

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

На правах рукописи



ГУСЕВ АНДРЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ЗАДНЕГО МОСТА АВТОБУСОВ БОЛЬШОГО КЛАССА**

2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Заслуженный работник
высшей школы РФ,
доктор технических наук,
профессор Сарбаев В. И.

Москва 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	с.
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОБУСА	10
1.1 Состояние вопроса	10
1.2 Надежность технических систем и ТС	12
1.3 Показатели надежности и методы их расчета для деталей и узлов автобуса	17
1.4 Методы и модели диагностики.....	25
1.5 Методы и модели обеспечение работоспособности транспортных средств	31
1.6 Структура работы	34
Выводы по главе 1	36
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОБУСОВ	38
2.1 Классификация и оценка влияния факторов эксплуатации на характеристики надежности заднего моста автобуса.....	39
2.2 Статистический анализ отказов основных узлов заднего моста автобусов большого класса	48
2.3 Построение формальной схемы надежности деталей заднего моста автобуса	60
Выводы по главе 2	63
ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ ЗАМЕН ДЕТАЛЕЙ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОБУСА	64
3.1 Формализованное описание причинно-следственных взаимосвязей отказов узлов ЗМ.....	64
3.2 Методика оптимизации периодичностей предупредительных замен ...	69
3.2.1 Комплексные показатели надежности	70
3.2.2 Формальная постановка задачи оптимизации периодичностей предупредительных замен	71
3.2.3 Методика расчета оптимальной периодичности на основе ведущей функции потока отказов	74
3.3 Построение прогнозной модели пробега автобусов.....	78
Выводы по главе 3	87

ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ	89
4.1 Трендовая модель и прогноз годового пробега автобусов АТП.....	89
4.2 Формирование оптимальных периодичностей предупредительных замен деталей и узлов заднего моста.....	93
4.3 Программная поддержка БП управления ТО и ремонтом.....	100
4.4 Описание технологических процессов управления ТО и ремонтами .	104
Выводы по главе 4.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	113
ПРИЛОЖЕНИЕ	129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Тематике обеспечения работоспособности агрегатов и узлов различных типов автомобилей посвящено множество работ. Однако, и в настоящий момент существует множество проблем, которые не позволяют в полной мере использовать все возможности для повышения эффективности эксплуатации транспортных средств (ТС). К ним относятся недостаточно обоснованное согласование проведения технического обслуживания (ТО), ремонтных работ и предупредительных замен (ПЗ), отсутствие адекватных, доказательно обоснованных расчетов периодичности проведения этих работ, базирующихся на модельных оценках параметров моделей надежности с учетом совместного влияния показателей надежности отдельных деталей на характеристики отказов узла или агрегата.

В настоящее время на государственном уровне не регламентируются вопросы технического обслуживания и ремонта автомобилей, не проводятся исследования надежности и эффективности технической эксплуатации автомобильного транспорта. Нормирование регламентных работ ТО производится заводами-изготовителям, обоснованность установленных заводами периодичностей и перечней операций ТО публично не подтверждается. Вместе с тем, в России утверждена система государственных стандартов, регламентирующих методы исследований и обработки информации, направленные на управление надежностью изделий. Наиболее перспективным и эффективным методом управления надежностью в эксплуатации является «надежностно-ориентированное техническое обслуживание (RCM), которое представляет собой методологию выявления и выбора политики предупреждения и (или) предупреждения отказов (далее – политики управления отказами), нацеленной на эффективное обеспечение требуемых безопасности, готовности и экономической эксплуатации изделий» (ГОСТ Р 27.607-2013).

Решение задачи повышения эксплуатационной надежности отдельных узлов, агрегатов, и автомобиля в целом возможно за счет создания интегрированной методики, включающей модели оценки надежности, продвинутых методов расче-

та периодичностей проведения предупредительных замен, согласованных с периодичностями проведения ТО, основанных на формальных моделях надежности деталей, узлов и агрегатов.

Таким образом, исследования, направленные на повышение уровня работоспособности заднего моста (ЗМ) автобусов большого класса, достаточно актуально.

Степень разработанности темы исследований. Повышение эффективности использования ТС и обеспечения работоспособности узлов и агрегатов возможно за счет совершенствования системы управления состоянием ТС в процессе эксплуатации с упором на индивидуальные особенности каждого типа ТС. Этими вопросами занимались такие ученые, как Ю.В. Баженов, А.П. Болдин, В.М. Власов, А.С. Гребенников, А.С. Денисов, А.Н. Новиков, В.И. Сарбаев, и др. Исследования и работы по анализу и моделированию эффективности выполнения ремонтных работ, ТО и предупредительных замен проводились Г.Л. Бродецким, А.М. Гаджинским, В.А. Сакович, Ф.Н. Авдонькиным, В.В. Волгиным, А.Г. Зарубиным, Н.И. Иващенко, Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецовым, В.С. Лукинским, Л.Б. Миротинным, О.Ф. Пославским, Н.В. Семеновым, В.И. Сергеевым, Р.Г. Хабибуллиным, А.М. Шейниным, В.А.Щетиной и др., а также иностранными учеными Дж. Хедли, Дж. Шрайбфедером.

Вместе с тем, современные условия требуют повышения точности оценок надежности и периодичности выполнения отдельных работ по поддержанию работоспособности.

Рабочей гипотезой стало положение о том, что параметры надежности и эффективность эксплуатации заднего моста автобусов находятся в зависимости от режимов ТО и ремонтов и могут быть улучшены за счет разработки и применения разработанных оптимальных режимов предупредительных замен деталей ЗМ.

Объектом исследования являются автобусы большого класса, которые используются в различных режимах эксплуатации для перевозки пассажиров, и проходят ТО и ремонт в условиях автотранспортного предприятия.

Предметом исследования являются процессы изменения и восстановления технического состояния заднего моста автобусов большого класса в процессе эксплуатации.

Цель работы заключается в повышении работоспособности автобусов большого класса за счет разработки и использования рациональных режимов проведения предупредительных замен деталей и узлов заднего моста.

Задачи исследований:

- анализ методов и моделей надежности узлов и агрегатов ТС и определения оптимальных периодичностей выполнения ТО и предупредительных замен;
- классификация и выделение значимых факторов, влияющих на показатели надежности заднего моста автобуса большого класса;
- статистический анализ отказов деталей заднего моста, оценка параметров распределения;
- формирование критерия оптимизации и разработка расчетной процедуры оценки оптимальной периодичности предупредительных замен для деталей и узлов заднего моста. Обоснование перечня и оптимальных периодичностей предупредительных замен для деталей и узлов заднего моста автобуса большого класса Niger;
- статистический анализ данных по пробегу парка, построение трендовой модели и прогнозирование общего пробега автобусного парка;
- формальное описание процессов управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами АТП и внедрение результатов исследований.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложена классификация факторов, влияющих на характеристики надежности заднего моста автобуса большого класса, базирующаяся на анализе взаимодействия систем «задний мост» – «Внешняя среда»;
- получены экспертные оценки влияния эксплуатационных и конструктивных факторов на уровень надежности заднего моста автобуса и определены наиболее значимые из них;
- получены статистические характеристики отказов деталей и узлов заднего моста, для описания и анализа которых использованы модели надежности Вейбулла;

– предложены критерий и модель для определения рациональных режимов предупредительных замен деталей заднего моста автобуса, основанная на статистических процедурах оценки показателей надежности, расчете ведущих функций отказов деталей заднего моста и предложенном ценовом критерии;

– получена модель интенсивности использования автобусов, основанная на модели Брауна и модели временного ряда, включающей циклическую составляющую, и тренд, полученный в результате регрессионного анализа статистических данных.

Положения, выносимые на защиту:

– классификация и результаты экспертной оценки степени влияния факторов, влияющих на характеристики надежности заднего моста автобуса большого класса, базирующиеся на анализе взаимодействия систем «задний мост» - «Внешняя среда»;

– расчетная модель показателей надежности заднего моста автобуса большого класса на базе модели надежности Вейбулла;

– математическая модель для определения рациональных режимов предупредительных замен деталей заднего моста автобуса, основанная на статистических процедурах оценки показателей надежности, расчете ведущих функций отказов деталей заднего моста и предложенном ценовом критерии;

– модель интенсивности использования автобусов, основанная на модели Брауна и модели временного ряда, включающей циклическую составляющую.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке методического подхода и методики оптимизации периодичностей предупредительных замен деталей узлов и агрегатов автобуса на основе статистической оценки комплексных показателей надежности и ценового критерия, методики планирования предупредительных замен деталей при проведении плановых технических обслуживаний с использованием прогнозной модели интенсивности эксплуатации автобусов.

Практическая значимость. Предложенные в диссертации теоретические положения, методические подходы и модели являются научной основой для разработки мероприятий по повышению эффективности эксплуатации автобусов и

рекомендуются для использования при разработке и обоснованию периодичностей предупредительных замен деталей узлов и агрегатов автобусов, совместно с проведением технического обслуживания.

Методы исследования: системный анализ, математическое моделирование, теория надежности, имитационное моделирование, математическая статистика, и др.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечивается принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы, проведенными исследованиями по анализу характеристик отказов узлов и их статистическим анализом, а также апробацией результатов исследований на российских и международных научно-практических конференциях.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5 – «Эксплуатация автомобильного транспорта», по пунктам: 2 «Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации»; 11 «Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем»; 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».

Личный вклад соискателя заключается в определении и проведении теоретических и экспериментальных исследований, разработке классификации и проведении экспертной оценки степени влияния действующих факторов, сборе и обработке статистической информации о надежности деталей ЗМ, формировании математических моделей надежности, критерия и модели для определения рациональных режимов предупредительных замен деталей ЗМ автобуса, модели интенсивности использования парка автобусов, проведении расчетов по полученным моделям, интерпретации результатов моделирования, разработке практических

рекомендаций, их внедрении, формировании и оформлении рукописей научных материалов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и получили одобрение на: XXI, XXV Международных научно-практических конференциях «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» (г. Владимир, 2019, 2023 г.г.); 81-ой, 82-ой научно-методических и научно-исследовательских конференциях МАДИ «Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта» (Москва, 2023, 2024 г.г.); VII, VIII, IX международных научно-практических конференциях «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2021, 2022, 2023 г.г.).

Реализация результатов работы. Научные результаты работы внедрены в автобусном предприятии «ИП Иваненко Галина Ивановна» в г.о. Чехов Московской области, а также используются в учебном процессе в Московском политехническом университете.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 11 печатных работ, в том числе 7 в изданиях из перечня ВАК рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем диссертационной работы. Основная часть диссертации включает в себя введение, 4 главы и заключение на 129 страницах, список использованной литературы из 139 наименований, 49 рисунков, 27 таблиц и приложения.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОБУСА

В первой главе проводится анализ системных методов и моделей надежности, диагностики и обеспечения работоспособности ТС. Приводится обзор основных ученых, работающих в данных областях, а также их публикаций.

1.1 Состояние вопроса

О важности и актуальности данного направления свидетельствует достаточно большое количество работ по данной теме.

Проблему повышения эффективности использования ТС возможно разрешить за счет совершенствования системы управления состоянием ТС в процессе эксплуатации, с упором на индивидуальные возможности каждого типа ТС. Анализ работ А.И. Кудрина, А.М. Лукьянова, С.В. Крючкова, С.В. Пахомова, И.И. Габитова [16, 17, 62, 87] показывает, что она существует на основании высокой разновидности механизмов и агрегатов и ТС.

Вопросами расчета экономического эффекта за счет использования диагностирования занимались такие ученые, как А.А. Козеев, И.И. Габитов, В.А. Корчагин, В.И. Парфенов, А.А. Долгушин, [16, 43, 74, 76, 96]. Показано, что при использовании методов диагностирования для идентификации неисправностей ТС затрат снижаются примерно на 9...11 %. При этом расход запасных частей также сокращается на 8...11 %.

В работах [3–5, 26, 120, 122] авторы Алиев А.М., Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А показывают, что к техническому состоянию трансмиссии и дизеля для гарантий надежной и безотказной и работу ТС необходимо предъявлять особые требования. Так, Биргер И.А. [11] показал, что на трансмиссию приходится порядка 17 % всех неисправностей, основными из которых приходятся на валы, подшипники и шестерни.

Как показано учеными В.С. Семенов, А.И. Селиванов, Н.Н. Маслов и другими, операции по ТО узлов и агрегатов трансмиссии в основном состоят в: подтяжке креплений, в периодической регулировке привода сцепления, очистке от грязи,

смазке подшипника переднего подшипника первичного вала, муфты выключения сцепления, оси педали сцепления; в проверке уровня масла в картерах, проверке и подтяжке элементов крепления коробок и их крышек, смазке шарнирных соединений привода управления коробками; замене масла и тщательной промывке узлов, очистке магнитов пробок спускных отверстий от металлических частиц.

Так, влияние природно-климатических и сезонных условий на надежность АТ в целом исследовалось в трудах Р. С. Григорьева, В. Л. Игнатова, А. М. Ишкова, К. К. Прокопьева, В. П. Степанова. Схожие вопросы, но уже для отдельных узлов и агрегатов АТ, рассматривались в работах Г. С. Лосавио, А. И. Яговкина. Проблемы обеспечения надежности АТ в особых условиях эксплуатации применительно к конкретным типам (маркам) АТ изучались Г. В. Абакумовым, Р. С. Григорьевым, Н. С. Захаровым, М. А. Кузьминовым, Ю. М. Першиным, а также В. В. Ионовым, П. П. Ощепковым.

Вопросы, касающиеся повышения надежности АТ при ее эксплуатации в отдельных регионах РФ, исследовались в работах [17, 24, 26, 45, 101] Р. Р. Зинатуллина, С. Г. Павлишина, В. Р. Кузьмина (в условиях Севера), Е. В. Агеева (в условиях жаркого климата) и ряда других авторов. Влияние транспортных и дорожных условий эксплуатации на надежность АТ рассматривалось в диссертациях А. И. Петрова, Л. Г. Резника, публикациях А. И. Туленова, Н. Н. Чуклинова, а также других ученых. Однако проблема обеспечения надежности ДВС АТ при эксплуатации в различных условиях в настоящее время окончательно не решена, а имеющиеся по данной теме работы носят, по большей части, частный характер и посвящены исследованию лишь ее отдельных аспектов. В них не показана возможность использования уже существующих статистических данных для разработки математических моделей случайного процесса постепенного изменения во времени контролируемых параметров АТ, позволяющих осуществить прогнозирование времени выхода этих параметров за допустимые пределы (момента отказа) с любой заданной вероятностью, а также решение обратной задачи – нахождения вероятности безотказной работы АТ на заданном интервале времени. Недостаточная проработанность данных вопросов, в свою очередь, часто приводит к отсутствию

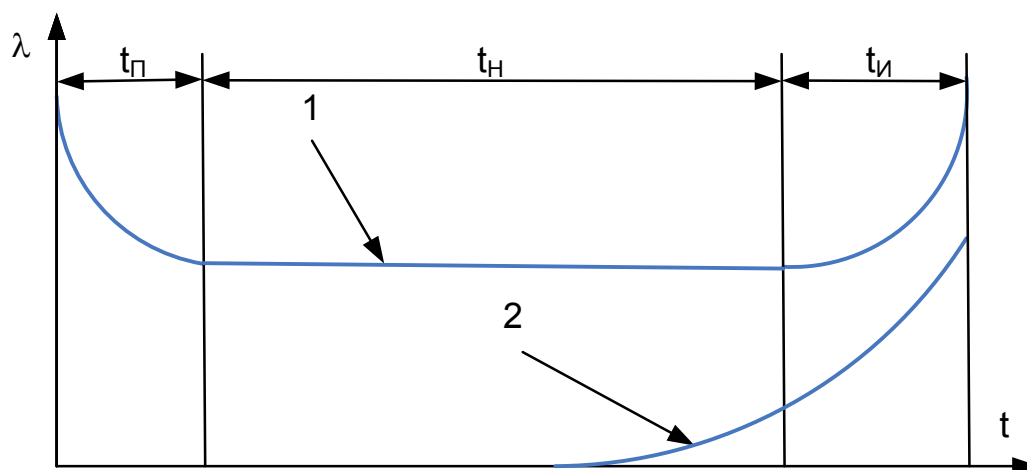
научно обоснованных значений оптимальной периодичности контроля параметров критичного (наиболее подверженного влиянию тех или иных конкретных условий эксплуатации) агрегата АТ – ДВС, оказывающего наибольшее влияние на работоспособность АТ, и в конечном итоге – к недостаточной обоснованности гибких стратегий технического обслуживания (ТО) ДВС и АТ в целом.

Работы, связанные с технической эксплуатацией автомобилей, технологиями ремонта и восстановления деталей двигателя ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как: ОГУ им. Тургенева, МАДИ, СибАДИ, БГТУ им. В.Г. Шухова, ЮГЗУ и других организациях.

Вопросами повышения эффективности эксплуатации автомобильного транспорта [7, 53, 54, 85, 120, 132] занимались в своих работах А.Н. Новиков, В.И. Сарбаев, Ю.А. Заяц, Н.С. Захаров, Н.А. Загородний, В.А. Корчагин, М.А. Кузьминов, А.П. Крившин, В.И. Казарцев, В.В. Ионов, Н.И. Иващенко, П.П. Ощепков, Г.В. Абакумов, М.Б. Афанасьев, Е.В. Агеев, Ю.Н. Артемьев, Ф.Н. Авдонькин, Р.С. Григорьев, В.П. Степанов, А.И. Селиванов, В.С. Семенов, Я.М. Сорин, А.П. Владзиевский, Ю.М. Першин, С.Г. Павлишин, А.И. Петров, Н.Н. Маслов, А.Ф. Дергачёв, С.В. Шумик, Г.М. Яковлев, Л.Г. Резник, Н.С. Ждановский, В.С. Волков, А.В. Николаенко и др.

1.2 Надежность технических систем и ТС

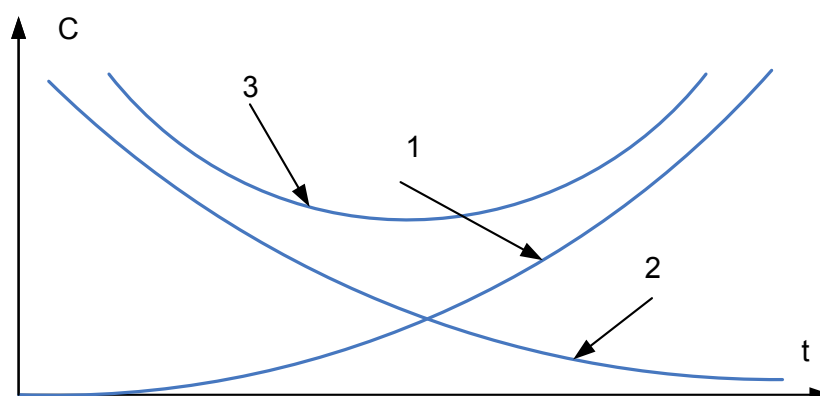
Основной причиной падения показателей надежности являются износ и старение элементов агрегата [13, 45, 51, 52, 85, 94]. При этом условия эксплуатации назначаются так, чтобы максимально сократить износ и старение. В процессе эксплуатации надежность агрегатов принимает принципиально различные зависимости (Рисунок 1.1). На начальном этапе надежность, в большей степени, характеризуется конструктивно-технологическими факторами. При этом интенсивность отказов на данном этапе является повышенной. С течением времени факторы отказов выявляются и устраняются, а агрегат приводится к номинальному положению.



t_n – нормальная работа; t_p – период приработки; t_i – период износа;
1 – кривая интенсивности отказов; 2 – старение деталей

Рисунок 1.1 – Динамика надежности ТС в процессе эксплуатации

Такая картина динамики надежности приводит к оценке эффективности эксплуатации определенных агрегатов [65, 74]. Т.е. за счет накопления усталости и износа интенсивность отказов возрастает (Рисунок 1.2).



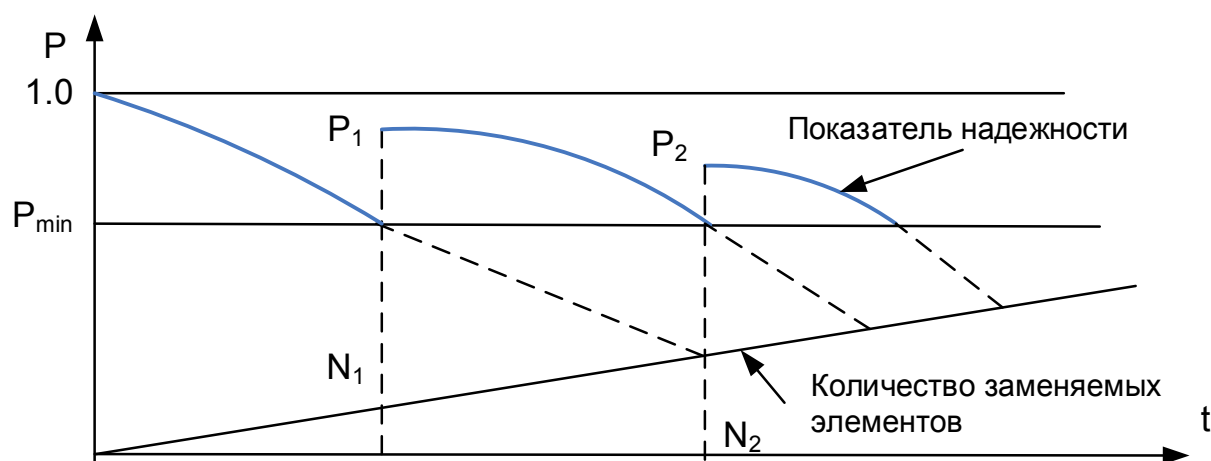
1 – затраты на ремонт; 2 – амортизация; 3 – общие затраты

Рисунок 1.2 – Оптимизация общих затрат

При этом существует оптимум, который определяет рациональный момент отказа от эксплуатации агрегата и замены его новым. Длительная эксплуатация превышающая рациональные сроки службы агрегата экономически невыгодна, а для поддержания необходимой надежности агрегатов реализуется комплекс организационно-технических мероприятий, к которым относятся периодические ТО, восстановительные и профилактические работы. В процессе проведения ТО осу-

ществляется диагностика агрегатов, которая направлена на предупреждения отказов [62, 83, 96, 98].

