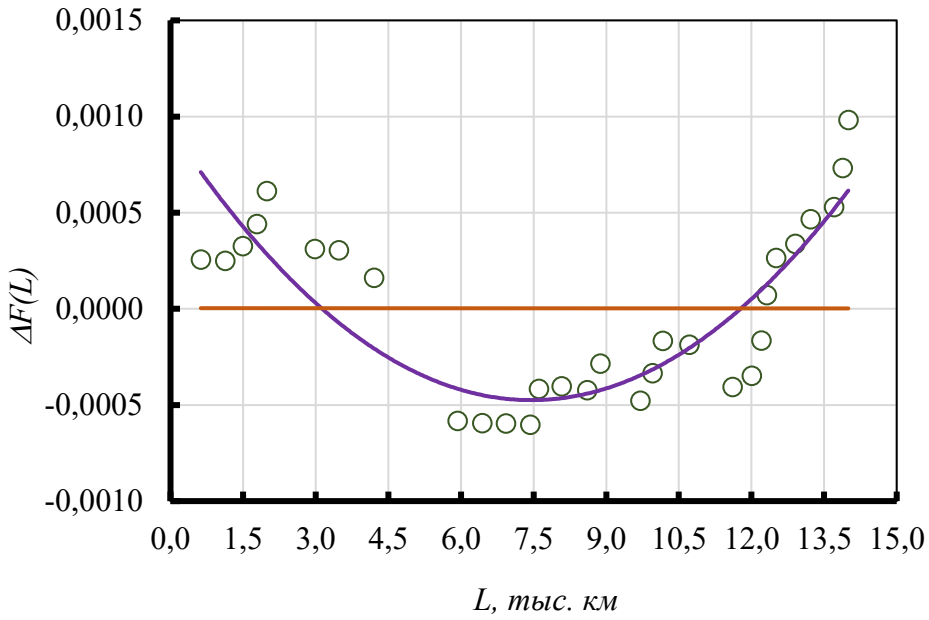


Рисунок 3.6. Отклонение вероятности отказов автомобилей УАЗ-3309 от тренда в циклах ТО

Модель отклонения вероятности отказа автомобилей УАЗ-3309 от тренда в циклах ТО имеет следующий аналитический вид:

$$\Delta F(L) = 3 \cdot 10^{-5} L^2 - 0,0004L + 0,0009. \qquad (3.12)$$

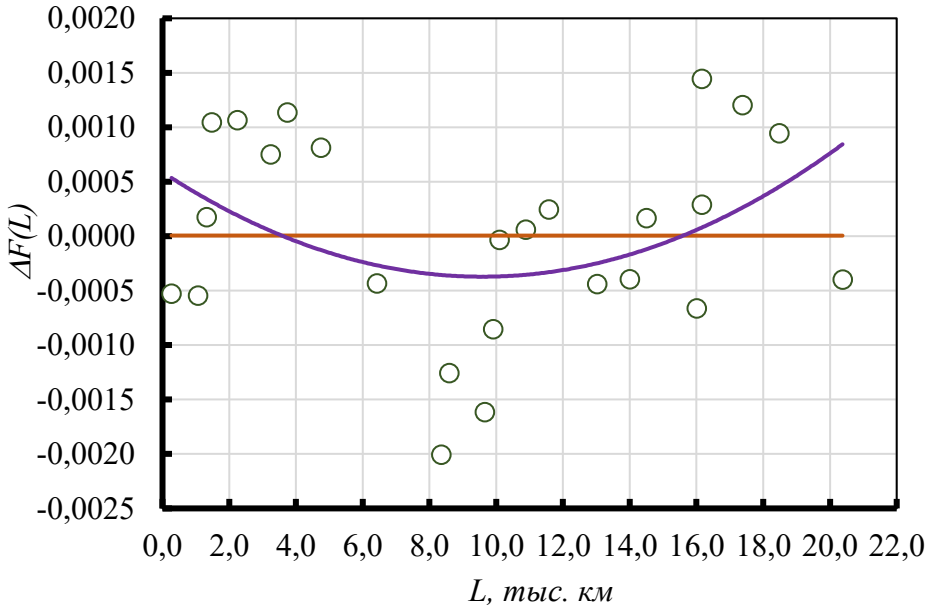


Рисунок 3.7. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-53228 от тренда в циклах ТО

Модель отклонения вероятности отказа автомобилей КАМАЗ-53228 от тренда в циклах ТО имеет следующий аналитический вид:

$$\Delta F(L) = 10^{-5} L^2 - 0,0002L + 0,0006. \quad (3.13)$$

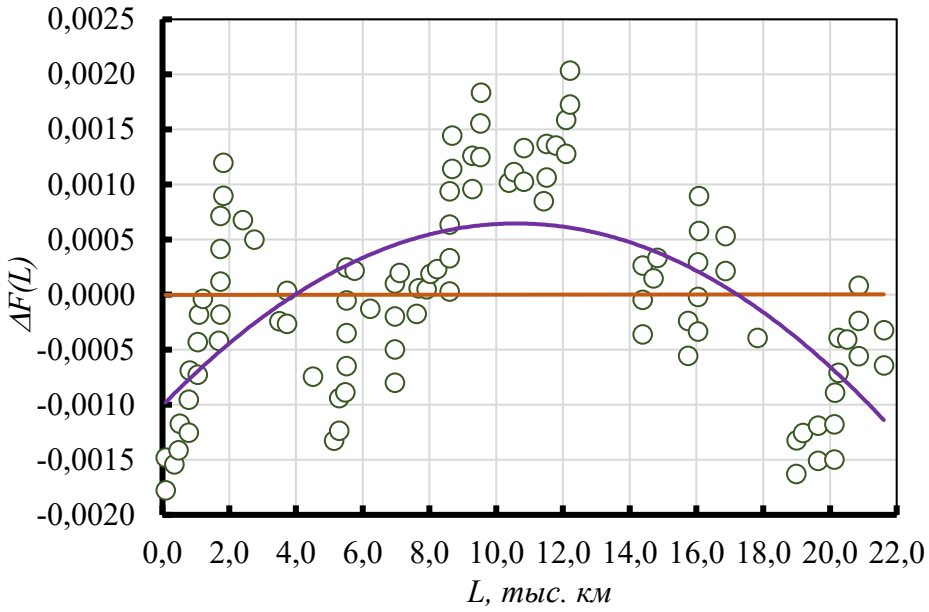


Рисунок 3.8. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-43118 от тренда в циклах ТО

Модель отклонения вероятности отказа автомобилей КАМАЗ-43118 от тренда в циклах ТО имеет следующий аналитический вид:

$$\Delta F(L) = -10^{-5} L^2 + 0,0003L - 0,001. \quad (3.14)$$

Фрагмент статистических характеристик моделей приведен в таблице 3.3.

Установлено, что при изменении технического состояния автомобилей в циклах ТО, адекватность модели экспериментальным данным подтверждается с вероятностью 0,99 вследствие превышения расчетного значения дисперсионного отношения Фишера F над табличным F_p. Корреляционное отношение η также является статистически значимым с вероятностью 0,99.

В случаях, когда техническое состояние автомобилей после ТО не изменяется, адекватность модели экспериментальным данным подтверждается с вероятностью 0,90, при этом корреляционное отношение η является статистически значимым с той же вероятностью.

Таблица 3.3 – Фрагмент статистических характеристик модели отклонения вероятности отказов автомобилей от тренда в циклах ТО УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

Марки автомобилей	Статистические характеристики										
	η^2	η	t_r	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$	F	$F_{0,90}$	$F_{0,95}$	$F_{0,99}$	e, %
УАЗ-3909	0,75	0,87	9,24	1,70	2,05	2,76	85,31	2,89	4,20	7,64	0,57
КАМАЗ-53228	0,14	0,37	1,89	1,71	2,07	2,81	3,72	2,94	4,28	7,88	0,07
КАМАЗ-43118	0,40	0,63	8,04	1,66	1,98	2,63	64,64	2,76	3,94	6,90	0,09

3.5.3 Выводы

Графическая интерпретация полученных моделей позволяет наглядно продемонстрировать изменение вероятности отказов по наработке в циклах ТО в зависимости от реализуемого качества ТО. В результате анализа модели установлены следующие закономерности.

1. На рисунке 3.6 на первом участке цикла ТО (0 … 7,5 тыс. км) интенсивность возникновения отказов снижается, что свидетельствует о положительном влиянии выполненных операций обслуживания. Однако по мере увеличения наработки на втором участке цикла (7,5 … 15,0 тыс. км) наблюдается обратная тенденция – интенсивность возникновения отказов возрастает, что свидетельствует о снижении эксплуатационной надежности по мере приближения к очередному ТО.

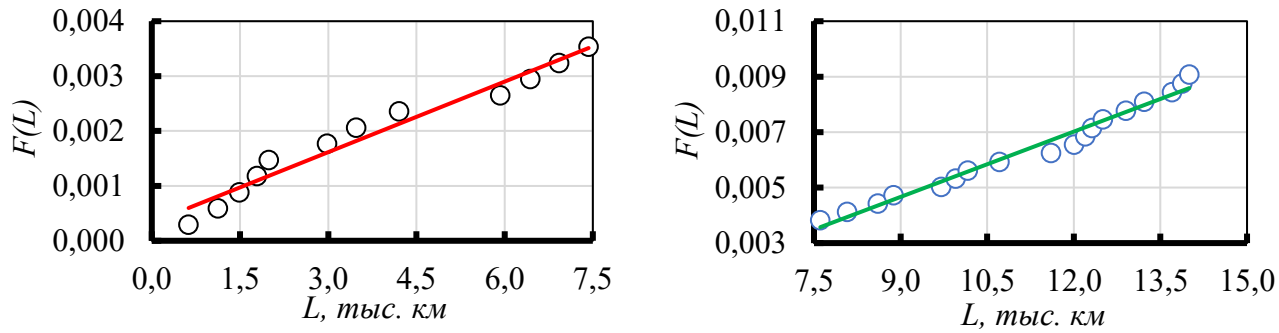
2. На рисунке 3.8 выявлена противоположная закономерность. После проведения ТО на первом участке цикла (0 … 11,0 тыс. км) интенсивность возникновения отказов возрастает, что свидетельствует о низком качестве операций обслуживания. На втором участке цикла (11,0 … 22,0 тыс. км) наблюдается снижение интенсивности отказов, которое связано с восстановлением утраченной работоспособности автомобилей.

3. На рисунке 3.7 отклонения значений вероятности отказов от тренда по наработке не значительны: экспериментальные точки расположены вблизи от тренда. Это связано с тем, что параметры технического состояния после проведения ТО практически не меняются. Следовательно, в данном случае закономерность изменения эмпирической вероятности отказа по наработке в зависимости от реализуемого качества ТО не наблюдается.

Таким образом, гипотеза № 2 подтвердилась частично, поскольку установлены две из трех закономерностей формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

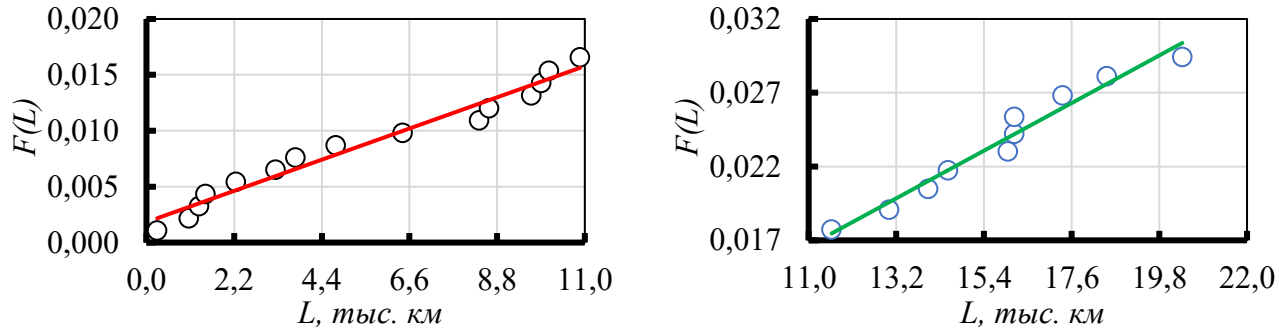
3.6 Разработка интегрального показателя оценки качества ТО автомобилей

В соответствии с концепцией, изложенной в подразделе 2.3, предлагается оценивать качество ТО по отношению приращений вероятностей отказов до и после обслуживания. Для этого каждый участок цикла ТО аппроксимируется кусочно-линейной функцией, построенной по парам значений L_i и F_i. Фрагменты результатов по автомобилям УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» представлены на рисунках 3.9 … 3.11.



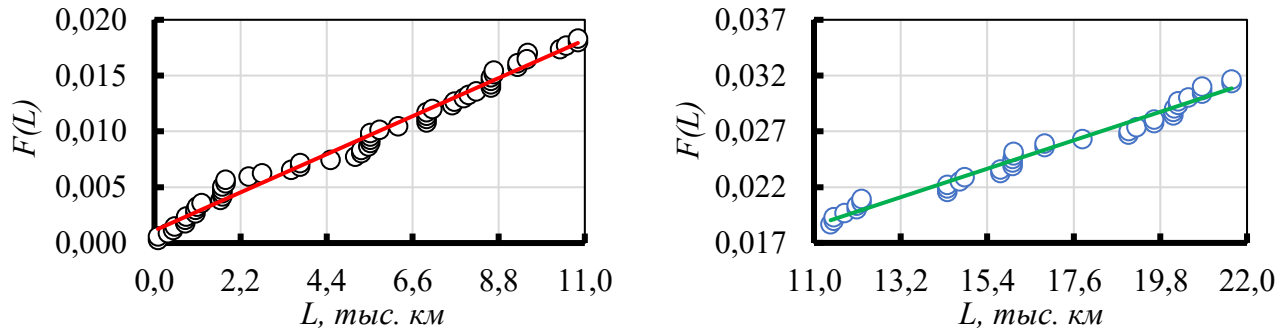
а) б)

Рисунок 3.9. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ-3309 первого участка после ТО (а) и второго перед ТО (б)



а) б)

Рисунок 3.10. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-53228 первого участка после ТО (а) и второго перед ТО (б)



а) б)

Рисунок 3.11. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 первого участка после ТО (а) и второго перед ТО (б)

Аналитические виды модели представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Аналитический виды модели влияния наработки на вероятность отказов автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» первого участка после ТО и второго перед ТО

Марки автомобилей	Участки цикла ТО	
	Первый участок после ТО	Второй участок перед ТО
УАЗ-3909	$F(L) = 0{,}00043L + 0{,}00033$	$F(L) = 0{,}00078L - 0{,}00240$
КАМАЗ-53228	$F(L) = 0{,}00127L + 0{,}00183$	$F(L) = 0{,}00147L + 0{,}00049$
КАМАЗ-43118	$F(L) = 0{,}00155L + 0{,}00112$	$F(L) = 0{,}00116L + 0{,}00578$

Далее линейные функции участков циклов ТО, представленные на рисунках 3.12 … 3.14, дифференцируются. Получаем тангенсы углов наклона прямых до

проведения ТО k_2 и после k_1, которые по физическому смыслу аналогичны плотности вероятности отказа. Интегральный показатель оценки качества ТО Q_{EV} определяется как отношение k_2 и k_1.

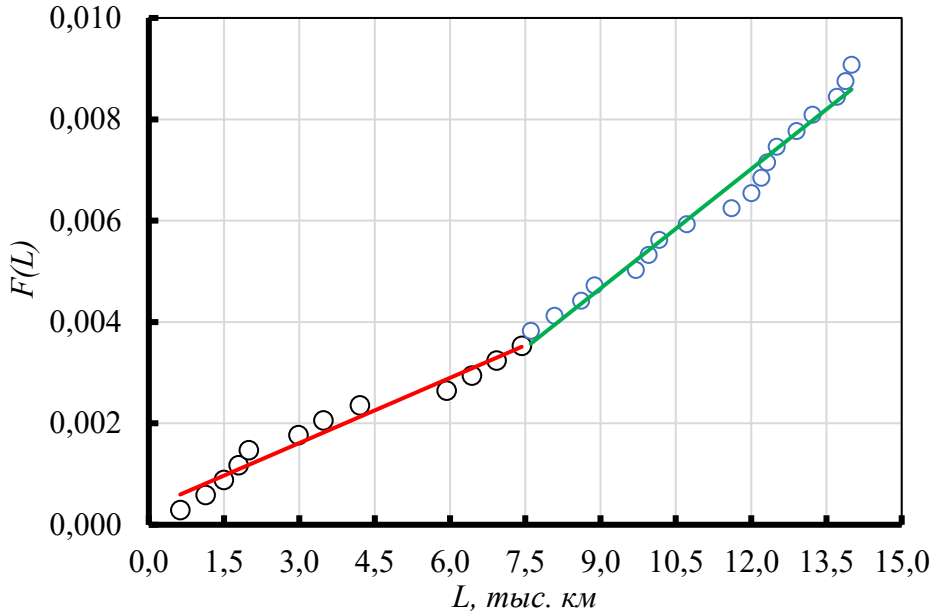


Рисунок 3.12. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятностей отказов на участках циклов ТО автомобилей УАЗ-3909

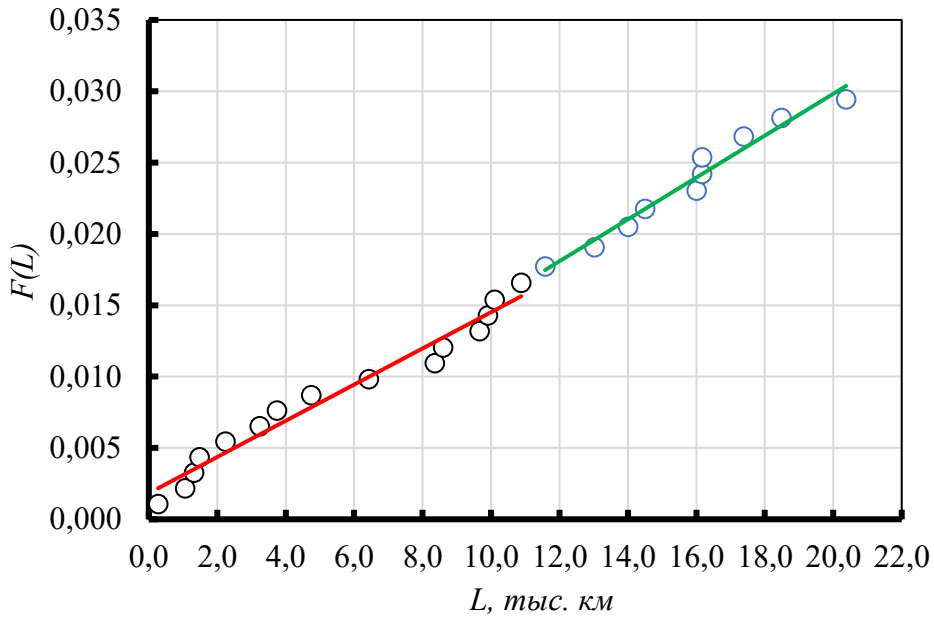


Рисунок 3.13. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятностей отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-53228

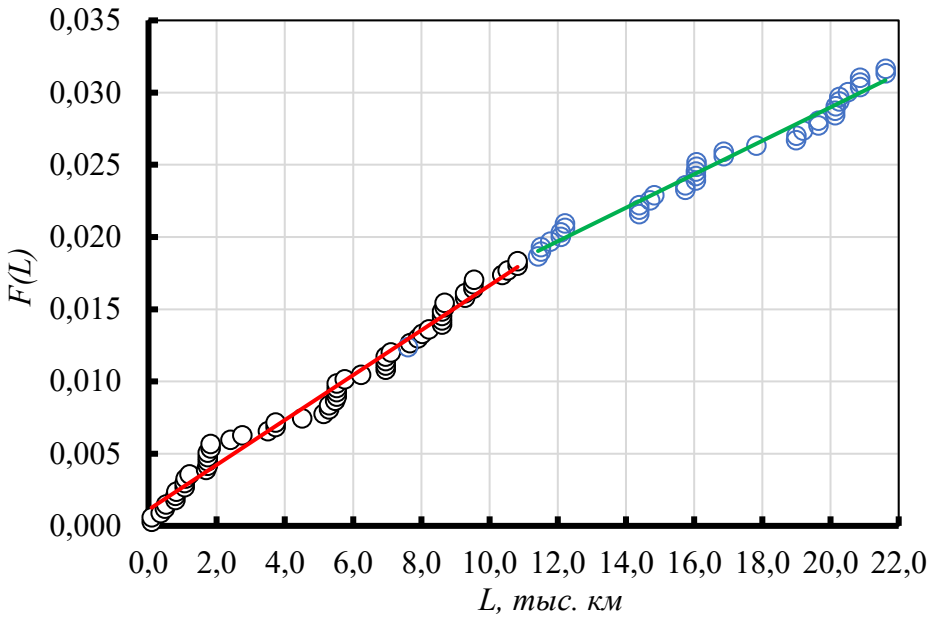


Рисунок 3.14. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятностей отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-43118

Численные значения показателей качества ТО автомобилей представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Численные значения показателей качества ТО автомобилей некоторых структурных подразделений ПАО «Сургутнефтегаз»

Наименования подразделений	Марки автомобилей	Показатель качества Q_{EV}
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43114	0,67
	КАМАЗ-43118	0,99
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-43118	0,75
	КАМАЗ-53228	1,16
	УАЗ Патриот	1,42
	УРАЛ-4320	1,53
	УАЗ-3909	1,81
Федоровское УПНПиКРС	УРАЛ-4320	1,46

Проведенные экспериментальные исследования позволили не отвергнуть группу гипотез № 3 о положении прямых участков в циклах ТО, выдвинутых в

теоретических исследованиях. Полученные результаты соответствуют теоретическим положениям.

1. При значениях показателя качества значительно меньше единицы $Q_{EV} << 1$ наблюдается рост интенсивности приращения вероятности отказов на первом участке после ТО, вследствие чего угол наклона этой прямой больше угла наклона прямой второго участка перед ТО (гипотеза № 3.1, рис. 3.14).

2. При $Q_{EV} \approx 1$ интенсивности приращения вероятностей отказов на двух участках после и перед ТО примерно равны, как и углы наклона соответствующих прямых (гипотеза № 3.2, рис. 3.13).

3. При $Q_{EV} >> 1$ интенсивность приращения вероятности отказа на втором участке перед ТО больше, чем на первом участке после ТО. Следовательно, выполняется условие положения прямых участков по угловым коэффициентам $k_2 >> k_1$ (гипотеза № 3.3, рис. 3.12).

Таким образом, значения интегрального показателя качества ТО варьируются в диапазоне от 0,67 до 1,81, что свидетельствует о разном уровне обеспечения работоспособности автомобилей. Полученные значения интегрального показателя качества необходимо интерпретировать с целью оценки технической готовности автомобилей.

3.7 Модель влияния показателя качества ТО на коэффициент технической готовности автомобилей в циклах ТО

После получения экспериментальных данных проведена интерпретация значений показателя оценки качества ТО путем анализа зависимости КТГ автомобилей в циклах ТО от показателя качества ТО, представленной на рисунке 3.15.

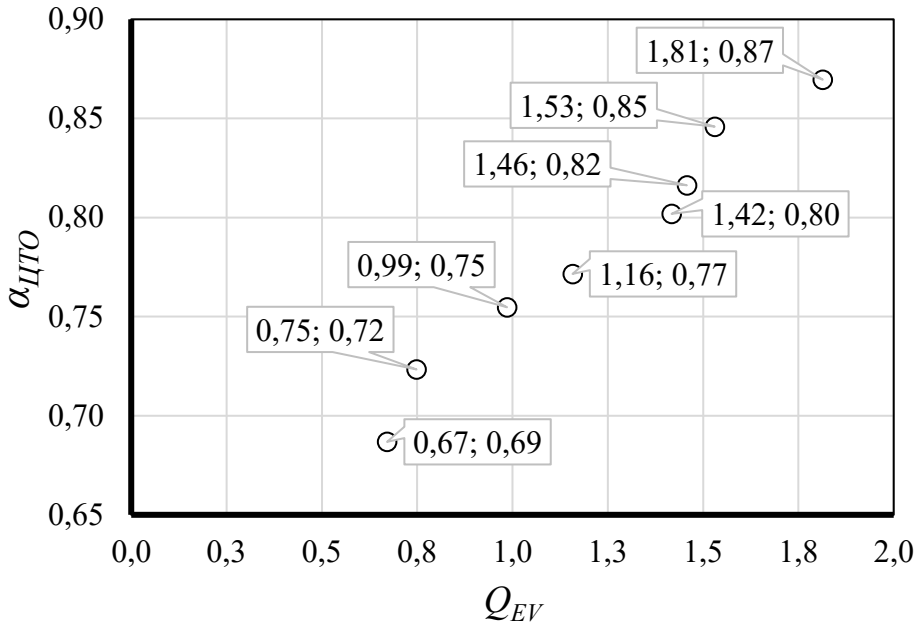


Рисунок 3.15. Влияние показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО

В результате установлено три вида зависимости: линейная, квадратичная и экспоненциальная, которые представлены на рисунках 3.16 … 3.18 соответственно.