Восстановительные работы для поддержания заданной надежности реализуются на основе замены деталей и узлов, которые не соответствуют требуемому уровню надежности. При этом количество ремонтов и восстановительных работ определяется исходя из экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации агрегата (Рисунок 1.3).



P_{\min} – минимально допустимая надежность агрегата, P – ВБР агрегата;
 N – количество заменяемых элементов агрегата

Рисунок 1.3 – Зависимость ВБР агрегата от времени

Кроме того, очередной ремонт не дает возможности восстановления до исходного значения показателей надежности, срок эксплуатации агрегата после каждого ремонта будет уменьшаться, что и определяет необходимость принятия решений по дальнейшей эксплуатации агрегата.

Поддержание автомобилей в работоспособном состоянии обходится собственнику в среднем в 22–26 % себестоимости. Вместе с тем, вклад уровня работоспособности в обеспечение прироста объема перевозок, прибыли, производительности подвижного состава составляет 25–27 % (Рисунок 1.4).

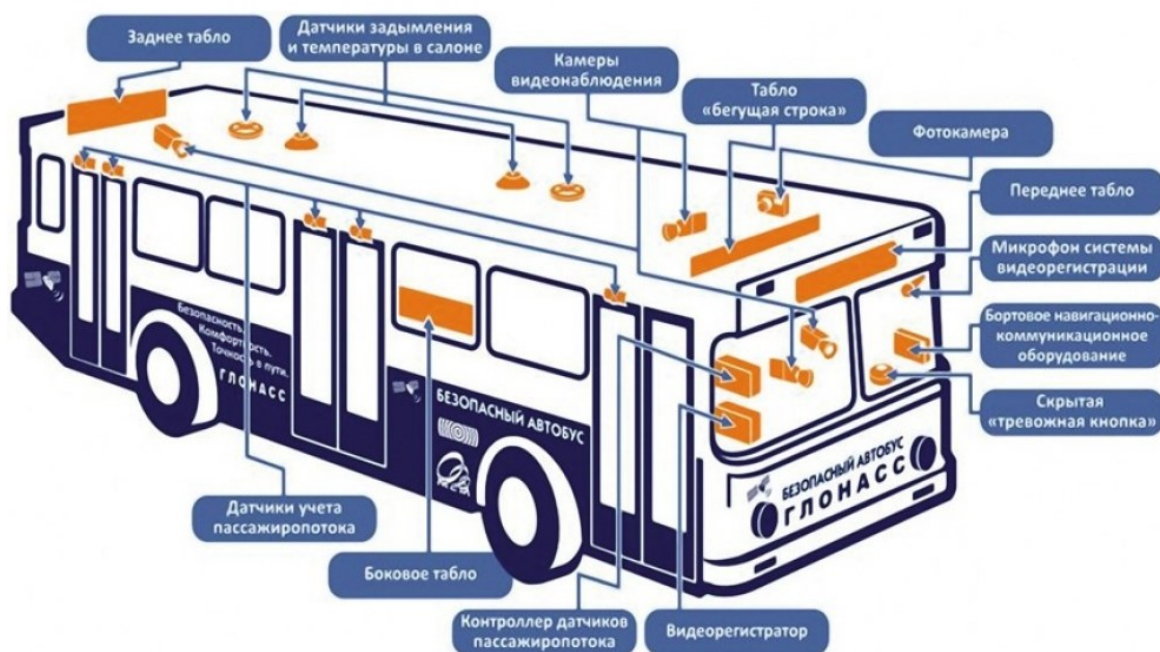


Рисунок 1.4 – Схема автобуса

Уровень работоспособности автомобиля в целом складывается из надежности отдельных узлов и агрегатов [105, 108]. Одним из важных узлов автомобиля является ведущий мост, который участвует в передаче крутящего момента от двигателя непосредственно на колёса [45, 53]. Ведущий мост является дорогостоящим агрегатом, отказ которого во время движения может привести к ДТП с тяжёлыми последствиями, а его ремонт требует значительных финансовых, трудовых затрат и простоев автомобилей в ремонте [10, 85, 87].

В процессе эксплуатации на автомобиль и его узлы и агрегаты воздействует множество факторов, под влиянием которых в конечном итоге формируется уровень эксплуатационной надежности этих узлов, агрегатов и автомобиля в целом [52, 74, 84].

Для поддержания должного уровня работоспособности автомобиля в процессе эксплуатации проводятся технические обслуживания (ТО), диагностика состояния узлов и агрегатов, предупредительные замены отдельных деталей. Режимы технического обслуживания, включая периодичности, перечни выполняемых операций по каждому виду обслуживания устанавливаются заводом-изготовителем, как правило, без учета конкретных условий эксплуатации автомо-

билей [51, 62]. С другой стороны, общеизвестно, что корректирование режимов ТО в зависимости от условий эксплуатации является основой эффективной работы технической службы автотранспортных предприятий и других собственников по поддержанию подвижного состава в работоспособном состоянии [75, 84].

Важным инструментом повышения уровня надежности узлов и агрегатов, уровня работоспособности автомобиля, является учет влияния условий эксплуатации при обосновании режимов технического обслуживания [51, 105]. Важной задачей настоящей работы является всесторонний анализ факторов, под влиянием которых формируется уровень надежности и работоспособности ведущих мостов автобусов.

Одним из важных узлов в трансмиссионной конструкции транспортных средств является редуктор заднего моста, который участвует в передаче крутящего момента от двигателя внутреннего сгорания, через КПП и карданный вал, непосредственно на колёса. Задний мост является важным и дорогостоящим агрегатом, от которого в значительной степени зависит эффективность эксплуатации автомобиля в целом (Рисунок 1.5).

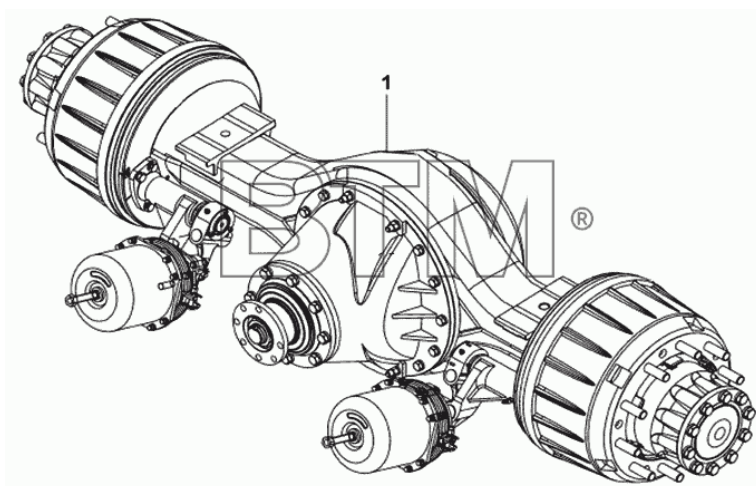


Рисунок 1.5 – Задний мост автобуса

Отказ заднего моста приводит к большим простоям и экономическим потерям, а отказ во время движения может привести к разрушению заднего моста и к ДТП с самыми тяжелыми последствиями. С точки зрения обеспечения надежности и эффективности эксплуатации редуктора заднего моста в качестве главного

критерия необходимо рассматривать вероятность безотказной работы. Исходя из этого критерия, необходимо строить стратегию и тактику технической эксплуатации, выбирать перечень параметров технического состояния, определить систему поддержания работоспособности заднего моста, в том числе определить главные характеристики такой системы – перечень выполняемых операций и периодичности их выполнения. Определение рациональных режимов поддержания работоспособности агрегатов и узлов автомобиля, как это известно из теории технической эксплуатации, базируется на исследовании и анализе показателей надежности и процессов изменения технического состояния в реальных условиях эксплуатации, с учетом влияния этих условий, а также методов и характеристик ремонтных и профилактических воздействий на исследуемый агрегат. Поэтому на первом этапе исследования необходимо произвести анализ показателей эксплуатационной надежности заднего моста автобуса и условий эксплуатации, в которых эта надежность реализована.

1.3 Показатели надежности и методы их расчета для деталей и узлов автобуса

Проведенный анализ приводит к необходимости использования количественных показателей безотказности работы ЗУК и формальных моделей надежности [62, 77, 94, 105, 108].

В общем случае, показатели надежности определяются двумя способами: статистически – исходя из имеющейся статистики наработки на отказ некоторого количества $N(t)$ объектов к заданному моменту времени t , и теоретически, принимая некоторую аналитическую модель отказов элементов системы.

Далее – ξ – случайная величина времени наработки на отказ;

ξ^i – случайная величина времени наработки на отказ i -го узла;

ξ_j^i – случайная величина времени наработки на отказ i -го узла после j -го отказа для восстанавливаемых систем.

1. Вероятность безотказной работы (ВБР) определяет вероятность события, которое состоит в отсутствие отказов узла до момента t . В плане **статистической** интерпретации определения ВБР это определение сводится к следующему:

$$\hat{P}(t) = \frac{N_p(t)}{N}, \quad (1.1)$$

где $N_p(t)$ – количество исправных узлов на момент t ;

$N=N(0)$ – количество исследуемых узлов.

Естественно, что ВБР любого узел снижается с течением времени, а сама зависимость ВБР по времени задает убыль его ресурса (Рисунок 1.6а).

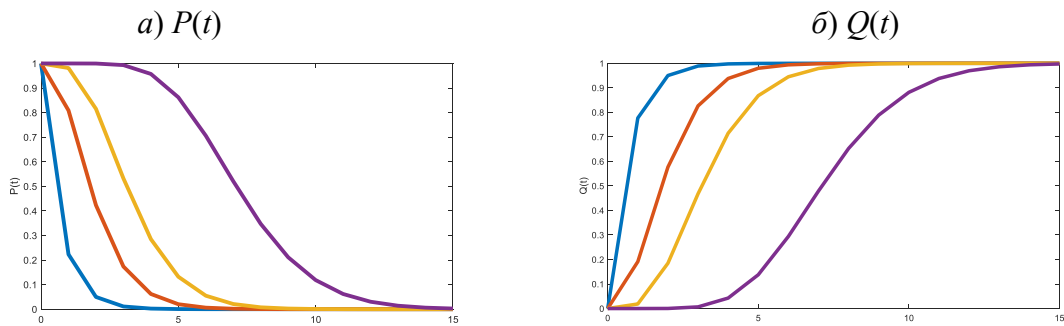


Рисунок 1.6 – ВБР и вероятность отказа (ВО)

Можно положить, что в начале работы для исправного узла его ВБР равна единице $P(0) = 1$. Естественно, что с течением времени наработки узла при $t \rightarrow \infty \Rightarrow P(t) = 0$, т.е. эта ВБР стремится к нулю.

С одной стороны, в определении можно говорить о любом начальном моменте времени (точке начало отсчета), считая его нулевым. С другой стороны, можно говорить о ВБР узла на некотором заданном интервале от t_0 до t .

$$P(t_0, t_0+t) = P\{\xi_1 \geq t_0+t | \xi_1 \geq t_0\} = P(t_0, t_0+t) / P(0, t) = P(t+t_0) / P(t). \quad (1.2)$$

2. Вероятность отказа – на момент времени t определяется на основании соотношения

$$\hat{Q}(t) = \frac{N_o(t)}{N(0)} = 1 - \hat{P}(t), \quad (1.3)$$

где $N_o(t)$ – количество агрегатов, которые отказали на момент t ;

$N(0)$ – общее количество исследуемых агрегатов.

Сама зависимость вероятности отказа представляет монотонно возрастающую кривую (Рисунок 1.6б).

Статистическая интерпретация определений вероятности безотказной работы и вероятности отказа выражается через времена наработки на отказ всех исследуемых объектов (Рисунок 1.7).

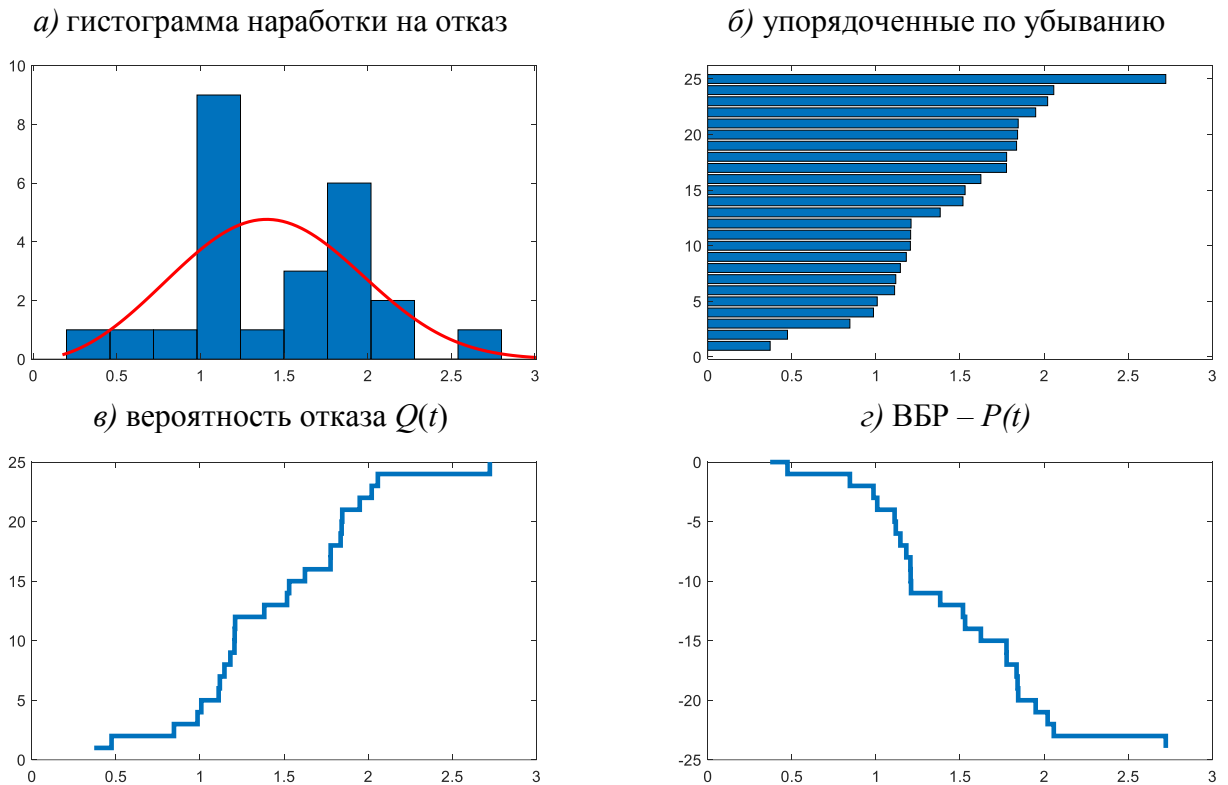


Рисунок 1.7 – Статистическая интерпретация ВБР и вероятности отказа

Рассматривая показатели плотности вероятности отказа и интенсивности статистическая интерпретация несколько затруднительна, поскольку необходимо иметь статистику отказов на небольшом интервале времени. Поэтому вводятся аналитические зависимости $P(t)$ и $Q(t)$. Причем, поскольку вид зависимости **вероятности отказа $Q(t)$** имеет те же свойства, что и **функция распределения случайной величины**, то в основном, все теоретические зависимости заимствованы из теории вероятности.

3. Плотность вероятности отказа – аналитически эта характеристика задается как производная функции вероятности отказа и согласуется с плотностью распределения

$$f(t) = \frac{dQ}{dt}. \quad (1.4)$$

Для представления вероятности отказа возможна любая функция распределения случайной величины $Q(t)=F(t)$. При этом справедливо.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt}, \quad f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (1.5)$$

А исходя из определений интеграла и функции плотности

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt, \quad P(t) = \int_t^\infty f(t)dt \quad (1.6)$$

4. Интенсивность отказов – определяется на основании

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (1.7)$$

где $P(t)$ – ВБР, а $f(t)$ – плотность вероятности.

В результате можно записать $\lambda(t) = -\left(\frac{dP(t)}{dt} / P(t)\right)$ и переходя к интегралу.

$$\int_0^t \frac{dP(\tau)}{P(\tau)} = -\int_0^t \lambda(\tau)d\tau, \quad \ln(P(t)) = -\int_0^t \lambda(\tau)d\tau \quad (1.8)$$

В результате, ВБР с интенсивностью отказов связана соотношением.

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt\right). \quad (1.9)$$

5. Средняя наработка на отказ (Рисунок 1.8) – определяется на основании соотношения.

$$T_o = M(\xi), \quad T_o = \int_0^\infty t \cdot f(t)dt = \int_0^\infty P(t)dt \quad (1.10)$$

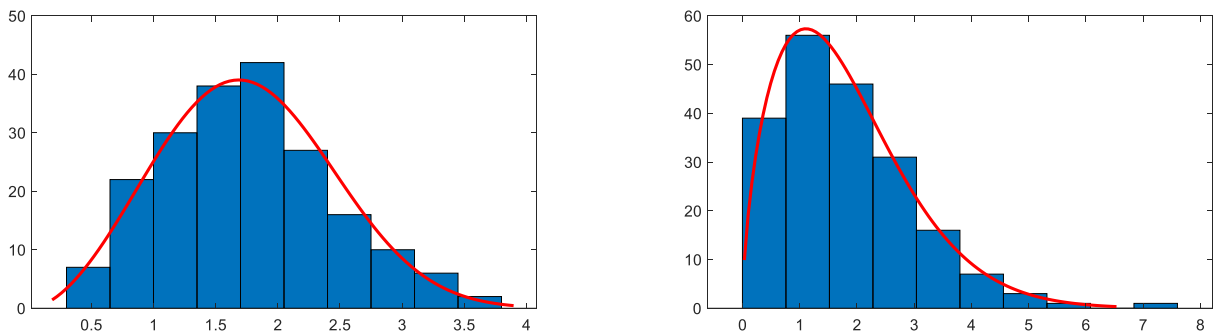


Рисунок 1.8 – Нарботки на отказ

Этот показатель используется для оценки надежности невосстанавливаемых систем и может быть рассчитан как:

$$T_o = \int_0^{\infty} \exp\left(-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right) dt. \quad (1.11)$$

Для экспоненциального распределения $T_o = \frac{1}{\lambda}$.

Следует отметить, что для более 40% различных ситуаций, которые определяются показателями эксплуатации ТС, возможно использование нормального распределения вероятностей [45, 65]:

- зазоры в зацеплении главной передачи;
- зазоры в подшипниках, которые определяются износом;
- периодичность первых отказов двигателя и рессор;
- зазоры между тормозным колодками и барабаном и другие.

Распределения Вейбулла [45, 74] также можно использовать для моделирования отказов значительного количества деталей и узлов ТС, а именно:

- шарниров карданной передачи и рулевого привода;
- разрушение полуосей;
- подшипников качения.

Плотность распределения Вейбулла является достаточно гибким с точки зрения параметризации законом распределения и записывается в виде

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right). \quad (1.12)$$

где a – параметр масштаба;

b – параметр формы.

При значении b близком к 1 распределение Вейбулла близко к экспоненциальному, при $b = 2,5-3,5$ – к нормальному. Значения $b < 1$ моделируют отказы в периода приработки. Значение $b > 1$ может быть использовано для моделирования наработки до отказа, когда ТС имеет как период приработки, так и старения. Двух-параметрическая функция имеет достаточно сложный характер (Рисунок 1.9).