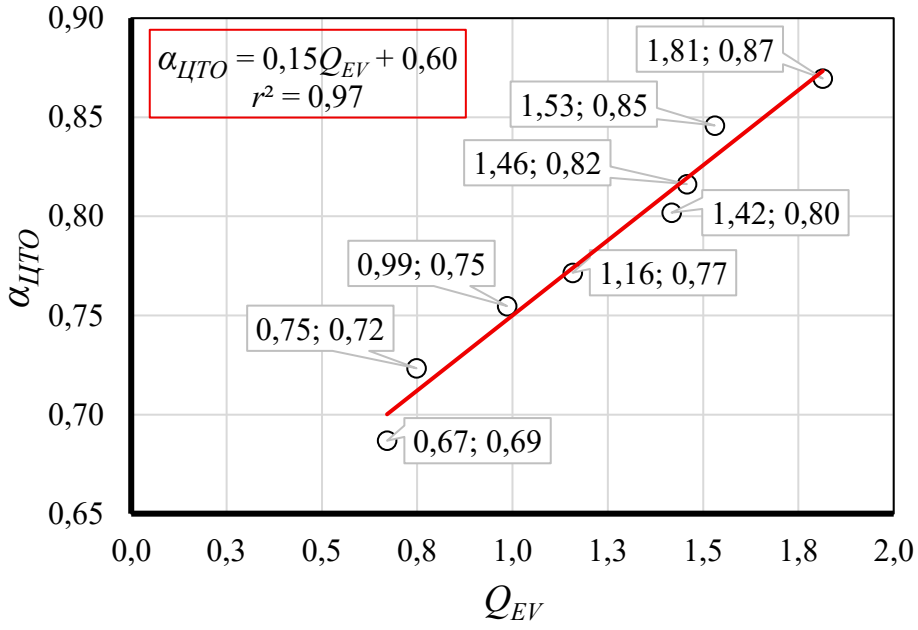


Рисунок 3.16. Влияние показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО, аппроксимированное линейной функцией

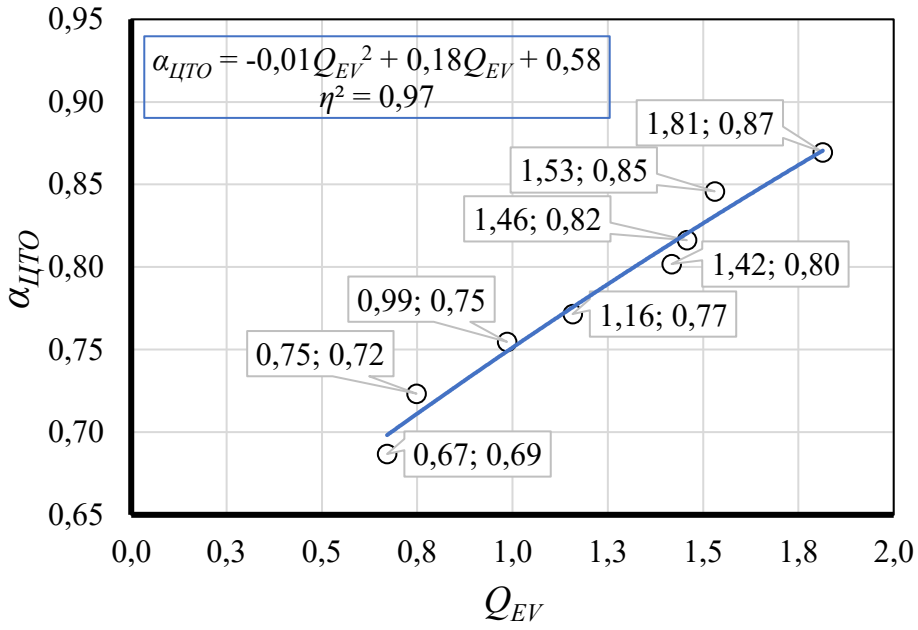


Рисунок 3.17. Влияние показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО, аппроксимированное квадратичной функцией

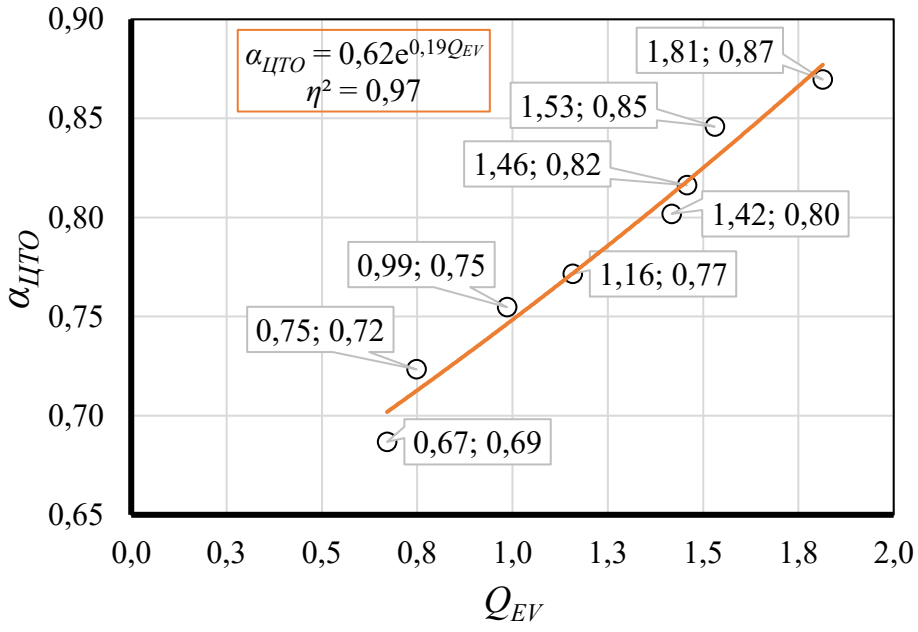


Рисунок 3.18. Влияние показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО, аппроксимированное экспоненциальной функцией

Статистические характеристики модели представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Статистические характеристики модели влияния показателя качества ТО на КТГ автомобилей в циклах ТО, аппроксимированных линейной, квадратичной и экспоненциальной функциями

Виды модели	Статистические характеристики				
	t_r	$t_{0,99}$	F	$F_{0,99}$	$\bar{\varepsilon}$,%
Линейный	14,34	3,71	205,57	13,75	1,10
Квадратичный	14,43	3,71	208,29	13,75	1,06
Экспоненциальный	13,47	3,71	181,50	13,75	1,14

По результатам сравнительного анализа установлено, что все исследуемые виды зависимости адекватны экспериментальным данным и характеризуются высокой статистической значимостью. Однако применение квадратичной и экспоненциальной зависимостей по сравнению с линейной моделью не обеспечивает существенного повышения точности. В связи с этим целесообразно принять линейную модель как наиболее простую и удобную для практической интерпретации.

На основе полученных результатов значения показателя качества ТО распределены по уровням в зависимости от значений КТГ в циклах ТО. Уровни представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Уровни качества ТО

№	Уровни качества ТО	Показатель качества ТО	КТГ в циклах ТО
1	Высокий	1,30 … 1,81	0,80 … 0,87
2	Средний	0,89 … 1,29	0,75 … 0,79
3	Низкий	0,67 … 0,88	0,69 … 0,74

3.8 Выводы по разделу 3

В результате реализации этапов контроля (I) и анализа (II) потока данных о системе, выполненных в ходе теоретических и экспериментальных исследований, сформулированы следующие выводы.

1. Разработаны методики формирования статистической информации по ТО автомобилей и обработки статистической информации с целью выделения потока отказов автомобилей в циклах ТО. В результате проведения пассивного натурного эксперимента установлены условия, обеспечивающие репрезентативное формирование соответствующих выборочных совокупностей.

2. Методом активного имитационного эксперимента на основе исходных данных установлено изменение вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО. Статистическая значимость коэффициентов парной корреляции оценивалась по *t*-статистике Стьюдента t_r, а адекватность модели проверялась по критерию Фишера *F*. Во всех случаях с вероятностью 0,99 коэффициенты парной корреляции статистически значимы, а модели адекватны. Средние ошибки аппроксимации разработанных модели варьируются в пределах 5,64 % … 8,82 %.

Таким образом, выполнена первая задача исследований.

3. Установлены закономерности формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО с помощью построения линейных трендов в координатах «Наработка *L* – отклонение вероятности отказов ΔF от тренда». При качественном ТО интенсивность возникновения отказов после обслуживания снижается, однако по мере увеличения наработки прослеживается обратная тенденция: интенсивность возникновения отказов возрастает. При некачественном ТО после проведения обслуживания интенсивность возникновения отказов возрастает, далее наблюдается снижение интенсивности отказов, которое связано с восстановлением утраченной работоспособности автомобилей. Расчетное значение *t*-статистики Стьюдента t_r превышает табличное с вероятностью 0,99, следовательно, корреляционное отношение η статистически значимо. Дисперсионное отношение Фишера *F* с вероятностью 0,99 превышает табличное значение. Средняя ошибка аппроксимации составляет менее 1 %.

Таким образом, выполнена вторая задача исследований.

4. Методом активного имитационного эксперимента определены численные значения интегрального показателя качества ТО автомобилей разных марок и

моделей. Проведенные экспериментальные исследования позволили не отвергнуть гипотезы о положении линейных трендов до и после проведения ТО, выдвинутые на основе концепции формирования реализуемого качества ТО автомобилей. Значения интегрального показателя оценки качества ТО варьируются в диапазоне от 0,67 до 1,81, что свидетельствует о разном уровне обеспечения работоспособности автомобилей.

Таким образом, выполнена третья задача исследований.

5. Выполнена интерпретация численных значений интегрального показателя качества через КТГ автомобилей в циклах ТО с последующей проверкой гипотез о видах модели, выдвинутых в теоретических исследованиях. Анализ полученной зависимости позволил установить линейный вид модели исследуемой закономерности. Модель адекватна исходным данным с вероятностью 0,99, поскольку расчетное значение критерия Фишера превышает табличное с соответствующей вероятностью, а средняя ошибка аппроксимации составляет 1,10 %. Коэффициент парной корреляции также статистически значим с вероятностью 0,99.

Таким образом, выполнена четвертая задача исследований.

4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Методология использования результатов исследований

Оперативное управление качеством ТО автомобилей осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 4.1. Алгоритм разработан на основе структуры изучаемой системы, представленной на рисунке 2.4, и направлен на реализацию этапов контроля (I), анализа потока данных (II), принятия и реализации управленческих решений (III), а также оценки их эффективности (IV).

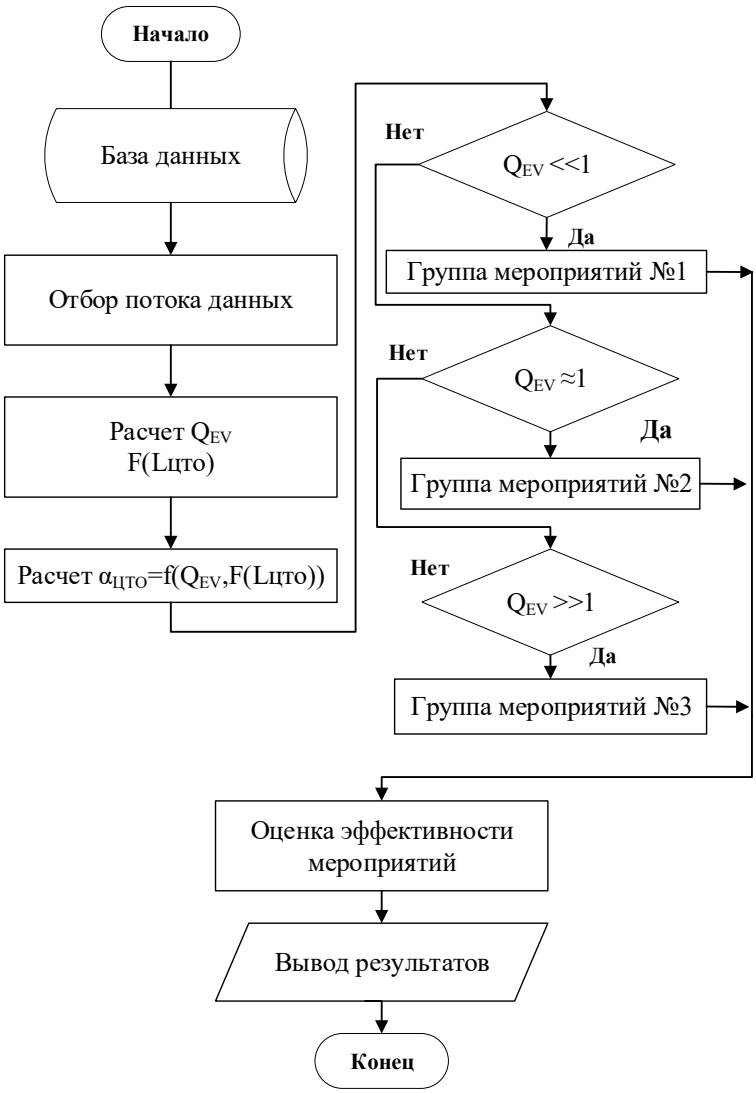


Рисунок 4.1. Алгоритм оперативного управления качеством ТО автомобилей

Для определения фактического значения КТГ автомобилей в циклах ТО формируется выборочная совокупность данных на основе информации, содержащейся в базе данных.

Определение фактического значения КТГ автомобилей в циклах ТО требует обработки значительного объема данных. В данном случае процесс может быть упрощен при использовании зависимости $\alpha_{ЦТО} = f\left(F\left(L_{ЦТО}\right)\right)$, аппроксимированной степенной (рисунок 4.2) или логарифмической функцией (рисунок 4.3). Аппроксимация модели полиномом второго порядка приводит к получению экстраполированных значений функции отклика, что не соответствует ее физическому смыслу.

$$\alpha_{ЦТО} = a_0 \cdot F\left(L_{ЦТО}\right)^{a_1}, \tag{4.1}$$

где a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

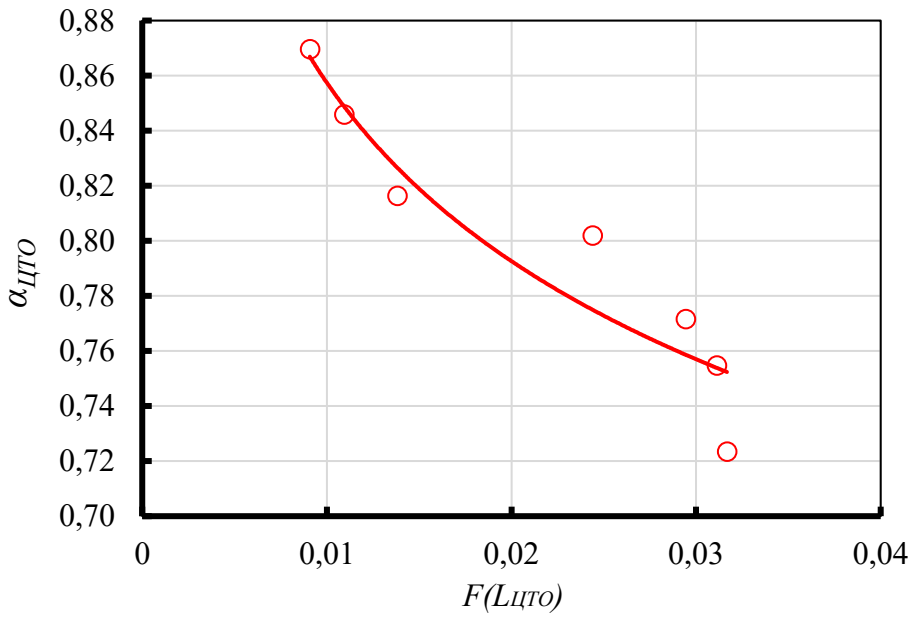


Рисунок 4.2. Влияние вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО, аппроксимированное степенной функцией

$$\alpha_{ЦТО} = a_0 + a_1 \cdot \ln\left(F\left(L_{ЦТО}\right)\right), \tag{4.2}$$

где a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

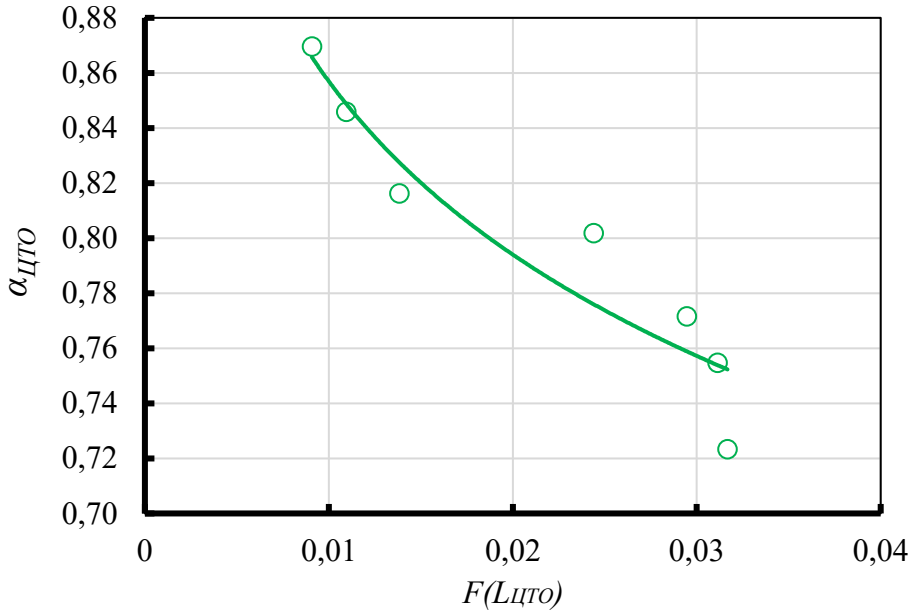


Рисунок 4.3. Влияние вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО, аппроксимированное логарифмической функцией

В развернутом виде выражения 4.1 и 4.2 будут иметь следующий вид:

$$\alpha_{ЦТО} = a_0 \cdot \left(\frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_i) - A_c(L_i)} \right)^{a_1}; \tag{4.3}$$

$$\alpha_{ЦТО} = a_0 + a_1 \cdot \ln\left(\frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_i) - A_c(L_i)} \right). \tag{4.4}$$

Аналитический вид моделей представлен ниже:

$$\alpha_{ЦТО} = 0,51 \cdot \left(\frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_i) - A_c(L_i)} \right)^{-0,11}; \qquad (4.5)$$

$$\alpha_{ЦТО} = 0,44 - 0,09 \cdot \ln \left(\frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{ЦТО}) - N_{ЦТО}(L_i) - A_c(L_i)} \right). \qquad (4.6)$$

Статистические характеристики модели представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Статистические характеристики моделей влияния вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО, аппроксимированных степенной и логарифмической функциями

Виды модели	Статистические характеристики						
	η^2	η	t_r	$t_{0,99}$	F	$F_{0,99}$	$\bar{\varepsilon}$,%
Степенная	0,87	0,93	5,89	4,03	34,68	16,26	1,59
Логарифмическая	0,89	0,94	6,23	4,03	38,86	16,26	1,58

Корреляционные отношения моделей, оцененные по *t*-статистике Стьюдента, являются статистически значимыми с вероятностью 0,99, что подтверждает значимость установленных зависимостей. Адекватность моделей, оцененная по дисперсионному отношению Фишера, подтверждается тем, что расчетное значение превышает табличное с вероятностью 0,99. Средняя ошибка аппроксимация составляет 1,59 % и 1,58 %. Таким образом, разработанные модели адекватны экспериментальным данным.

Однако предложенные однофакторные модели не в полной мере позволяют прогнозировать техническую готовность автомобильного парка, так как учитывают только вероятность отказов автомобилей в циклах ТО. При изменении качества операций обслуживания параметры математической модели влияния вероятности отказов на КТГ автомобилей в циклах ТО меняются, что снижает точность прогнозирования. В связи с этим разработана двухфакторная модель, представленная

рисунке 4.4, которая позволяет количественно оценить совместное влияние факторов на КТГ в циклах ТО.

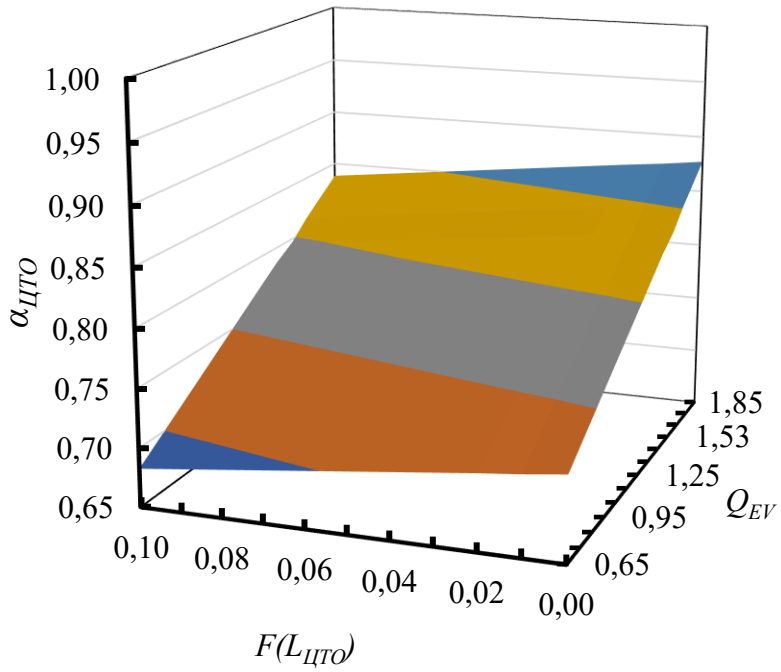


Рисунок 4.4. Влияние показателя качества ТО и вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО, аппроксимированное линейной функцией

Аналитической вид и статистические характеристики (таблица 4.2) модели представлены ниже:

$$\alpha_{ЦТО} = 0,64 + 0,13 \cdot Q_{EV} - 0,39 \cdot F(L_{ЦТО}). \quad (4.7)$$

Коэффициент множественной корреляции, оцененный по *t*-статистике Стьюдента, значим с вероятностью 0,99, что подтверждает статистическую значимость модели. Дисперсионное отношение Фишера показывает, что расчетное значение превышает табличное с вероятностью 0,99, свидетельствуя об адекватности модели. Значение средней ошибки аппроксимации составляет 0,60 %.

Таблица 4.2 – Статистические характеристики модели влияния показателя качества ТО и вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО, аппроксимированной линейной функцией

Статистические характеристики	Численные значения
R^2	0,98
R	0,99
t_r	13,94
$t_{0,99}$	4,03
F	97,22
$F_{0,99}$	16,26
$\overline{\varepsilon}$,%	0,60

В результате проведенного статического анализа можно сделать вывод, что модель влияния показателя качества ТО и вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО является адекватной экспериментальным данным.

Кроме того, использование данной зависимости позволяет решать практическую задачу: зная допустимые значения КТГ и вероятности отказов в циклах ТО, можно прогнозировать реализуемое качество ТО:

$$Q_{EV} = \frac{\alpha_{ЦТО} - 0,64 + 0,39 \cdot F(L_{ЦТО})}{0,13}. \quad (4.8)$$

4.2 Программное обеспечение для моделирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО

На основе алгоритма, представленного в подразделе 2.6, в среде Microsoft Excel с использованием макросов Visual Basic for Applications (VBA) разработано программное обеспечение для моделирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО.

Запуск программы осуществляется через пользовательскую форму, представленную на рисунке 4.5.

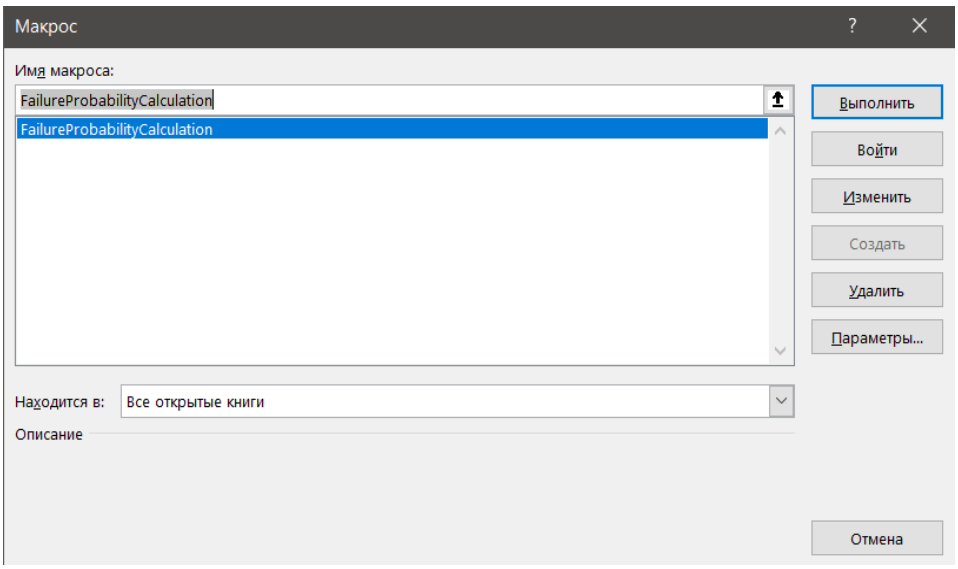
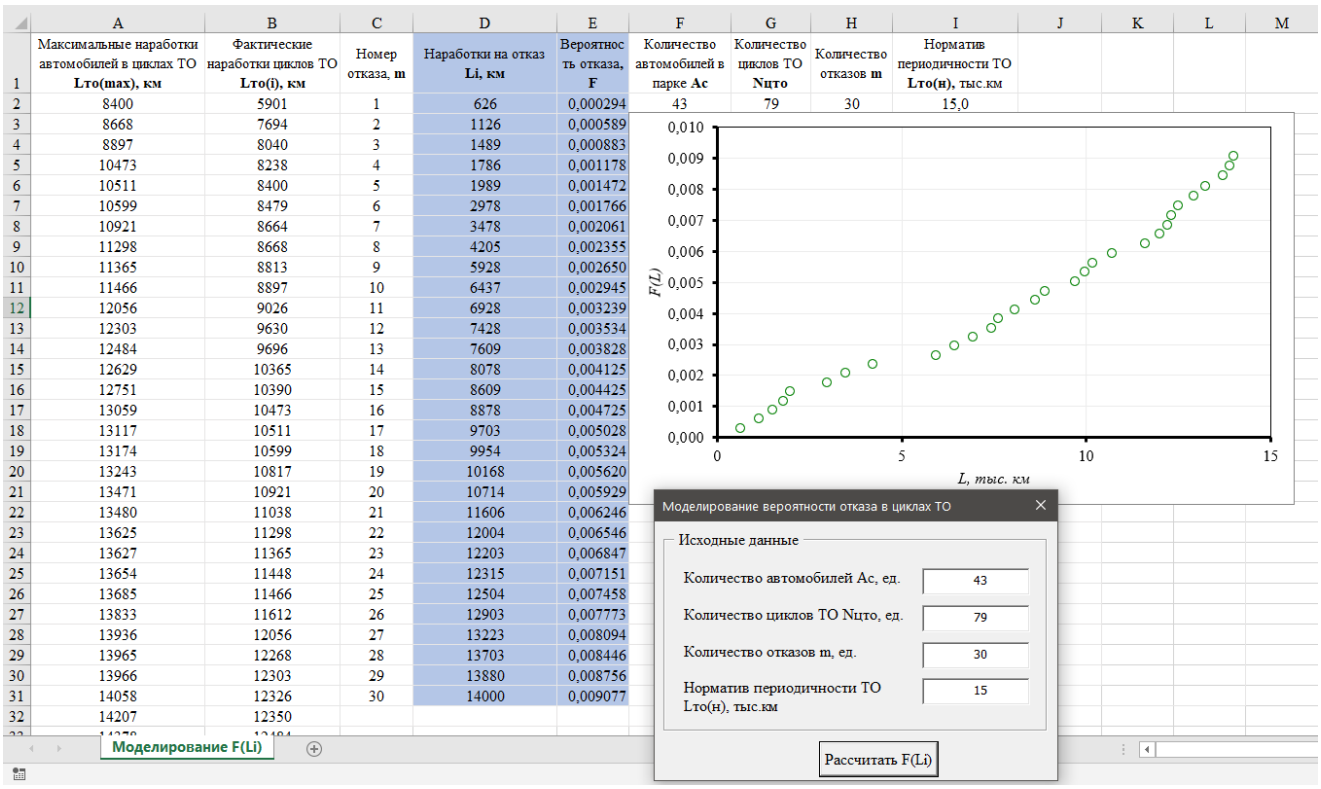


Рисунок 4.5. Вызов пользовательской формы

После ввода исходных данных в пользовательскую форму программа выполняет расчет эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО и формирует графическое представление полученной зависимости. Рабочее поле программы представлено на рисунке 4.6.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Максимальные наработки автомобилей в циклах ТО **Lто(max), км**	Фактические наработки циклов ТО **Lто(i), км**	Номер отказа, **m**	Наработки на отказ **Li, км**	Вероятность отказа, **F**	Количество автомобилей в парке **Ac**	Количество циклов ТО **Nцто**	Количество отказов **m**	Норматив периодичности ТО **Lто(н)**, тыс.км
2	8400	5901	1	626	0,000294	43	79	30	15,0
3	8668	7694	2	1126	0,000589				
4	8897	8040	3	1489	0,000883				
5	10473	8238	4	1786	0,001178				
6	10511	8400	5	1989	0,001472				
7	10599	8479	6	2978	0,001766				
8	10921	8664	7	3478	0,002061				
9	11298	8668	8	4205	0,002355				
10	11365	8813	9	5928	0,002650				
11	11466	8897	10	6437	0,002945				
12	12056	9026	11	6928	0,003239				
13	12303	9630	12	7428	0,003534				
14	12484	9696	13	7609	0,003828				
15	12629	10365	14	8078	0,004125				
16	12751	10390	15	8609	0,004425				
17	13059	10473	16	8878	0,004725				
18	13117	10511	17	9703	0,005028				
19	13174	10599	18	9954	0,005324				
20	13243	10817	19	10168	0,005620				
21	13471	10921	20	10714	0,005929				
22	13480	11038	21	11606	0,006246				
23	13625	11298	22	12004	0,006546				
24	13627	11365	23	12203	0,006847				
25	13654	11448	24	12315	0,007151				
26	13685	11466	25	12504	0,007458				
27	13833	11612	26	12903	0,007773				
28	13936	12056	27	13223	0,008094				
29	13965	12268	28	13703	0,008446				
30	13966	12303	29	13880	0,008756				
31	14058	12326	30	14000	0,009077				
32	14207	12350							

Рисунок 4.6. Рабочее поле программы моделирования вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО

Использование разработанного программного обеспечения позволяет автоматизировать процесс обработки экспериментальных данных, сократить время выполнения расчетов и исключить ошибки, связанные с выполнением вычислительных операций вручную.