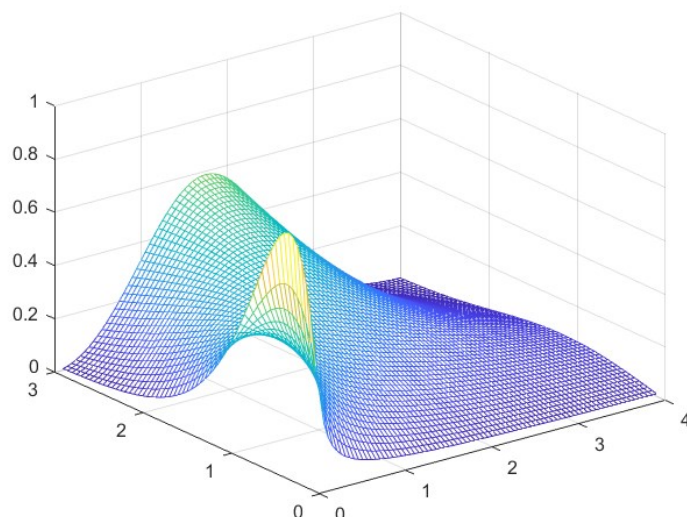


Рисунок 1.9 – Плотность распределения Вейбулла

Для распределения Вейбулла (параметры – 1, 1,3, 1,7) зависимости интенсивности отказов $\lambda(t)$ от параметров будут выглядеть иначе (Рисунок 1.10)

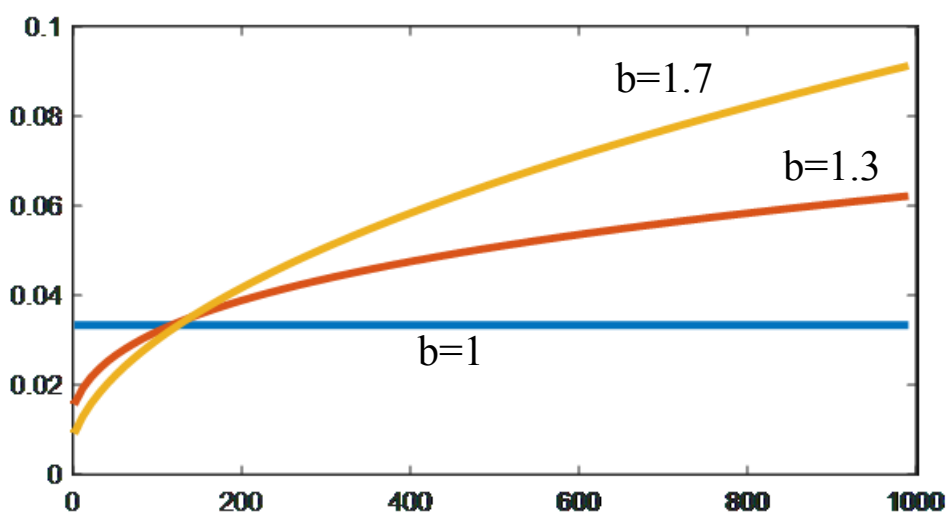


Рисунок 1.10 – Интенсивность отказов с распределением Вейбулла

Распределение Вейбулла также используется для моделирования поведения ТС при форсированных испытаниях на надежность. Кроме того, детали с существенной изменчивостью работоспособности в течение срока эксплуатации ТС, которые, в свою очередь: не лимитируют надежность ТС и их срок сопоставим со сроком эксплуатации ТС, и лимитирующие надежность ТС и их срок меньше сро-

ка эксплуатации ТС, а также критические по надежности, когда срок составляет от 1 до 20 % срока эксплуатации ТС [75, 87].

При расчете показателей надежности используются схемы надежности, базовыми из которых являются последовательные и параллельные. Для этих схем имеют место различные методы расчета при выборе различных моделей надежности.

Последовательное соединение – это множество звеньев схемы, когда отказ одного любого звена приводит к отказу системы (Рисунок 1.11).

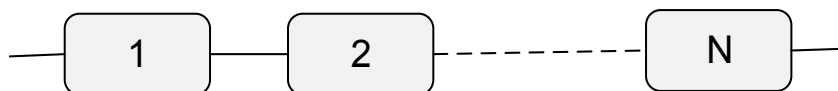


Рисунок 1.11 – Последовательная схема надежности из N элементов

Для последовательного соединения ВБР определена для произвольно заданного момента времени. Для фиксированного момента времени t справедлива запись.

$$P_S(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (1.13)$$

При этом вероятность безотказной работы последовательной системы всегда меньше вероятности безотказной работы наименее надежного элемента системы.

Параллельное соединение – это такое соединение множества звеньев, когда система отказывает только при отказе всех звеньев (Рисунок 1.12).

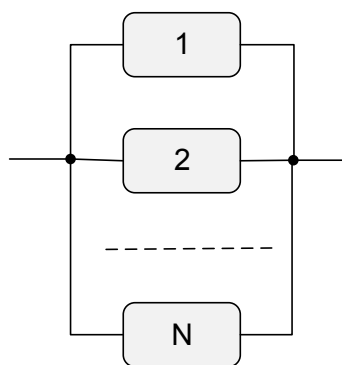


Рисунок 1.12 – Блок-схема параллельного нагруженного резервирования

Для ВБР параллельного соединения выполняется соотношение.

$$1 - P_S(t) = \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t)) \quad \text{или} \quad P_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t)) \quad (1.14)$$

Где, кроме того, вероятности безотказной работы являются функциями времени. При моделировании надежности в виде надежностной схемы соединение узлов и деталей ТС может быть последовательным, параллельным и комбинированным (Рисунок 1.13).

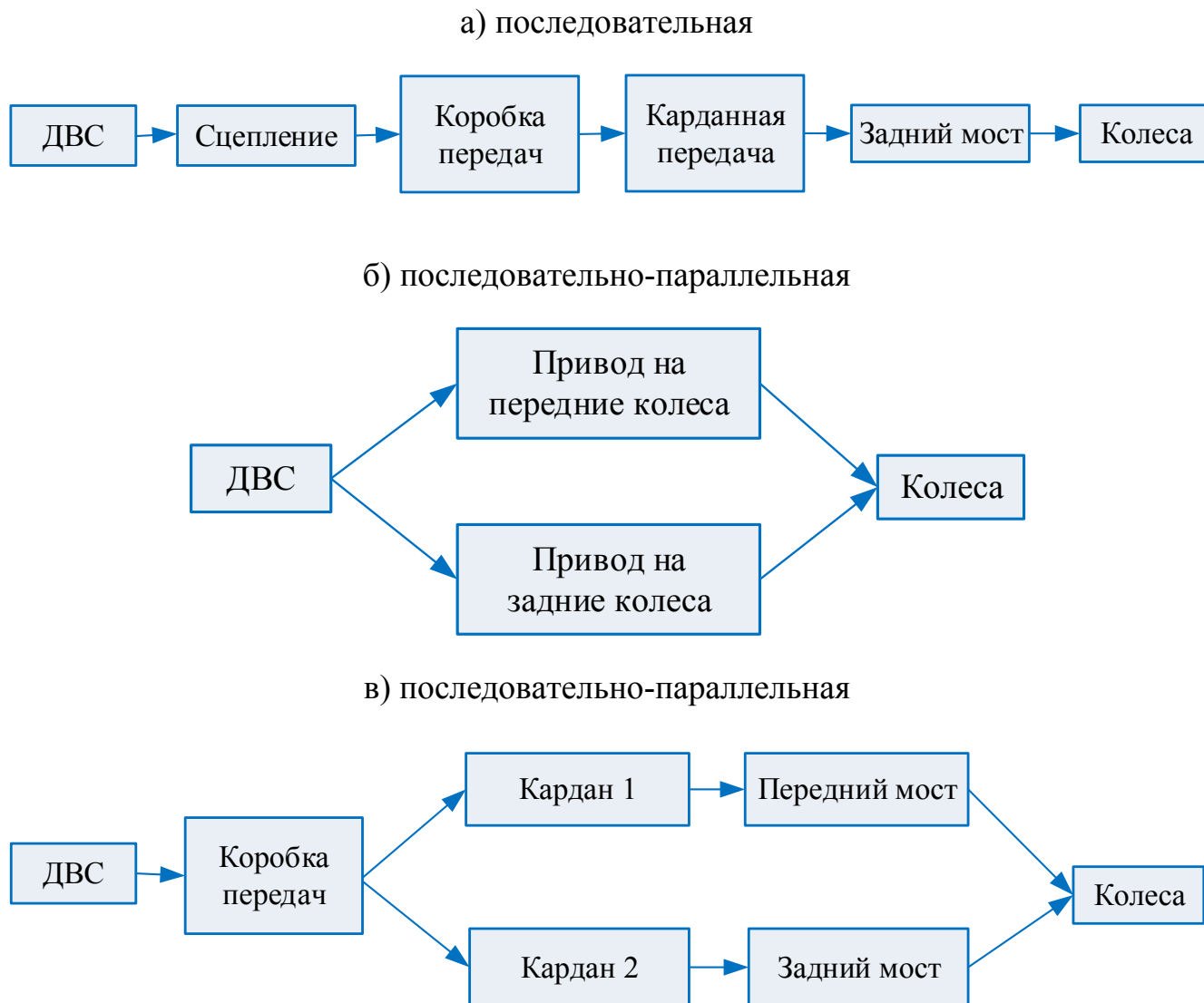


Рисунок 1.13 – Различные схемы надежности ТС

Методы расчета параллельно-последовательных соединений основаны на поэтапном выделении их общей схемы отдельно последовательных и отдельно параллельных подсхем и заменой их одним элементом с вычисленными показателями надежности по правилам расчета параллельных и последовательных схем. Т.е. на всех этапах используются одни и те же формулы для расчета последовательного или параллельного соединения.

1.4 Методы и модели диагностики

Базовые положения технической диагностики [2, 6, 16, 30, 57, 78] представляют собой теории контролеспособности и распознавания образов (Рисунок 1.14), основанного на правилах принятия решения. Причем основой решения этих задач являются модели отказов с использованием статистических методов теории надежности. Эти направления тесно взаимосвязаны.



Рисунок 1.14 – Структура технической диагностики

Теория распознавания дает основы построения решающих правил, самих алгоритмов распознавания, а также диагностических моделей. Теория контролеспособности предполагает формирование методов и средств извлечения диагностической информации и поиск неисправностей. По некоторым классификациям общая теория надежности входит в дисциплину технической диагностики [8, 17, 61].

Относительно диагностических моделей следует ввести классификацию математических методов технической диагностики, которые разбиваются на два класса, а именно, методов моделирования процессов диагностики и методов, основанных на использовании различных теорий (Рисунок 1.15). Помимо классификации методов диагностики имеет место классификация методов анализа моделей диагностики (Рисунок 1.16) [92, 120].



Рисунок 1.15 – Классификация диагностических моделей



Рисунок 1.16 – Методы анализа математических моделей

Выбор адекватной модели диагностики в значительной степени определяет сам метод решения поставленной задачи, а также значение получаемой при данном решении точности.

При формировании модели решающих правил и решении задачи распознавания необходимо идентифицировать состояние автомобиля и отнести его к одному из классов, а именно:

D' – состояния, в которых объект работоспособен;

D'' – состояния, которые соответствуют отказам.

При этом выполняется:

$$\bigcup_j D_j = D \quad D_k \cap D_l = 0 \quad \forall i \neq l. \quad (1.15)$$

что означают отсутствие состояний D , которые не охвачены предложенной классификацией.

Обычно в сложных системах связи контролируемых показателей объекта и самого состояния объекта являются случайными, то естественным образом ставится задача оценки вероятности пребывания объекта в некотором классе состояний [26, 86, 91]. Она сводится к следующей постановке: известна множество диагностируемых показателей R и S , которые характеризует состояние объекта с определенной вероятностью. Необходимо сформировать решающее правило, на основании которого полученное диагностируемое множество даст объекту определенный диагноз.

Детерминистский подход [92, 99, 120] полагает для описания состояния Z введение некоторой области пространства признаков, а сформированное правило ставит своей задачей разделение всей области пространства признаков на соответствующие подобласти, которым приписываются определенные диагнозы. Эти области в детерминистском подходе не пересекаются, т.е. имеет место правило: если вероятность некоторого диагноза принимает значение 1, то вероятность остальных равна 0. Таким образом, каждый признак либо отсутствует, либо имеет место в области, соответствующей данному диагнозу.

Вероятностные методы носят более общий характер.

Математическая модель представляет формальное представление объекта, которое используется для решения соответствующей задачи диагностики и может быть оформлено в виде алгебраических или дифференциальных уравнений, таблиц, эмпирических формул, графиков, матриц и других средств и методов, которые описывают характеристики объекта.

В общем случае, процесс формирования диагноза можно представить в виде линейной схемы (Рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Процесс оценки технического состояния

Так, сформированные диагностические математические модели не только описывают связи между диагностическими показателями и состоянием ТС, но и направлены на формирование конструктивных алгоритмов диагностики [126, 127].

Большое использование получили матричные алгоритмы [123, 128]. Они достаточно эффективны для объектов с небольшим множеством диагностических показателей. Наиболее часто они используются в рамках задачи постановки предварительного диагноза, поскольку диагностические устройства работают по детерминистской логике или жесткой программе. Такая простота детерминистской логики зачастую не дает возможности сформировать достоверный диагноз, поскольку необходимо полное совпадение диагностических показателей, а некоторое несовпадение приводит к неразрешимой ситуации и приводит к необходимости применения дополнительных эвристических правил.

Аналитические модели [57, 78] направлены на оптимизационные задачи и формирование зависимостей между диагностическими показателями и состоянием ТС в аналитической форме. При решении задач диагностики таких сложных объектов как ТС, математическое моделирование несколько затруднено в связи со сложностью формирования аналитических зависимостей связи между неисправностями в узлах ТС и внешних признаков, соответствующих им.

Однако математическое моделирование дает свои результаты. Кроме того, реализуются модели вероятности отказов, а также широко используются различные законы распределения отказов и модели надежности в зависимости от пробега ТС или времени наработки.

Вероятностные методы базируются на понятии вероятности появления дефектов в узлах ТС для случаев присутствия определенных значений диагностических показателей. Как правило, для оценки вероятности дефектов применяется формула Байеса, которая связывает априорные и апостериорные вероятности диагностических показателей и состояния ТС.

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{\sum P(C)P(B/C)}, \quad (1.16)$$

где A – определяет дефект;

B – диагностический показатель;

$P(B/C)$ – оценка вероятности отдельных дефектов в зависимости от совокупности признаков для соответствующего дефекта.

В результате, имеется возможность формализованного процесса идентификации дефекта при несовпадении диагностических показателей.

Метод граф-моделей [17, 91] базируется на применении теории графов и теорий отношений. Этот метод позволяет существенно снизить объем расчетов при достаточно адекватной точности решения.

Теория распознавания образов [78, 86] также достаточно эффективно используется в задачах технической диагностики. Эта теория основана на поиске решающей функции, которая формируется на основе тщательного анализа объекта и удовлетворяет условиям:

$f(X) \geq 0$, когда объект относится к одной группе;

$f(X) < 0$, когда объект относится к другой группе.

Детектор признаков (ДП) в структурной схеме (Рисунок 1.18) получает воздействие от датчиков D , что формируется состоянием объекта, и на выходе формируется множество параметров распознаваемого объекта.

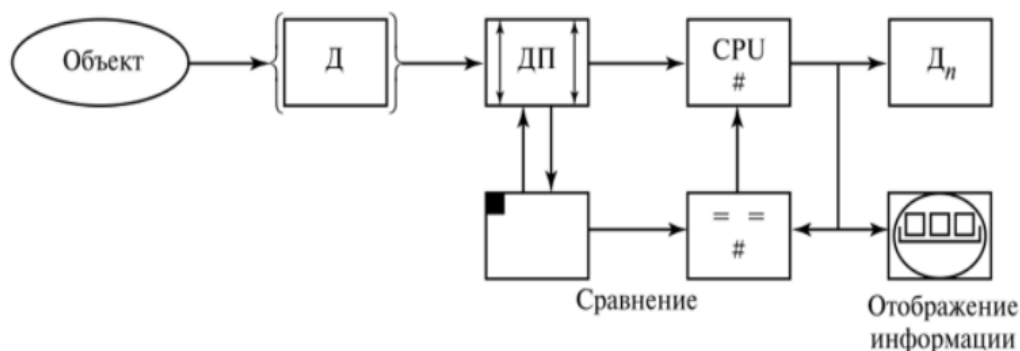


Рисунок 1.18 – Структура системы распознавания образов

Кроме того, имеют место подходы, основанные на нечетких множествах. Идентификация дефектов в данном случае определяется на основе формирования граф-модели с последующей минимизацией количества точек формирования диагностических показателей. Затем определяются значения контролируемых пара-

метров, которые используются для оценки технического состояния. Все это работает в рамках оценки функций принадлежности нечетких множеств, отнесенных к заранее подготовленному множеству нечетких состояний. Затем определяется группа состояний, которая максимально подходит под неизвестную входную ситуацию на основании поиска максимальной степени делимости групп состояний [2, 8].

Для описания результатов анализа взаимосвязи между диагностическими показателями и неисправностями достаточно употребительной является диагностическая матрица (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Фрагмент диагностической матрицы дизельного двигателя

										Признаки неисправностей и их причины		
											Затрудненный запуск холодного двигателя	
											Затрудненный запуск горячего двигателя	
											Нестойчивый холостой ход	
											Перебои в работе двигателя под нагрузкой	
											Падение мощности двигателя	
											Повышенный расход топлива	
											Повышенная дымность, черный выхлоп	
											Повышенная дымность, серый выхлоп	
											«Жесткая» работа дизеля	
											Двигатель не развивает обороты	
											Двигатель идет «сrazнос»	
											Подсос воздуха в топливную систему	
											Неисправен электромагнитный клапан	
											Малая пусковая подача, неисправен ТНВД	
											Неисправен ТНВД	
											Засорены топливopроводы, загустело топливо	
											Забит топливный фильтр	
											Загрязнен воздушный фильтр	
											Забиты трубопроводы «обратки»	
											Ранний впрыск топлива	
											Поздний впрыск топлива	
											Нарушения регулировки подачи	
											Неисправна форсунка (форсунки)	
											Неисправна система предпускового подогрева	
											Нарушены зазоры в приводе клапанов	
											Низкая компрессия, износ ЦПГ	
											Повреждение одного из цилиндров	
											Неисправен турбокомпрессор	
											Забит нейтрализатор ОГ	

Как показали Бахвалов С.В., Габитов И.И., Неговора А.В., Гафуров М.Д. [17], для быстрой и правильной диагностики сложного объекта на основании использования различных средств и инструментов диагностирования необ-

ходимо иметь точную и объемную информацию о функциональных связях потенциальных неисправностей с их диагностическими признаками. Кроме того, для принятия решений необходим и достаточный опыт.

Так, Маркелов В.Р. по диагностическим параметрам делит всю совокупность на три группы [68]: по структурным параметрам, по параметрам рабочих процессов, по параметрам сопутствующих процессов. В целом методы поиска неисправностей можно классифицировать следующим образом (Рисунок 1.19).

Методы	Вероятностный 1	Временной 2	Исключения 3	Стоимостной 4	Логический 5
Вероятностный 1	Вероятностный	Время-вероятность	Вероятность-исключения	Вероятность-стоимость	Вероятностно-логический
Временной 2	Время-вероятность	Временной	Время-исключение	Время-стоимость	Время-логика
Исключения 3	Вероятность-исключения	Время-исключение	Исключения	Стоимость-исключение	Логическое исключение
Стоимостной 4	Вероятность-стоимость	Время-стоимость	Стоимость-исключение	Минимакс	Метод оптимизации
Логический 5	Вероятностно-логический	Время-логика	Логическое исключение	Метод оптимизации	Логический

Рисунок 1.19 – Методы поиска неисправностей

Как показано Андреевым Ю.В. и Свистула А.Е. [5], анализ наиболее используемых методов диагностики, а именно: временного, исключения, вероятностного, стоимостного, логического, показывают, что объединение всей этой совокупности методов и при их последовательном использовании вероятность определения неисправности существенно увеличивается.

1.5 Методы и модели обеспечение работоспособности транспортных средств

Задача обеспечения работы транспортного средства в целом и отдельных узлов и агрегатов является одной из основных задач любого автотранспортного предприятия.

В общем случае имеет место следующая схема изменения состояния работоспособности транспортного средства (Рисунок 1.20), когда ТС переходит из

начального исправного состояния в неисправное, но работоспособное, в неработоспособное и предельное, в котором дальнейшая эксплуатация ТС либо нецелесообразна, либо недопустима [19, 71].

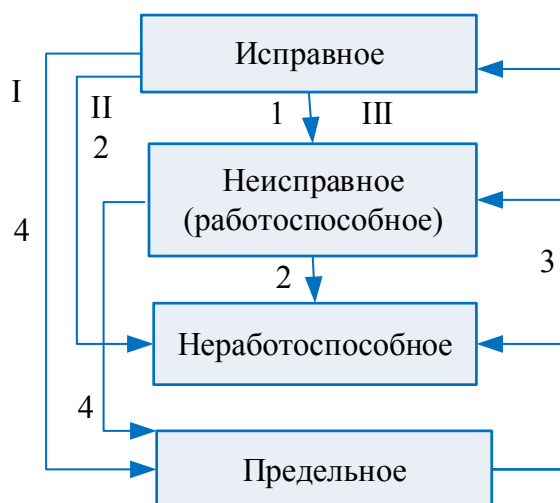


Рисунок 1.20 – Схема основных технических состояний

Из неисправного ТС может перейти в неработоспособное, либо предельное, а из неработоспособного в предельное. С точки зрения дефектов на рисунке приняты обозначения малозначительного дефекта (III), значительного дефекта (II) и критического дефекта (I). При этом переходы по схеме связаны с повреждением (1), отказом (2), ремонтом (3) или из-за возникновения критического дефекта переходом в предельное состояние (4).

При этом целью диагностики является изучение множество различных состояний ТС в плане формирования оценки состояния, которое существенным образом влияет на возможную будущую эксплуатацию ТС [7, 29, 32].

Оценка значений диагностических параметров по качественной могут быть следующие значения: текущие, номинальные, допустимыми и предельные (Рисунок 1.21).

Представленная шкала качественных значений диагностируемого параметра соответствует переходному графу состояний ТС, где:

I – исправное;

II – предотказное (работоспособное, но неисправное);

III – неработоспособное.

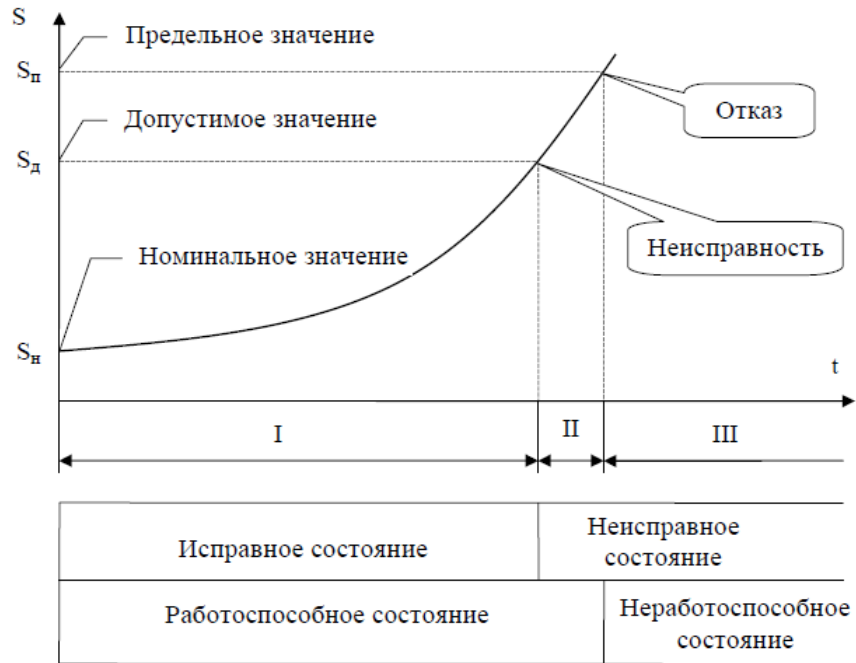
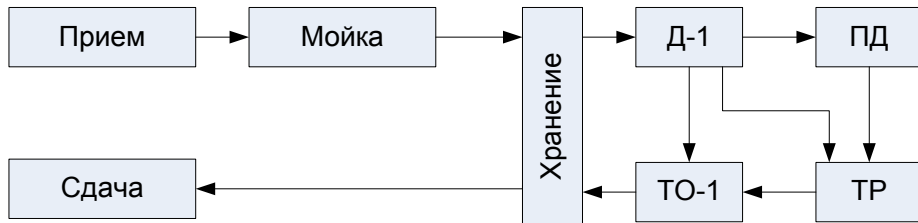


Рисунок 1.21 – Шкала качественных показателей

Естественно, что ТО наиболее существенно влияет на работоспособность ТС. В зависимости от сосредоточенности предприятий и от структуры парка ТО-1 может производиться как централизованно [14, 28], так и в передвижных ремонтных мастерских (Рисунок 1.22).



ПД – поэлементная диагностика; Д1 – общая диагностика

Рисунок 1.22 – Схема производства ТО-1

ТО-2 реализуется участком, который входит в состав комплекса ТО и диагностики. В основном ТО-2 реализуется на потоке (Рисунок 1.23). После выполнения ТО-2 ТС следуют на проверку качества в службу технического контроля.

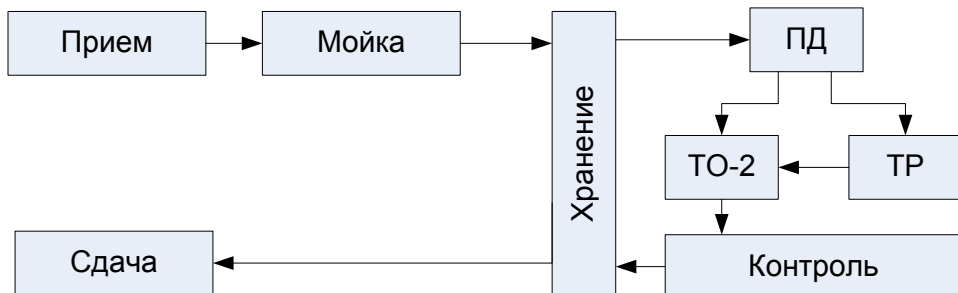
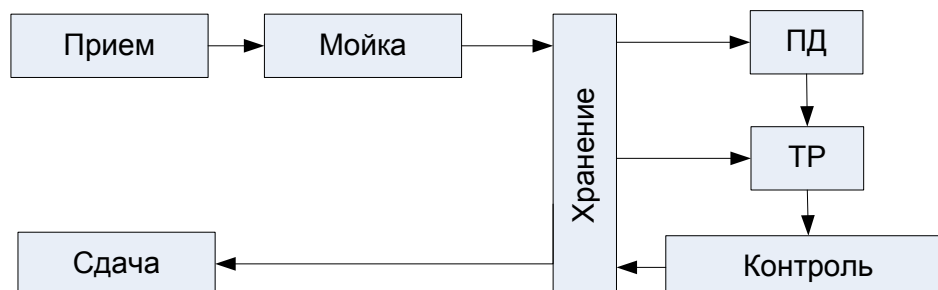


Рисунок 1.23 – Схема производства ТО-2

Ремонтные работы реализуются подразделениями ТР. На основе анализа заявленных работ вместе с диагностическими результатами выбирается маршрут обслуживания ТС по постам [29, 88], а также сроки начала и сроки завершения работ (Рисунок 1.24).



ПД – поэлементная диагностика; ТР – технический ремонт

Рисунок 1.24 – Схема производства ТР

ТС после приемки проходят мойку. В зависимости от неисправности ТС направляться либо на поэлементную диагностику, где определяются неисправные агрегаты, или сразу зону ремонта.

1.6 Структура работы

На основе проведенного системного анализа исследований в области надежности узлов и агрегатов ТС предлагается структура работы, представленная на рисунке 1.25. Показано, что базовыми аспектами являются положения надежности, диагностики и обеспечения работоспособности ТС.

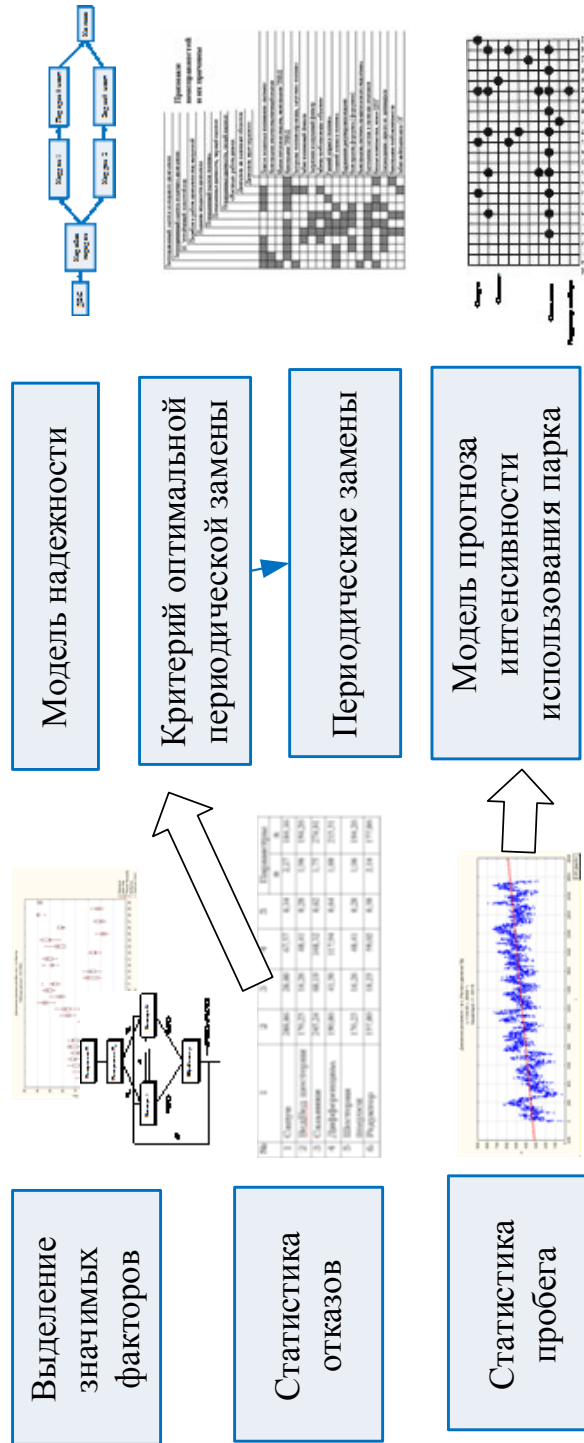


Рисунок 1.25 – Схема исследований и структура работы

Предварительные исследования для повышения работоспособности автобусов:

- разработка классификации факторов и проведение экспертизы для выделения значимых факторов, влияющих на характеристики надежности заднего моста автобуса;

– выполнение работ по оценке интенсивности отказов деталей и узлов заднего моста автобуса для построения таблиц показателей надежности.

Формирование моделей повышения работоспособности ЗМ автобуса:

– построение и расчет схемы надежности ЗМ автобуса (используется при построении циклов предупредительных замен);

– формирование списка причинно-следственных связей потери работоспособности отдельных узлов ЗМ автобуса, построение формальной граф-схемы взаимосвязи параметров отказов;

– оптимизационная постановка задачи расчета периодичности предупредительных замен на основе комплексных показателей технической готовности и ценового критерия с помощью ведущих функций, построенных на основе таблицы показателей надежности по модели Вейбулла;

– статистический анализ данных по пробегу парка, построение трендовой модели и прогнозирование общего пробега автобусного парка;

– формальное описание бизнес-процессов управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами АТП и внедрение результатов исследований.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Проведен анализ российских и зарубежных источников по теме диссертации. Сформулированы основные направления развития по представленной тематике.

2. Проведен анализ основных положений теории надежности технических систем и ТС. Показано, что основные проблемы состоят в износе и старении деталей. Рассмотрены теоретические аспекты теории надежности. В работе приведены соотношения для оценки основных показателей надежности. Рассмотрены основные модели надежности и приведены основные соотношения для модели надежности Вейбулла. Приведены некоторые подходы к расчету параллельно-последовательных схем надежности.

3. Проведен анализ наиболее используемых методов диагностики, а именно: временного, исключения, вероятностного, стоимостного, логического. Показано,

что объединение всей этой совокупности методов в единую последовательность существенно увеличивает вероятность определения неисправности.

4. Проведен анализ методов обеспечения работоспособности ТС. Показано, что работоспособность может быть существенно повышена за счет расчетов характеристик надежности и поиска целесообразной периодичности ТО и предупредительных замен.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОБУСОВ

Во второй главе рассматриваются вопросы оценки значимости факторов системы «ТС-окружающая среда» и их влияние на характеристики надежности заднего моста автобуса, приводятся результаты статистического анализа отказов основных деталей и узлов заднего моста автобусов большого класса.

ЗМ представляет один из базовых узлов автомобиля, который передает крутящий момент от коробки передач через карданный вал, соединяя задние колеса одной осью между собой. Дифференциал дает возможность вращения задним колесам с разной скоростью (Рисунок 2.1). Естественно, что он еще является опорой для задней части автомобиля. Задний мост крепится к кузову или раме посредством задней подвески.

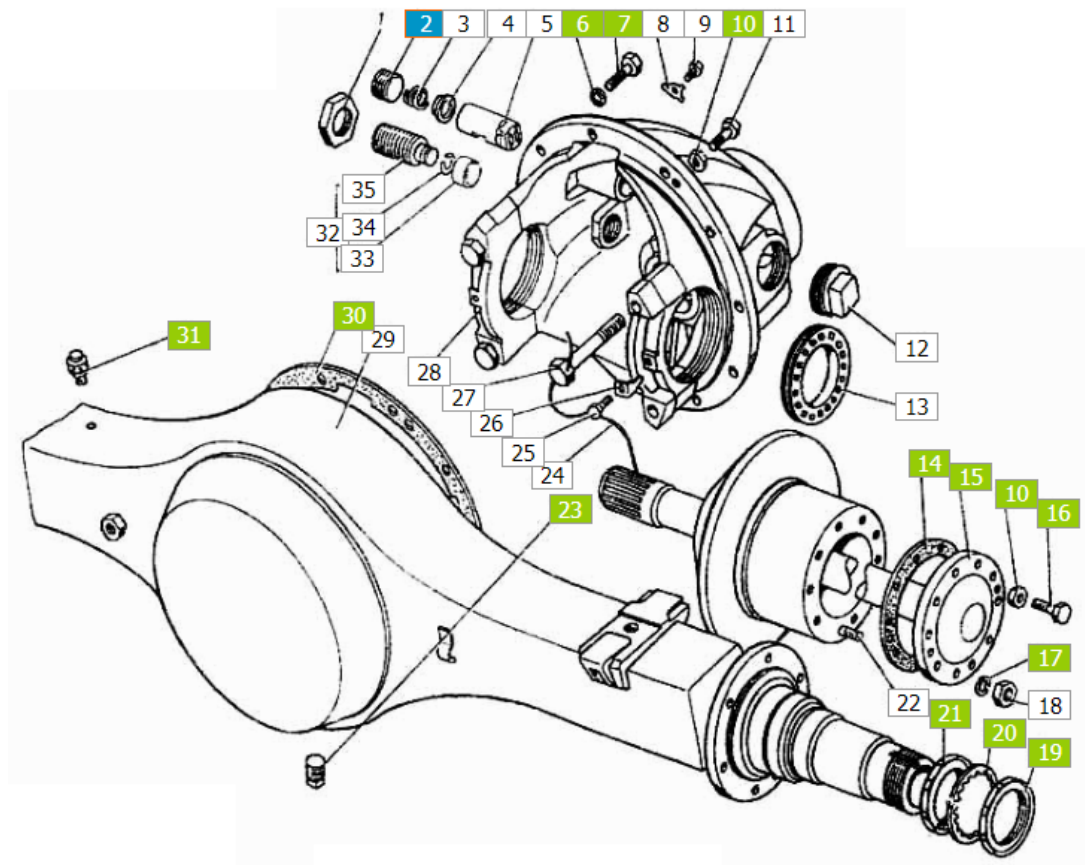


Рисунок 2.1 – Конструктивная схема заднего моста

Основными узлами заднего моста являются:

- две полуоси;
- штампованный кожух (корпус);

- центральный редуктор;
- две колесные передачи;
- дифференциал;

Однако, в свете проведенного анализа отказов и собранной статистики для проектирования схемы надежности будем использовать наименее надежные узлы.

2.1 Классификация и оценка влияния факторов эксплуатации на характеристики надежности заднего моста автобуса

В рамках формализованного представления влияния внешних факторов в процессе эксплуатации транспортных средств на характеристики надежности и отказы в работе рассматривается абстрактная система взаимодействия двух объектов «Автобус-внешние условия» (Рисунок 2.2) [62, 88].



Рисунок 2.2 – Влияние эксплуатационных факторов на надежность заднего моста автомобиля

В качестве показателей надежности, которые необходимо учитывать при данном взаимодействии, можно выбрать вероятность отказа, наработку на отказ, коэффициент технической готовности и другие общепринятые [75].

В работе предполагается, что значения показателей надежности заднего моста формируются под влиянием следующих групп факторов:

1. Конструктивные особенности (автомобиль): $Av = \{Av_1, a_2, \dots, a_n\}$; $a_i \in A$;
2. Дорога: $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$; $r_i \in R$;
3. Система ТО и ремонта: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$; $t_i \in T$;
4. Нагрузка (интенсивность эксплуатации): $BR = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$; $b \in BR$;

5. Климатические условия: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}; s_i \in S;$

6. Водитель: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}; p_i \in P.$

На основании анализа научной и учебной литературы [13, 53, 84, 94, 105, 108], изучения практического опыта работников эксплуатационных предприятий автомобильного транспорта, разработана классификация основных факторов эксплуатации, оказывающих существенное влияние на показатели надежности ведущих мостов автобусов.

I. Конструктивные особенности (ТС)

1. Констр-ЗМ

2. «Констр-двигателя»

3. Констр-Характеристики коробки передач

4. Констр-Характеристики карданного вала

5. Констр-Характеристики подвески

II. Система ТО и ремонта

6. ТО-Периодичности видов технического обслуживания

7. ТО-Состав операций по видам обслуживания

8. ТО-Качество эксплуатационных материалов

9. ТО-Качество и регулярность выполнения операций ТО

10. ТО-Качество устанавливаемых запасных частей

11. ТО-Своевременность поставок запасных частей

III. Климатические условия

12. Климат-Климатическая зона

13. Климат-Сезон эксплуатации

14. Климат-Наличие осадков

15. Климат-Температура воздуха

IV. Дорога

16. «Дорога-Качество дорожного покрытия

17. «Дорога-Категория дороги

18. «Дорога-Микрорельеф

19. «Дорога-Макрорельеф

20. «Дорога-Извилистость маршрутов

- 21. «Дорога-Дорожная разметка
- 22. «Дорога-Наличие грязи, снега
- 23. «Дорога-Интенсивность транспортных потоков

V. Нагрузка (интенсивность эксплуатации)

- 24. «Экспл-Средняя скорость движения
- 25. «Экспл-Загрузка автобусов
- 26. «Экспл-Среднесуточные пробеги

VI. Водитель

- 27. «Водит-Квалификация водителя
- 28. «Водит-Возраст
- 29. «Водит-Психо-физиологические качества
- 30. «Водит-Мотивация водителя

В совокупность приведенных факторов входят различные по своей природе факторы: простые и сложные, зависимые и независимые между собой, управляемые, частично управляемые и учитываемые. Например, факторы множеств A , N , S , D относятся к группе учитываемых, множеств B , P – к группе частично управляемых, а факторы множества T (система ТО и ремонта) относятся к группе управляемых факторов [84, 87]. Такая классификация очень важна, т.к. позволяет принимать управленческие решения, на какие факторы необходимо воздействовать, чтобы получить повышение уровня эксплуатационной надежности рассматриваемого агрегата – заднего моста.

Основной целью проводимых исследований является повышение уровня эксплуатационной надежности заднего моста автобусов на основе корректирования режимов их технического обслуживания, в первую очередь, периодичностей.

Эта задача может быть решена с помощью метода определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности, т.е. в качестве критерия для решения нашей задачи допустимо и достаточно использовать вероятность безотказной работы [ГОСТ], которая связана со средней наработкой до отказа [1]:

$$P_d \{x_i \geq l_{to}\} \geq R_d, \quad (2.1)$$

где x_i – наработка до отказа;

L_{to} – периодичность ТО;

R_d – допустимая вероятность безотказной работы.

Для узлов, не связанных с безопасностью движения, принимается, как правило, $R_d = 0,85–0,90$. Зависимость наработки на отказ от условий эксплуатации может быть определена на основе статистической информации методами регрессионного анализа, главных компонент и др.

$$X = f(A, N, T, S, D, B, P). \quad (2.2)$$

Полученные таким образом зависимости являются объективным инструментом для разработки и принятия управленческих решений в сфере технической эксплуатации автомобилей, в том числе решений по корректированию периодичностей профилактических воздействий на задний мост автобуса.

Задачами дальнейших исследований является формализация зависимостей показателей надежности и работоспособности заднего моста автобусов от условий эксплуатации, разработка рекомендаций по корректированию периодичностей технического обслуживания, рекомендаций по проведению планово-предупредительного ремонта задних мостов автобусов [90, 102].

Для выделения значимых факторов в рамках проведенных исследований была проведена экспертиза [10, 11]. Выделенная последовательность действий представлена блок-схемой экспертизы (Рисунок 2.3).

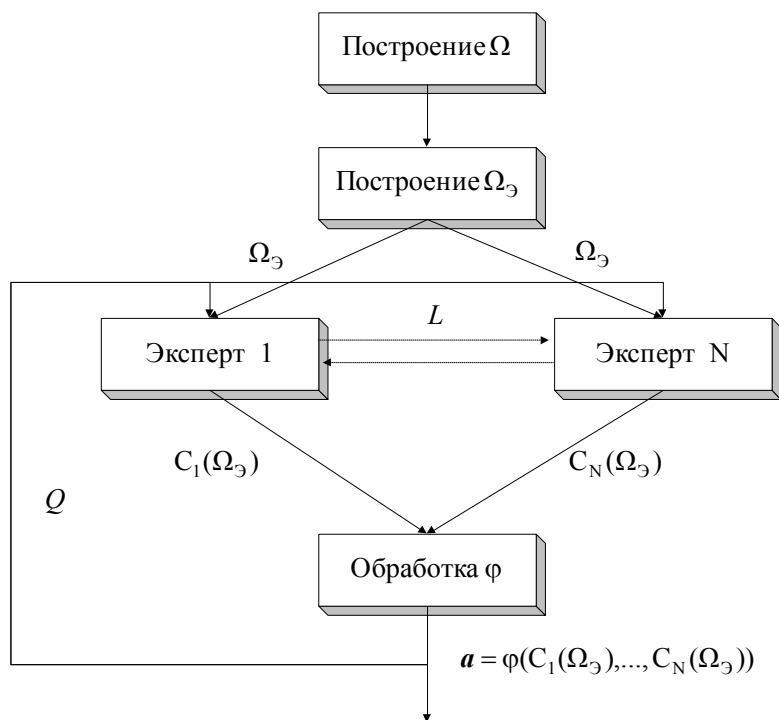


Рисунок 2.3 – Схема проведения экспертизы

Параметрами экспертизы являются: Ω – исходное множество допустимых оценок; Ω_{Θ} – множество допустимых оценок для экспертов; L – взаимодействие между экспертами; Q – обратная связь; φ – обработка (отображение $\Omega_{\Theta}^N \rightarrow \Omega$)

В ней участвовало 15 экспертов, специалистов в области технической эксплуатации транспортных средств ТС. В качестве метода был выбран метод ранжирования. Причем предполагалось, что расчеты будут одновременно реализованы как по строгому, так и нестроному ранжированию. Для этих методов Ω представляет множество всех перестановок, $\Omega_{\Theta} = \Omega$, $Q =$ «отсутствует», $L =$ «изолированы». Кроме того, сама форма экспертного опроса несколько отличается от стандартной. Эксперт не расставляет ранги как в классическом варианте (Таблица 2.1), а сортирует анализируемые факторы, помечая цветом равнозначные группы, как показано ниже. Чем выше на странице находится фактор, тем выше его ранг.