4.3 Программное обеспечение для формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов

Для определения реализуемого качества ТО автомобилей разработано программное обеспечение.

Запуск программы осуществляется через пользовательскую форму, представленную на рисунке 4.7.

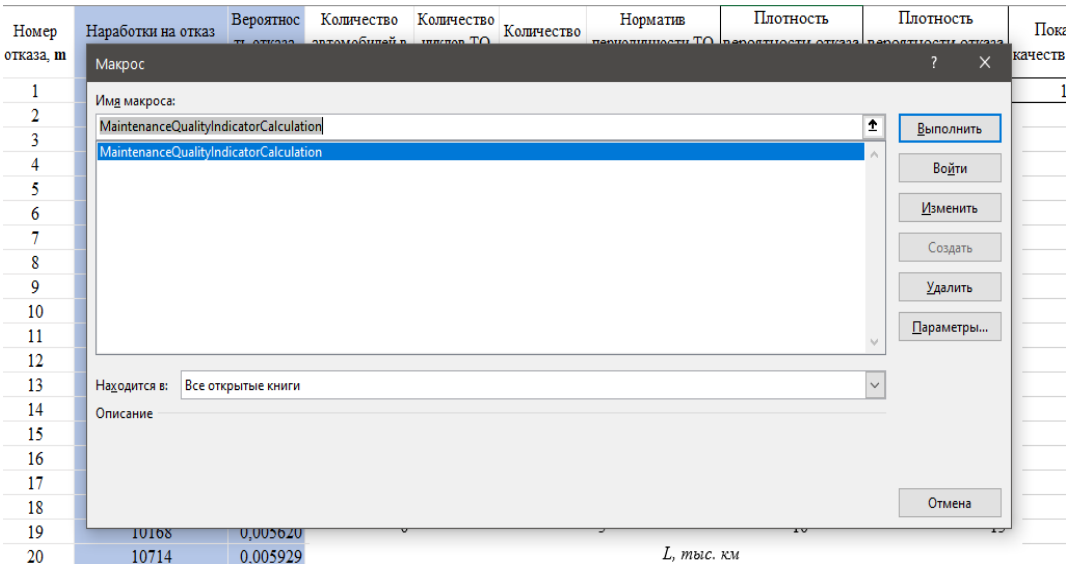


Рисунок 4.7. Вызов пользовательской формы

После запуска программы выполняется построение зависимости вероятности отказов от наработки. Далее цикл ТО делится на два равных участка, каждый из которых аппроксимируется линейной функцией: $F(L_i)_{уч.1} = k_1 \cdot L_i + b_1$, $F(L_i)_{уч.2} = k_2 \cdot L_i + b_2$. Полученные линейные функции дифференцируются, после чего определяется интегральный показатель качества ТО, который равен

отношению угловых коэффициентов линейных функций k_2 и k_1. Угловые коэффициенты характеризуются приращением вероятности отказов по наработке и по физическому смыслу аналогичны плотности вероятности отказов. Рабочее поле программы представлено на рисунке 4.8.

Разработанное программное обеспечение обеспечивает автоматизацию обработки статистической информации, повышение точности расчетов и формирование данных, необходимых для принятия управленческих решений по повышению качества ТО автомобилей.

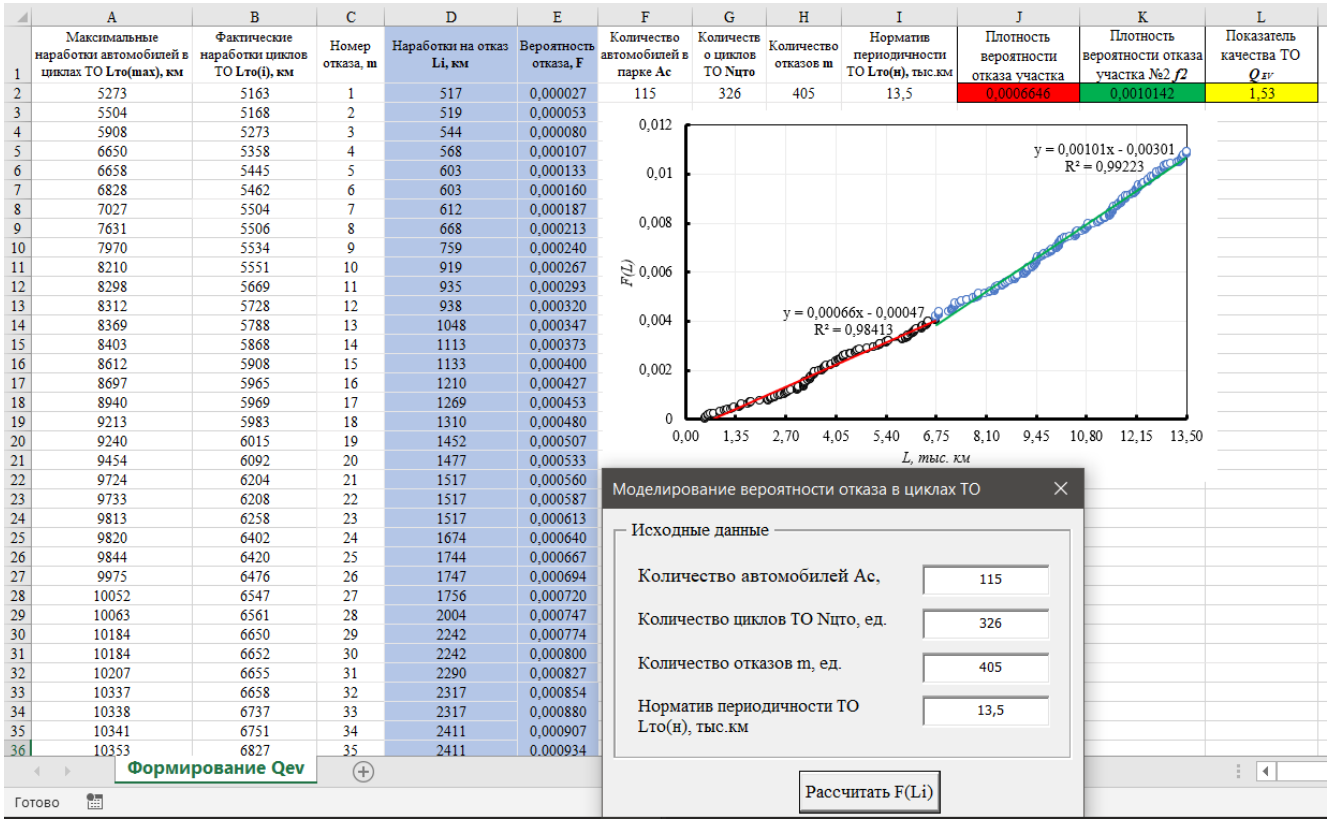


Рисунок 4.8. Рабочее поле программы формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов

4.4 Принятие и реализация управленческих решений

Целью исследований является повышение эффективности эксплуатации автомобилей путем разработки методики оперативного управления качеством ТО на основе анализа потока отказов. Одной из составляющих главной цели

исследований является подцель – повышение технической готовности автомобилей, которая достигается локальной целью – снижением потока отказов в циклах ТО. Реализация данной подцели исследований определяется качеством ТО.

Оценка качества ТО группы автомобилей основана на результатах исследований, представленных в предыдущих разделах. Инструментом оценки является разработанное программное обеспечение для формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов (подраздел 4.3). После оценки качества ТО группы автомобилей необходимо разработать комплекс управленческих решений, направленных на повышение или поддержание требуемого уровня качества ТО.

Для упрощения применения разработанных решений в подразделе 3.7 выполнено распределение численных значений интегрального показателя оценки качества ТО автомобилей по соответствующим уровням: низкий (Q_{EV} = 0,67 … 0,88 при $\alpha_{ЦТО}$ = 0,69 … 0,74), средний (Q_{EV} = 0,89 … 1,29 при $\alpha_{ЦТО}$ = 0,75 … 0,79) и высокий (Q_{EV} = 1,30 … 1,81 при $\alpha_{ЦТО}$ = 0,80 … 0,87). Соответственно, для каждого уровня ТО требуется соответствующий перечень мероприятий.

При формировании статистической информации для оценки качества ТО учитываются циклы, соответствующие установленным требованиям к периодичности ТО и перечню операций (подраздел 3.3). Это позволяет оценить качество ТО по полноте выполнения операций обслуживания. На основе результатов оценки определяются уровни качества ТО и формируется комплекс мероприятий, направленный на устранение выявленных недостатков организации и выполнения операций обслуживания.

Повышение качества ТО предлагается осуществлять с помощью методов принятия управленческих решений. Принятие решений представляет собой одну из основных функций сотрудников всех уровней, в том числе инженерно-технического персонала.

В данных исследованиях предлагается два способа принятия решений.

Первый способ применяется при недостатке информации в производственных ситуациях, требующих использования дополнительных методов оценки. Одним из таких методов является метод экспертных оценок, позволяющий учитывать мнения квалифицированных специалистов и обеспечивать принятие обоснованных управленческих решений.

Определение наиболее значимых мероприятий применяется с помощью квантильного метода, основанного на построении кривых накопленных частот для рассматриваемых мероприятий с последующим их сравнением. Сочетание экспертного и квантильного метода предлагается реализовывать следующим образом.

На начальном этапе проводится формирование мероприятий, направленных на повышение или поддержание качества ТО автомобилей.

В результате сформировано восемь мероприятий, которые распределены по трем группам:

1. Организационно-управленческие:

– профессиональное обучение исполнителей;

– стимулирование персонала;

– контроль технологического процесса ТО.

2. Контрольно-диагностические:

– внеочередной контроль технического состояния;

– дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью.

3. Материально-технические:

– обеспечение технологическим оборудованием;

– обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля;

– обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ.

Далее проводится экспертная оценка сформированного перечня мероприятий. Группа экспертов в составе 10 человек заполняет анкеты, в которых каждому мероприятию, с учетом уровня качества ТО, присваиваются ранги от 1 до 8. Пример анкеты представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Пример анкеты экспертного ранжирования мероприятий по повышению или поддержанию качества ТО автомобилей

№	Мероприятие	Качество ТО		
		Высокое	Среднее	Низкое
1	Профессиональное обучение исполнителей			
2	Внеочередной контроль технического состояния			
3	Обеспечение технологическим оборудованием			
4	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля			
5	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ			
6	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью			
7	Стимулирование персонала			
8	Контроль технологического процесса ТО			

Для каждого уровня качества создаются отдельные сводные таблицы и выполняется обработка анкет всех экспертов: подсчитываются суммы рангов R, отклонения Δ и квадраты отклонений Δ^2 от суммы рангов, затем присваиваются места. Определяется степень влияния каждого мероприятия, которая оценивается весовым коэффициентом q. Вес мероприятий определяется по следующей формуле при условии $\sum_{i=1}^{m} q_i = 1$:

$$q_i = \frac{2 \cdot (n - i + 1)}{n \cdot (n + 1)}, \tag{4.9}$$

где n – количество мероприятий;

i – позиция мероприятия при ранжировании.

Полученные результаты фиксируются в сводных таблицах 4.4, 4.5 и 4.6.

Таблица 4.4 – Сводная таблица априорного ранжирования мероприятий при высоком качестве ТО

№	Мероприятия	Критерии				
		R	Δ	Δ^2	Место	q
1	Профессиональное обучение исполнителей	23	-22	484	2	0,19
2	Внеочередной контроль технического состояния	65	20	400	6	0,08
3	Обеспечение технологическим оборудованием	69	24	576	8	0,03
4	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	47	2	4	5	0,11
5	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	42	-3	9	4	0,14
6	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	66	21	441	7	0,06
7	Стимулирование персонала	15	-30	900	1	0,22
8	Контроль технологического процесса ТО	33	-12	144	3	0,17
СУММА		360	0	2 958	36	1
СРЕДНЕЕ		45	0	369,8	5	0,13

Таблица 4.5 – Сводная таблица априорного ранжирования мероприятий при среднем качестве ТО

№	Мероприятия	Критерии				
		R	Δ	Δ^2	Место	q
1	2	3	4	5	6	7
1	Профессиональное обучение исполнителей	24	-21	441	2	0,19
2	Внеочередной контроль технического состояния	48	3	9	5	0,11
3	Обеспечение технологическим оборудованием	47	2	4	4	0,14
4	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	54	9	81	6	0,08

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7
5	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	16	-29	841	1	0,22
6	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	27	-18	324	3	0,17
7	Стимулирование персонала	73	28	784	8	0,03
8	Контроль технологического процесса ТО	71	26	676	7	0,06
СУММА		360	0	3 160	36	1
СРЕДНЕЕ		45	0	395	5	0,13

Таблица 4.6 – Сводная таблица априорного ранжирования мероприятий при низком качестве ТО

№	Мероприятия	Критерии				
		R	Δ	Δ^2	Место	q
1	Профессиональное обучение исполнителей	51	6	36	5	0,11
2	Внеочередной контроль технического состояния	22	-23	529	2	0,19
3	Обеспечение технологическим оборудованием	64	19	361	7	0,06
4	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	30	-15	225	3	0,17
5	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	61	16	256	6	0,08
6	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	42	-3	9	4	0,14
7	Стимулирование персонала	76	31	961	8	0,03
8	Контроль технологического процесса ТО	14	-31	961	1	0,22
СУММА		360	0	3 338	36	1
СРЕДНЕЕ		45	0	417,3	5	0,13

Согласованность мнений экспертов при ранжировании мероприятий по повышению или поддержанию качества ТО автомобилей оценивается коэффициентом конкордации Кендалла:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \tag{4.10}$$

где S – сумма квадратов отклонений сумм рангов мероприятий от их среднего значения;

m – число экспертов;

n – количество мероприятий.

Сумма квадратов отклонений сумм рангов каждого мероприятия от их среднего значения определяется по следующему выражению:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 , \tag{4.11}$$

где Δ – отклонение суммы рангов каждого мероприятия R_i от средней суммы рангов $\overline{R}$.

Статистическая значимость коэффициента конкордации оценивается по критерию Пирсона χ^2, при этом число степеней свободы определяется как $f = n - 1$:

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W . \tag{4.12}$$

Результаты оценки статистической значимости априорного ранжирования представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Статистические показатели априорного ранжирования мероприятий по повышению или поддержанию качества ТО автомобилей

Уровни качества ТО	Статистические показатели			
	W	χ^2	$\chi^2_{0,99}$	f
Высокий	0,71	49,30	18,48	7
Средний	0,75	52,67	18,48	7
Низкий	0,80	55,63	18,48	7

Поскольку расчетные значения коэффициента конкордации $W = 0{,}71 \ldots 0{,}80$ всех уровней качества ТО ближе к единице, можно считать, что мнения экспертов являются согласованными. Расчетные значения критерия Пирсона $\chi^2_{0,99} = 49{,}30 \ldots 55{,}63$ превышают табличное значение $\chi^2_{0,99} = 18{,}48$ при числе степеней свободы $f = 7$ с вероятностью 0,99. Следовательно, коэффициент конкордации Кендалла все уровней качества ТО статистически значим.

Для наглядности экспертную информацию предлагается интерпретировать с использованием квантильного метода [8], относящегося к непараметрическим методам статистики [125].

Реализация данного метода заключается в определении количества случаев N, при которых оцениваемое мероприятие занимало первое место в ранжировании, выполненном экспертами (точка на графике – G_1), а также случаев, когда оно занимало не ниже второго (G_2), третьего (G_3) и четвертого (G_4) места. Подсчет количества попаданий N определяется для каждого мероприятия. Результаты для каждого уровня качества ТО заносятся в таблицы 4.8, 4.9 и 4.10.

Таблица 4.8 – Распределение накопленных частот мест мероприятий при высоком качестве ТО

Мероприятия	Места							
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Профессиональное обучение исполнителей	2	5	10	10	10	10	10	10
Внеочередной контроль технического состояния	0	0	0	0	1	5	9	10
Обеспечение технологическим оборудованием	0	1	2	2	2	2	2	10
Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	0	0	1	2	10	10	10	10
Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	0	0	0	9	9	10	10	10

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	0	0	0	0	0	4	10	10
Стимулирование персонала	8	9	9	9	10	10	10	10
Контроль технологического процесса ТО	0	5	8	8	8	9	9	10

Таблица 4.9 – Распределение накопленных частот мест мероприятий при среднем качестве ТО

Мероприятия	Места							
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8
Профессиональное обучение исполнителей	0	6	10	10	10	10	10	10
Внеочередной контроль технического состояния	0	0	0	6	7	9	10	10
Обеспечение технологическим оборудованием	0	0	1	4	8	10	10	10
Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	0	0	0	1	5	10	10	10
Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	7	9	9	9	10	10	10	10
Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	2	4	9	9	9	10	10	10
Стимулирование персонала	1	1	1	1	1	1	1	10
Контроль технологического процесса ТО	0	0	0	0	0	0	9	10

Таблица 4.10 – Распределение накопленных частот мест мероприятий при низком качестве ТО

Мероприятия	Места							
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Профессиональное обучение исполнителей	0	0	0	3	8	8	10	10
Внеочередной контроль технического состояния	0	9	9	10	10	10	10	10
Обеспечение технологическим оборудованием	0	0	0	0	1	5	10	10

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля	1	1	9	9	10	10	10	10
Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ	0	1	1	1	1	6	9	10
Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью	1	1	1	6	9	10	10	10
Стимулирование персонала	0	0	0	1	1	1	1	10
Контроль технологического процесса ТО	8	8	10	10	10	10	10	10

Точки G_1 … G_8 каждого мероприятия отмечаются на графике и соединяются линиями, образуя кривые накопленных частот.

Далее строится медиана $M = \frac{N_{\max}}{2}$, которая определяет центральное значение распределений и позволяет определить место мероприятия.

Место мероприятия определяется по тому, какая из точек G_1 … G_8 первой пересекает медиану. Если такой точкой является G_1 то это означает, что эксперты чаще всего присваивали мероприятию первый ранг. Если первой пересекает медиану точка G_2, то мероприятию присвоен второй ранг.

Графическое распределение мест мероприятий при высоком уровне качества ТО автомобилей представлено на рисунке 4.9.

Поскольку по результатам ранжирования каждому мероприятию соответствует определенный вес влияния на процесс повышения или поддержания качества ТО, предлагается сформировать группы мероприятий с близкими значениями весовых оценок. Например, при высоком качестве ТО распределение мероприятий по группам следующее.

1. К группе № 1 относятся мероприятия, кривые накопленных частот которых располагаются в левой части графика. Мероприятия чаще получали высокие ранги в результате экспертного оценивания. К таким мероприятиям относятся:

– стимулирование персонала;

– профессиональное обучение исполнителей;

– контроль технологического процесса ТО.

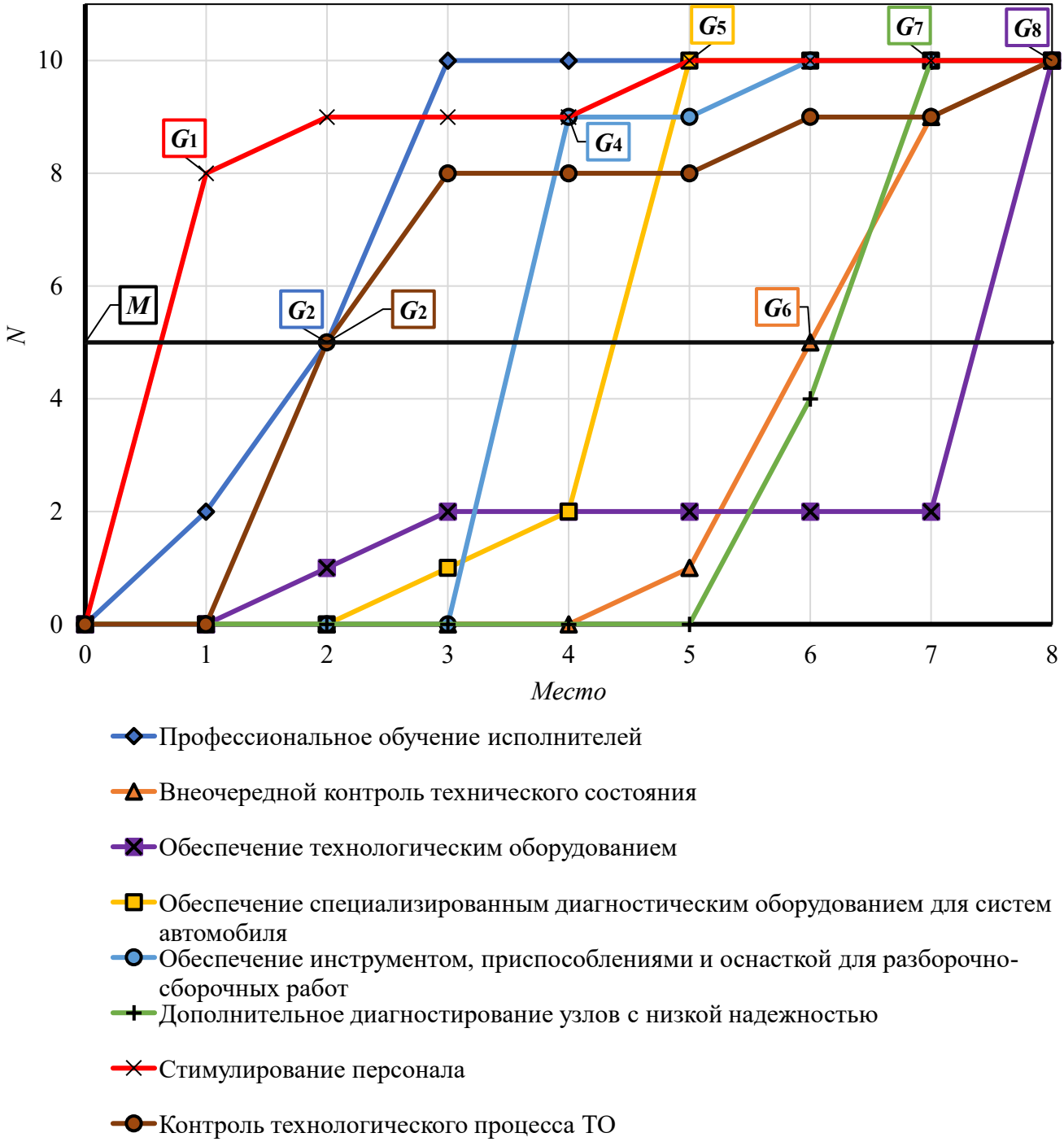


Рисунок 4.9. Кривые накопленных частот мест мероприятий при высоком качестве ТО

2. К группе № 2 относятся мероприятия, кривые накопленных частот которых пересекают медиану в средней части графика:

– обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ;

– обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля.

3. К группе № 3 относятся следующие мероприятия:

– внеочередной контроль технического состояния;

– дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью;

– обеспечение технологическим оборудованием.

Значительная часть экспертов присвоила данным мероприятиям низкие ранги. Соответствующие кривые накопленных частот располагаются в правой части графика, что свидетельствует о низком приоритете данных мероприятий по результатам экспертного ранжирования.

Графическое распределение мест мероприятий при среднем и низком уровне качества ТО автомобилей представлено на рисунке 4.10 и 4.11.

Распределение мероприятий по группам в зависимости от уровня качества ТО представлено в сводной таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Распределение мероприятий по группам в зависимости от уровня качества ТО

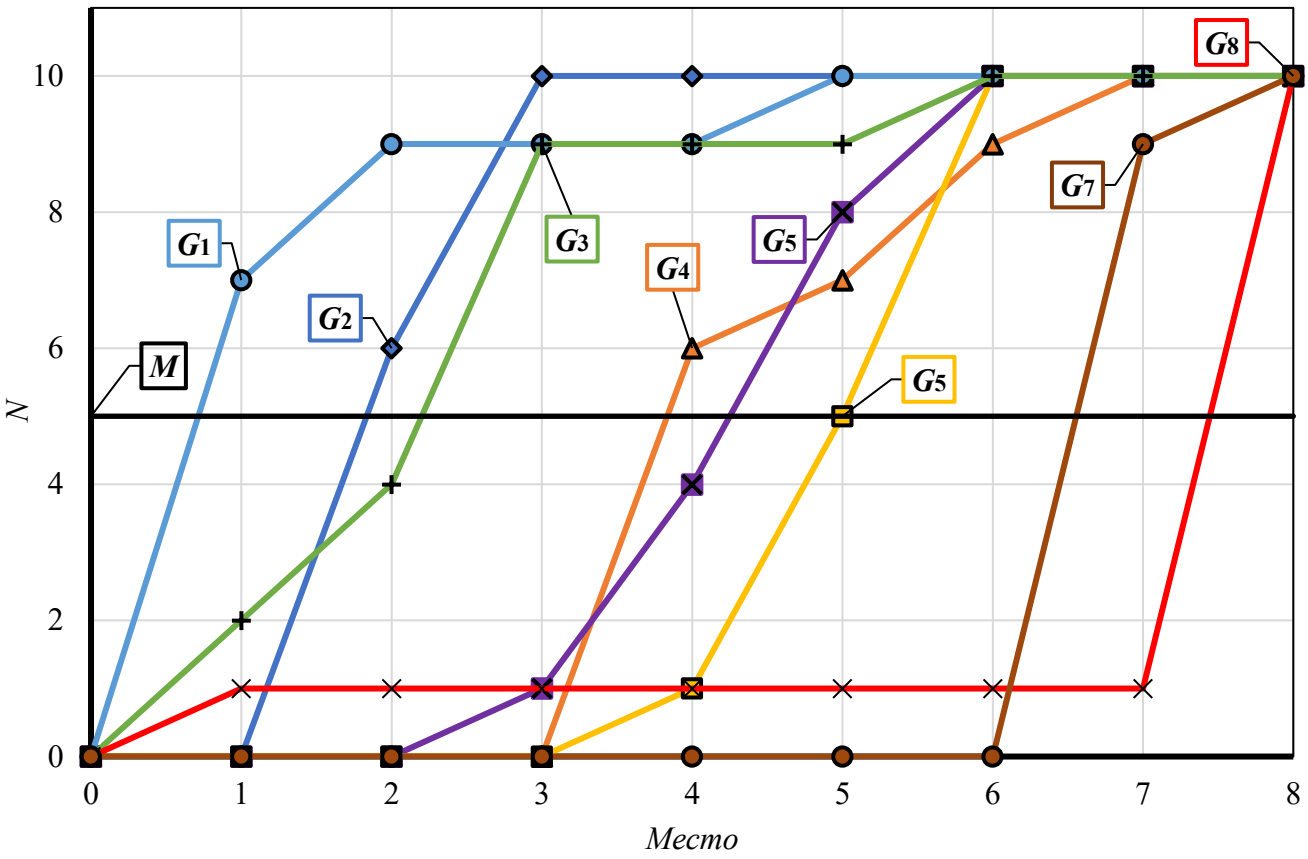
Уровни качества ТО	Номера групп	Места	Мероприятия
1	2	3	4
Высокий	1	1	Стимулирование персонала
		2	Профессиональное обучение исполнителей
		3	Контроль технологического процесса ТО
	2	4	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ
		5	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4
	3	6	Внеочередной контроль технического состояния
		7	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью
		8	Обеспечение технологическим оборудованием
Средний	1	1	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ
		2	Профессиональное обучение исполнителей
		3	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью
	2	4	Внеочередной контроль технического состояния
		5	Обеспечение технологическим оборудованием
		6	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля
	3	7	Контроль технологического процесса ТО
		8	Стимулирование персонала
Низкий	1	1	Контроль технологического процесса ТО
		2	Внеочередной контроль технического состояния
		3	Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля
	2	4	Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью
		5	Профессиональное обучение исполнителей
	3	6	Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ
		7	Обеспечение технологическим оборудованием
	4	8	Стимулирование персонала

При высоком качестве ТО мероприятия первой группы направлены на поддержание достигнутого уровня. В момент снижения уровня качества поэтапно применяются мероприятия второй и третьей группы в зависимости от приоритета группы с целью доведения значения Q_{EV}, соответствующего высокому уровню.

Иное распределение мероприятий при среднем и низком уровне направлено на повышение качества ТО до высшего уровня путем поэтапного выполнения мероприятий, сформированных по приоритетным группам.



Профессиональное обучение исполнителей

Внеочередной контроль технического состояния

Обеспечение технологическим оборудованием

Обеспечение специализированным диагностическим оборудованием для систем автомобиля

Обеспечение инструментом, приспособлениями и оснасткой для разборочно-сборочных работ

Дополнительное диагностирование узлов с низкой надежностью

Стимулирование персонала

Контроль технологического процесса ТО

Рисунок 4.10. Кривые накопленных частот мест мероприятий при среднем качестве ТО

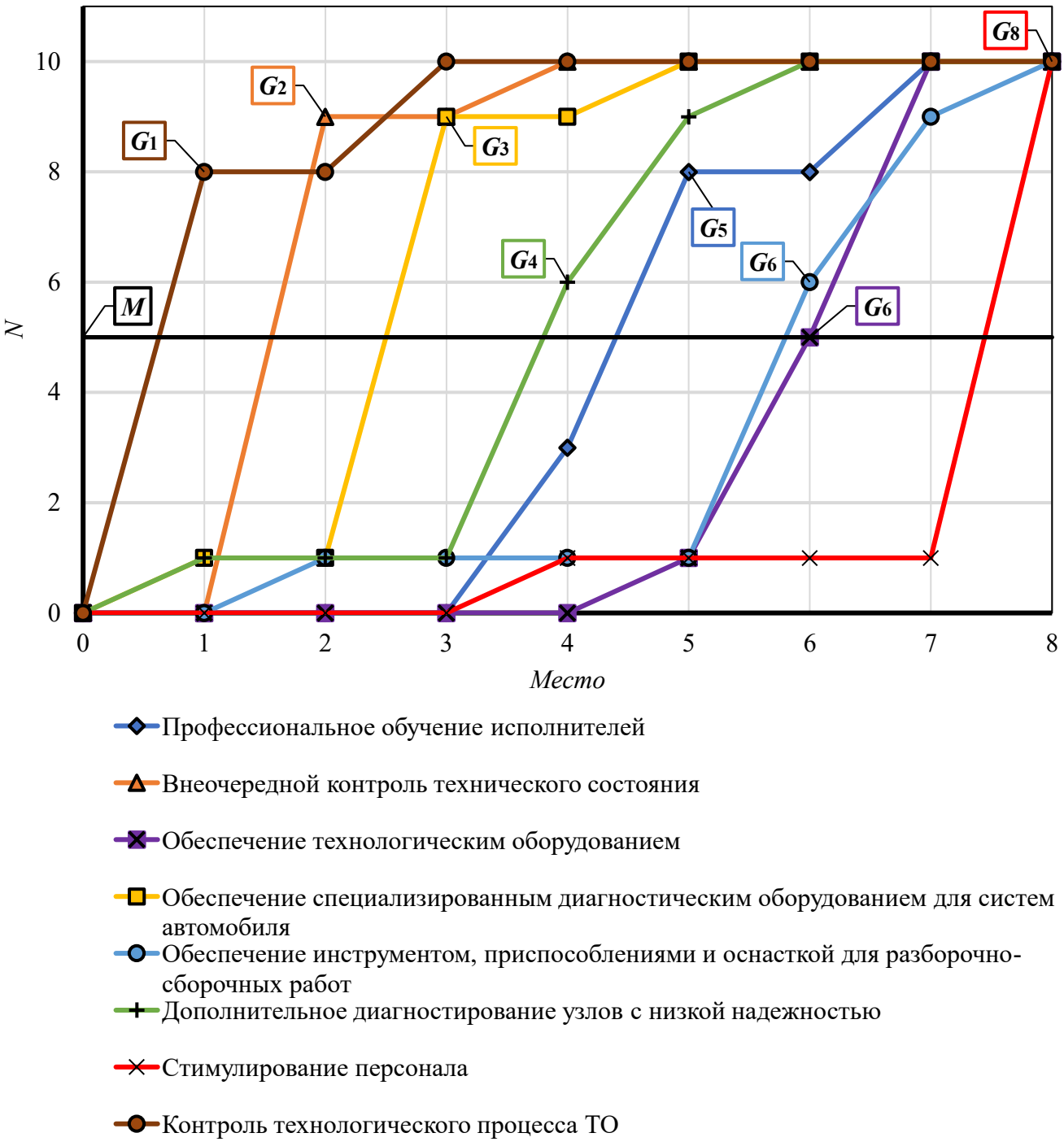


Рисунок 4.11. Кривые накопленных частот мест мероприятий при низком качестве ТО

Таким образом, предложено поэтапное применение групп мероприятий по повышению или поддержанию качества ТО автомобилей в зависимости от фактического уровня.

Во **втором** способе предлагается поэлементное применение мероприятий в зависимости от показателей качества ТО. Фрагменты результатов кусочно-линейной аппроксимации значений вероятности отказов элементов автомобилей на участках циклов ТО представлены на рисунках 4.12 … 4.19.

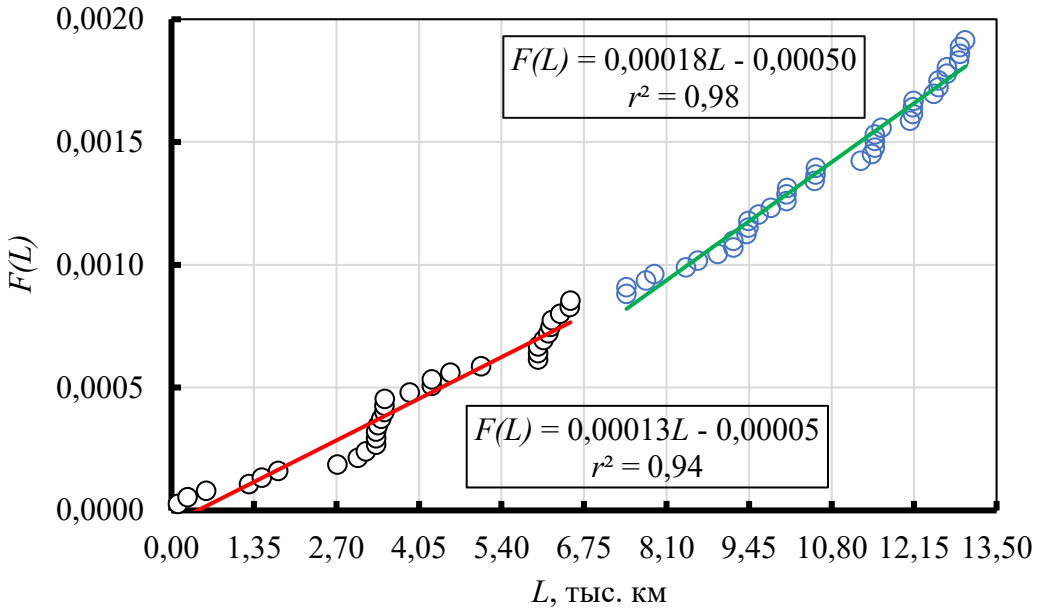


Рисунок 4.12. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов тормозных систем автомобилей на участках циклов ТО

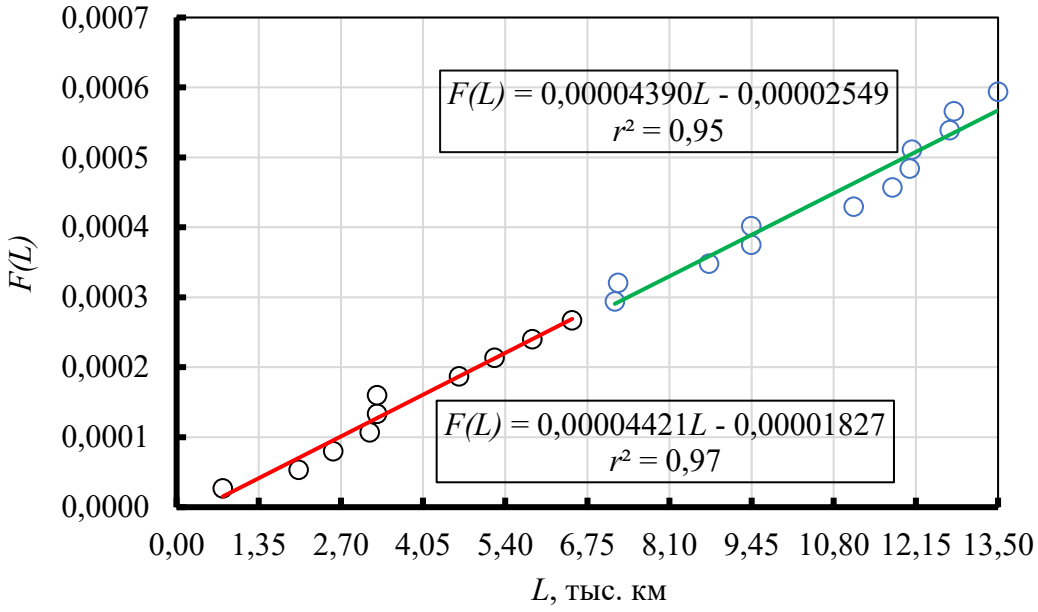


Рисунок 4.13. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов сцеплений автомобилей на участках циклов ТО

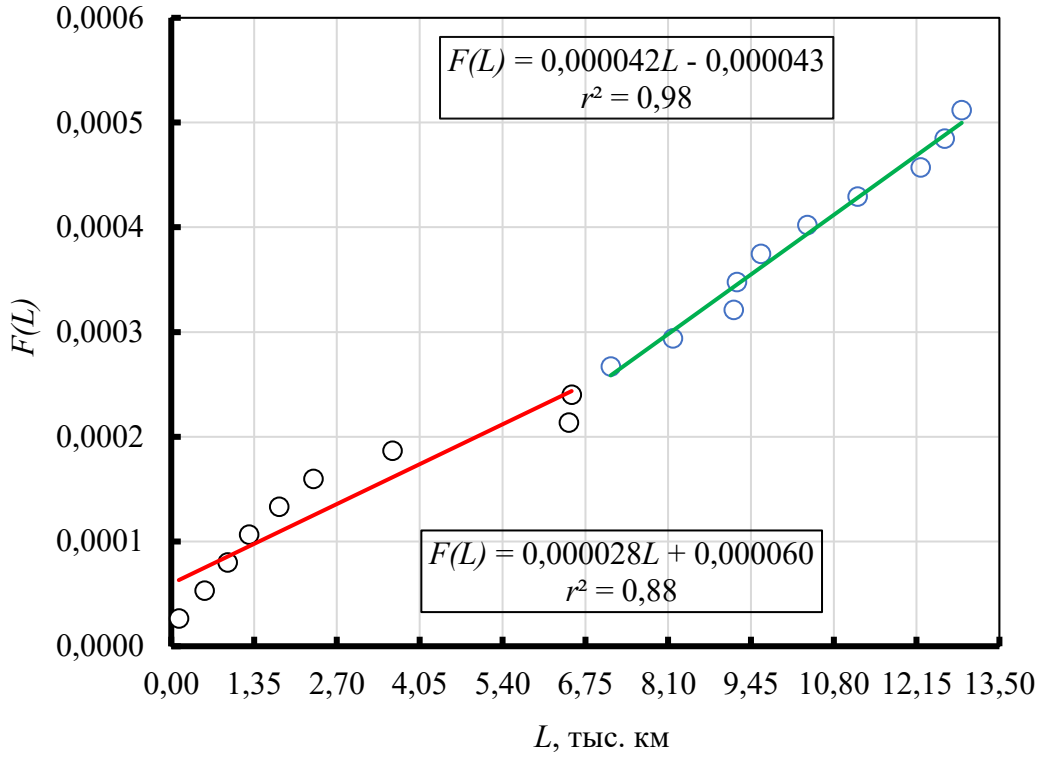


Рисунок 4.14. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов систем питания автомобилей на участках циклов ТО

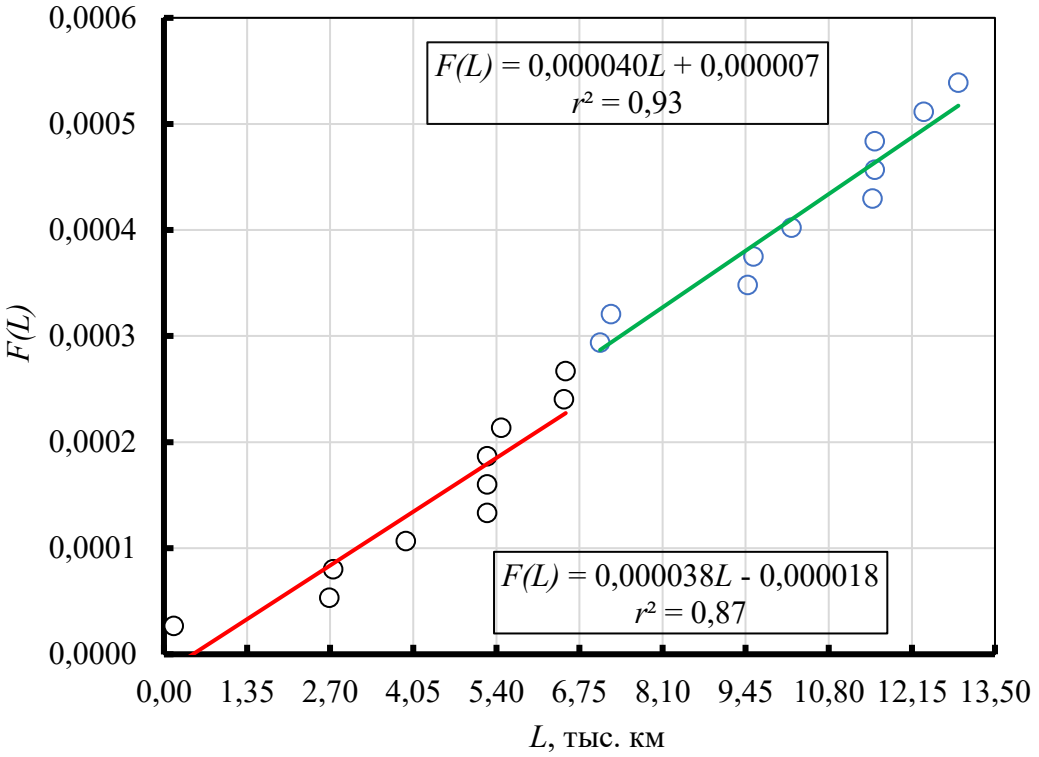


Рисунок 4.15. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов карданных валов автомобилей на участках циклов ТО

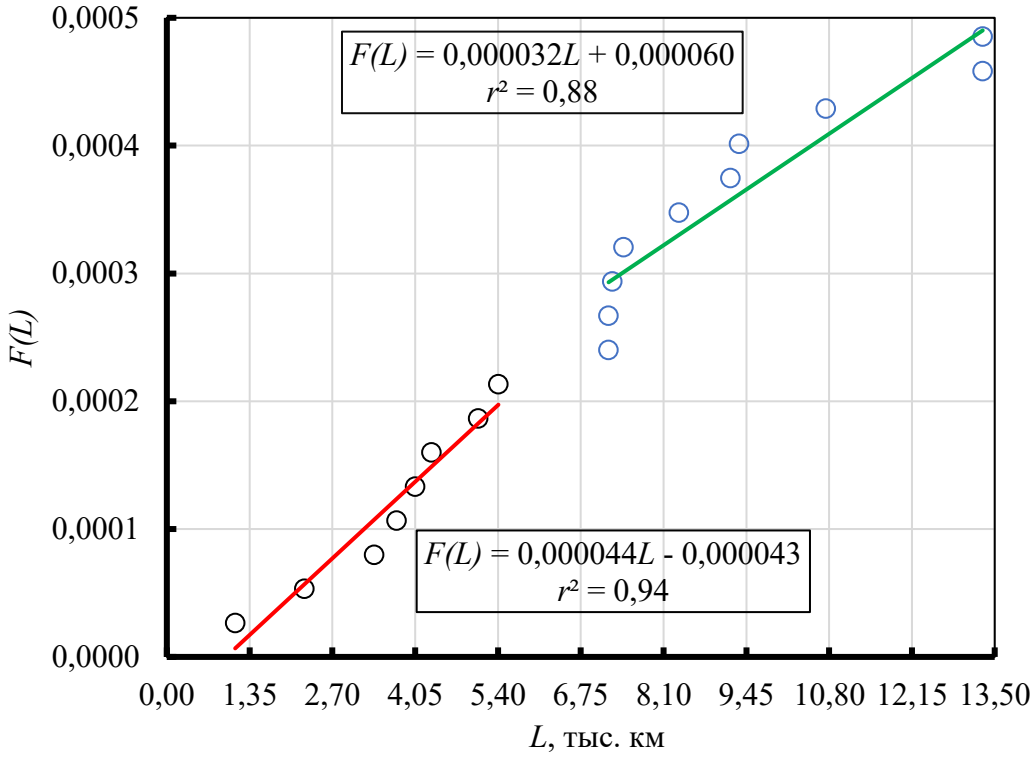


Рисунок 4.16. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов раздаточных коробок передач автомобилей на участках циклов ТО

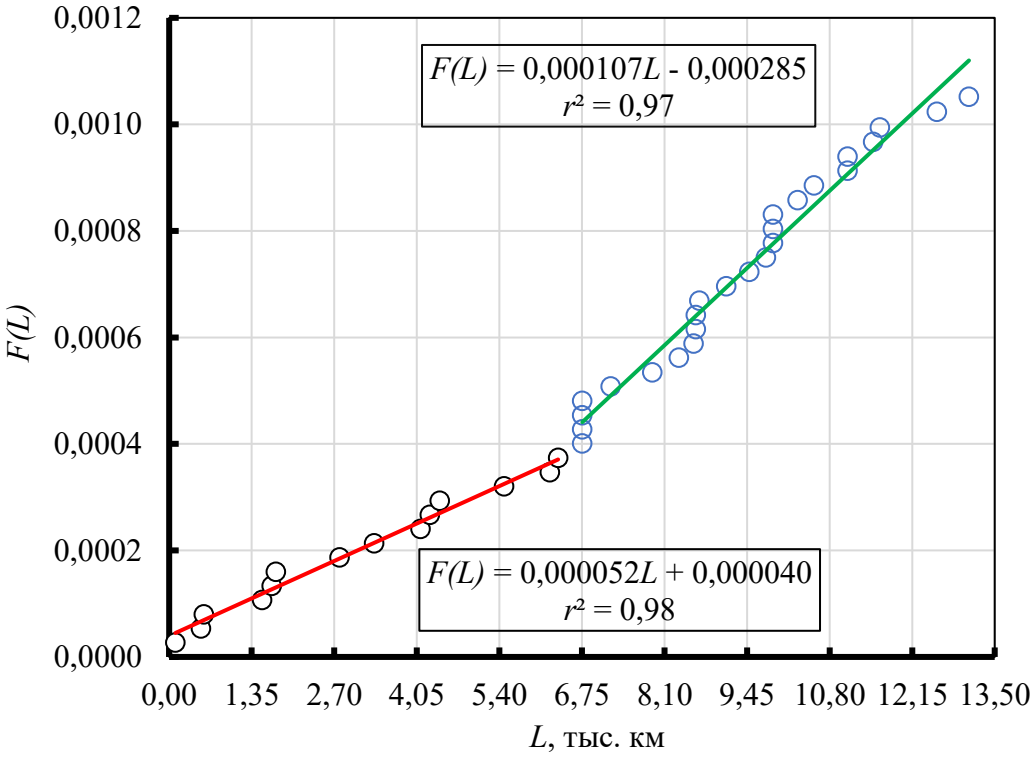


Рисунок 4.17. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов электрооборудования автомобилей на участках циклов ТО

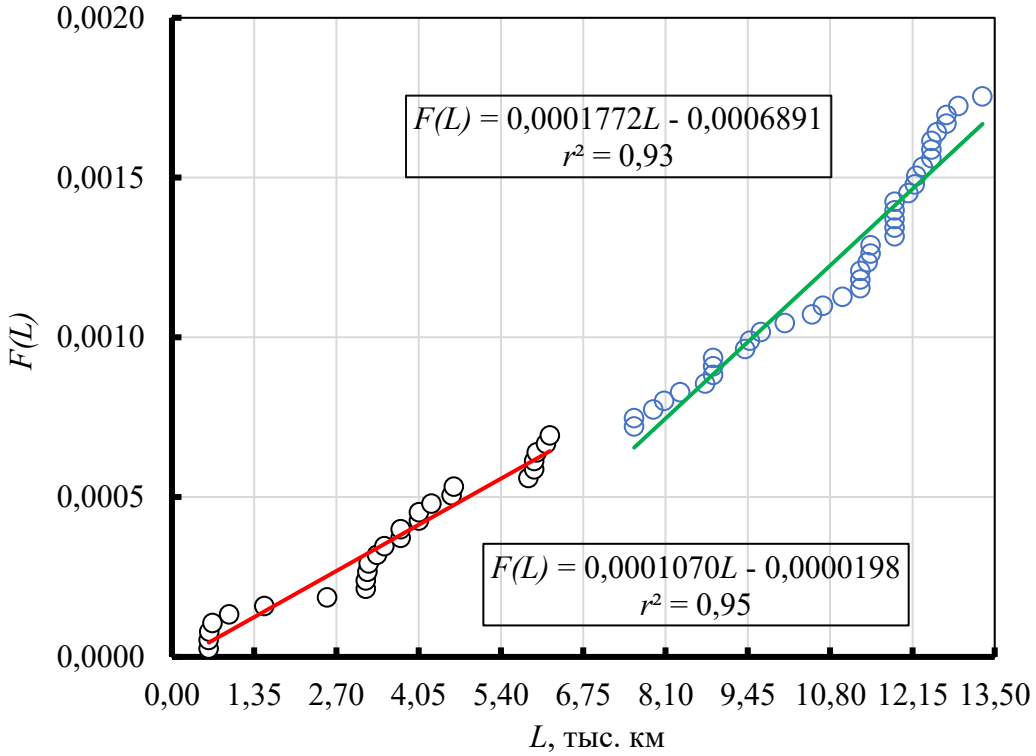


Рисунок 4.18. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов систем рулевого управления автомобилей на участках циклов ТО

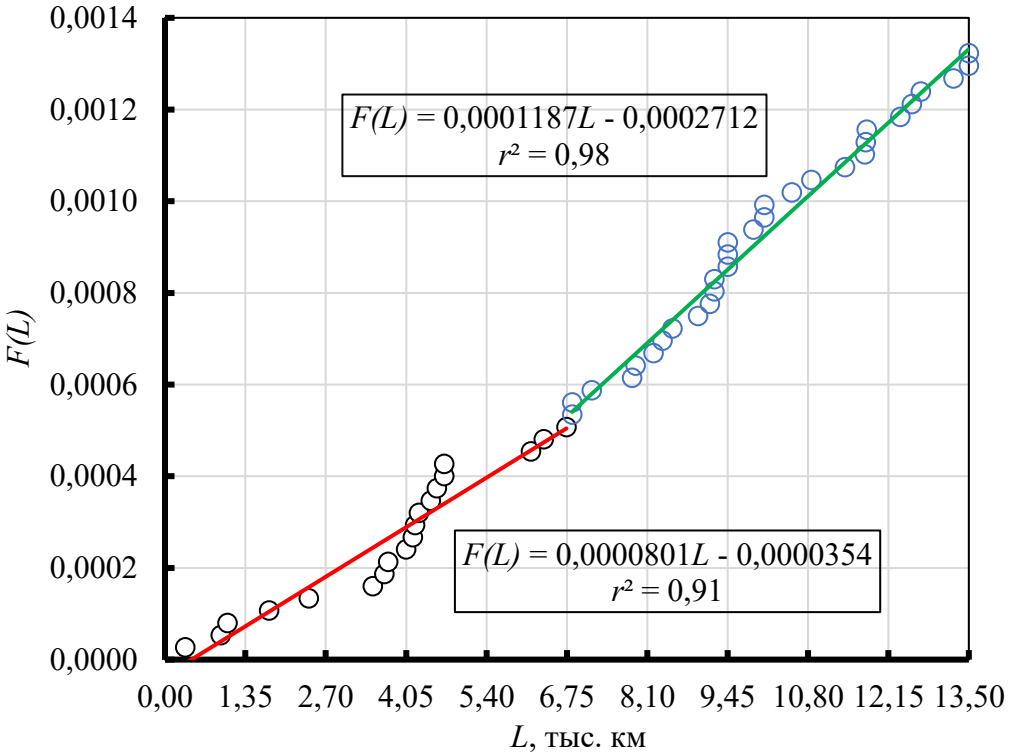


Рисунок 4.19. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов систем охлаждения автомобилей на участках циклов ТО

Установлено, что выбор мероприятий по повышению качества ТО автомобилей должен осуществляться в зависимости от показателей качества ТО.