.....
 27. *Водит-Квалификация водителя;*
 29. *Водит-Психо-физиологические качества*
 22. *Дорога-Наличие грязи, снега;*
 18. *Дорога-Микрорельеф;*
 19. *Дорога-Макрорельеф;*
 11. *ТО- Своевременность поставок запасных частей*
 2. *Констр-двигателя;*
 3. *Констр-Характеристики коробки передач;*
 4. *Констр-Характеристики карданного вала;*

Таблица 2.1 – Ранги факторов

Эксперты	Факторы			
	«1»	«2»	...	«n»
1	$rang_{11}$	$rang_{12}$...	$rang_{1n}$
2	$rang_{21}$	$rang_{22}$...	$rang_{2n}$
...
N	$rang_{N1}$	$rang_{N2}$...	$rang_{Nn}$
$\Sigma rang$	$rang_1$	$rang_2$...	$rang_n$

Как приведено ниже, всего рассматривалось 30 факторов. В связи с этим, максимальный ранг равен 30, а минимальный – 1. Если в случае строгого ранжирования каждый фактор у каждого имеет свой индивидуальный ранги, то в случае нестроного ранжирования равнозначным группам назначается ранг, равный среднеарифметическому значению по группе [11, 119].

В результате проведения экспертизы сформирована таблица результатов опроса всех экспертов (Таблица 2.2). Последняя таблица преобразована в форму таблицы 2.2, на которой проводилась обработка результатов с помощью стандартных алгоритмов.

Первым шагом все N факторов упорядочиваются в соответствии со значением ранга $rang_{ij}$. Причем порядок складывается на основании величин суммы рангов.

$$rang_i = \sum_{j=1}^M rang_{ij}. \quad (2.3)$$

В качестве среднего берем/

$$Srang_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n rang_{ij} = \frac{M \cdot (m+1)}{2}. \quad (2.4)$$

Таблица 2.2 – Отсортированная таблица факторов

	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	Э13	Э14	Э15
Ф1	1	1	1	6	2	2	1	1	1	1	2	1	1	3	2
Ф2	12	12	8	13	12	15	14	12	8	9	8	11	10	12	10
Ф3	11	14	13	11	11	11	9	13	11	12	12	16	12	13	8
Ф4	18	13	12	12	15	16	11	11	14	13	17	13	13	17	13
Ф5	10	15	17	16	17	12	15	15	16	17	14	18	15	15	15
Ф6	16	11	15	17	13	13	13	14	13	16	15	14	16	8	14
Ф7	17	18	18	14	16	17	18	18	18	15	16	12	14	14	17
Ф8	15	16	14	18	14	14	16	16	17	14	13	15	17	16	16
Ф9	3	2	2	2	4	3	2	2	2	3	1	2	3	1	1
Ф10	4	5	3	1	1	1	4	3	3	2	4	6	4	4	6
Ф11	14	9	10	9	10	5	12	9	10	10	10	8	9	11	11
Ф12	19	21	20	15	18	18	17	17	15	19	18	21	19	18	18
Ф13	13	17	16	19	19	20	20	21	19	18	19	17	18	23	19
Ф14	28	26	28	30	28	29	27	23	25	27	26	28	23	26	29
Ф15	21	23	21	22	20	21	22	19	21	20	20	20	25	20	21
Ф16	25	27	26	28	24	27	25	26	28	24	27	26	24	25	23
Ф17	23	24	24	21	25	22	21	24	24	28	23	25	21	22	24
Ф18	5	6	11	10	6	10	10	8	5	6	11	10	11	9	12
Ф19	6	10	7	7	9	8	7	10	12	11	9	9	5	7	9
Ф20	24	25	25	24	27	24	24	28	22	23	25	24	27	24	22
Ф21	27	22	23	26	26	23	28	27	27	26	24	27	26	27	26
Ф22	9	8	9	8	5	7	5	6	9	8	7	7	7	10	7
Ф23	20	19	19	23	23	26	23	22	26	21	22	19	22	19	27
Ф24	26	29	27	25	21	25	26	25	23	25	29	23	29	28	25
Ф25	2	7	6	3	3	4	3	5	6	5	5	4	2	2	3
Ф26	22	20	22	20	22	19	19	20	20	22	21	22	20	21	20
Ф27	7	3	4	4	8	6	6	4	4	7	3	3	8	5	5
Ф28	30	30	30	27	30	30	30	30	29	29	30	29	30	29	30
Ф29	8	4	5	5	7	9	8	7	7	4	6	5	6	6	4
Ф30	29	28	29	29	29	28	29	29	30	30	28	30	28	30	28

Для оценки согласованности мнений экспертов используется коэффициент конкордации, который определяется по формуле:

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^M \left(rang_i - \frac{1}{2} M(m+1) \right)^2}{M^2 (m^3 - m)}, \quad (2.5)$$

где n_i – количество равноранговых групп, определенных i -м экспертом, t_{ij} представляет число дробных рангов в каждой j -ой группе, определенных i -м экспертом.

В результате обработки получили $W = 0,89$, что говорит о достаточно хорошей согласованности мнений экспертов.

Кроме того, для наглядности представления результатов оценки разногласия экспертов сформирована диаграмма «Бокса-Кокса», которая содержит медианы и все квантили по всем оценкам факторов (Рисунок 2.4) [12, 22, 43].

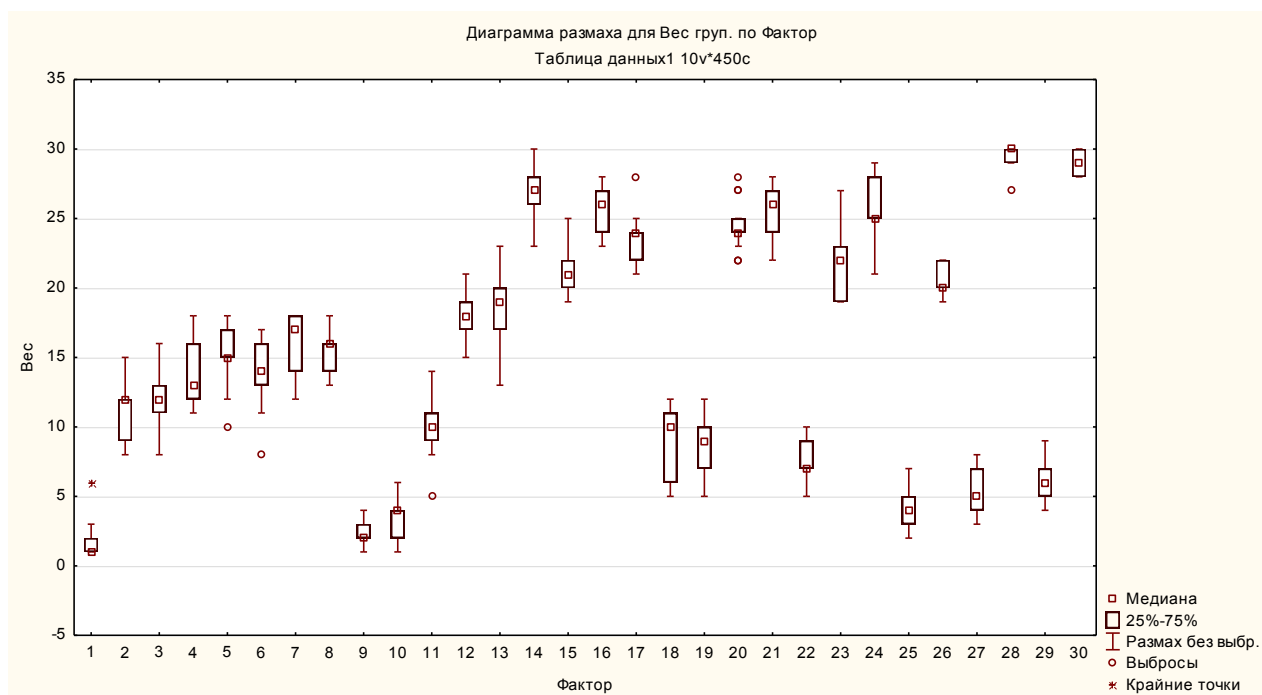


Рисунок 2.4 – Диаграмма размаха рангов факторов

Для более детального анализа в работе сформированы таблица статистических оценок основных характеристик: среднее, дисперсия, коэффициент вариации (Таблица 2.3), что дает возможность отсортировать факторы по различным критериям, например среднему значению или медиане (Таблица 2.4).

Таблица 2.3 – Оценка статистических параметров распределений экспертов

Переменная	Описательные статистики (Prior_Per_3)							
	N набл.	Среднее	Медиана	Минимум	Максим.	Дисперсия	Ст.откл.	Козф.Вар.
Ф1	15	1,73	1	1	6	1,78	1,33	76,99
Ф2	15	11,07	12	8	15	4,78	2,19	19,76
Ф3	15	11,80	12	8	16	3,74	1,93	16,40
Ф4	15	13,87	13	11	18	4,98	2,23	16,09
Ф5	15	15,13	15	10	18	4,12	2,03	13,42
Ф6	15	13,87	14	8	17	5,12	2,26	16,32
Ф7	15	16,13	17	12	18	3,70	1,92	11,92
Ф8	15	15,40	16	13	18	1,97	1,40	9,12
Ф9	15	2,20	2	1	4	0,74	0,86	39,18
Ф10	15	3,40	4	1	6	2,69	1,64	48,20
Ф11	15	9,80	10	5	14	3,89	1,97	20,11
Ф12	15	18,20	18	15	21	3,17	1,78	9,78
Ф13	15	18,53	19	13	23	5,27	2,29	12,38
Ф14	15	26,87	27	23	30	4,27	2,07	7,69
Ф15	15	21,07	21	19	25	2,21	1,49	7,06
Ф16	15	25,67	26	23	28	2,38	1,54	6,01
Ф17	15	23,40	24	21	28	3,54	1,88	8,04
Ф18	15	8,67	10	5	12	5,95	2,44	28,15
Ф19	15	8,40	9	5	12	3,69	1,92	22,86
Ф20	15	24,53	24	22	28	2,98	1,73	7,04
Ф21	15	25,67	26	22	28	3,24	1,80	7,01
Ф22	15	7,47	7	5	10	2,12	1,46	19,52
Ф23	15	22,07	22	19	27	7,21	2,69	12,17
Ф24	15	25,73	25	21	29	5,64	2,37	9,23
Ф25	15	4,00	4	2	7	2,57	1,60	40,09
Ф26	15	20,67	20	19	22	1,24	1,11	5,38
Ф27	15	5,13	5	3	8	3,12	1,77	34,43
Ф28	15	29,53	30	27	30	0,70	0,83	2,82
Ф29	15	6,07	6	4	9	2,50	1,58	26,04
Ф30	15	28,93	29	28	30	0,64	0,80	2,76

Таблица 2.4 – Упорядоченная таблица значений экспертов

Фактор	Среднее	Медиана	Мин	Макс	Дисп	СКО	Вар
1	1,73	1	1	6	1,78	1,33	76,99
9	2,20	2	1	4	0,74	0,86	39,18
10	3,40	4	1	6	2,69	1,64	48,20
25	4,00	4	2	7	2,57	1,60	40,09
27	5,13	5	3	8	3,12	1,77	34,43
29	6,07	6	4	9	2,50	1,58	26,04
22	7,47	7	5	10	2,12	1,46	19,52
19	8,40	9	5	12	3,69	1,92	22,86
18	8,67	10	5	12	5,95	2,44	28,15
11	9,80	10	5	14	3,89	1,97	20,11
2	11,07	12	8	15	4,78	2,19	19,76
3	11,80	12	8	16	3,74	1,93	16,40

Продолжение таблицы 2.4

4	13,87	13	11	18	4,98	2,23	16,09
6	13,87	14	8	17	5,12	2,26	16,32
5	15,13	15	10	18	4,12	2,03	13,42
8	15,40	16	13	18	1,97	1,40	9,12
7	16,13	17	12	18	3,70	1,92	11,92
12	18,20	18	15	21	3,17	1,78	9,78
13	18,53	19	13	23	5,27	2,29	12,38
26	20,67	20	19	22	1,24	1,11	5,38
15	21,07	21	19	25	2,21	1,49	7,06
23	22,07	22	19	27	7,21	2,69	12,17
17	23,40	24	21	28	3,54	1,88	8,04
20	24,53	24	22	28	2,98	1,73	7,04
16	25,67	26	23	28	2,38	1,54	6,01
21	25,67	26	22	28	3,24	1,80	7,01
24	25,73	25	21	29	5,64	2,37	9,23
14	26,87	27	23	30	4,27	2,07	7,69
30	28,93	29	28	30	0,64	0,80	2,76
28	29,53	30	27	30	0,70	0,83	2,82

Таким образом, в результате обработки результатов получили следующую упорядоченную по значимости таблицу факторов (Таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Упорядоченная таблица факторов

1. Констр-ЗМ; 9. ТО-Качество и регулярность выполнения операций ТО; 10. ТО-Качество устанавливаемых запасных частей; 25. Экспл-Загрузка автобусов; 27. Водит-Квалификация водителя; 29. Водит-Психо-физиологические качества 22. Дорога-Наличие грязи, снега; 18. Дорога-Микрорельеф; 19. Дорога-Макрорельеф; 11. ТО- Своевременность поставок запасных частей 2. Констр-двигателя; 3. Констр-Характеристики коробки передач; 4. Констр-Характеристики карданного вала; 5. Констр-Характеристики подвески. 6. ТО-Периодичности видов технического обслуживания;	7. ТО- Состав операций по видам обслуживания; 8. ТО- Качество эксплуатационных материалов; 12. Климат-Климатическая зона; 13. Климат-Сезон эксплуатации; 14. Климат-Наличие осадков; 15. Климат-Температура воздуха 16. Дорога-Качество дорожного покрытия; 17. Дорога-Категория дороги; 20. Дорога-Извилистость маршрутов; 21. Дорога-Дорожная разметка; 23. Дорога-Интенсивность транспортных потоков. 24. Экспл-Средняя скорость движения; 26. Экспл-Среднесуточные пробеги. 28. Водит-Возраст; 30. Водит-Мотивация водителя.
---	--

Как видно из таблицы, после конструкции ЗМ, на которую в процессе эксплуатации повлиять невозможно, идет фактор качества и регулярности ТО, что говорит об актуальности исследований, направленных на формирование рациональной периодичности реализации предупредительных замен.

2.2 Статистический анализ отказов основных узлов заднего моста автобусов большого класса

Для оценки показателей надежности важнейшим источником являются статистические данные, полученные в результате наблюдений в процессе эксплуатации автомобилей. В настоящем исследовании процесс наблюдений был организован в соответствии с ГОСТ Р 27.403-2009 и РД 50-690-89 [39, 100]. Для оценивания показателей надежности необходимо:

- выбрать план испытаний;
- определить характеристики плана испытаний;
- произвести сбор статистической информации;
- произвести обработку статистической информации.

Исходя из условий эксплуатации, наблюдения проводились по плану *NMT*, при котором задается продолжительность испытаний T , число объектов наблюдений N , в процессе наблюдений фиксируются значения наработки между отказами заднего моста на протяжении времени T . На основании рекомендаций [100] для нашего исследования определили: вид объекта наблюдений – восстанавливаемый; время наблюдений – 3 года; количество подконтрольных автомобилей – 14 ед.; наблюдаемый параметр – наработка между отказами деталей ЗМ.

Анализ данных учета ремонтных работ по заднему мосту подконтрольной группы автобусов показал, что за период наблюдений произошло порядка 237 отказов. В соответствии с РД 50-690-89, такой объем выборки обеспечивает для оценки средней наработки на отказ ЗМ уровень доверительной вероятности интервальной оценки $q = 0,9$ и предельной относительной ошибки $e = 0,1$ [100, табл. 27]. Вместе с тем, количество отказов по отдельным узлам и деталям будет мень-

ше, чем по ЗМ в целом. Соответственно, для оценки наработки на отказ по каждой детали будут свои значения q и e . Так, для сапуна могут быть определены $e = 0,1$, $q = 0,8$, для сальников $e = 0,15$, $q = 0,8$, для остальных деталей $e = 0,2$, $q = 0,8$. Для решения задачи определения рациональных периодичностей замен деталей ЗМ по экономико-вероятностному критерию такие показатели оценки являются приемлемыми.

Далее в рамках исследований в течение трех лет проводилась работа по сбору и анализу статистики отказов [21, 76, 93] узлов и агрегатов 14 (четырнадцати) автобусов Niger. Общий пробег подконтрольной группы автобусов за три года эксплуатации составил 7560000 км.

За период наблюдений была собрана информация об отказах ведущего моста автобусов и выполненных работах по их устранению. Результаты наблюдений по каждому году и каждой группе автобусов были оформлены в виде таблиц. По одной из групп она имеет вид, приведенный в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 2.6 – Выборка по ремонту редуктора заднего моста среди 14 единиц пассажирского автотранспорта

<p>Пробег и гаражный номер 301, 302, 306, 309, 314, 320, 322, 330</p> <p>0–100 тыс. км. Замена сапуна (301), Замена сапуна (320);</p> <p>100–200 тыс. км. Замена сальников задней ступицы/полуоси (301), Замена сапуна (306), Замена сальников задней ступицы/полуоси (320), Замена сапуна (330);</p> <p>200–300 тыс. км. Замена сапуна (302), Замена сальников задней ступицы/полуоси(306), Замена сапуна (322), Замена сальников задней ступицы/полуоси (330);</p> <p>300–400 тыс. км. Замена ведущей и ведомой шестерни (301), Замена сальников задней ступицы/полуоси (302), Замена сапуна (309), Замена сапуна (314), Замена сальников задней ступицы/полуоси (330);</p> <p>400–500 тыс. км. Замена шестерни полуоси заднего моста (301), Замена сальников задней ступицы/полуоси (309), Замена сальников задней ступицы/полуоси (314), Замена сателлита дифференциала (320), Замена подшипника ведущей шестерни (330);</p> <p>500–600 тыс. км. Замена редуктора в сборе (301), Замена ведущей и ведомой шестерни (302), Замена сателлита дифференциала (330);</p> <p>600–700 тыс. км. Замена ведущей и ведомой шестерни (306).</p>

Анализ полученных данных по отказам (Таблица 2.7) проводился в пакетах Statistica и MatLab.

Таблица 2.7 – Таблица данных по отказам элементов заднего моста (выборка)

	1	2	3	4	5	6
	Сапун	Сальник	Пара	Сателлит	Шестерня	Редуктор
1	31,3	309,7	315,7	224,5	645,9	224,9
2	99,7	103,7	42,6	208,4	432,4	537,3
3	140,1	329,6	371,2	353,9	327,9	143,0
4	35,0	298,6	199,7	177,4	271,5	436,8
5	16,0	138,7	213,8	296,9	386,3	121,8
6	98,5	279,3	264,8	238,3	190,0	818,9
7	159,5	72,8	200,9	179,3	241,6	404,9
8	125,8	73,0	213,7	286,0	80,3	759,7
9	102,6	94,9	446,7	270,9	327,7	408,5
10	78,5	249,3	488,5	169,6	429,4	389,0
11	125,0	108,6	9,6	280,6	595,0	1157,9
12	77,6	139,4	452,0	107,5	291,4	800,9
13	63,9	24,5	633,4	32,5	211,8	841,1
14	132,5	110,9	255,9	137,0	378,5	
15	157,5	77,1	117,7	251,8	613,5	
16	119,2	154,3	212,6	179,0	463,6	
17	115,7	159,4	437,9	363,2	546,1	
18	100,5	71,1	337,9	76,8	454,8	
19	89,5	288,9	297,2	87,7	370,4	
20	168,6	257,7	44,4	109,7	329,6	
21	125,0	238,7	463,6	282,4	362,1	
22	51,7	169,6	131,3	176,1		
23	201,4	69,6	222,4	473,3		
24	30,1	76,4	334,5	225,5		
25	61,4	308,8	437,5	262,7		
26	92,0	167,5		328,7		
27	80,6	137,6		319,4		
28	129,5	163,2		226,2		
29	95,8	109,2		373,9		
30	21,6	115,4		174,9		

В результате первичной обработки данных получены основные статистические характеристики (Таблица 2.8)

Таблица 2.8 – Таблица статистических показателей отказов

Переменная:	Описательные статистики (Распр_Вейб_2)							
	N набл.	Среднее	Доверит. -95,000%	Доверит. 95,000%	Минимум	Максим.	Ст.откл.	Коэф.Вар.
Сапун	79	92,890	82,528	103,252	12,388	201,93	46,261	49,8020
Сальник	48	165,108	138,299	191,917	18,273	383,57	92,327	55,9188
Пара	25	285,814	221,196	350,432	9,609	633,39	156,543	54,7712
Сателлит	35	228,295	193,351	263,240	32,527	473,34	101,726	44,5592
Шестерня	21	378,552	312,733	444,371	80,348	645,88	144,595	38,1968
Редуктор	13	541,899	353,427	730,371	121,792	1157,88	311,888	57,5546

Из таблицы видно, что коэффициент вариации для агрегатов заднего моста колеблется в районе 50 %. Это говорит о существенном отличии полученных рас-

пределений от экспоненциального. Упорядоченные представление статистики отказов также представлено в виде диаграммы Бокса-Кокса (Рисунок 2.5) [20, 43].