Результаты поэлементной оценки качества ТО автомобилей представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Поэлементная оценка качества ТО автомобилей

Наименование элемента	Q_{EV}	Мероприятия
Электрооборудование	2,06	1. Корректирование периодичности ступеней ТО. 2. Внеочередной выборочный контроль полноты и параметров выполнения операций ТО.
Коробка передач	2,01	
Рулевое управление	1,66	
Система питания	1,50	
Система охлаждения	1,48	
Тормозная система	1,38	
Карданный вал	1,05	3. Совокупность мероприятий высокого и низкого уровней.
Сцепление	0,99	
Двигатель	0,82	4. Контроль технологического процесса ТО.
Раздаточная коробка передач	0,73	5. Оценка и повышение квалификации персонала.

1. При значениях показателя качества Q_{EV} значительно больше 1 интенсивность возникновения отказов возрастает на втором участке цикла перед очередным ТО. Соответственно, необходимо корректировать периодичность ступеней ТО, а также провести внеочередной выборочный контроль полноты и параметров выполнения операций ТО.

2. При значениях показателя качества Q_{EV} значительно меньше 1 интенсивность возникновения отказов возрастает на первом участке цикла ТО. В данном случае необходимо провести контроль технологического процесса ТО, а также оценить и повысить квалификацию исполнителей.

3. При значениях показателя качества Q_{EV} близких к 1 ТО не оказывает заметного влияния на надежность автомобилей, поэтому целесообразно применять совокупность мероприятий высокого и низкого уровней.

4.5 Оценка экономической эффективности результатов исследований

Управленческие воздействия влияют на реализуемое качество ТО, что проявляется в изменении эмпирической вероятности отказов в зависимости от наработки в циклах ТО. Установленная зависимость КТГ в циклах ТО от показателя качества ТО позволяет оценить экономический эффект, выражающийся в снижении простоев, затрат на ТР автомобилей и, следовательно, повышении эффективности их использования. Таким образом, устанавливается причинно-следственная связь между управленческими решениями и экономическим эффектом, достигаемым за счет повышения реализуемого качества ТО.

Оценка экономической эффективности разработанной методики определяется по формуле:

$$Э = (Q_{EV}^2 - Q_{EV}^1) \cdot C_{OTK} \cdot \overline{m}, \tag{4.13}$$

где Q_{EV}^1, Q_{EV}^2 – показатели качества ТО автомобилей до и после применения практических мероприятий;

C_{OTK} – стоимость устранения одного отказа, руб.;

$\overline{m}$ – среднее количество отказов на один автомобиль в год.

Стоимость устранения отказа состоит из средней стоимости запасной части, трудовых затрат и потерь от простоя в расчете на один отказ:

$$C_{OTK} = \overline{C}_{ЗП} + C_{ТЗ} + C_{ПР}. \tag{4.14}$$

Оценка экономического эффекта применяемой методики при существенном повышении значения показателя качества ТО Q_{EV} с 0,67 до 1,81 составляет 8 138 руб. на один автомобиль в год. При повышении качества ТО Q_{EV} с 0,99 до 1,81 экономический эффект составит 3 926 руб. на один автомобиль в год. Результаты представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Экономический эффект при переходе
от минимальных значений показателя качества ТО к максимальным

Наименования подразделений	Марки автомобилей	Q_{EV}	*Э, руб.*
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43114	0,67	8 138
	КАМАЗ-43118	0,99	3 926
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-43118	0,75	2 164
	КАМАЗ-53228	1,16	1 432
	УАЗ Патриот	1,42	493
	УАЗ-3909	1,81	0
	УРАЛ-4320	1,53	454
Федоровское УПНПиКРС	УРАЛ-4320	1,46	500

4.6 Выводы по разделу 4

1. Разработана двухфакторная модель влияния показателя качества ТО и вероятности отказов автомобилей на КТГ в циклах ТО. Полученная модель позволяет количественно оценить техническую готовность автомобилей в зависимости от качества операций обслуживания.

2. Разработано программное обеспечение для моделирования вероятности отказов автомобилей в циклах ТО, позволяющее по входящему потоку данных установить закономерности изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей в зависимости от наработки.

3. Разработано программное обеспечение для формирования реализуемого качества ТО автомобилей на основе анализа потока отказов. Автоматизирован процесс оценки уровня качества ТО и сформирована основа для принятия управленческих решений.

4. Разработана методика практического применения результатов исследований. На основе установленных уровней качества ТО автомобилей предложено два способа реализации мероприятий, направленных на повышение или поддержание качества ТО, а также выполнена оценка эффективности разработанной методики.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана методика оперативного управления качеством ТО автомобилей, основанная на анализе потока отказов, применение которой позволяет повысить эффективность эксплуатации автомобильного парка. Эффективность предложенных решений подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований.

2. Разработана модель формирования вероятности отказов автомобилей в циклах ТО со стохастичной наработкой, учитывающая количество завершенных циклов ТО и автомобилей, прошедших обслуживание. Результаты активного имитационного эксперимента адекватны, а коэффициенты парной корреляции моделей статистически значимы с вероятностью 0,99. Средняя ошибка аппроксимации варьируется в пределах 5,64 % … 8,82 %.

3. Установлены закономерности и разработаны модели формирования реализуемого качества ТО на основе изменения эмпирической вероятности отказов автомобилей по наработке в циклах ТО. Модели являются адекватными, а корреляционные отношения статистически значимы с вероятностью 0,99. Средние ошибки аппроксимации составляют менее 1 %.

4. На основе концепции формирования реализуемого качества ТО автомобилей в результате проведения активного имитационного эксперимента разработан интегральный показатель оценки качества ТО, физический смысл которого аналогичен плотности вероятности отказов.

5. Разработана модель, позволяющая интерпретировать численные значения интегрального показателя качества ТО через КТГ автомобилей в циклах ТО. Аппроксимация линейной функцией показала, что модель адекватна с вероятностью 0,99, поскольку расчетное значение критерия Фишера превышает табличное, а средняя ошибка аппроксимации составляет 1,10 %. Коэффициент парной корреляции статистически значим с вероятностью 0,99.

6. Разработана методика практического применения результатов исследований, которая позволяет по входящему потоку данных количественно оценивать

реализуемое качество ТО с последующим принятием и реализацией управленческих решений, а также оценкой их эффективности. Применение методики обеспечивает снижение производственных потерь, обусловленных сокращением времени пребывания автомобилей в зоне ТР. Экономический эффект от ее использования при существенном повышении качества ТО Q_{EV} с 0,67 до 1,81 составляет 8 138 руб. на один автомобиль в год. При повышении качества ТО Q_{EV} с 0,99 до 1,81 экономический эффект составит 3 926 руб. на один автомобиль в год.

7. Логическим продолжением полученных результатов исследований является установление закономерностей формирования реализуемого качества ТО автомобилей с учетом вариации фактической периодичности обслуживания, а также проведение исследований по оперативной оценке эффективности технических воздействий на группы автомобилей в зависимости от их специального назначения и специфики эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин Ф. Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации / Ф. Н. Авдонькин, В. А. Сафонов, В. П. Боголюбов, А. М. Казначеев. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта : межвузовский науч. сборник. – Саратов, 1977. – С. 23-27.

2. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие для вузов / Ф. Н. Авдонькин. – Москва : Транспорт, 1985. – 215 с. – Текст : непосредственный.

3. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика : исследование зависимостей : справочное изд. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – Москва : Финансы и статистика, 1985. – 487 с. – Текст : непосредственный.

4. Аксиоматический метод // Математический энциклопедический словарь. – Москва : Советская энциклопедия, 1988. – С. 45-47. – Текст : непосредственный.

5. Анализ эффективности деятельности предприятия : учебное пособие / И. И. Мазурова, Н. П. Белозерова, Т. М. Леонова, М. М. Подшивалова. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 113 с. – Текст : непосредственный.

6. Антонова У. Ю. Обоснование методов и средств контроля качества при ремонте соединения «поршень-гильза» : специальность 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве : дис. … канд. техн. наук / У. Ю. Антонова ; РГАУ-МСХА. – Москва, 2020. – 159 с. – Текст : непосредственный.

7. Аристов О. В. Управление качеством / О. В. Аристов. – Москва : Инфра-М, 2005. – 204 с. – Текст : непосредственный.

8. Архирейский А. А. Оценка уровня качества технического обслуживания и ремонта автомобилей по критериям системы сертификации : специальность

05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. … канд. техн. наук / А. А. Архирейский ; ОГУ. – Оренбург, 2018. – 132 с. – Текст : непосредственный.

9. Байков А. В. Эксплуатация автомобилей / А. В. Байков, С. Д. Выгодский. – Москва : ДОСААФ, 1966. – 190 с. – Текст : непосредственный.

10. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – Пер. с нем. – Москва : Радио и связь, 1988. – 392 с. – Текст : непосредственный.

11. Басарыгин Ю. М. Технология капитального и подземного ремонта нефтяных и газовых скважин : учебник для вузов / Ю. М. Басарыгин, А. И. Булатов, Ю. М. Проселков. – Краснодар : Советская Кубань, 2002. – 584 с. – Текст : непосредственный.

12. Басовский Л. Е. Управление качеством / Л. Е. Басовский. – Москва : Инфра-М, 2005. – 274 с. – Текст : непосредственный.

13. Бодров А. С. Программно-целевые подходы к управлению качеством автосервисных услуг / А. С. Бодров, Д. О. Ломакин. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2009. – № 2(25). – С. 28-34.

14. Бондарева Г. И. Анализ качества услуг по капитальному ремонту двигателей сельхозтехники методом оценки компонентов внешнего брака / Г. И. Бондарева, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова, У. Ю. Антонова. – Текст : непосредственный // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Межд. науч.-практ. конф., 20–22 апр. 2021 г. Т. 1, ч. 2. – Красноярск, 2021. – С. 104-107.

15. Бузин В. А. Методика определения потребности в материалах для технического обслуживания автомобилей с учетом сезонных условий : специальность 2.9.1 Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте : дис. … канд. техн. наук / В. А. Бузин ; УрГУПС. – Екатеринбург, 2023. – 210 с. – Текст : непосредственный.

16. Вагонное хозяйство : учебник для вузов ж.-д. транспорта / П. А. Устич, И. И. Хаба, В. А. Ивашов [и др.] ; Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – Москва : Маршрут, 2003. – 560 с. – Текст : непосредственный.

17. Вахламов В. К. Автомобили : Эксплуатационные свойства : учебник для вузов / В. К. Вахламов. – 2-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 237 с. – Текст : непосредственный.

18. Вегер Л. Л. Обновление машинных парков: проблема эффективности / Л. Л. Вегер. – Москва : Наука, 1991. – 115 с. – Текст : непосредственный.

19. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1964. – 576 с. – Текст : непосредственный.

20. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник / Е. С. Вентцель. – 9-е издание, стереотипное. – Москва : Академия, 2003. – 576 с. – Текст : непосредственный.

21. Веселова А. С. Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телематики : специальность 05.22.08 Управление процессами перевозок : дис. … канд. техн. наук / А. С. Веселова ; РУТ. – Москва, 2020. – 270 с. – Текст : непосредственный.

22. Власов В. М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов ; под ред. В. М. Власова. – 13-е изд., стер. – Москва : Академия, 2017. – 432 с. – Текст : непосредственный.

23. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н. Я. Говорущенко. – Харьков : Высшая школа, 1984. – 312 с. – Текст : непосредственный.

24. Гончаров В. Н. Теоретические подходы к определению понятия «Качество» / В. Н. Гончаров, В. В. Колесникова, И. В. Ширяева. – Текст : непосредственный // Экономинфо. – 2015. – № 23. – С. 53-57.

25. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 января 1979 г. № 244-ст : введ. впервые : дата введ. 1979-07-01 / разработан Государственным комитетом СССР по стандартам. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 22 с. – Текст : непосредственный.

26. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание

официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2017 г. № 186-ст : введ. впервые : дата введ. 2017-09-01 / разработан ФГБУН «ИСЭМ СО РАН». – Иркутск : Стандартинформ, 2017. – 18 с. – Текст : непосредственный.

27. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. № 654-ст : введ. впервые : дата введ. 2017-03-01 / разработан ООО «ИНМиТ». – Владимир : Стандартинформ, 2016. – 29 с. – Текст : непосредственный.

28. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2021 г. № 1104-ст : введ. впервые : дата введ. 2022-01-01 / разработан ЗАО «НИЦ КД». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 40 с. – Текст : непосредственный.

29. ГОСТ Р 27.403-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1246-ст : введ. впервые : дата введ. 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2011. – 16 с. – Текст : непосредственный.

30. ГОСТ Р 56020–2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введ. впервые : дата введ. 2015-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 36 с. – Текст : непосредственный.

31. ГОСТ Р 56407–2015. Бережливое производство. Основные методы и инструменты : национальный стандарт Российской Федерации : издание

официальное : введ. впервые : дата введ. 2015-06-02. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 16 с. – Текст : непосредственный.

32. ГОСТ Р 56908–2016. Бережливое производство. Стандартизация работы : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2016 г. № 233-ст : введ. впервые : дата введ. 2016-10-11 / разработан ФГБОУ ВО «МАДИ». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 15 с. – Текст : непосредственный.

33. ГОСТ Р 57188-2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2016 г. № 1496-ст : введ. впервые : дата введ. 2017-05-01 / разработан ФГУП «НИИСУ». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 12 с. – Текст : непосредственный.

34. ГОСТ Р ИСО 13053–1–2015. Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов «шесть сигм». Ч. 1. Методология DMAIC : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 ноября 2015 г. № 1849-ст : введ. впервые : дата введ. 2016-07-01 / разработан АО «НИЦ КД». – Москва : Стандартинформ, 2015. – 31 с. – Текст : непосредственный.

35. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1390-ст : введ. впервые : дата введ. 2015-11-07 / разработан ОАО «ВНИИС». – Москва : Стандартинформ, 2015. – 53 с. – Текст : непосредственный.

36. Денисов А. С. Влияние периодичности, объема и качества технического обслуживания на затраты на обеспечение работоспособности автобусов /

А. С. Денисов, К. Н. Приказчиков. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(50). – С. 17-23.

37. Денисов А. С. Влияние уровня специализации производства на эффективность технического сервиса и безопасность эксплуатации автобусов / А. С. Денисов, Е. В. Феклин, А. В. Игнатов. – Текст : непосредственный // Вестник СИБАДИ. – 2022. – Т. 19, № 5(87). – С. 666-679.

38. Ерохин М. Н. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Ю. В. Катаев, О. М. Мельников. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 41-44.

39. Жидкова М. А. Методические основы определения экономически целесообразного срока службы легкового автомобиля такси : специальность 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством : автореф. дис. … канд. экон. наук / М. А. Жидкова ; МАДИ. – Москва, 1999. – 17 с. – Текст : непосредственный.

40. Завадский Ю. В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю. В. Завадский. – Москва : Транспорт, 1977. – 72 с. – Текст : непосредственный.

41. Захаров Н. С. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская. – Текст : непосредственный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 121-129.

42. Захаров Н. С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. ... д-ра техн. наук / Н. С. Захаров ; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2000. – 525 с. – Текст : непосредственный.

43. Захаров Н. С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей / Н. С. Захаров, Е. С. Козин. – Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4(60). – С. 43-51.

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

45. Захаров Н. С. О целевой функции в прикладных диссертационных исследованиях / Н. С. Захаров. – Текст : непосредственный // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2015. – С. 113-114.

46. Захаров Н. С. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем путем ограничения срока службы автомобилей / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. Э. Александров. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2023. – № 2(77). – С. 54-59.

47. Захаров Н. С. Теория массового обслуживания : учебное пособие / Н. С. Захаров, Е. В. Сергиенко. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 90 с. – Текст : непосредственный.

48. Заяц Ю. А. Теоретические подходы к оценке уровня технической готовности автомобильного транспорта / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц, Н. А. Загородний, А. В. Шабанов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-4(78). – С. 27-34.

49. Зиганшин Р. А. Методика определения потребности в запасных частях при эксплуатации автомобильных буровых установок : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. ... канд. техн. наук / Р. А. Зиганшин ; ОГУ. – Оренбург, 2016. – 142 с. – Текст : непосредственный.

50. Игнатов В. А. Оптимизация обслуживания радиоэлектронных устройств / В. А. Игнатов. – Киев : Техника, 1969. – 52 с. – Текст : непосредственный.

51. ИСО : Международная организация по стандартизации : [сайт]. – URL : https://www.iso.org/ru/home.html (дата обращения: 06.03.2023). – Текст : электронный.

52. Каракулев А. В. Организация технического обслуживания и ремонта машин в условиях Севера / А. В. Каракулев, Г. Н. Кириллов. – Ленинград : Стройиздат, 1978. – 168 с. – Текст : непосредственный.

53. Карпова Л. П. Стратегия управления качеством технического обслуживания и ремонта автомобилей на основе логистического подхода : специальность 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством: логистика; экономика и управление качеством : автореф. дис. … канд. экон. наук / Л. П. Карпова ; СПбГИЭУ. – Санкт-Петербург, 2004. – 18 с. – Текст : непосредственный.

54. Карташов В. П. Организация технического обслуживания и ремонта автомобилей / В. П. Карташов, В. М. Мальцев. – Москва : Транспорт, 1979. – 215 с. – Текст : непосредственный.

55. Кирюшин И. Н. К вопросу изучения связи коэффициента технической готовности автомобилей с эксплуатационным циклом / И. Н. Кирюшин, В. Н. Ретюнских. – Текст : непосредственный // Вестник РГАТУ им. П. А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 112-116.

56. Коваленко Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей : учебное пособие / Н. А. Коваленко, В. П. Лобах, Н. В. Вепринцев. – Минск : Новое издание, 2008. – 352 с. – Текст : непосредственный.

57. Козин А. Ю. Предиктивная система обслуживания энергоблоков ГТЭС / А. Ю. Козин, М. Х. Эльмурзаев. – Текст : непосредственный // Аллея науки. – 2019. – Т. 2, № 11(38). – С. 304-308.

58. Козин Е. С. Контроль качества производства технического обслуживания и ремонта автомобилей с использованием искусственного интеллекта / Е. С. Козин, В. А. Ракитин. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 12. – С. 297-300.

59. Колесник П. А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебник для вузов / П. А. Колесник, В. А. Шейнин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1985. – 325 с. – Текст : непосредственный.

60. Колесников Д. А. Разработка методики управления качеством процессов при ремонте изделий : специальность 05.02.23 Стандартизация и управление

качеством продукции : автореф. дис. … канд. техн. наук / Д. А. Колесников ; МАТИ. – Москва, 2005. – 21 с. – Текст : непосредственный.

61. Кондратьев В. Д. Безопасность дорожного движения – необходимость дальнейших мер / В. Д. Кондратьев, В. В. Лисин. – Текст : непосредственный // Безопасность дорожного движения. – 2022. – № 3. – С. 5-12.

62. Концепция научно-технологического развития транспортного комплекса Российской Федерации / Министерство транспорта Российской Федерации. – Москва, 2025. – 56 с. – Текст : непосредственный.

63. Крамаренко Г. В. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / под ред. Г. В. Крамаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1983. – 488 с. – Текст : непосредственный.

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

65. Кузнецов Е. С. Техническое обслуживание и надежность автомобилей / Е. С. Кузнецов. – Москва : Транспорт, 1972. – 224 с. – Текст : непосредственный.

66. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е. С. Кузнецов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1990. – 272 с. – Текст : непосредственный.

67. Кузнецов И. Н. Научное исследование : методика проведения и оформление / И. Н. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дашков и Ко, 2006. – 457 с. – Текст : непосредственный.

68. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин : учебное пособие для вузов / Н. Л. Кузнецов. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с. – Текст : непосредственный.

69. Леонов О. А. Исследование затрат и потерь при контроле шеек коленчатого вала в условиях ремонтного производства / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба. – Текст : непосредственный // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В. П. Горячкина». – 2013. – № 2(58). – С. 71-74.

70. Леонов О. А. Организация системы контроля затрат на качество на предприятиях технического сервиса АПК / О. А. Леонов, Г. Н. Темасова. – Текст : непосредственный // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В. П. Горячкина». – 2009. – № 8-1(39). – С. 56-59.

71. Леонов О. А. Расчет допуска посадки с натягом по модели параметрического отказа / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2019. – № 4. – С. 23-26.

72. Ломакин Д. О. Квалификация персонала как ресурс для повышения качества услуг автосервисных предприятий / Д. О. Ломакин, А. В. Мавлюбердинова. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса : материалы 5-й Межд. науч.-практ. интернет-конф., 18–20 апр. 2016 г. – Орел, 2016. – С. 92-97.

73. Ломакин Д. О. Комплексная оценка уровня качества услуг предприятий автосервиса : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореф. дис. … канд. техн. наук / Д. О. Ломакин ; ОрелГТУ. – Орел, 2010. – 16 с. – Текст : непосредственный.

74. Ломакин Д. О. Методика комплексной оценки уровня качества автосервисных услуг / Д. О. Ломакин. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 1(28). – С. 33-36.

75. Ломакин Д. О. Повышение качества сервисных услуг / Д. О. Ломакин, О. В. Чукин. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 3(30). – С. 37-41.

76. Лудченко А. А. Основы технического обслуживания автомобилей / А. А. Лудченко. – Киев : Высшая школа, 1987. – 399 с. – Текст : непосредственный.

77. Макарова А. Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. … канд. техн. наук / А. Н. Макарова ; ОГУ. – Оренбург, 2015. – 208 с. – Текст : непосредственный.

78. Маньшин Г. Г. Управление режимами профилактик сложных систем / Г. Г. Маньшин. – Минск : Наука и техника, 1976. – 256 с. – Текст : непосредственный.

79. Марков О. Д. Автосервис : Рынок, автомобиль, клиент / О. Д. Марков. – Москва : Транспорт, 1999. – 270 с. – Текст : непосредственный.

80. Математический энциклопедический словарь / гл. ред. Ю. В. Прохоров. – Москва : Советская энциклопедия, 1988. – 850 с. – Текст : непосредственный.

81. Методы и средства контроля качества обработки гильз цилиндров на ремонтных машиностроительных предприятиях / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2020. – № 6. – С. 40-45.

82. Метрология, стандартизация и сертификация / О. А. Леонов, В. В. Карпузов, Н. Ж. Шкаруба, Н. Е. Кисенков. – Москва : Изд. Колос, 2009. – 568 с. – Текст : непосредственный.

83. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – Москва : Колос, 1984. – 335 с. – Текст : непосредственный.

84. Моисеев Н. Н. Математические методы системного анализа / Н. Н. Моисеев. – Москва : Наука, 1984. – 310 с. – Текст : непосредственный.

85. Молчанов В. В. Комплексная система контроля качества ремонта электрических аппаратов подвижного состава / В. В. Молчанов, Е. В. Молчанов, В. А. Смирнов. – Текст : непосредственный // Вестник 14-й науч. конф. с межд. участием «Транспорт 2004». – София, Болгария, 2004. – С. 359-360.

86. Московская Декларация. – Текст : электронный // Организация Объединенных наций : [официальный сайт]. – 2009. – URL : https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/moscow_declaration.shtml (дата обращения: 25.05.2023).

87. Муравкина Е. В. Методика управления качеством технического обслуживания и ремонта агрегатов и систем автомобиля : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : автореф. дис. … канд. техн. наук / Е. В. Муравкина ; МАДИ. – Москва, 1994. – 23 с. – Текст : непосредственный.

88. Несвитский Я. И. Техническая эксплуатация автомобилей / Я. И. Несвитский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Киев : Высшая школа, 1971. – 428 с. – Текст : непосредственный.

89. Никифоров А. Д. Управление качеством : учеб. пособие для вузов / А. Д. Никифоров. – Изд. 2-е, стереотип. – Москва : Дрофа, 2006. – 719 с. – Текст : непосредственный.

90. Новиков А. Н. К вопросу оценки персонала автосервисных предприятий / А. Н. Новиков, Д. О. Ломакин, А. В. Мавлюбердинова. – Текст : непосредственный // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 3(3). – С. 200-205.

91. Новиков А. Н. Комплексный подход к оценке персонала автосервисных предприятий / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, Д. О. Ломакин, А. В. Мавлюбердинова. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 1. – С. 45-49.

92. Организация технического обслуживания и ремонта тракторной, дорожно-строительной и специальной нефтепромысловой техники, работающей в отрыве от основной базы : СТО 188-2009 : утв. и введ. в действие приказом ОАО «Сургутнефтегаз» от 17.02.2010 г. – Сургут : ОАО «Сургутнефтегаз», 2010. – 42 с. – Текст : непосредственный.

93. Парк легковых автомобилей в РФ вырос за 2025 года на 4 % до 47,5 млн. – Текст : электронный // ООО «Автостат Инфо» : [официальный сайт]. – 2026. – URL : https://avtostat-info.ru/news/12353 (дата обращения : 25.08.2026).

94. Пасечников Н. С. Научные основы технического обслуживания машин в сельском хозяйстве / Н. С. Пасечников. – Москва : Колос, 1983. – 304 с. – Текст : непосредственный.

95. Паспорт научной специальности 2.9.5. «Эксплуатация автомобильного транспорта» : [сайт]. – URL : https://vak.gisnauka.ru/s3-files/01cc80c69fae4988a0246a8f5e2774e7:fisgna/public/media/uploaded/news_files/4dfe14e2-84dc-45c3-9909-718a368c5fe6/a2ee0338-fb9b-4456-9e16-fd20ae5_qFvqfry.pdf (дата обращения: 09.06.2022). – Текст : электронный.

96. Погодин А. В. Оценка качества ремонта двигателей при сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту (на примере двигателей УМЗ) : специальность 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве : автореф. дис. … канд. техн. наук / А. В. Погодин ; МГАУ. – Москва, 2002. – 18 с. – Текст : непосредственный.

97. Почти 70 % легковых автомобилей в России имеют возраст более 10 лет. – Текст : электронный // Аналитическое агентство АВТОСТАТ : [официальный сайт]. – 2026. – URL : https://www.autostat.ru/news/61888/ (дата обращения : 25.08.2026).

98. Предиктивные технологии в управлении техническим обслуживанием и ремонтом систем автоматики на нефтегазовых объектах / У. В. Лаптева, О. Н. Кузяков, А. Э. Сидорова [и др.]. – Текст : непосредственный // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2021. – № 10(579). – С. 25-30.

99. Ракитин А. Н. Влияние сезонных изменений условий и интенсивности эксплуатации на поток отказов автомобилей : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. … канд. техн. наук / А. Н. Ракитин ; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2004. – 165 с. – Текст : непосредственный.

100. Роспромтест : Всероссийский центр сертификации : [сайт]. – URL : https://www.rospromtest.ru/content.php?id=248 (дата обращения: 06.03.2023). – Текст : электронный.

101. Росстандарт : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – URL : https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/standardization (дата обращения: 06.03.2023). – Текст : электронный.

102. Самсонова М. В. Всеобщее управление качеством : учебное пособие / М. В. Самсонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 232 с. – Текст : непосредственный.

103. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614675 Российская Федерация. Software of Control Maintenance of Auto : № 2024612787 : заявл. 09.02.2024 : опубл. 28.02.2024 / А. А. Зиганшин, Р. А. Зиганшин, Ю. Н. Штанов, Н. С. Захаров. – Текст : непосредственный.

104. Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче : учебное пособие / Н. С. Захаров, А. И. Яговкин, С. А. Асеев [и др.] ; под ред. Н. С. Захарова. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 499 с. – Текст : непосредственный.

105. Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче : учебное пособие / Н. С. Захаров [и др.] ; под общей ред. Н. С. Захарова. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 487 с. – Текст : непосредственный.

106. Сервисная книжка УАЗ ПРОФИ. – Текст : электронный // УАЗ (Ульяновский автомобильный завод) : [официальный сайт]. – 2024. – URL : https://www.uaz.ru/uploads/content/2020.9/service-book-profi.pdf (дата обращения : 18.11.2024).

107. Сиротов А. В. Управление техническим состоянием машин лесопромышленного комплекса в условиях эксплуатации / А. В. Сиротов, Я. В. Тарлаков, К. В. Селиванов. – Текст : непосредственный // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 112-115.

108. Словарь русского языка : в 4-х томах / под ред. А. П. Евгеньевой. – 3-е изд., стереотип. – Москва : Русский язык, 1985–1988. – 736 с. – Текст : непосредственный.

109. Смертность в результате дорожно-транспортных происшествий, на миллион жителей. – Текст : электронный // Европейская экономическая комиссия ООН : [официальный сайт]. – URL : https://w3.unece.org/SDG/ru/Indicator?id=86 (дата обращения : 23.05.2023).

110. Смирнов В. А. Неразрушающий контроль подвижного состава на железных дорогах Германии и Франции / В. А. Смирнов, А. А. Скачков, В. Л. Лазарев, Н. Ю. Ильющенкова. – Текст : непосредственный // В мире неразрушающего контроля. – 2007. – № 2(36). – С. 74-76.

111. Смирнов В. А. Повышение эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава : специальность 05.02.22 Организация производства (транспорт) : дис. … докт. техн. наук / В. А. Смирнов ; РУТ. – Москва, 2020. – 344 с. – Текст : непосредственный.

112. Средний возраст парка легковых автомобилей в РФ составил 15,4 года. – Текст : электронный // Аналитическое агентство АВТОСТАТ : [официальный сайт]. – 2026. – URL : https://www.autostat.ru/news/62918/ (дата обращения : 25.08.2026).

113. Старый парк, новые игроки: как меняется грузовой автопарк России к 2026. – Текст : электронный // ООО «Автостат Инфо» : [официальный сайт]. – 2026. – URL : https://avtostat-info.ru/news/12355 (дата обращения : 25.08.2026).

114. Сытник А. С. Предиктивное обслуживание интеллектуальных технических объектов / А. С. Сытник. – Текст : непосредственный // KAZAN DIGITAL WEEK – 2020 : Сборник материалов межд. форума / Академия наук Республики Татарстан. Т. 1. – Казань, 2020. – С. 414-419.

115. Теньковская С. А. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем нефтегазодобывающих предприятий в условиях Западной Сибири путем ограничения срока службы автомобилей : специальность 2.9.1 Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте : дис. … канд. техн. наук / С. А. Теньковская ; УрГУПС. – Екатеринбург, 2023. – 170 с. – Текст : непосредственный.

116. Теория организации : учебник для студентов вузов / В. Г. Алиев, В. П. Варфоломеев, Э. А. Варфоломеева [и др.] – Москва : Луч, 1999. – 416 с. – Текст : непосредственный.

117. 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. – Текст : непосредственный.

118. Техническая эксплуатация автомобильного транспорта : справочное издание / В. Н. Черкис, И. А. Луйк, М. Н. Бедняк [и др.] ; под общ. ред. М. Н. Бедняка. – Киев : Техника, 1979. – 293 с. – Текст : непосредственный.

119. Транспорт. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики (Росстат) : [официальный сайт]. – 2023. – URL : https://rosstat.gov.ru/statistics/transport (дата обращения : 08.05.2023).

120. Транспортно-технологическое обеспечение производства. Автотракторная, дорожно-строительная и специальная нефтепромысловая техника. Техническое обслуживание и ремонт : СТО 170.3-2011 : утв. и введ. в действие приказом ПАО «Сургутнефтегаз» от 26.04.2012. – Сургут : ПАО «Сургутнефтегаз», 2012. – 103 с. – Текст : непосредственный.

121. Транспортно-технологическое обеспечение производства. Организация диагностирования автотранспортных средств при техническом осмотре и техническом обслуживании : СТО 170.6-2013 : утв. и введ. в действие приказом ОАО «Сургутнефтегаз» от 30.01.2014 г. – Сургут : ОАО «Сургутнефтегаз», 2014. – 12 с. – Текст : непосредственный.

122. Транспортно-технологическое обеспечение производства. Технический контроль. Основные положения : СТО 170.13-2013 : утв. и введ. в действие приказом ОАО «Сургутнефтегаз» от 27.05.2013 г. – Сургут : ОАО «Сургутнефтегаз», 2013. – 37 с. – Текст : непосредственный.

123. Трубицын В. А. Качество и эффективность системы обслуживания и ремонта автомобилей / В. А. Трубицын, В. С. Селин. – Текст : непосредственный // Пути повышения эффективности в эксплуатации автомобилей : труды СГТУ. – Саратов, 1992. – С. 78-82.

124. Туревский И. С. Техническое обслуживание автомобилей зарубежного производства : учебное пособие / И. С. Туревский. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2011. – 208 с. – Текст : непосредственный.

125. Тюрин Ю. Н. Непараметрические методы статистики / Ю. Н. Тюрин. – Москва : Знание, 1978. – 64 с. – Текст : непосредственный.

126. Федоров А. Г. Организация технического обслуживания грузовых автомобилей с использованием интегрированной электронной нормативно-технической полнокомплектной документации и индивидуализированного прогнозирования технического состояния узлов : специальность 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве : дис. … канд. техн. наук / А. Г. Федоров ; СибИМЭ СФНЦА РАН. – Новосибирск, 2017. – 212 с. – Текст : непосредственный.

127. Хегай Ю. А. Проблемы автомобильного транспорта в России / Ю. А. Хегай. – Текст : непосредственный // Теория и практика общественного развития. – 2014. – № 8. – С. 122-125.

128. Хуан Э. Методология «Шесть Сигм» в системе управления качеством продукции предприятия / Э. Хуан. – Текст : непосредственный // Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В. И. Вернадского. – 2011. – № 9. – С. 55-56.

129. Хуан Э. Проблемы стандартизации и управления качеством продукции на промышленном предприятии в России и за рубежом / Э. Хуан. – Текст : непосредственный // Проблемы и возможности современной науки. – 2011. – № 12. – С. 55-59.

130. Хуан Э. Формирование и развитие резервов проектирования процессов повышения качества продукции промышленного предприятия : специальность 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством : автореф. дис. … канд. экон. наук / Э. Хуан ; ТГТУ. – Тамбов, 2012. – 23 с. – Текст : непосредственный.

131. Чепурин А. В. Организация технического сервиса импортных автомобилей / А. В. Чепурин. – Текст : непосредственный // Технический сервис машин. – 2019. – № 2(135). – С. 12-18.

132. Черняев И. О. Методика оценки эффективности адаптивных систем технического обслуживания автотранспортных средств / И. О. Черняев. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2025. – № 8. – С. 246-250.

133. Шевелев Е. С. Определение параметров зоны технического обслуживания с учётом неравномерности поступления автомобилей : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : дис. … канд. техн. наук / Е. С. Шевелев ; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2009. – 154 с. – Текст : непосредственный.

134. Яковлева М. В. Алгоритм принятия решений о внедрении предиктивного обслуживания оборудования на высокотехнологичных предприятиях / М. В. Яковлева, А. И. Шалина. – Текст : непосредственный // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 159-172.

135. Якунин Н. Н. Анализ рынка услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на основе требований системы сертификации ГОСТ Р /

Н. Н. Якунин, Н. В. Игнатова. – Текст : непосредственный // Вестник ОГУ. – 1999. – № 2. – С. 71–75.

136. Якунин Н. Н. Параметрическая оценка состояния услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей с позиции требований системы сертификации ГОСТ Р / Н. Н. Якунин, Н. В. Игнатова. – Текст : непосредственный // Вестник ОГУ. – 2000. – № 2. – С. 92-100.

137. Akerlof G. A. The Market for «Lemons»: Quality Uncertainty and the Market Mechanism / G. A. Akerlof. – Text : direct // The Quarterly Journal of Economics. – 1970. – Vol. 84. – P. 488-500.

138. API : The American Petroleum Institute : [website]. – URL : https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/specq1 (date of the application: 06.07.2026). – Text : electronic.

139. ASQ : American Society for Quality : [website]. – URL : https://asq.org/ (date of the application: 06.03.2023). – Text : electronic.

140. Byrne G. An Integrated Force Sensor Solution for Process Monitoring of Drilling Operations / G. Byrne, G. E. O'Donnell. – Text : direct // CIRP Annals. – 2007. – Vol. 56, Issue 1. – P. 89-92.

141. Effective Material Handling System for JIT Automotive Production Line / Nurul Hayati Abdul Halim, Noriah Yusuf, Roseleena Jaafar [et al.]. – Text : direct // Procedia Manufacturing. – 2015. – Vol. 2. – P. 251-257.

142. EOQ : European Organization for Quality : [website]. – URL : https://www.eoq.org/ (date of the application: 06.03.2023). – Text : electronic.

143. Gebraeel N. Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach / N. Gebraeel, M. Lawley, R. Li, J. Ryan. – Text : direct // IIE Transactions. – 2005. – Vol. 37, Issue 6. – P. 543-557.

144. Godina R. Improvement of the Statistical Process Control Certainty in an Automotive Manufacturing Unit / R. Godina, C. Pimentel Carina, F. J. G. Silva, J. C. O. Matias. – Text : direct // Procedia Manufacturing. – 2018. – Vol. 17. – P. 729-736.

145. Hai Q. Wavelet filter-based weak signature detection method and its application on rolling element bearing prognostics / Q. Hai, J. Lee, J. Lin, Y. Gang. – Text : direct // Journal of Sound and Vibration. – 2006. – Vol. 289, Issue 4–5. – P. 1066-1090.

146. Hoshi T. Damage monitoring of ball bearing / T. Hoshi. – Text : direct // CIRP Annals. – 2006. – Vol. 55, Issue 1. – P. 427-430.

147. Human action recognition method based on conformal geometric algebra and recurrent neural network / N. H. V. Nguyen, M. T. Pham, Ph. H. Do [et al.]. – Text : direct // Information and Control Systems. – 2020. – No. 5(108). – P. 2-11.

148. IAQ : International Academy for Quality : [website]. – URL : https://iaquality.org/ (date of the application: 06.03.2023). – Text : electronic.

149. IATF 16949:2016 : International Automotive Task Force : [website]. – URL : https://www.iatfglobaloversight.org/iatf-169492016/about/ (date of the application: 06.07.2026). – Text : electronic.

150. Ishikawa K. Introduction to Quality Control / K. Ishikawa. – Ed. 1st. – London : Springer Dordrecht, 1989. – 435 p. – Text : direct.

151. JSQC : Japanese Society for Quality Control : [website]. – URL : https://jsqc.org/ (date of the application: 06.03.2023). – Text : electronic.

152. Kaiser K. A. Predictive Maintenance Management Using Sensor-Based Degradation Models / K. A. Kaiser, N. Z. Gebraeel. – Text : direct // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans. – 2009. – Vol. 39, No. 4. – P. 840-849.

153. Kececioglu D. B. Reliability Engineering Handbook. Vol. 1 / D. B. Kececioglu. – Lancaster, Pennsylvania : DEStech Publications, Inc., 2002. – 679 p. – Text : direct.

154. Krishnaiyer K. A Cloud-based Kanban Decision Support System for Resource Scheduling & Management / K. Krishnaiyer, F. F. Chen. – Text : direct // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 11. – P. 1489-1494.

155. Krishnaiyer K. Cloud Kanban Framework for Service Operations Management / K. Krishnaiyer, F. F. Chen, H. Bouzary. – Text : direct // Procedia Manufacturing. – 2018. – Vol. 17. – P. 531-538.

156. Lee J. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems / J. Lee, B. Bagheri, H. A. Kao. – Text : direct // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18-23.

157. Makarova A. N. Assessment of car engineering servicing quality based on failure information / A. Makarova, N. Zakharov, G. Abakumov, S. Elesin. – Text : electronic // MATEC Web Conf : [website]. – URL : https://doi.org/10.1051/matecconf/202134100038 (date of the application: 22.09.2021).

158. Moyne J. Big Data Analytics for Smart Manufacturing / J. Moyne, J. Iskandar. – Text : direct // Processes. – 2017. – Vol. 5, Issue 12. – P. 1-20.

159. Predictive maintenance and the smart factory : Deloitte Development LLC : [website]. – URL : https://www.deloitte.com (date of the application: 09.05.2023). – Text : electronic.

160. Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data / Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun [et al.] – Text : direct // 26th CIRP Conference on Life Cycle Engineering (LCE) Purdue University. – 2019. – Vol. 80. – P. 506-511.

161. Qiu M. Bearing Tribology: Principles and Applications / M. Qiu, L. Chen, Y. Li, J. Yan. – Luoyang : Springer, 2016. – 345 p. – Text : direct.

162. SAE International : Society of Automotive Engineers : [website]. – URL : https://www.sae.org/standards/as9100-quality-systems-aerospace-model-quality-assurance-design-development-production-installation-servicing?utm_source=chatgpt.com (date of the application: 06.07.2026). – Text : electronic.

163. Singh V. Impact of TQM on organisational performance: The case of Indian manufacturing and service industry / V. Singh, K. Akshay, T. Sing. – Text : direct // Operations Research Perspectives. – 2018. – Vol. 5. – P. 199-217.

164. The Characteristics of Light-Duty Passenger Vehicle Mileage and Impact Analysis in China from a Big Data Perspective / Ma D., Wu X., Sun X. [et al.]. – Text : direct // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13. – P. 1-11.

165. Thomas T. M. Predictive Motor Maintenance / T. M. Thomas. – Text : electronic // Cmcbaker : [website]. – URL : http://www.cmcbaker.com/manuals/Predictive%20Maint%20whitepaper%20082913.pdf (date of the application: 15.05.2023).

166. TPM (Total Productive maintenance). – Text : electronic // lean production : [website]. – 2023. – URL : https://www.leanproduction.com/tpm/ (date of the application: 09.03.2023).

167. Wireman T. Total Productive Maintenance / T. Wireman. – New York : Industrial Press Inc., 2004. – 196 p. – Text : direct.

168. Zou Y. Using recurrent neural network to optimize electronic nose system with dimensionality reduction / Y. Zou, J. Lv. – Text : direct // Electronics. – 2020. – Vol. 9, No. 12. – P. 1-14.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Сарбей А. В. Моделирование вероятности отказов автомобилей по наработке в цикле технического обслуживания / А. В. Сарбей // Архитектура, строительство, транспорт. – 2025. – Т. 5, № 2(112). – С. 99-108.

2. Сарбей А. В. Влияние показателя качества технического обслуживания на коэффициент технической готовности автомобилей в циклах технического обслуживания / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Транспортное дело России. – 2025. – № 7. – С. 114-118.

Охранные документы на результаты интеллектуальной деятельности

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026612382. Программное обеспечение для моделирования вероятности отказа автомобилей по наработке в циклах технического обслуживания / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров, Р. А. Зиганшин. – Заявка № 2025694787 от 05.12.2025, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 27.01.2026.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026612085. Программное обеспечение для формирования реализуемого качества технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров, Р. А. Зиганшин. – Заявка № 2026611142 от 16.01.2026, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 26.01.2026.

Публикации в других изданиях

5. Сарбей А. В. Влияние наработок на отказ на показатели безотказности элементов трансмиссии специальных грузовых автомобилей нефтегазодобывающего предприятия / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 4. – С. 74-82.

6. Сарбей А. В. Анализ состояния уровня автомобилизации и влияние ее на качество технического обслуживания автомобилей / А. В. Сарбей //

Инновационные процессы в науке, технике и экономике : Материалы Межд. науч.-практ. конф. В 2-х частях, Нижневартовск, 21–22 апреля 2022 года. – Тюмень : ТИУ, 2022. – С. 469-472.

7. Сарбей А. В. Оценка качества технического обслуживания автомобилей по интегральному показателю качества / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XVII Межд. науч.-практ. конф., Оренбург, 17–18 ноября 2022 года. – Оренбург : ОГУ, 2022. – С. 514-517.

8. Сарбей А. В. Анализ методов оценки качества технического обслуживания автомобилей / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : Материалы VI Всерос. науч.-практ. конф., Ижевск, 28–29 апреля 2022 года. – Ижевск : ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2022. – С. 180-181.

9. Сарбей А. В. Оценка качества технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тюмень, 07–09 декабря 2021 года. – Тюмень: ТИУ, 2022. – С. 165-166.

10. Сарбей А. В. Оценка качества технического обслуживания автомобилей с учетом вариации фактической периодичности / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тюмень, 08–09 декабря 2022 года. – Тюмень : ТИУ, 2023. – С. 140-142.

11. Сарбей А. В. Разработка показателя оценки качества технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов / А. В. Сарбей // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тюмень, 07–08 декабря 2023 года. – Тюмень: ТИУ, 2024. – С. 201-203.

12. Сарбей А. В. Результаты исследований по формированию и интерпретации значений интегрального показателя оценки качества технического обслуживания автомобилей / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров, Р. А. Зиганшин // Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2025 : Материалы IX Межд.

науч.-практ. конф., Тюмень, 25–26 апреля 2025 года. – Тюмень: ТИУ, 2025. – С. 334-338.

13. Сарбей А. В. Методика оценки качества технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов / А. В. Сарбей, Н. С. Захаров // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XX Межд. науч.-практ. конф., Оренбург, 19–21 ноября 2025 года. – Оренбург: ОГУ, 2025. – С. 334-341.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Результаты моделирования вероятности отказов по наработке в циклах ТО автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

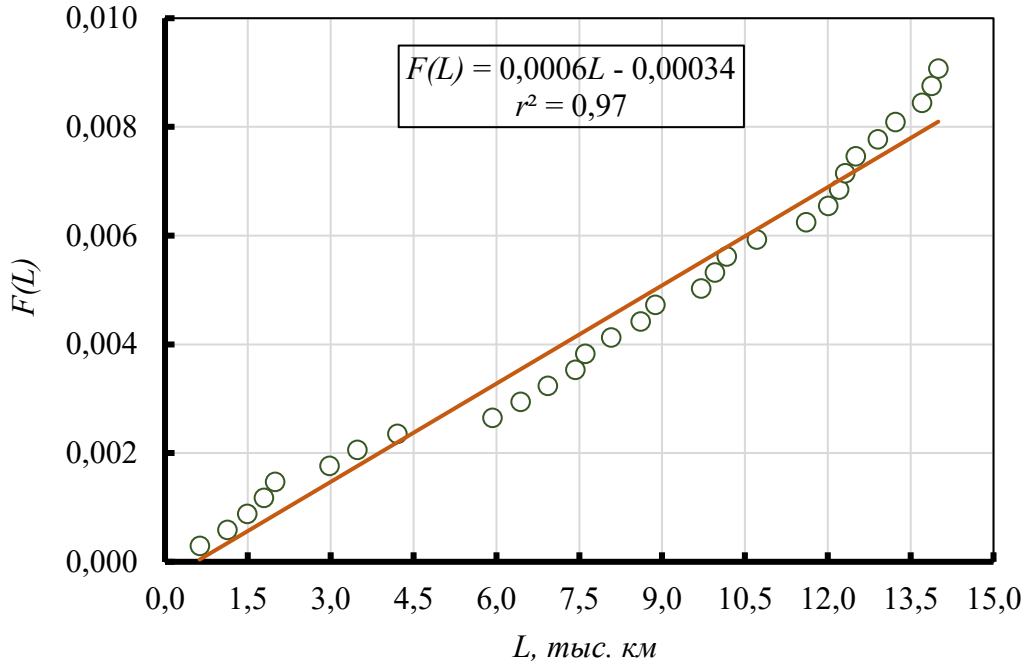


Рисунок П1.1. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ-3309 в циклах ТО

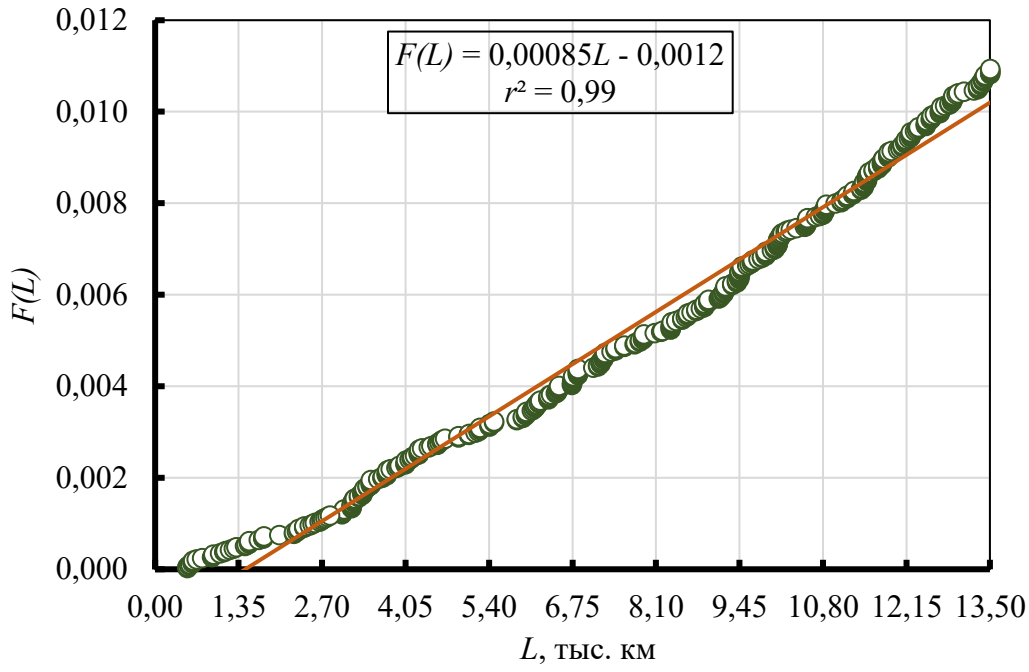


Рисунок П1.2. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей Урал-4320 в циклах ТО

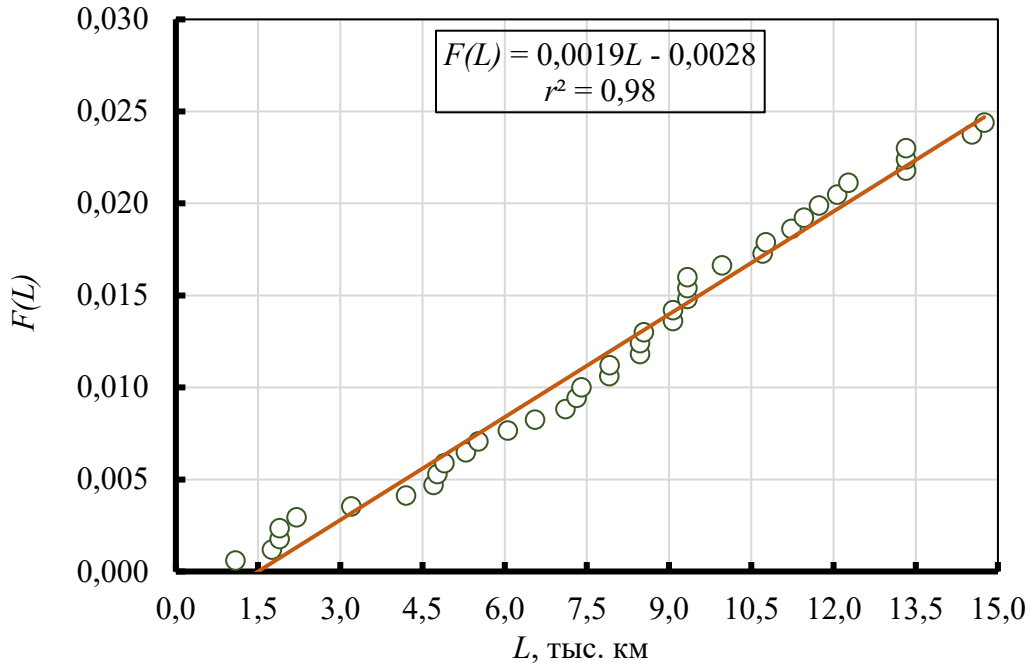


Рисунок П1.3. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ Патриот в циклах ТО