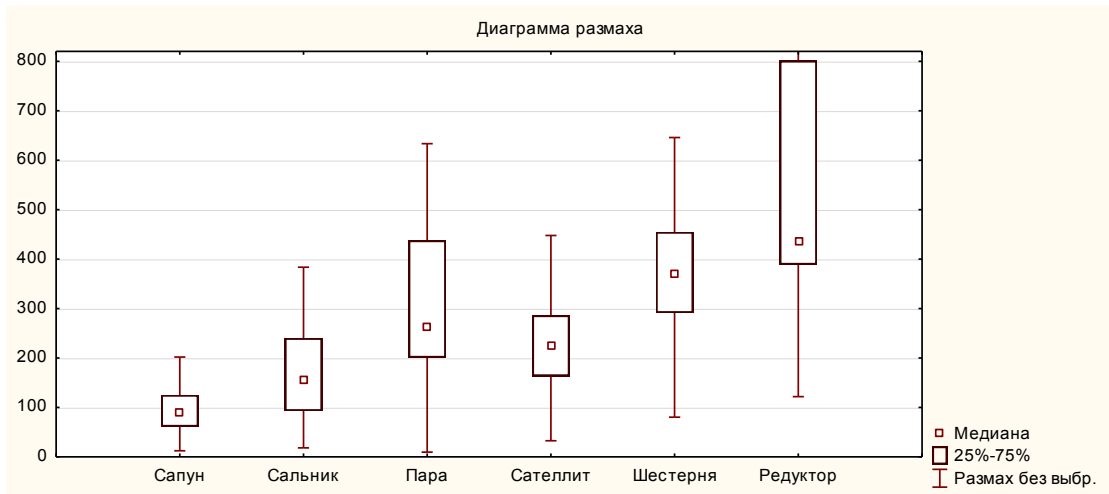


Рисунок 2.5 – Диаграмма сравнительного анализа наработки на отказ

Процентное соотношение отказов анализируемых узлов имеет вид:

- замена сапуна – 36 %;
- замена сальников задней ступицы/полуоси – 22 %;
- замена ведущей и ведомой шестерни – 11 %;
- замена сателлита дифференциала – 16 %;
- замена шестерни полуоси заднего моста – 10 %;
- замена редуктора в сборе – 6 %.

Графически это представлено в виде диаграмм (Рисунок 2.6 и 2.7)

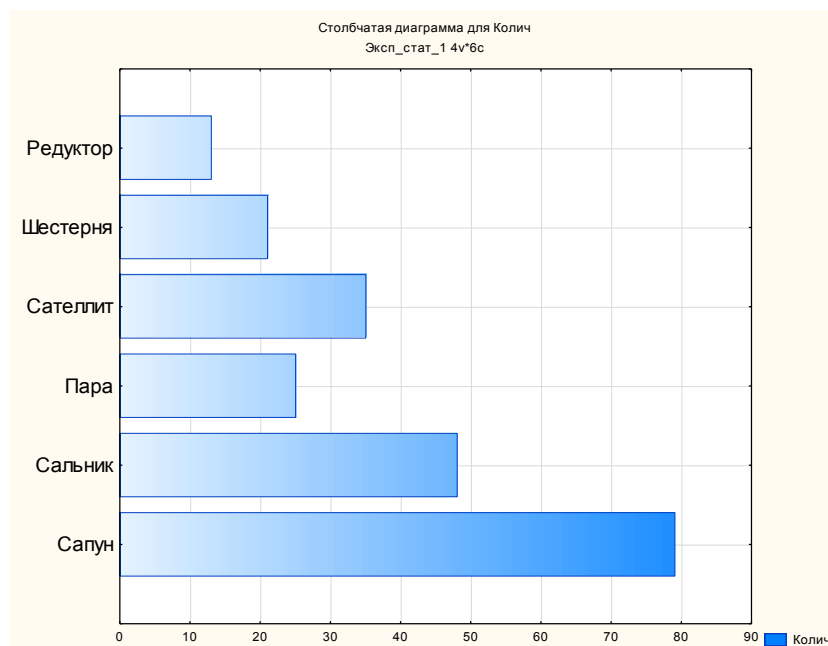


Рисунок 2.6 – Абсолютное распределение отказов по узлам заднего моста

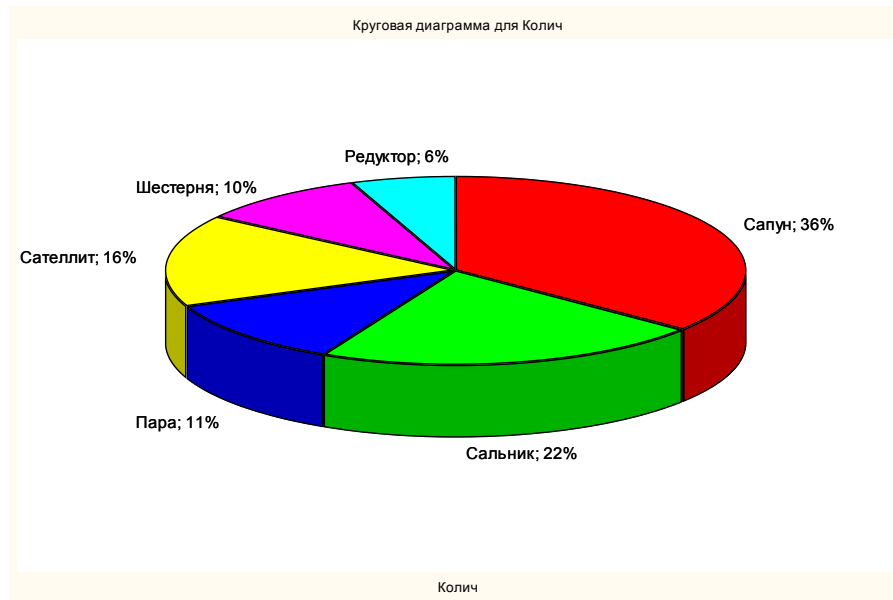


Рисунок 2.7 – Относительное распределение отказов по узлам заднего моста

Более детальное представление результатов исследований выражено в формировании параметров моделей надежности для каждого узла (Рисунок 2.8), которая формируется на основе поиска соответствующего распределения вероятностей для наработок на отказ каждого узла заднего моста.

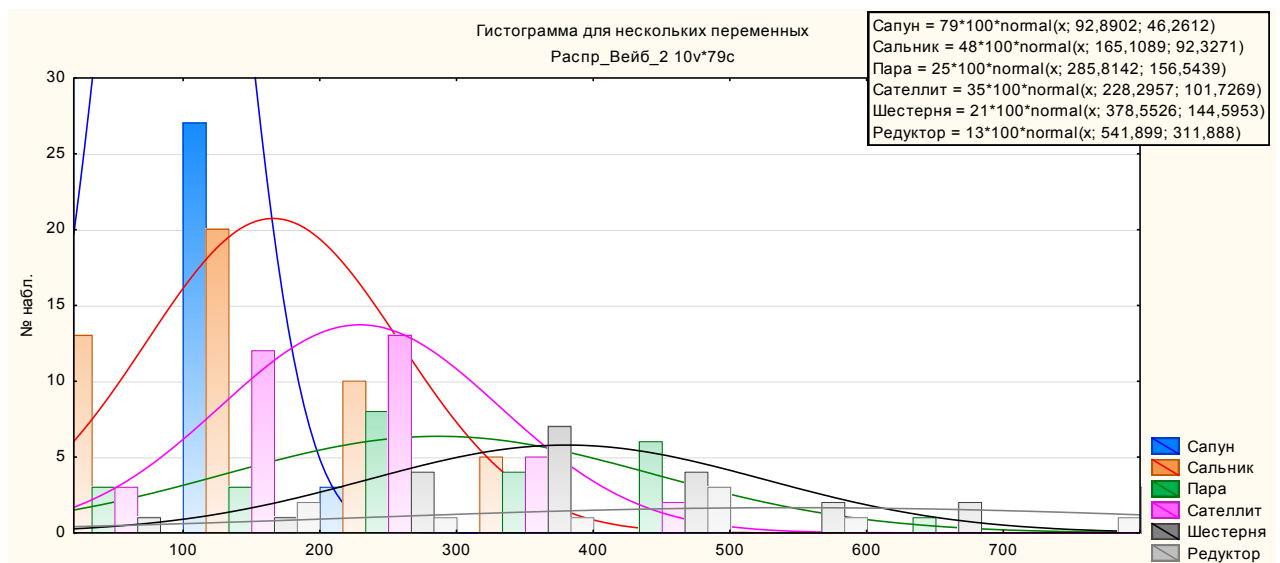


Рисунок 2.8 – Совместная гистограмма отказов для всех деталей и узлов ЗМ

Далее для каждого узла проведен статистический анализ на соответствие распределением, который ниже представлен для сапуна, который имеет наибольшее число отказов.

Для проведения анализа задается количество интервалов разделения между максимальной и минимальной величиной наработки на отказ [1, 22, 33]. Выполняет расчет ширины каждого интервала и строится гистограмма (Рисунок 2.9).

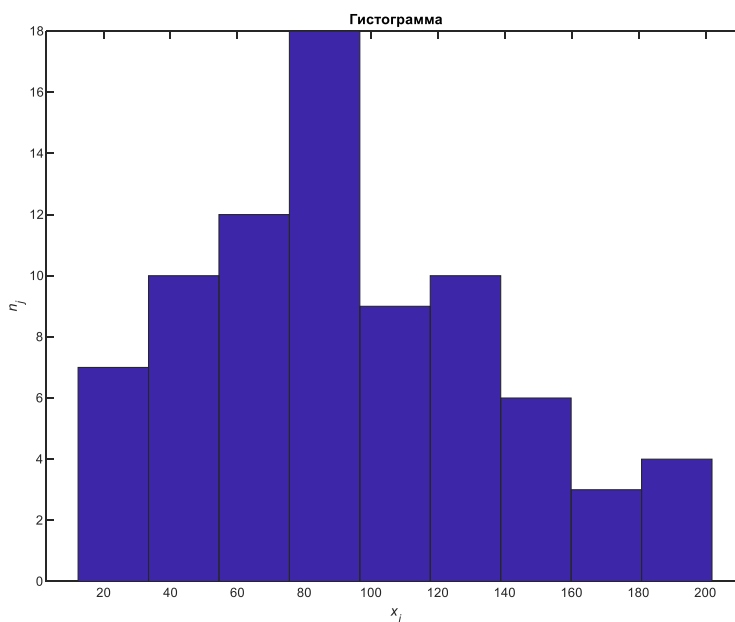


Рисунок 2.9 – Гистограмма наработки на отказ для сапуна

Далее будем искать параметры теоретического распределения моделей надежности для всех непрерывных распределений, реализованных в MATLAB. В результате получаем числовые значения для всех исследуемых распределений:

гамбеловское распределение: $\mu=116.7596739198$; $\sigma=48.3996486754$;
экспоненциальное распределение: $\mu=92.8902044857$;
гамма - распределение: $a=3.4536741128$; $b=26.8960537250$;
логнормальное распределение: $\mu=4.3797148128$; $\sigma=0.6011293833$;
нормальное распределение: $\mu=92.8902044857$; $\sigma=45.9675148042$;
рэлеевское распределение: $b=73.2857506841$;
равномерное распределение: $a=12.3889124028$; $b=201.9334770886$;
вейбулловское распределение: $a=107.7969819942$; $b=1.7521926760$;

Далее на одном графике строятся эмпирическая и все подбираемые плотности для теоретических распределений (Рисунок 2.10, 2.11). График эмпирической плотности распределения отличается от гистограммы множителем по оси ординат, где используются параметры количества экспериментальных данных, а также ширины интервала для формирования гистограмм [27, 43]. В результате строится

нормированная гистограмма. С помощью функции $ecdf$ для неё строится выборочная функция распределения. Теоретические плотности строятся на основании использования функции pdf , задавая необходимый вид распределения с указанием значений его параметров.

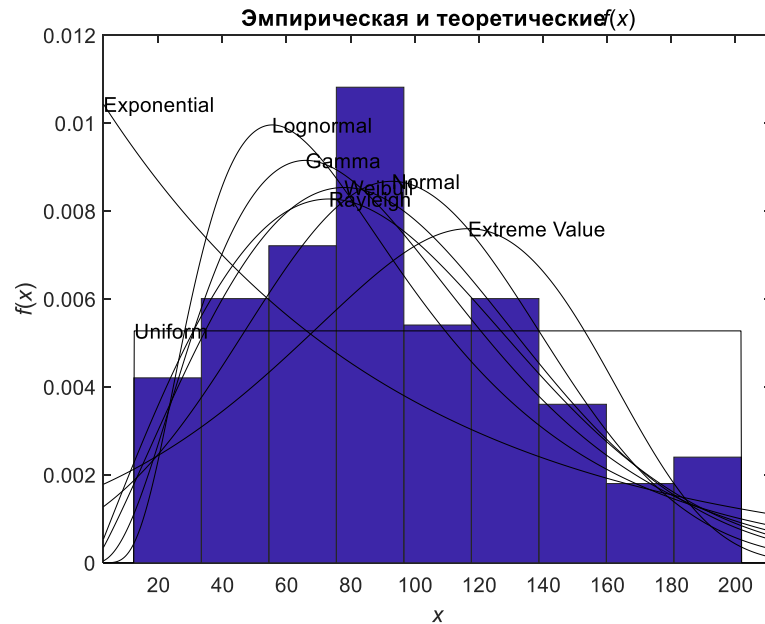


Рисунок 2.10 – Эмпирическое распределение отказов сапуна вместе с теоретическими плотностями распределений

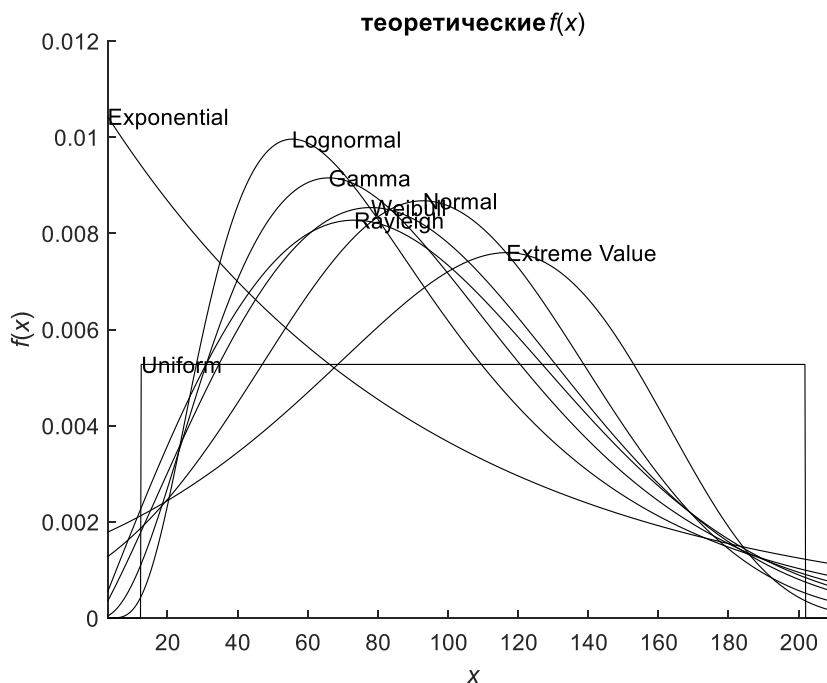


Рисунок 2.11 – Теоретические плотности распределений

Далее выполняется проверка соответствия всех распределений по критерию Колмогорова-Смирнова [4, 22]. Данный критерий является критерием согласия и

применяется только в том случае, когда распределение, с которым сравнивается выборка, задаётся функцией $F(x)$, которая не содержит неизвестных параметров. При этом, если задана выборка x_1, \dots, x_n , определяется эмпирическая функция распределения $F_n(x) = \frac{1}{n} \text{card}(x_i : x_i < x)$, где *card* обозначает количество элементов в множестве. Эта функция кусочно-постоянна, в точках x_i у нее разрывы, в которых значение подскакивает на $1/n$. Значение в точке x (i -ый член вариационного ряда) справа равно i/n , а слева $(i-1)/n$.

Статистика Колмогорова–Смирнова имеет вид $K_n = \sup_{x \in R} |F_n(x) - F(x)|$. Так как функция $F(x)$ возрастает, а $F_n(x)$ кусочно-постоянна, то точная верхняя грань разности достигается в точках разрыва x_i , поэтому

$$K_n = \max_{i=1, \dots, n} \left\{ \left| \frac{i}{n} - F(x_{(i)}) \right|, \left| \frac{i-1}{n} - F(x_{(i)}) \right| \right\}.$$

Если выполнена нулевая гипотеза, то распределение K_n не зависит от функции $F(x)$. Нулевая гипотеза должна быть отвергнута, если $K_n > K_{n, \text{критич}}$. Если же n велико, то используется тот факт, что случайная величина $\sqrt{n}K_n$ имеет предел при $n \rightarrow \infty$. Поэтому гипотеза должна быть отвергнута, если $\sqrt{n}K_n > Q_{\text{критич}}$.

В MATLAB проверка по критерию согласия Колмогорова осуществляется с помощью функции `kstest` [43, 56]. График выборочной функции распределения рисует функция `cdfplot`, а теоретическую строим по точкам x_i .

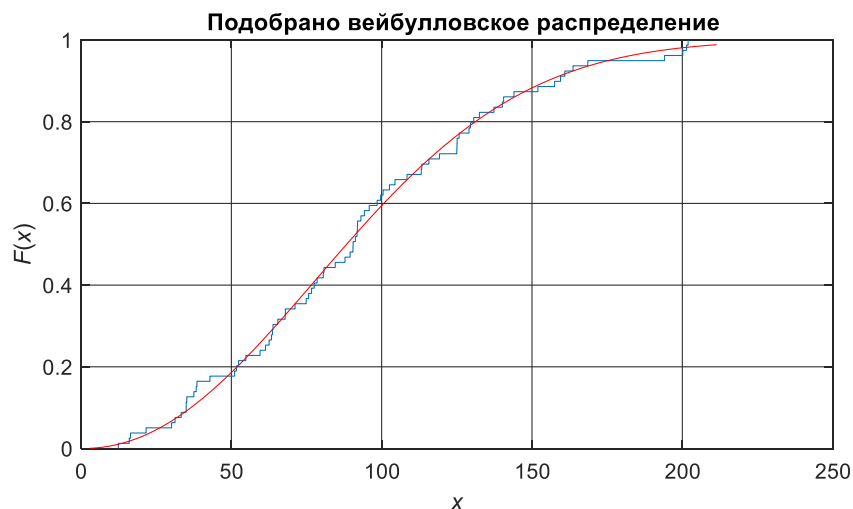


Рисунок 2.12 – Соответствие распределения отказов модели Вейбулла

Аналогичным образом подбираем остальные распределения (Рисунки 2.13–2.18) и их параметры.

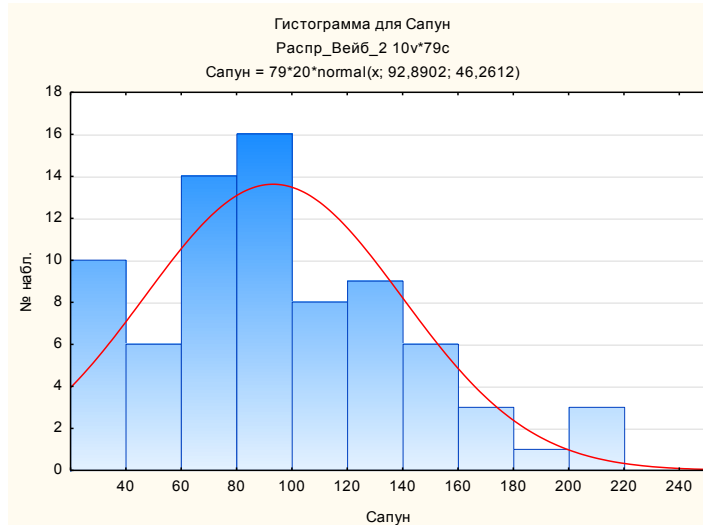


Рисунок 2.13 – Гистограмма для наработки на отказ для сапуна

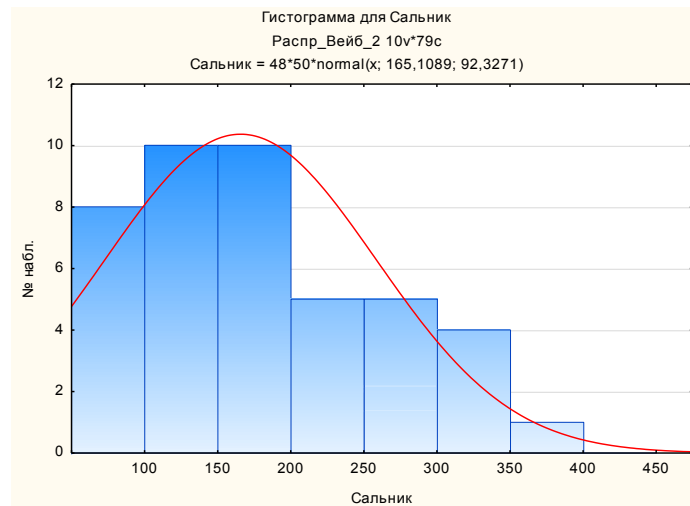


Рисунок 2.14 – Гистограмма для наработки на отказ для сальника

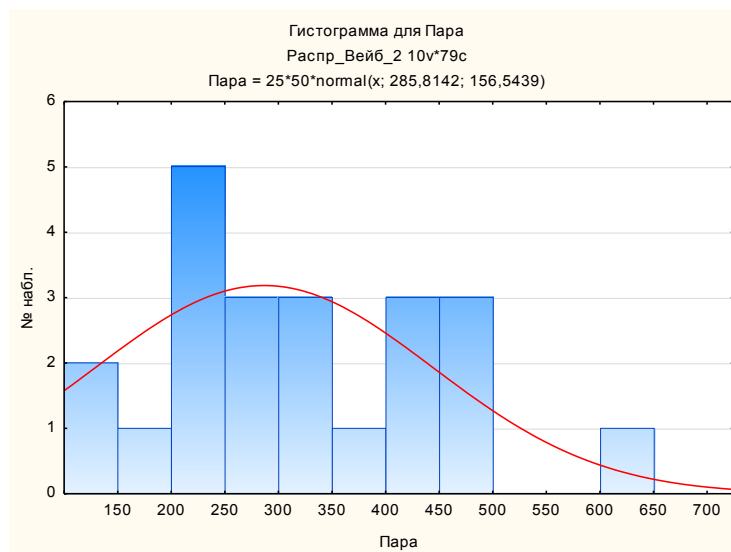


Рисунок 2.15 – Гистограмма для наработки на отказ для главной пары

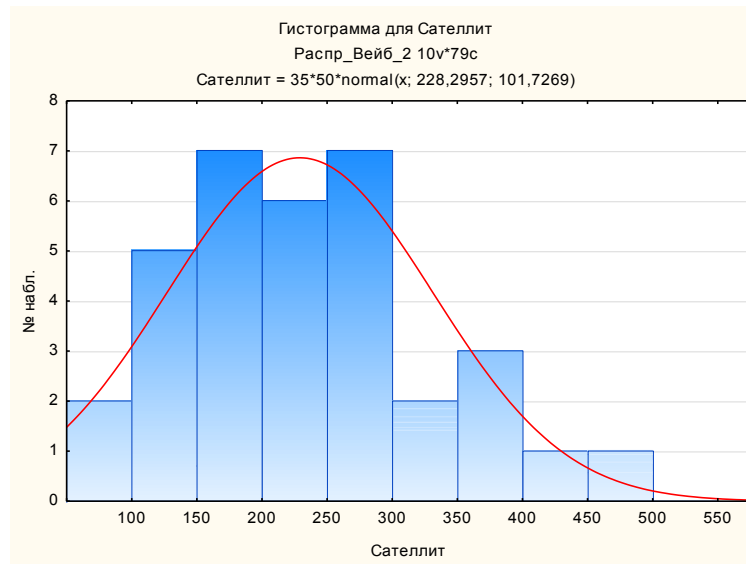


Рисунок 2.16 – Гистограмма для наработки на отказ для сателлита

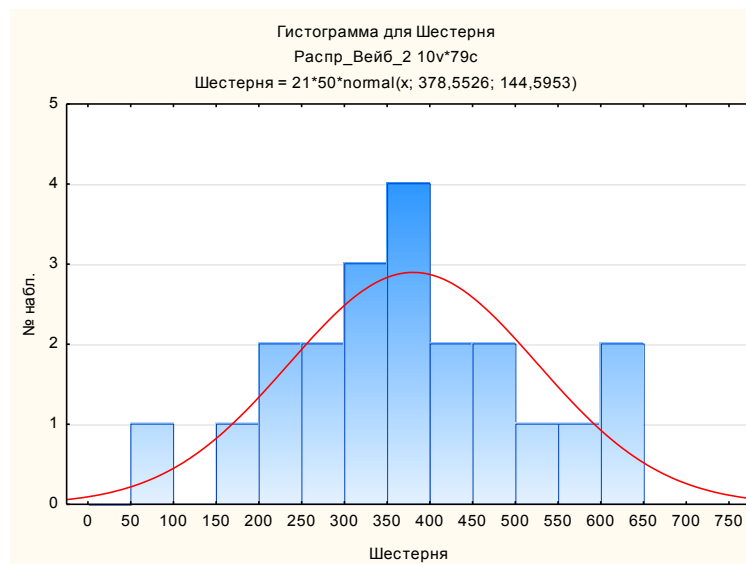


Рисунок 2.17 – Гистограмма для наработки на отказ для шестерни

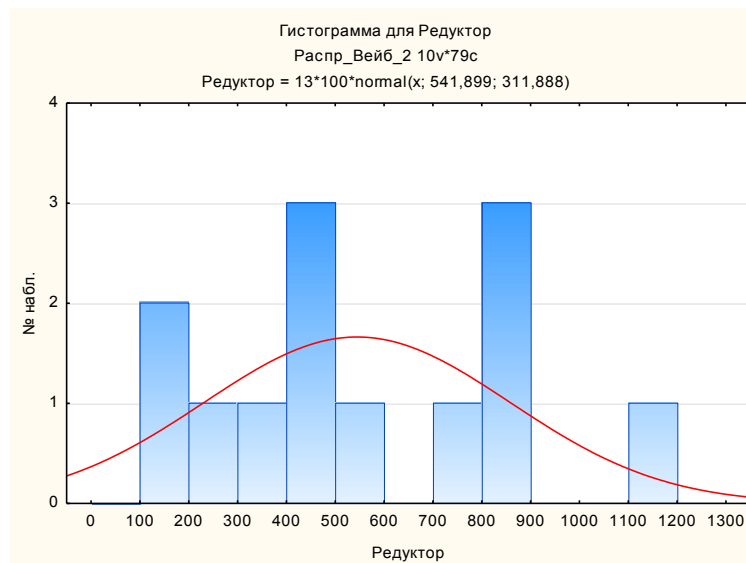


Рисунок 2.18 – Гистограмма для наработки на отказ для редуктора

Далее по имеющимся данным из различных российских и зарубежных источников и собранной в рамках проведенных исследований статистической информации для отдельных деталей и узлов была сформирована таблица для параметров модели надежности Вейбулла (Таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Параметры надежности узлов заднего моста

	Процент	Среднее	Ст.откл.	Коэфф Вар	a	b
Сапун	35,63	85,02	52,29	61,50	107,79	1,75
Сальник	21,93	161,37	95,87	59,41	175,62	1,85
Пара	11,40	346,35	129,37	37,35	338,63	2,04
Сателлит	15,84	228,63	116,91	51,13	243,51	1,93
Шестерня	9,50	298,91	121,71	40,72	406,50	2,16
Редуктор	5,70	694,53	203,60	29,31	675,32	1,84

В результате анализа выявлены средние ресурсы узлов $t_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i$, где t_i представляет пробег автомобиля.

В ходе экспериментальных наблюдений за автобусами большого класса марки Niger было выявлено, что задний мост автобуса, вследствие своего расположения, подвержен сильному загрязнению, из-за чего затруднен контроль, даже визуальный, за его техническим состоянием. Характерной неисправностью, возникающей на относительно небольшом пробеге, является выход из строя сапуна, что в дальнейшем приводит к повышению давления и температуры масла в редукторе, выходу из строя резиновых уплотнений (сальников), утечкам масла, повышенному износу и, в итоге, к выходу из строя редуктора в целом.

Следующий анализ проведен по выявлению статистики отказов различных агрегатов ведущего моста. Самыми ненадежными узлами и деталями оказались: сапун, сальники задней ступицы/полуоси, ведущая и ведомая шестерни, сателлит дифференциала, шестерня полуоси заднего моста, редуктор в сборе.

На предприятии установлена двухступенчатая система технического обслуживания с периодичностями: ТО-1 – 20000 км, ТО-2 – 100000 км. Кроме того, регламентом организации предусмотрен ежедневный контроль состояния автомобиля, который проводится контролером по выпуску автомобилей на линию. При

ежедневном осмотре ведущего моста производится визуальный контроль крепления моста, целостности и работоспособности сапуна, сальника фланца хвостовика редуктора, наличия масляных следов на полуосях. Все перечисленные работы входят также в состав операций ТО-1. Кроме того, при ТО-1 производится внешняя оценка люфта редуктора заднего моста. При ТО-2 производятся: снятие редуктора заднего моста, оценка целостности дифференциала, диагностика люфта между ведущей и ведомой шестернями, при необходимости регулировка зазоров, замена масла в редукторе. При обнаружении механических повреждений шестерен, подшипников, производится полная разборка редуктора и замена необходимых элементов.

Кроме того, приведенные данные говорят о том, что редуктор заднего моста автобуса большого класса марки Niger более надёжен, чем у автобуса ПАЗ. Вместе с тем, следует отметить, что, из-за конструктивных особенностей, для замены редуктора заднего моста на автобусе Niger в условиях эксплуатирующей организации требуется в несколько раз больше трудозатрат, чем на автобусах ПАЗ. И, что более важно – это большие проблемы с наличием, вернее, с отсутствием, в свободной продаже запасных частей (ведущей или ведомых шестерен, или редуктора в сборе, и др.). Срок поставки запасных частей из КНР может составлять более трёх месяцев. Всё это время автобус простаивает, а автотранспортное предприятие несет большие убытки. Именно из-за этих двух значимых проблем встал вопрос о повышении надежности, профилактике и дополнительной диагностике редуктора у данной модели автобуса. С другой стороны, это требует более тщательной выработки стратегии системы управления запасами.

Задачами дальнейших исследований является формализация зависимостей показателей надежности и работоспособности заднего моста автобусов от условий эксплуатации, разработка рекомендаций по корректированию периодичностей технического обслуживания, рекомендаций по проведению планово-предупредительного ремонта задних мостов автобусов.

2.3 Построение формальной схемы надежности деталей заднего моста автобуса

Для оценки надежности ЗМ в первую очередь необходимо построение блок-схемы надежности, отражающей влияние отказов элементов на работоспособность системы в целом. Помимо основных идентификаторов, блок-схема элементов может содержать значения различных параметров элементов, например, ВБР, интенсивности отказов и т.д. [84, 94] Формализованная схемы надежности, состоящая из основных шести узлов, в силу конструктивных особенностей заднего моста, будет иметь последовательную структуру (Рисунок 2.19).

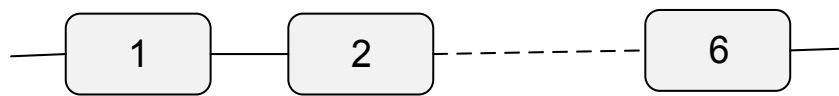


Рисунок 2.19 – Последовательная схема надежности ЗМ

В детерминированном представлении последовательной схемы надежности для вероятности безотказной работы справедливо соотношение в виде произведения вероятностей безотказной работы всех ее элементов.

$$P_S = \prod_{i=1}^N P_i. \quad (2.6)$$

В последнем соотношении предполагается, что вероятность безотказной работы определена для произвольно заданного момента времени. Для фиксированного момента времени t справедлива запись:

$$P_S(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (2.7)$$

Для детерминированного варианта последние соотношения позволяют сделать следующие утверждения.

Естественно, что $0 \leq P \leq 1$. Можно показать, что ВБР последовательной системы меньше ВБР любого ее компонента.

Как было указано выше, для отдельных деталей ЗМ в рамках статистических исследований были получены параметры a и b модели надежности Вейбулла, для которой вероятность безотказной работы задается соотношением [84].

$$P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right), \quad (2.8)$$

где a_i, b_i – параметры модели надежности Вейбулла i -го элемента последовательной схемы надежности.

Для вероятности безотказной работы системы для модели Вейбулла будет справедливо соотношение

$$P_S(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right) = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right). \quad (2.9)$$

которое позволяет сделать вывод: если элементы системы с последовательным соединением задаются моделями надежности Вейбулла, то никаких общих формул для описания модели надежности всей системы нет.

Однако, как видно из таблицы 2.9, статистики отказов по модели Вейбулла параметр b , определяющий форму модели, имеет значения, близкие к 2.

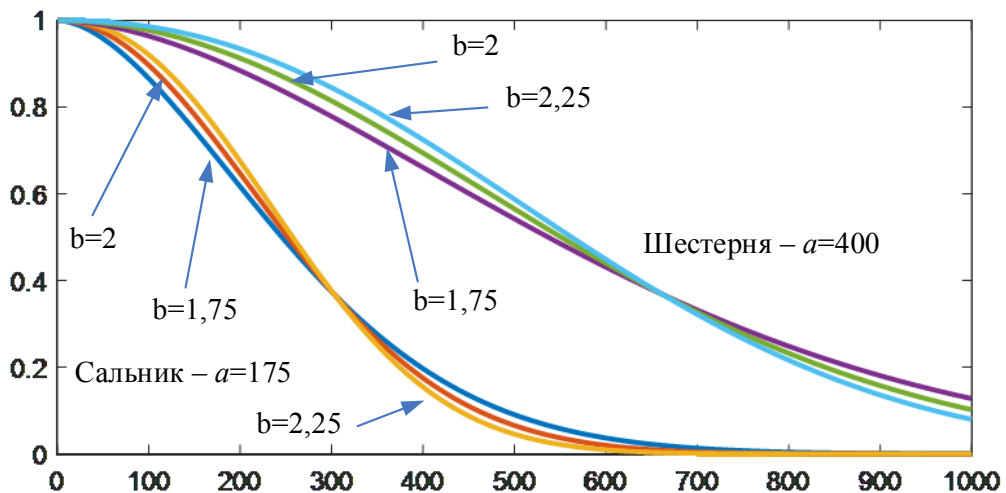


Рисунок 2.20 – Вероятность безотказной работы

Поскольку при значении $b = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, а при значении $b = 2$ в распределение Релея, в работе предлагается выполнить расчет надежности именно по модели Релея [84, 94].

Модель надежности Релея определяется равенством

$$Q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.10)$$

где σ – параметр распределения, имеющий размерность времени и определяет моду распределения и связь между параметром a модели Вейбулла и σ модели Релея определяется соотношением $a = \sqrt{2}\sigma$.

При этом ВБР будет определяться соотношением.

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2.11)$$

а интенсивность отказов для узлов заднего моста.

$$\lambda(t) = \frac{t}{\sigma^2}. \quad (2.12)$$

Среднее время задается значением:

$$T_{cp} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}. \quad (2.13)$$

Выражение (2.12) свидетельствует о возрастающей функции интенсивности отказов в виде прямой линии. Также МН Релея используется при моделировании процессов износа.

Для последовательной схемы соотношение для вероятности безотказной работы при использовании МН Релея будет справедливо соотношение.

$$P_S(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right) = \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}\right) \cdot t^2\right]. \quad (2.14)$$

а принимая новое обозначение параметра надежности системы как:

$$\frac{1}{\sigma_S^2} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}. \quad (2.15)$$

придем к соотношению

$$P_S(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_S^2}\right). \quad (2.16)$$

Таким образом, для модели Релея в последовательной схеме надежности она также имеет место и для всей системы, т.е. если модель Релея принята для элементов системы, то она будет справедлива и для всей системы с параметром σ_s .

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Разработана классификация факторов, влияющих на характеристики надежности заднего моста автобуса. Предложена методика формирования анкет для ранжирования факторов. Проведена экспертиза на значимость отдельных факторов. Выполнена обработка результатов экспертизы и выделена совокупность наиболее значимых факторов, влияющих на надежность деталей и узлов заднего моста автобуса.

2. Проведен анализ статистики отказов различных деталей и узлов ведущего моста. За три года наблюдений зафиксировано всего 237 отказов. Самыми ненадежными узлами оказались: сапун, сальники задней ступицы/полуоси, ведущая и ведомая шестерни, сателлит дифференциала, шестерня полуоси заднего моста, редуктор в сборе. На эти позиции приходится 98,6 % всех отказов. Определены характеристики законов распределения наработки на отказ для различных узлов и деталей заднего моста.

3. На основании собранной в рамках проведенных исследований статистической информации для отдельных деталей и узлов сформирована таблица для ресурсов, лимитирующих надежность заднего моста автобуса, а также показателей распределения отказов по моделям надежности Вейбулла и Релея.

ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ ЗАМЕН ДЕТАЛЕЙ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОБУСА

В третьей главе рассматриваются вопросы построения модели надежности заднего моста автобуса большого класса, предложены критерии и методика расчета оптимальной периодичности предупредительных замен деталей и узлов заднего моста.

3.1 Формализованное описание причинно-следственных взаимосвязей отказов узлов ЗМ

Определение рациональных режимов поддержания работоспособности агрегатов и узлов автобуса, как это известно из теории технической эксплуатации, базируется на исследовании и анализе показателей надежности и процессов изменения технического состояния в реальных условиях эксплуатации, с учетом влияния этих условий, а также методов и характеристик ремонтных и профилактических воздействий на исследуемый агрегат [116].

Как показали Аксельрод Д.И., Гафуров М.Д. [2], для быстрой и правильной диагностики сложного объекта на основании использования различных средств и инструментов диагностирования, необходимо иметь точную и объемную информацию о функциональных связях потенциальных неисправностей и их диагностическими признаками. Кроме того, для принятия решений необходим и достаточный опыт.

Анализ научной литературы [3, 6, 17, 57, 86] показывает, что для оценки технического состояния заднего моста наиболее информативными параметрами являются: уровень масла в картере моста, исправность сапуна, температура масла, уровень шума и его характеристики (высокие, низкие частоты, стуки, гул, скрежет, и т.п.); В большинстве случаев, рассмотренных в ходе эксперимента, при интенсивной эксплуатации в средней климатической полосе, при температуре атмосферного воздуха выше 0, происходит загрязнение сапуна редуктора заднего моста, при этом, одновременно, повышается давление и температура трансмиссион-

ного масла, что влечёт за собой преждевременный выход из строя резиновых уплотнений (сальников). Это приводит к утечке смазочного материала. Недостаток или полное отсутствие трансмиссионного масла в редукторе заднего моста приводит прежде всего к критическому износу ведущей и ведомой шестерни, что приводит к перегреву и ослаблению металлов, разрушению шестерен и полной конструктивной гибели агрегата (Рисунок 3.1).

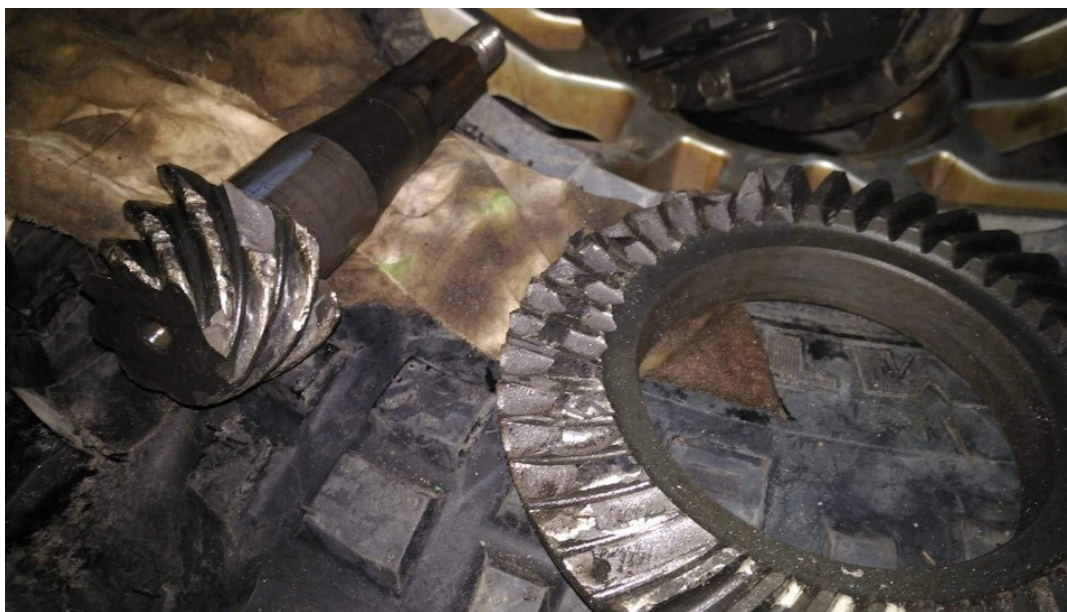


Рисунок 3.1 – Разрушение ведущей и ведомой шестерни редуктора заднего моста

Также, была рассмотрена эксплуатация редуктора заднего моста в зимних климатических условиях, когда температура атмосферного воздуха ниже 0. Так как картер редуктора является одной из самых низких точек автобуса к поверхности дороги, температура масла достигает рабочих значений только при непрерывном движении автобуса (пример: движение по трассе). При эксплуатации автобуса в городском цикле, температура трансмиссионного масла не может достигнуть рабочей из-за быстрого охлаждения при частых остановках (пример: посадка/высадка пассажиров и т. д.).

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод о том, что при различных климатических условиях необходимо разработать дополнительные методические рекомендации по осмотру, профилактике и обслуживанию редуктора заднего моста в различных климатических условиях.

В общем случае для отдельных агрегатов количество диагностических параметров невелико. Например, для проверки дизеля необходимо три параметра (сила тяги на колесах, их отношение, расход топлива), а для проверки трансмиссии - двух параметров (момент трансмиссии и момент, передаваемый сцеплением) [5, 6]. Для проверки работоспособности заднего моста наиболее значимыми параметрами являются допустимый люфт на фланце ведущей шестерни и запотевание/течи сальника фланца редуктора/сальников полуосей.

Для моделирования системы взаимодействия между диагностическими показателями и неисправностями конкретного агрегата автобуса может быть использована модель [57], представленная графом $G = (V, E)$, где

$V = \{v_i\}$ – вершины графа v_i представляют диагностические параметры, доступные для проверки;

$E = \{e_{ij}\}$ – дуги - взаимосвязи между диагностическими параметрами v_i и v_j .

Наличие инцидентной выходящей дуги из вершины, соответствующей данному показателю, свидетельствует о неработоспособном состоянии агрегата. Для реализации механизма поиска неисправностей по приведенному графу сделан переход от единичных показателей деталей к агрегированным [6, 91]. В основном, предметом такого диагностирования служат уже достаточно изученные агрегаты, для которых диагностические показатели уже апробированы, а нормативы отработаны [3, 26, 54].

На примере заднего моста приведем неформальное описание к формальному представлению. Аббревиатуры в скобках – это сокращения обозначения процессов в узлах и агрегатах заднего моста. В связи с погодными/климатическими условиями в средней полосе России, где эксплуатируются автобусы, которые рассмотрены в данной работе, у редуктора заднего моста происходит загрязнение/обледенение сапуна (**З. Сап.**), который служит в данном агрегате для баланса атмосферного давления. Из-за этого происходит повышение давления (**Дав**) и температуры трансмиссионного масла (**Темп**). Соответственно, из-за повышения давления деформируются резиновые уплотнения агрегата (**Деф**), а из-за повышения температуры трансмиссионного масла: присадки масла перестают макси-

мально выполнять свои функции и повышается текучесть (**Тек**), что сказывается на смазывании трущихся деталей и приводит к их критическому износу (**Износ**). Так для данного примера фрагмент граф-модели может быть представлен в виде (Рисунок 3.2).

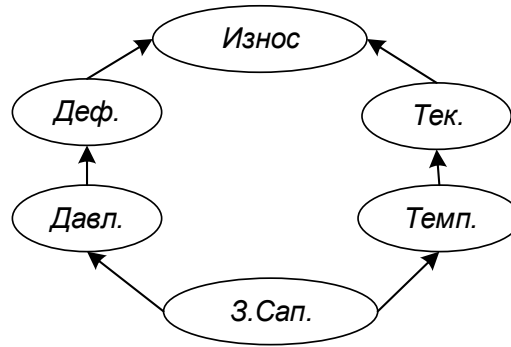


Рисунок 3.2 – Схема граф-модели параметров заднего моста

С другой стороны, для описания результатов поэлементного анализа взаимосвязи между диагностическими показателями и неисправностями в рамках несколько упрощенного предыдущего примера могут быть представлены в виде диагностической матрицы (Таблица 3.1). В качестве неисправностей выступают: износ главной пары, сапун, дифференциал, сальники. В качестве диагностических показателей: шум, давление и температура.

Таблица 3.1 – Диагностическая матрица

	«шум»	«давление»	«температура»
«износ главной пары»			
«сапун»			
«дифференциал»			
«сальники»			

Для каждой укрупненной неисправности каждой компоненты агрегата соответствует некоторое количество диагностических признаков. Для небольшого количества диагностических показателей (порядка трех, четырех) решение задачи идентификации может быть решено экспертным путем на основании простого перебора. При формировании совокупности показателей необходимо, чтобы их контроль мог быть выполнен в реальных условиях функционирования агрегата и в соответствующем состоянии, т.е. в снаряженном состоянии, при малых скоростях, при достаточно высоких скоростях и т.д. Установление несоответствия диагно-

стических показателей предусмотренным ограничениям дает возможность их отклонения [86, 91].

Пусть $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ – совокупность диагностических показателей агрегата и заданный перечень неисправностей можно выявить при помощи M различных совокупностей параметров: $S^1, S^2, \dots, S^M, S^i \subset S$. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – совокупность потенциальных неисправностей. Каждому диагностическому признаку s_j соответствует некоторая совокупность неисправностей X^j , которые можно идентифицировать при детальном анализе диагностической матрицы.

Так, для проверки работоспособности заднего моста можно привести пример несколько иного характера с двумя параметрами: допустимый люфт на фланце ведущей шестерни и запотевание / течи сальника фланца редуктора / сальников полуосей. Предположим, что в результате диагностического обследования конкретного автобуса и его заднего моста получили, что в заднем мосту присутствуют шумы, хотя люфт фланца ведущей шестерни находятся в границах допустимых значений. Данный результат явно указывает на износ главной пары редуктора заднего моста.

Характерным для данного примера является не только наличие некоторой совокупности диагностических признаков, но и отсутствие некоторых.

Таким образом, каждой укрупненной неисправности каждой компоненты агрегата соответствует некоторое количество диагностических признаков.

Для небольшого количества диагностических показателей (порядка трех, четырех) решение задачи идентификации может быть решено экспертным путем на основании простого перебора.

При формировании совокупности показателей необходимо, чтобы их контроль мог быть выполнен в реальных условиях функционирования агрегата и в соответствующем состоянии, т. е. в снаряженном состоянии, при малых скоростях, при достаточно высоких скоростях и т.д.

Установление несоответствия диагностических показателей предусмотренным ограничениям дает возможность их отклонения.

Пусть $S = \{s^1, s^2, \dots, s_k\}$ – совокупность диагностических показателей агре-

гата и заданный перечень неисправностей можно выявить при помощи M различных совокупностей параметров: $S^1, S^2, \dots, S^M, S^i \subset S$. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – совокупность потенциальных неисправностей. Каждому диагностическому признаку s_j соответствует некоторая совокупность неисправностей X^j , которые можно идентифицировать при детальном анализе диагностической матрицы.

3.2 Методика оптимизации периодичностей предупредительных замен

При организации ТО и Р целесообразно разбиение всего автобусного парка на группы, для которых имеют место несколько различные периоды проведения ТО и сами работы.

Так, в условиях эксплуатации контроль за работоспособностью заднего моста, в частности, редуктора заднего моста, проводится путём ежедневного осмотра контролёром по выпуску автомобилей на линию. Автобусы Higer проходят ТО-1, ТО-2, текущий ремонт в условиях ремонтной зоны организации. Регламентом организации для марки Higer предусматривается прохождение ТО-1 при пробеге 20.000 км., ТО-2 – 100.000 км.

При осмотре заднего моста контролёром по выпуску внимание уделяется креплению заднего моста и целостности резинового уплотнения (сальника) на фланце хвостовика редуктора заднего моста, наличие масляных следов на полуосях и тормозных барабанах.

При прохождении пассажирским транспортным средством ТО-1, специалистами ремонтной зоны производится осмотр крепления заднего моста на полурессорах, сайлентблоков в реактивных тягах, оценивается чистота и работоспособность сапуна редуктора заднего моста. Также при ТО-1 предусмотрена внешняя оценка люфта редуктора заднего моста. При ТО-2 специалисты ремонтной зоны производят снятие редуктора заднего моста, измерение люфта между ведущей и ведомой шестерней, оценивают целостность дифференциала (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Процесс регулировки редуктора заднего моста

При обнаружении механических повреждений шестерен, подшипников, дифференциала производится полная разборка редуктора и замена необходимых элементов. Если, по результатам дефектовки агрегата необходима лишь регулировка, проводится выбор регулировочных шайб по толщине.

3.2.1 Комплексные показатели надежности

Для решений по реализации предупредительных замен можно использовать стоимостные критерии и критерии технической готовности [62, 75].

Так, коэффициент готовности K_G – задает вероятность такого события, что узел будет в работоспособном состоянии в произвольный момент времени.

При заданных значениях средней наработки T_o , а также среднего времени восстановления узла T_b этот коэффициент задается, как:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^N T_{o,i}}{\sum_{i=1}^N T_{o,i} + \sum_{i=1}^N T_{b,i}}, \quad (3.1)$$

где $T_{b,i}$ – время восстановления i -го узла;

$T_{o,i}$ – наработка на отказ i -го узла;

$N = N(0)$ – количество исследуемых узлов.

Коэффициент оперативной готовности – $K_{OG}(t_0, t)$ задает вероятность события, которое состоит в том, что узел будет работоспособным в произвольное время, за исключением планируемых периодов, когда узел не предполагается использовать [84, 87].

Определение этого коэффициента задается как

$$K_{OG}(t_0, t_1) = K_G P(t_0, t_1), \quad (3.2)$$

где $P(t_0, t_1)$ определяет вероятность безотказной работы узла в интервале времени $(t_0; t_1)$;

t_0 – время, с которого проявляется необходимость использования узла по назначению;

t_1 – время, с которого использование узла по непосредственному назначению завершается.

K_{OG} – определяют для периода ожидания работы, предшествующего моменту t .

Коэффициент технического использования определяет отношение математического ожидания наработки узла на некотором интервале времени к сумме средних наработок неплановых восстановлений на этом же интервале эксплуатации и профилактических работ [84, 87]

$$K_{T.I} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_{II}}. \quad (3.3)$$

Этот показатель в отличие от стационарного коэффициента готовности учитывает не только продолжительность ремонта узла, но и простои, которые связаны с профилактическим обслуживанием T_{II} и техническими осмотрами [60, 56].

3.2.2 Формальная постановка задачи оптимизации периодичностей предупредительных замен

Естественно, что рационально выбранная периодичность обслуживания, а также реализация механизмов предупредительных замен деталей и узлов, существенным образом может влиять на уменьшение числа и времени неплановых ре-

монтов $T_{\text{непл}}$. Реальное суммарное время unplanned repairs at this time due to preventive replacements will be reduced by the amount $\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}$ will be equal

$$T_{\text{непл}}^{\text{пр}} = T_{\text{непл}} - \Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}, \quad (3.4)$$

where $T_{\text{непл}}$ – time of unplanned repairs without preventive replacements;

$\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}$ – reduction of time due to preventive replacements;

$T_{\text{непл}}^{\text{пр}}$ – real time of unplanned repairs, reduced due to preventive replacements.

However, the implementation of preventive replacements within planned maintenance will increase the time of its execution $T_{\text{план}}$ and will increase by the amount $\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$, i.e. the real time $T_{\text{план}}^{\text{пр}}$ value will be equal

$$T_{\text{план}}^{\text{пр}} = T_{\text{план}} + \Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}, \quad (3.5)$$

where $T_{\text{план}}$ – time of planned maintenance without preventive replacements;

$\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$ – increase of time of planned maintenance due to the implementation of preventive replacements;

$T_{\text{план}}^{\text{пр}}$ – real time of planned maintenance with preventive replacements.

In the plan of comparison of the increase of time of planned maintenance $\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$ and the reduction of unplanned repairs $\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}$ it is necessary to take into account their significant difference $\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}} \gg \Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$, which determines the need for preparation of buses for unplanned repairs. And this requires washing, diagnosis of malfunctions, ordering of necessary parts and nodes, etc.

This is related to the fact that repairs of unplanned character require corresponding preparation of TC (washing, control of technical condition, reception, etc.). These operations in the case of planned maintenance are already provided for in the maintenance plan. At the same time, the preparation of work is carried out in advance. In addition, the TC themselves arrive at the maintenance point according to the plan, and not as in the case of a breakdown of TC on the line, which requires either transportation of TC to the park, or the departure of the repair team and delivery of corresponding spare parts.

The normative time of general work on TC taking into account preventive replacements will be equal

$$T^{np} = T^{np}_{\text{план}} + T^{np}_{\text{непл.}} \quad (3.6)$$

В целом, задача ставится в оценке возможности повышения коэффициента технической готовности автобуса за счет реализации механизма предупредительных замен.

С учетом выполнения предупредительных замен коэффициент будет равен

$$K_{ТГ} = \frac{T_0}{T_0 + T^{np}} \quad (3.7)$$

Таким образом, периодичность предупредительных замен влияет как на плановые ТО, так и на плановые ремонты. Периодичность сокращается – повышаются время плановых ТО, но при этом сокращается время неплановых ремонтов.

Кроме того, интерес вызывает стоимостной критерий эффективности реализации предупредительных замен. Естественно, что при сокращении периода предупредительных замен – повышаются расходы на плановые ТО, но при этом сокращаются потери от неплановых ремонтов.

Таким образом, в работе ставится задача расчета оптимальной периодичности с целью снижения общих затрат на поддержание работоспособности автобусного парка с учетом расходов, связанных с простоем автобусов.

Суммарные расходы, связанные с реализацией неплановых ремонтов по устранению отказов без предупредительных замен равны:

$$C_0 = C_{\text{дет}} + C_{\text{тра}} + C_{\text{расх}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{прост}}, \quad (3.8)$$

где $C_{\text{дет}}$ – цена деталей и узлов;

$C_{\text{тра}}$ – расходы на транспортировку до места непланового ремонта необходимых деталей, узлов и оборудования;

$C_{\text{расх}}$ – цена расходных материалов, необходимых при выполнении ремонтных;

$C_{\text{зп}}$ – расходы, связанные с оплатой труда на выполнение ремонта;

$C_{\text{прост}}$ – расходы, связанные с простоем автобуса.

Суммарные расходы при реализации предупредительных замен на сопутствующие ТО равны:

$$C_{\text{пред}} = C_{\text{дет}} + C_{\text{расх}} + C_{\text{зп}}, \quad (3.9)$$

где $C_{\text{дет}}$ – цена деталей и узлов на реализацию при плановом ТО та же;

$C_{\text{расх}}$ – цена расходных материалов, необходимых при выполнении ремонтных работ могут быть ниже за счет их использования в обустроенном цеху;

$C_{\text{зп}}$ – расходы, связанные с оплатой труда на выполнение ремонта также могут быть меньше, за счет отсутствия необходимости выезда и работы в комфортных условиях.

При этом расходы, связанные с транспортировкой до места непланового ремонта и простоем автобуса отсутствуют.

Таким образом, формальная постановка задачи оптимизации сводится к виду

$$C(t) = C_0(t) + C_{\text{пред}}(t) \rightarrow \min, \quad (3.10)$$

где минимум берется по интервалу реализации предупредительных замен.

Приведенные расходы естественным образом зависят от интенсивности отказов соответствующих узлов или агрегатов, для которых предполагаются предупредительные замены.

3.2.3 Методика расчета оптимальной периодичности на основе ведущей функции потока отказов

Для поиска этих зависимостей предлагается использовать ведущую функцию, которая описывает поток отказов и представляет математическое ожидание количества отказов V_t на временном интервале $(0, t) - H(t) = M(V_t)$ [62, 84].

В данном случае речь идет о процессе с восстановлением. Предполагается, что на $(0, t)$ количество восстановлений равно количеству отказов. В связи с этим, $H(t)$ представляет еще и среднее количество восстановлений. Исходя из определения ведущей функции, среднее количество отказов на временном интервале (t_1, t_2) можно представить, как среднюю разность

$$M(V_{t_2} - V_{t_1}) = M(V_{t_2}) - M(V_{t_1}) = H(t_2) - H(t_1). \quad (3.11)$$

Величина V_t является дискретной. В связи с этим для ее математического ожидания справедливо $H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} nP\{V_t = n\}$. Но

$$P\{V_t = n\} = P\{V_t \geq n\} - P\{V_t \geq n+1\} = F_n(t) - F_{n+1}(t), \text{ где } F_n(t) = P\{V_t \geq n\}. \quad (3.12)$$

Тогда $H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} nF_n(t) - \sum_{n=0}^{\infty} nF_{n+1}(t)$, а объединяя суммы, получим

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} nF_n(t). \quad (3.13)$$

Далее найдем среднее количество отказов на (t_1, t_2) к длительности этого интервала. Оно равно $\frac{H(t_2) - H(t_1)}{t_2 - t_1} H(t)$, а предел это отношения представляет ин-

тенсивность отказов $\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{H(t + \Delta t) - H(t)}{\Delta t} = \frac{dH(t)}{dt}$.

В результате общие расходы для произвольного интервала предупредительных замен будут определяться на основании соотношения.

$$W = N * Z_{to} + H(dTO) * (Z_{to} + Z_{av}), \quad (3.14)$$

где Z_{to} – включает цену узла ($C_{дет}$) вместе с ценой расходных материалов ($C_{расх}$), необходимых при выполнении ремонтных, а также оплатой труда на выполнение ремонта ($C_{зп}$);

Z_{av} – включает расходы на транспортировку ТС до места непланового ремонта ($C_{тра}$), а также расходы, связанные с простоем автобуса ($C_{прост}$);

dTO – определяет период предупредительных замен;

N – количество циклов предупредительных замен на интервале жизненного цикла ТС.

Различие ведущих функций отказов для стратегии с предупредительными заменами и без (Рисунок 3.4) очевидно. При этом среднее количество отказов при стратегии с предупредительными заменами существенно меньше. Но зато расходы на их реализацию больше.

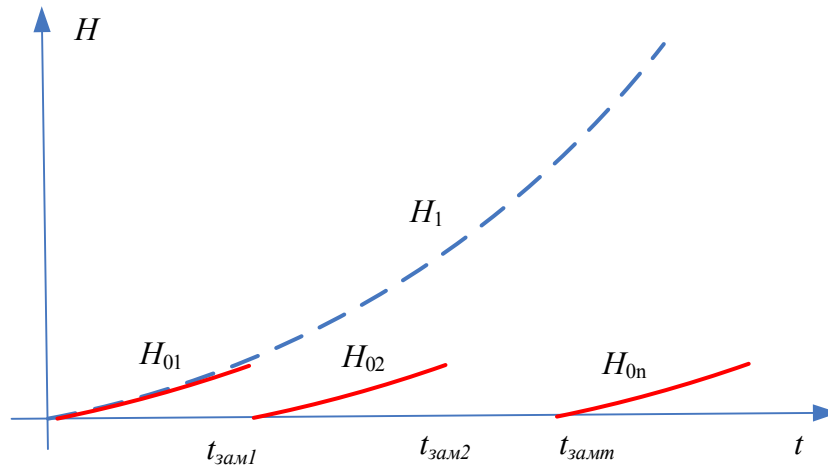


Рисунок 3.4 – Ведущие функции с предупредительными заменами и без

Следующим этапом решается задача подбора такого Δt , который суммарным расходам $C_{\Sigma}(T_{ц})$ на всем жизненном цикле ТС доставляет минимум (Рисунок 3.5).

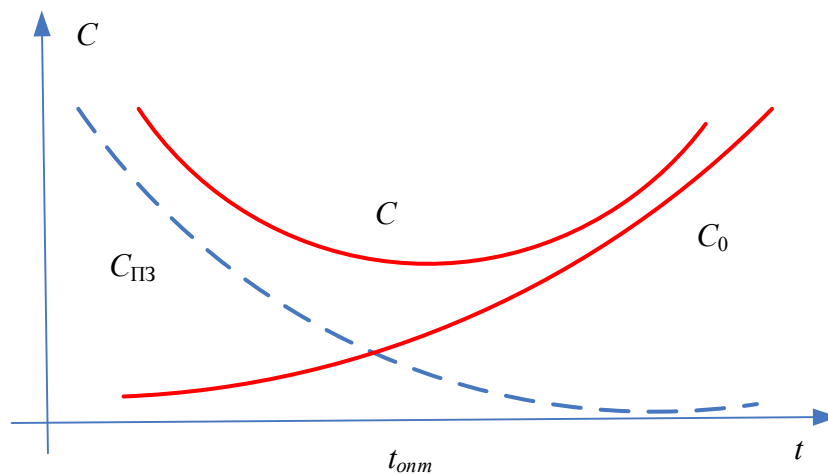


Рисунок 3.5 – Зависимость суммарных затрат от периода ПЗ

Рассмотрим типовые зависимости общих расходов от приведенных параметров. Пусть период эксплуатации будет равен 1000000 км (1000 тыс. км). ТО проводится через каждые 20 тыс. км., расходы на плановую замену узла равны 100 т.р., а расходы на аварийные ситуации равны 85т.р., 185т.р. и 285т.р. Тогда зависимость стоимостного критерия от периодичности предупредительных замен будет иметь вид, приведенный на графике (Рисунок 3.6).

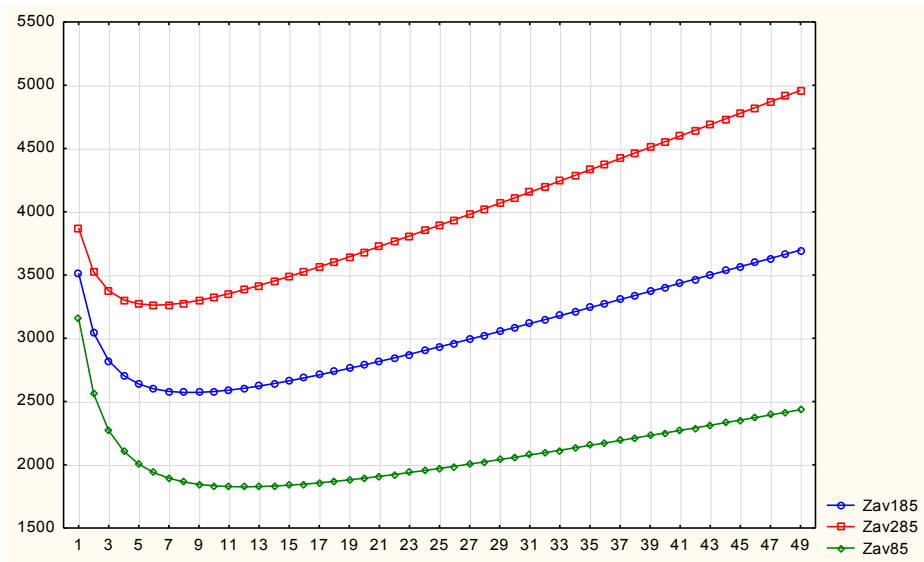


Рисунок 3.6 – Вариации расходами на аварийные ситуации

Далее в работе рассмотрена зависимость стоимостного критерия от формы ведущей функции. Была принята квадратичная аппроксимация функции и для функций (Рисунок 3.7).

$$H_1(t) = 0.003 \cdot t + 0.00001 \cdot t^2,$$

$$H_2(t) = 0.007 \cdot t + 0.000006 \cdot t^2,$$

$$H_3(t) = 0.011 \cdot t + 0.000002 \cdot t^2,$$

$$H_4(t) = 0.0126 \cdot t + 0.0000004 \cdot t^2.$$