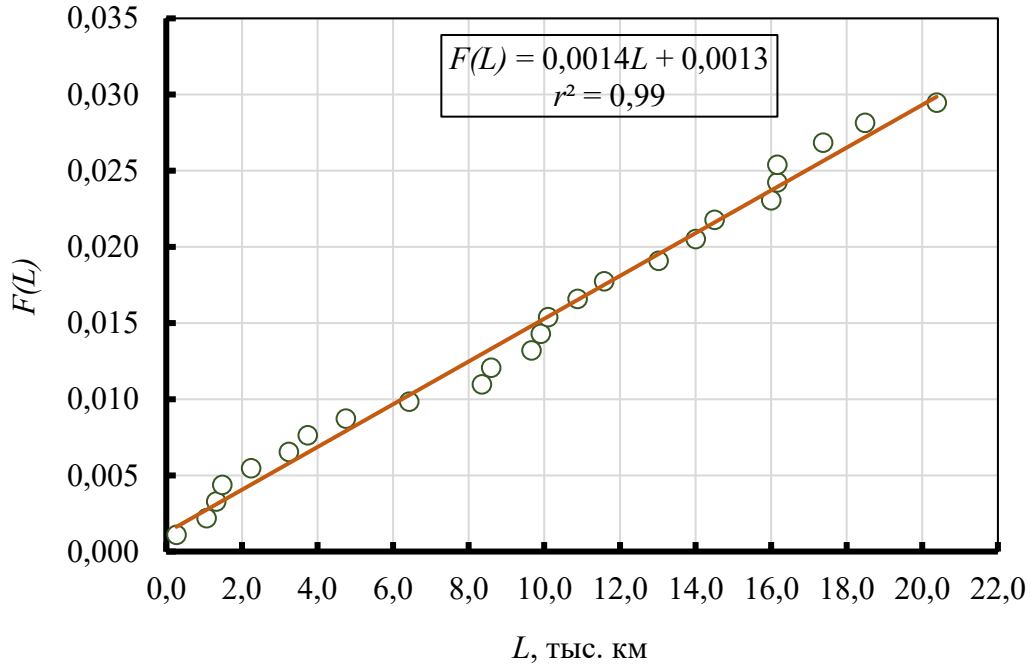


Рисунок П1.4. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-53228 в циклах ТО

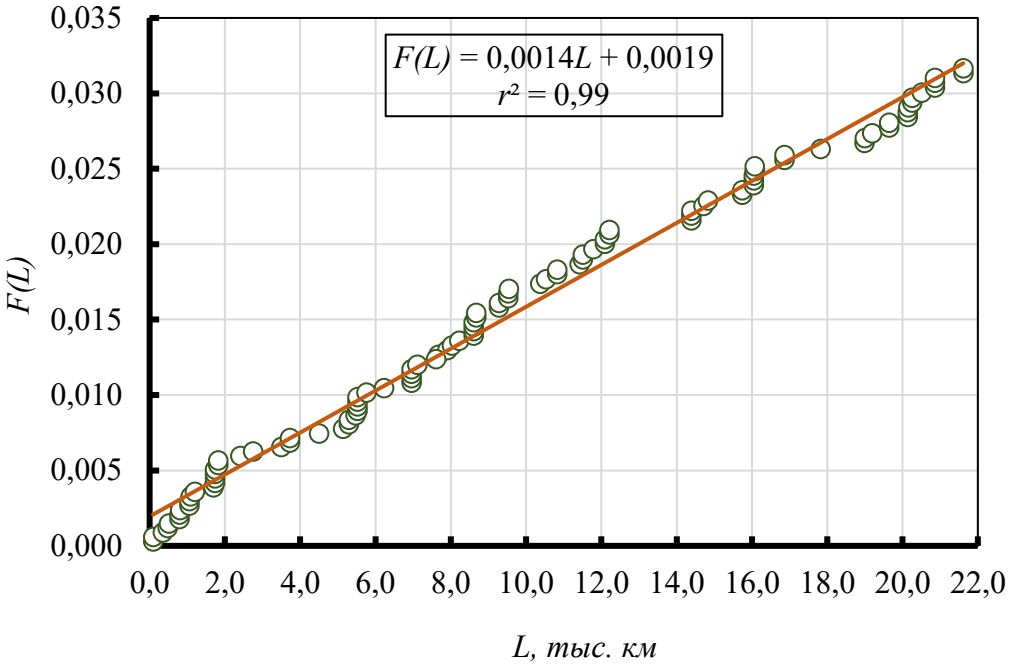


Рисунок П1.5. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 в циклах ТО

Результаты моделирования вероятности отказов по наработке в циклах ТО автомобилей ЦБПО ПРНСиНО ПАО «Сургутнефтегаз»

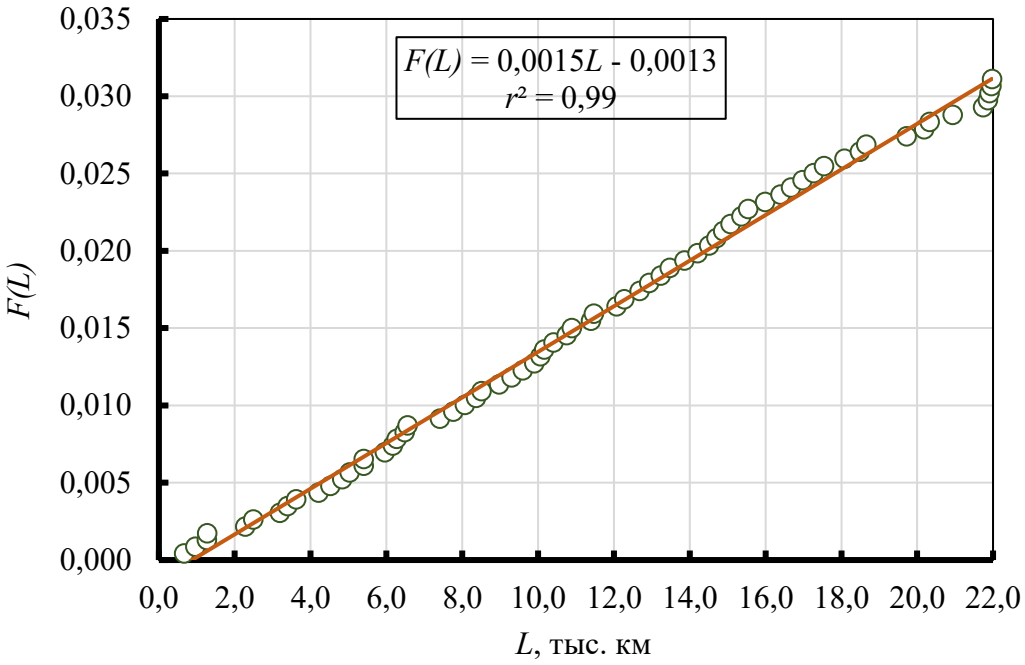


Рисунок П1.6. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43118 в циклах ТО

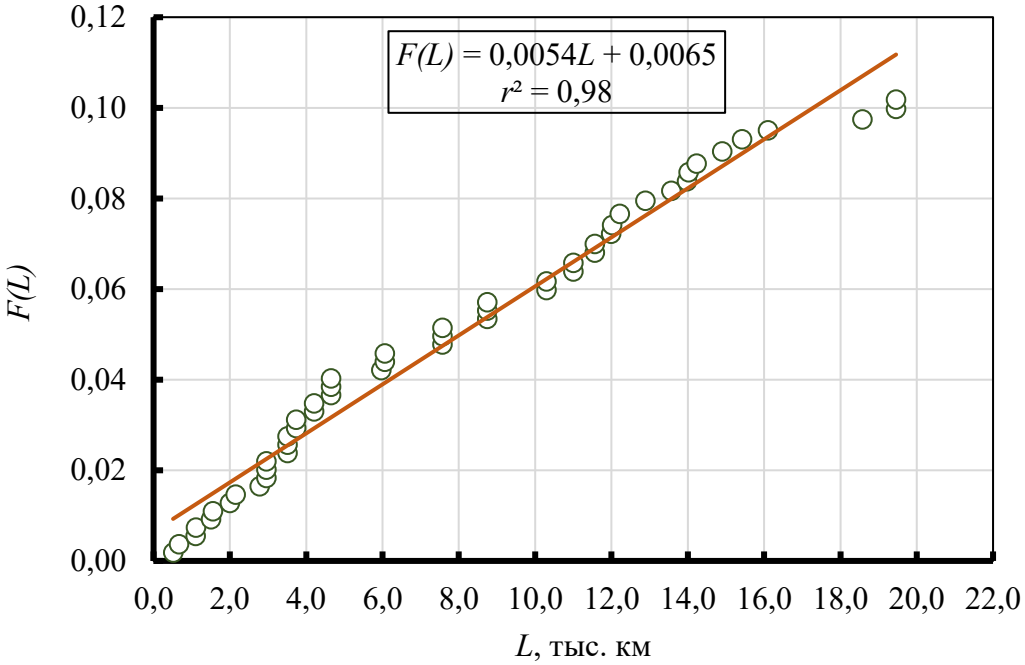


Рисунок П1.7. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей КАМАЗ-43114 в циклах ТО

Результаты моделирования вероятности отказов по наработке в циклах ТО автомобилей Федоровского УПНПиКРС ПАО «Сургутнефтегаз»

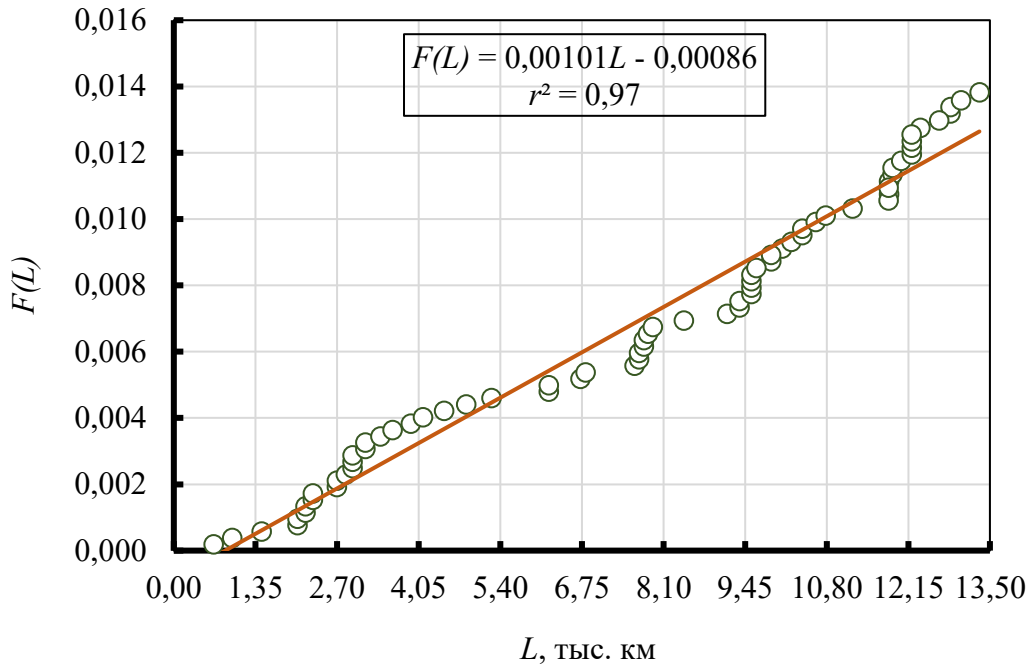


Рисунок П1.8. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей Урал-4320 в циклах ТО

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Статистические характеристики моделирования вероятности отказов по наработке в циклах ТО автомобилей ПАО «Сургутнефтегаз»

Наименования подразделений	Марки автомобилей	Статистические характеристики						
		r^2	r	t_r	$t_{0,99}$	F	$F_{0,99}$	$\bar{\varepsilon}$,%
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-53228	0,99	0,99	53,32	2,74	3017,81	7,53	7,39
	УАЗ Патриот	0,98	0,99	47,22	2,71	2229,3	7,35	7,38
	Урал-4320	0,99	0,99	171,41	2,59	29382,66	6,7	8,07
	УАЗ-3909	0,98	0,99	34,91	2,76	1218,61	7,64	8,82
	КАМАЗ-43118	0,99	0,99	99,51	2,63	9903	6,9	7,40
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43118	0,99	0,99	95,33	1,67	4475,13	7,04	5,79
	КАМАЗ-43114	0,98	0,99	44	2,68	1936,41	7,18	5,64
Федоровское УПНПиКРС	Урал-4320	0,97	0,98	46,2	2,65	2134	7,04	7,76

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Отклонение вероятности отказов от тренда в циклах ТО автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

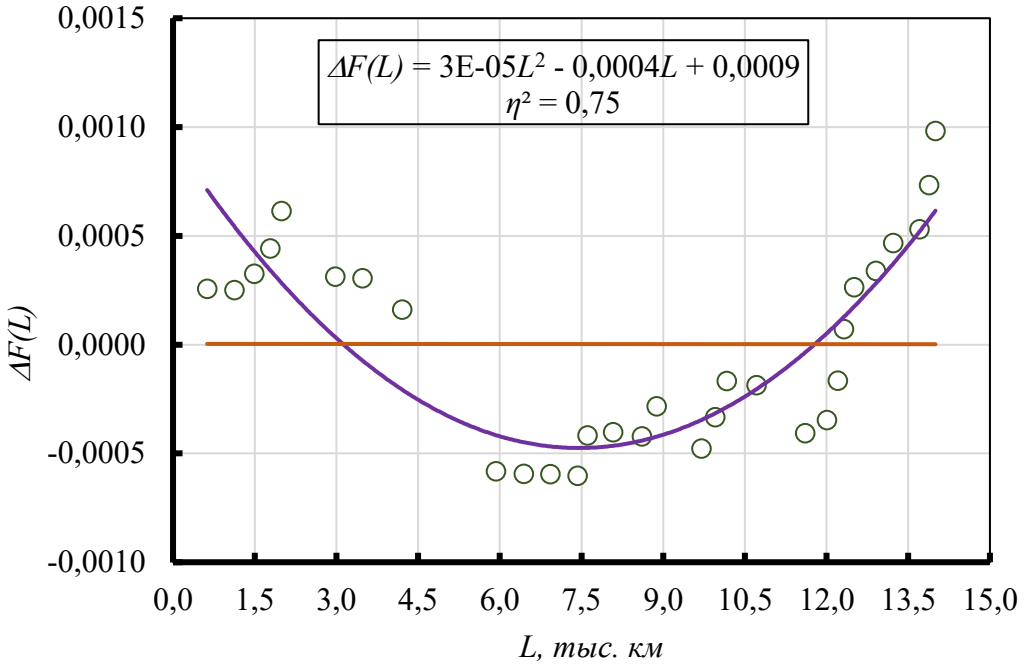


Рисунок П3.1. Отклонение вероятности отказов автомобилей УАЗ-3309 от тренда в циклах ТО

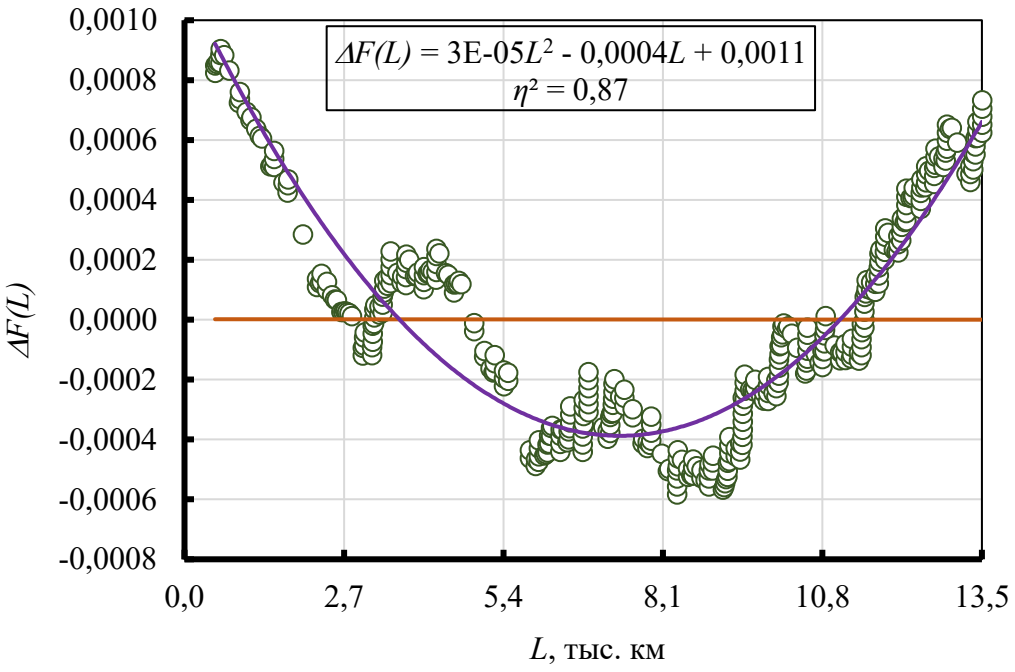


Рисунок П3.2. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей Урал-4320 в циклах ТО

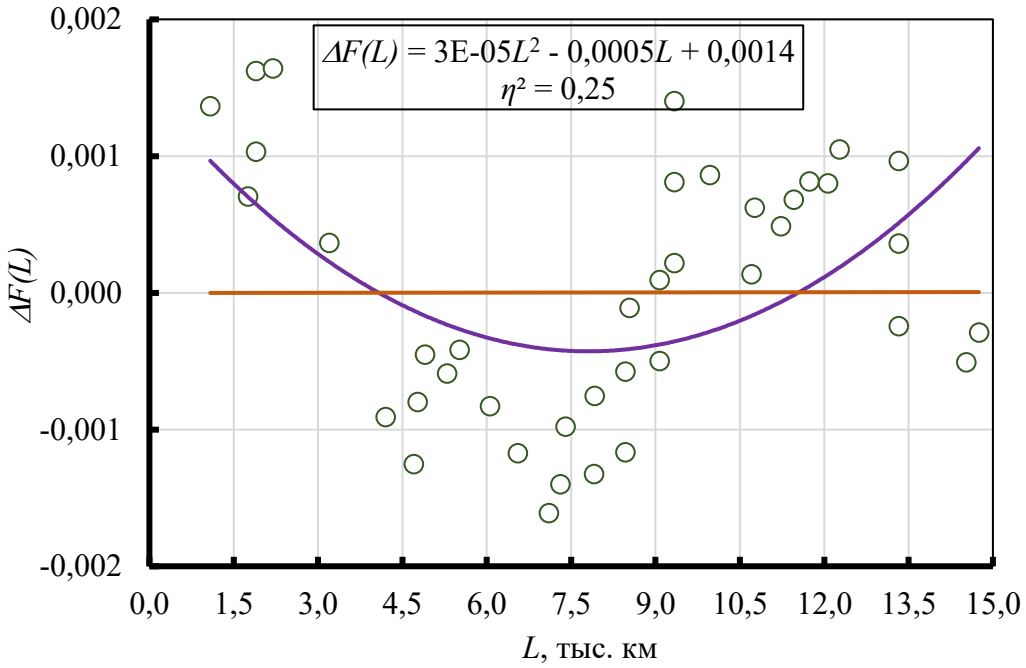


Рисунок П3.3. Влияние наработки на вероятность отказов автомобилей УАЗ Патриот в циклах ТО

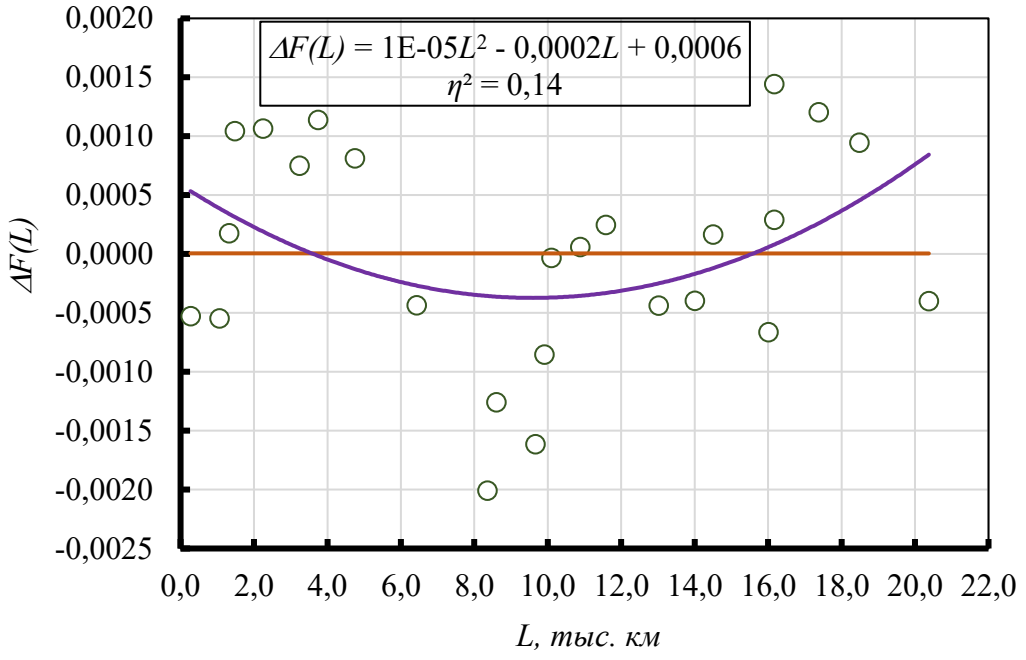


Рисунок П3.4. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-53228 от тренда в циклах ТО

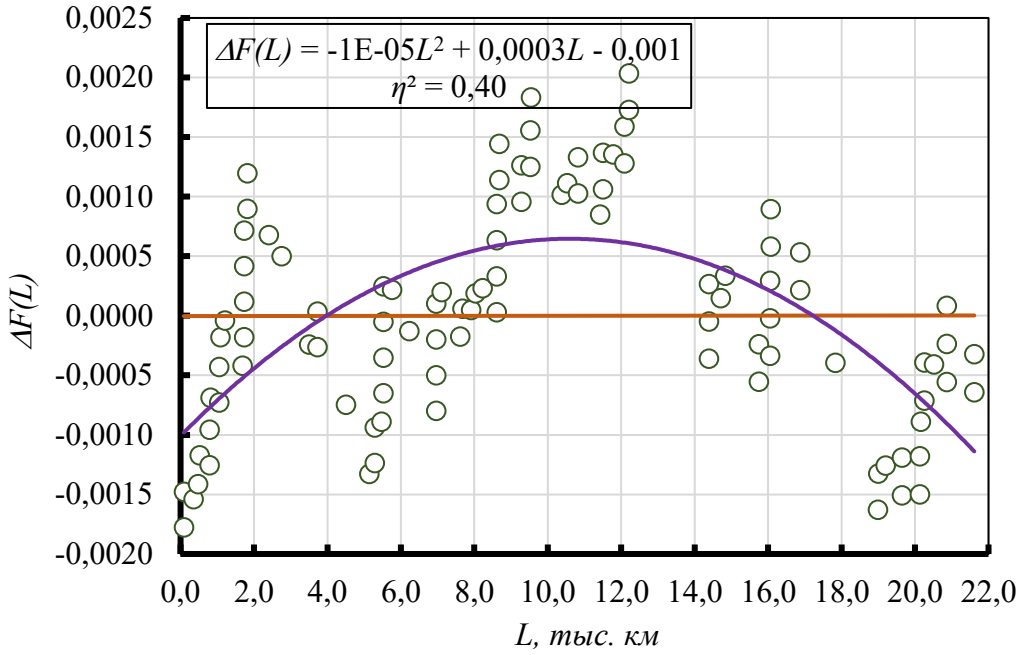


Рисунок П3.5. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-43118 от тренда в циклах ТО

Отклонение вероятности отказов от тренда в циклах ТО автомобилей ЦБПО ПРНСиНО ПАО «Сургутнефтегаз»

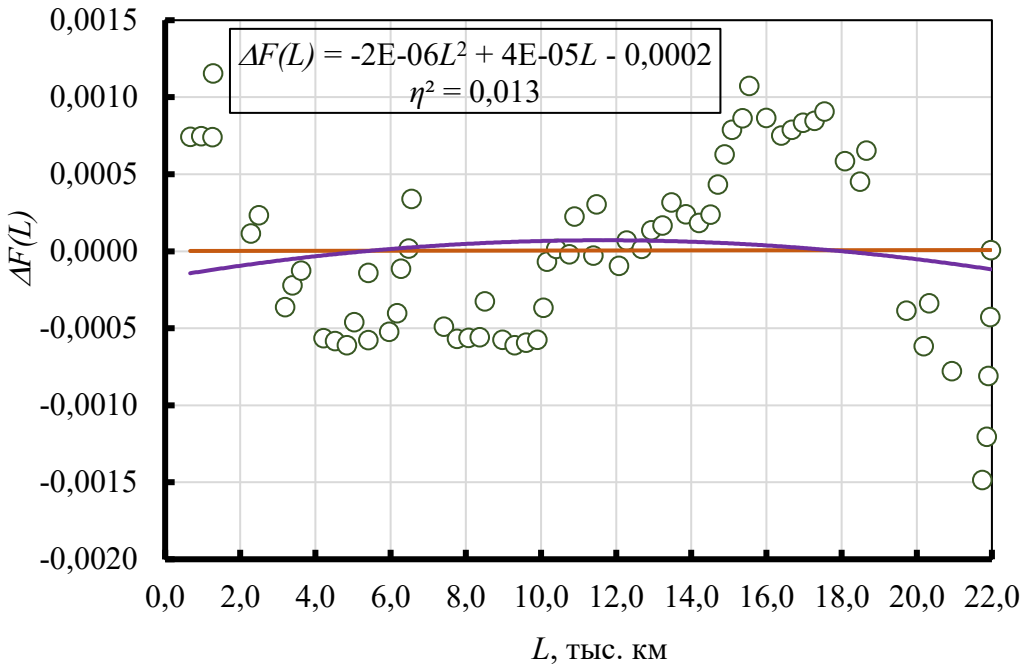


Рисунок П3.6. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-43118 от тренда в циклах ТО

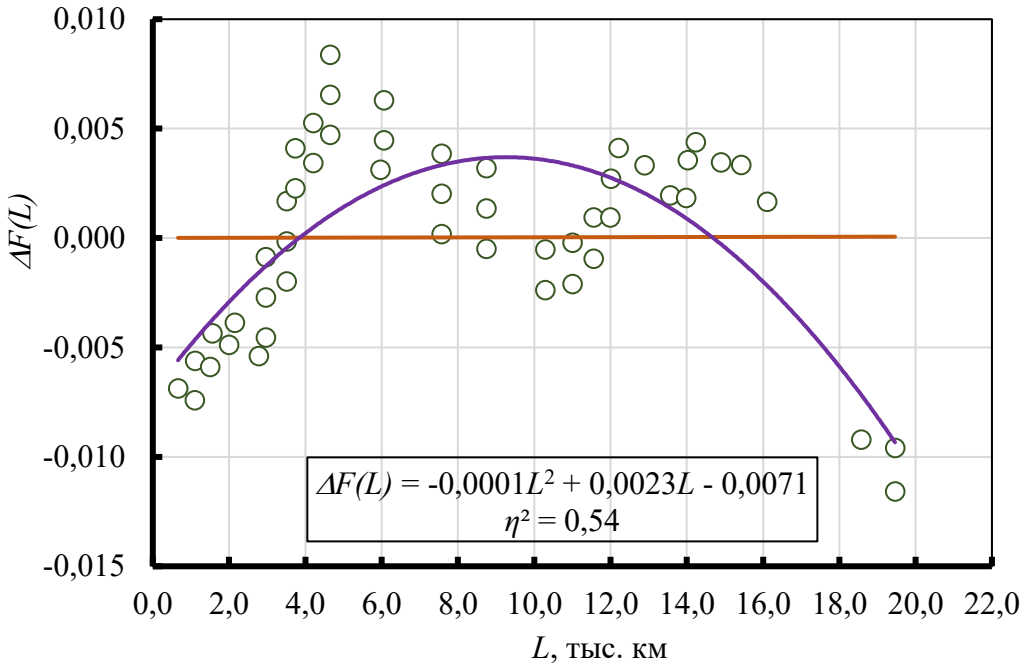


Рисунок П3.7. Отклонение вероятности отказов автомобилей КАМАЗ-43114 от тренда в циклах ТО

Отклонение вероятности отказов от тренда в циклах ТО автомобилей Федоровского УПНПиКРС ПАО «Сургутнефтегаз»

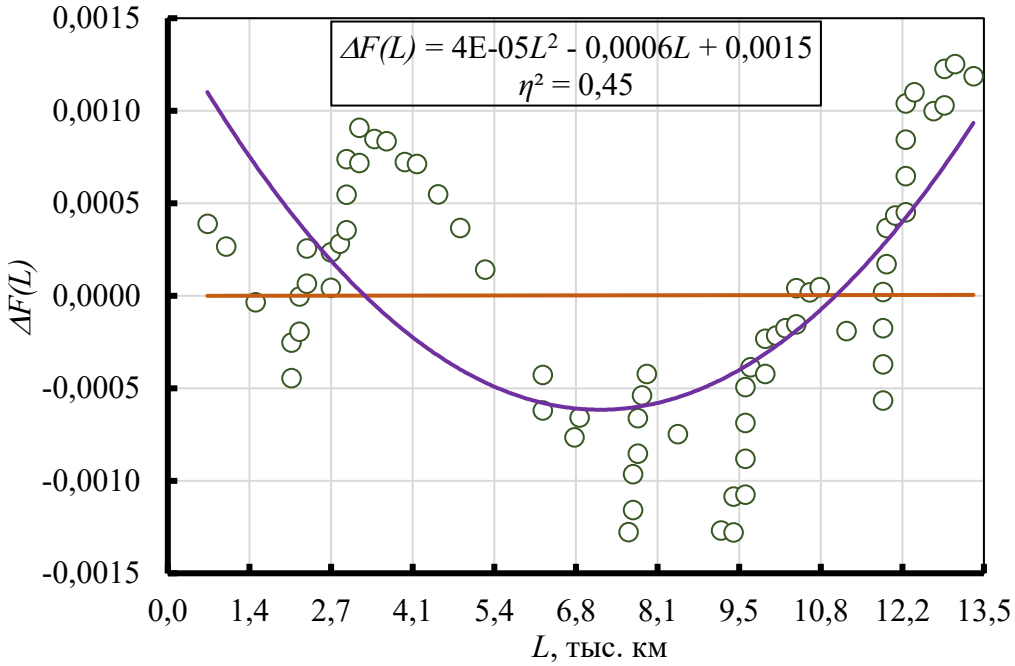


Рисунок П3.8. Отклонение вероятности отказов автомобилей Урал-4320 от тренда в циклах ТО

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Статистические характеристики моделей отклонения вероятности отказов от тренда в циклах ТО автомобилей ПАО «Сургутнефтегаз»

Наименования подразделений	Марки автомобилей	Статистические характеристики										
		η^2	η	t_r	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$	F	$F_{0,90}$	$F_{0,95}$	$F_{0,99}$	e, %
УТТ НГДУ «Быстринскнефть»	КАМАЗ-53228	0,14	0,37	1,89	1,71	2,07	2,81	3,72	2,94	4,28	7,88	0,07
	УАЗ Патриот	0,25	0,5	3,54	-	-	2,71	12,53	-	-	7,35	0,27
	Урал-4320	0,87	0,94	52,8	-	-	2,59	2787,82	-	-	6,7	0,18
	УАЗ-3909	0,75	0,87	9,24	-	-	2,76	85,31	-	-	7,64	0,57
	КАМАЗ-43118	0,4	0,63	8,04	-	-	2,63	64,64	-	-	6,9	0,09
ЦБПО ПРНСиНО	КАМАЗ-43118	0,12	0,34	2,96	-	-	2,65	4,31	2,78	3,99	7,04	0,14
	КАМАЗ-43114	0,54	0,74	7,61	-	-	2,68	57,92	-	-	7,18	0,57
Федоровское УПНПиКРС	Урал-4320	0,45	0,67	7,39	-	-	2,65	54,57	-	-	7,04	0,29

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Кусочно-линейная аппроксимация
значений вероятности отказов на участках циклов ТО
автомобилей УТТ НГДУ «Быстринскнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

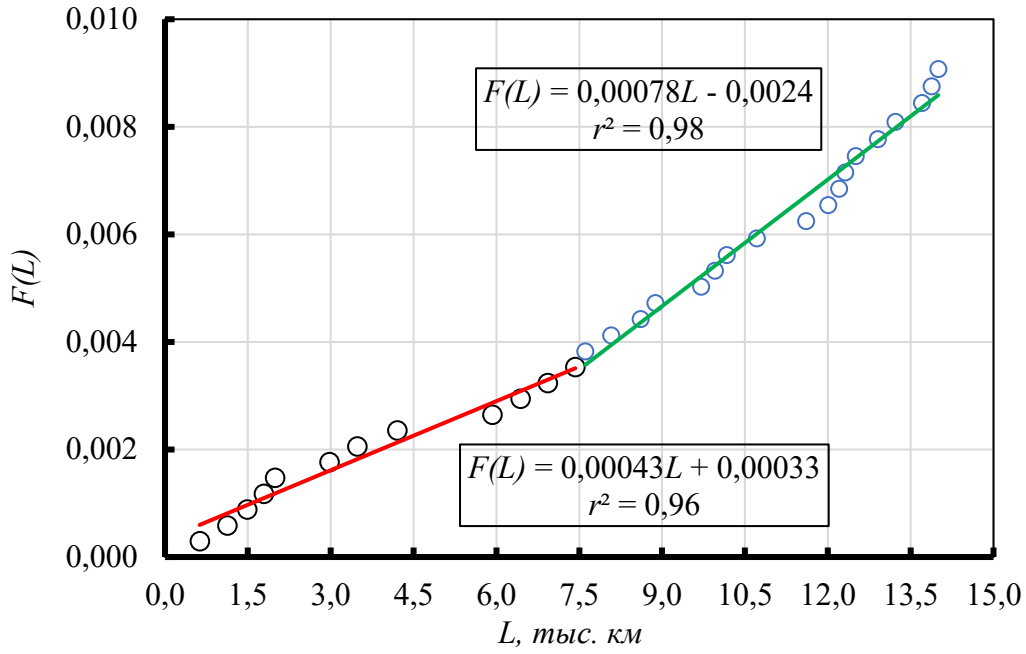


Рисунок П5.1. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей УАЗ-3909

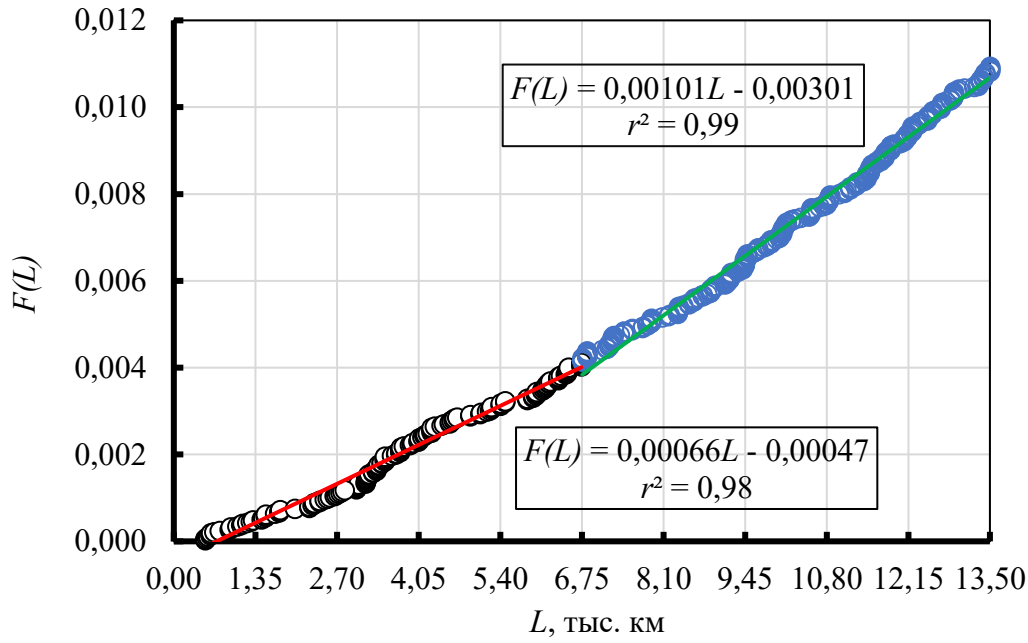


Рисунок П5.2. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей Урал-4320

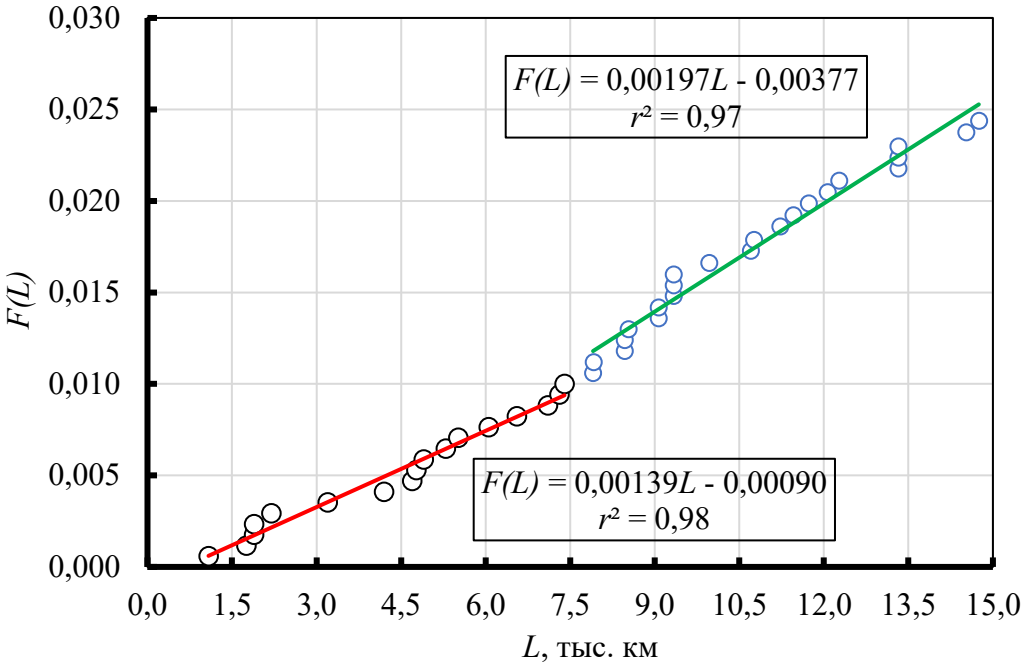


Рисунок П5.3. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей УАЗ Патриот

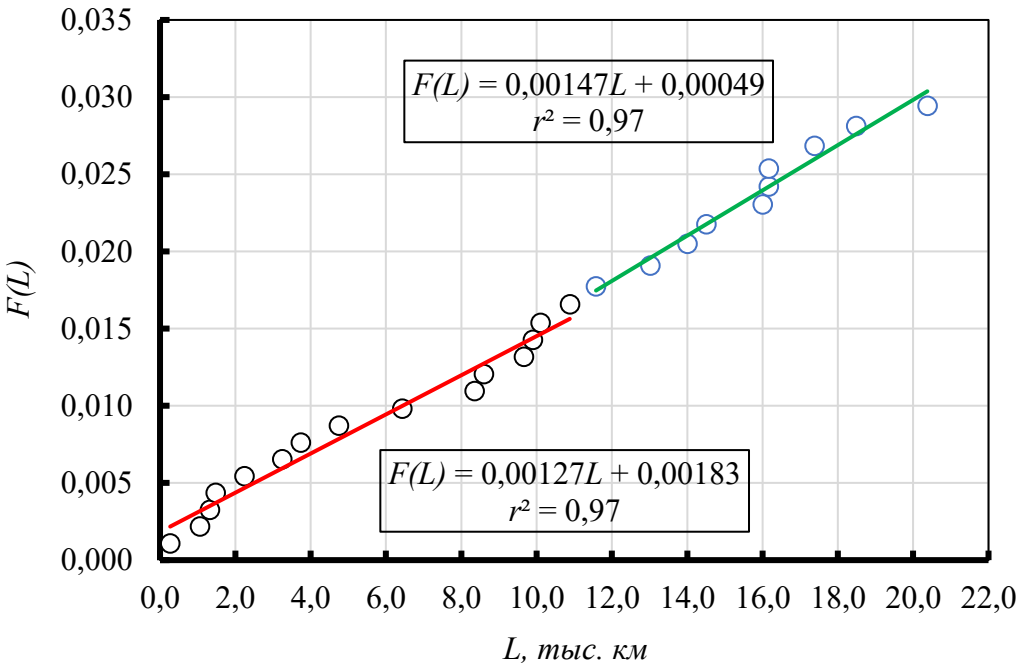


Рисунок П5.4. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-53228

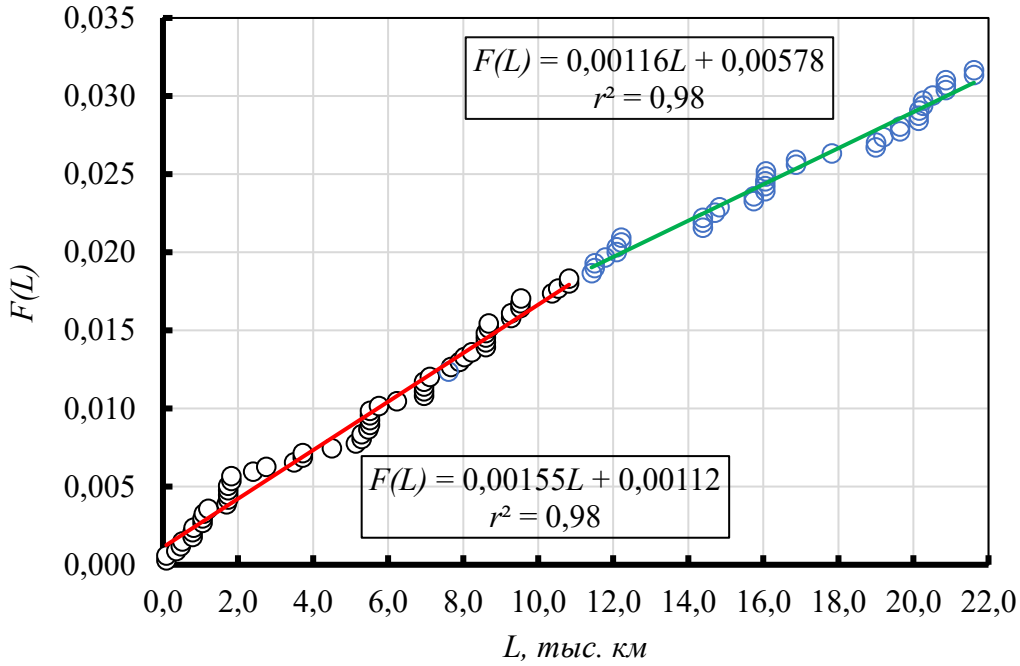


Рисунок П5.5. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-43118

Кусочно-линейная аппроксимация

значений вероятности отказов на участках циклов ТО

автомобилей ЦБПО ПРНСиНО ПАО «Сургутнефтегаз»

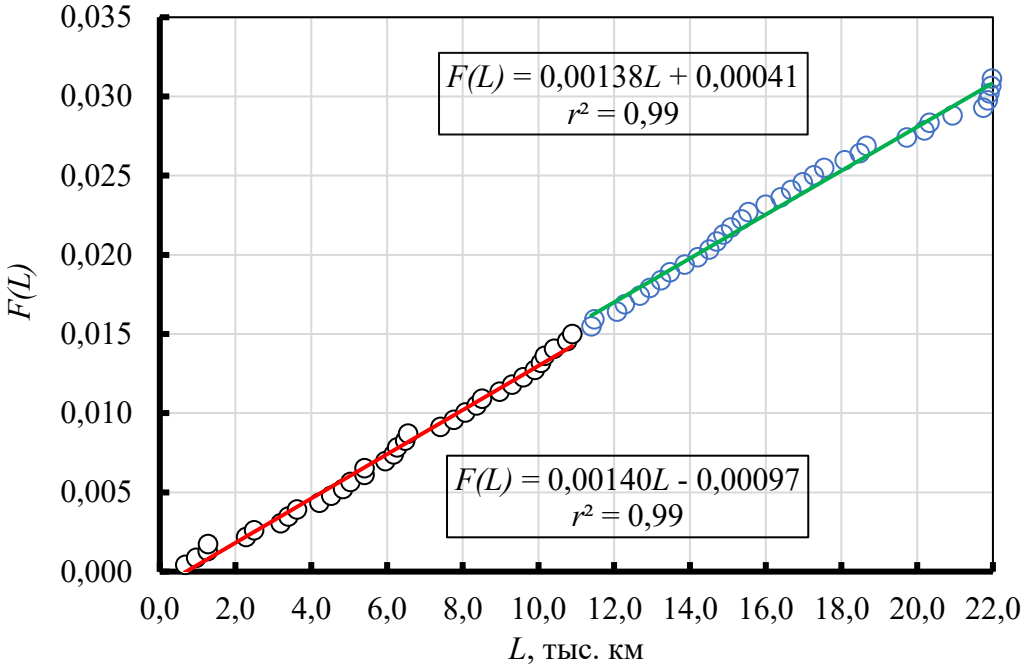


Рисунок П5.6. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-43118

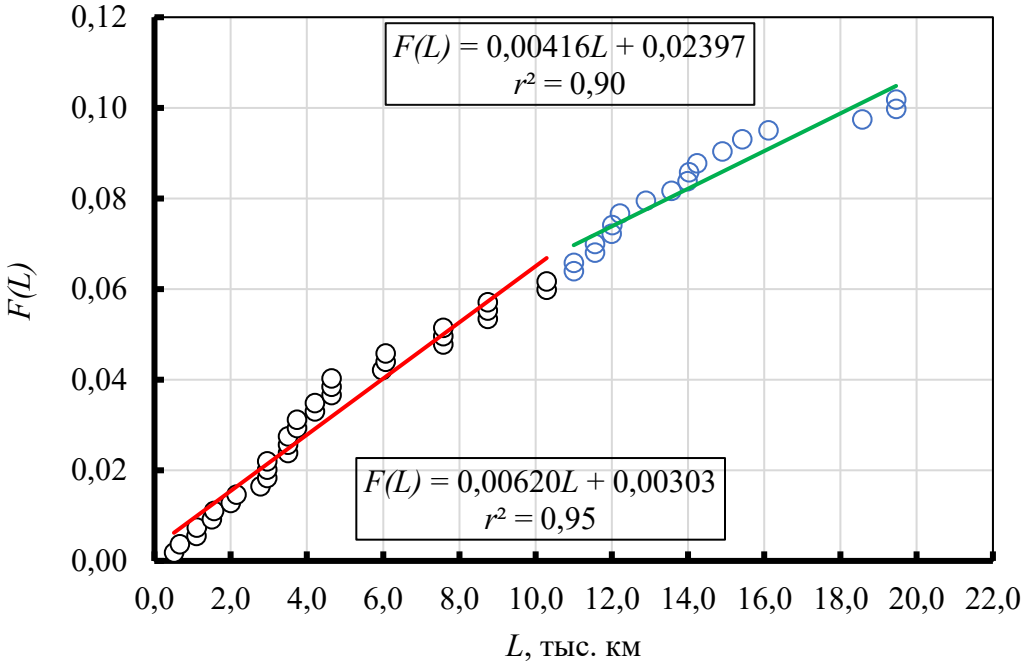


Рисунок П5.7. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей КАМАЗ-43114

Кусочно-линейная аппроксимация
значений вероятности отказов на участках циклов ТО
автомобилей Федоровского УПНПиКРС ПАО «Сургутнефтегаз»

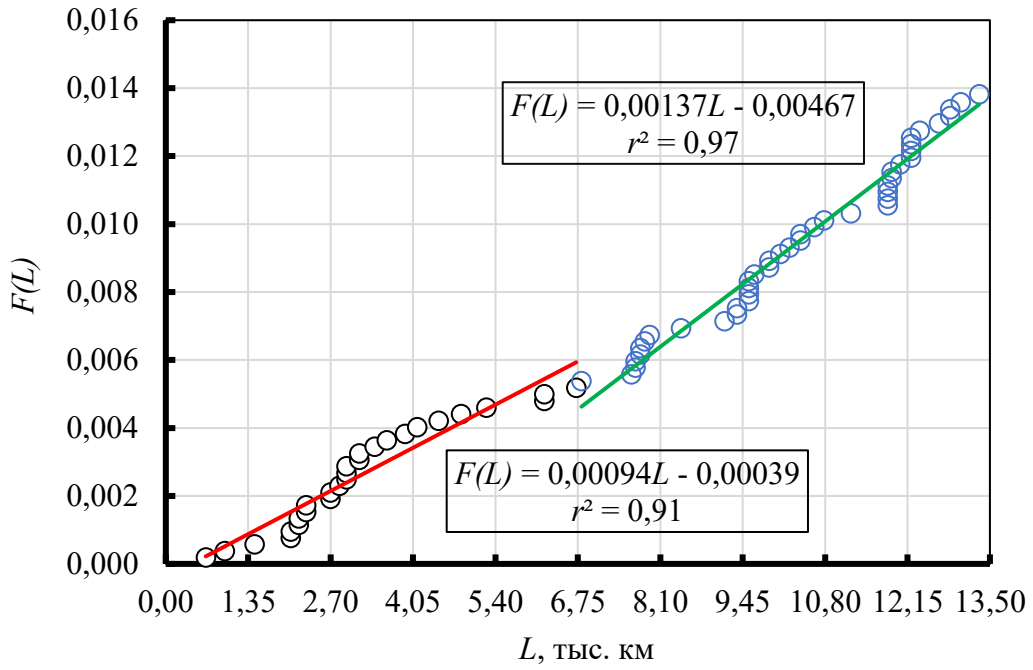


Рисунок П5.8. Кусочно-линейная аппроксимация значений вероятности отказов на участках циклов ТО автомобилей Урал-4320

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Акты внедрения результатов диссертации

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по образовательной деятельности
ФГБОУ ВО «Тюменский
индустриальный университет

_____ А. М. Тверяков
«09» 11 2026 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс кафедры «Автомобили и технологические машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» результатов диссертационной работы Сарбея Александра Владимировича на тему «Методика оперативного управления качеством технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов»

Комиссия в составе: председателя, заместителя директора Технологического института по науке и инновациям, кандидата технических наук, доцента Ишкиной Е. Г. и членов комиссии: и. о. заведующего кафедрой «Автомобили и технологические машины» доктора технических наук, профессора Захарова Н. С., кандидата технических наук, доцента Трегубовой И. М. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы соискателя ученой степени Сарбея А. В. на тему «Методика оперативного управления качеством технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов» используются в учебном процессе при подготовке обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных Сарбеем А. В., применяются при проведении практических занятий в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры «Автомобили и технологические машины», протокол № 5 от 09.11 2026 г.

Председатель комиссии:
заместитель директора Технологического
института по науке и инновациям
канд. техн. наук, доцент — Е. Г. Ишкина

Члены комиссии:

и. о. заведующего кафедрой
«Автомобили и технологические машины»
д-р техн. наук, профессор — Н. С. Захаров

доцент кафедры
«Автомобили и технологические машины»
канд. техн. наук, доцент — И. М. Трегубова

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
Федоровского УПНПиКРС
ПАО «Сургутнефтегаз»
_____ П. Н. Кучумов
«02» ____11_____ 2026 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы соискателя ученой степени Сарбея Александра Владимировича на тему «Методика оперативного управления качеством технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов» в Федоровском управлении по повышению нефтеотдачи пластов и капитальному ремонту скважин (УПНПиКРС) ПАО «Сургутнефтегаз»

Мы, нижеподписавшиеся: заместитель начальника управления по транспорту Р. Р. Салахов, заместитель начальника базы транспортного обеспечения Е. С. Левковец и соискатель ученой степени А. В. Сарбей составили настоящий акт о том, что в Федоровском УПНПиКРС ПАО «Сургутнефтегаз» принята к использованию методика оперативного управления качеством технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов.

Указанная методика разработана на основе исследований, выполненных в диссертационной работе А. В. Сарбея на тему «Методика оперативного управления качеством технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов».

Разработанная методика позволяет оперативно оценивать реализуемое качество технического обслуживания автомобилей с последующим принятием и реализацией управленческих решений, а также оценкой их эффективности. Применение методики обеспечивает снижение производственных потерь, обусловленных сокращением времени пребывания автомобилей в зоне текущего ремонта.

Заместитель начальника управления
по транспорту
_____ Р. Р. Салахов

Заместитель начальника базы транспортного
обеспечения
_____ Е. С. Левковец

Автор диссертации,
соискатель ученой степени
_____ А. В. Сарбей

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026612085

Программное обеспечение для формирования реализуемого качества технического обслуживания автомобилей на основе анализа потока отказов

Правообладатель: ***Сарбей Александр Владимирович (RU)***

Авторы: ***Сарбей Александр Владимирович (RU), Захаров Николай Степанович (RU), Зиганшин Руслан Альбертович (RU)***

Заявка № **2026611142**
Дата поступления **16 января 2026 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***26 января 2026 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026612382

Программное обеспечение для моделирования вероятности отказа автомобилей по наработке в циклах технического обслуживания

Правообладатель: ***Сарбей Александр Владимирович (RU)***

Авторы: ***Сарбей Александр Владимирович (RU), Захаров Николай Степанович (RU), Зиганшин Руслан Альбертович (RU)***

Заявка № **2025694787**
Дата поступления **05 декабря 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***27 января 2026 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов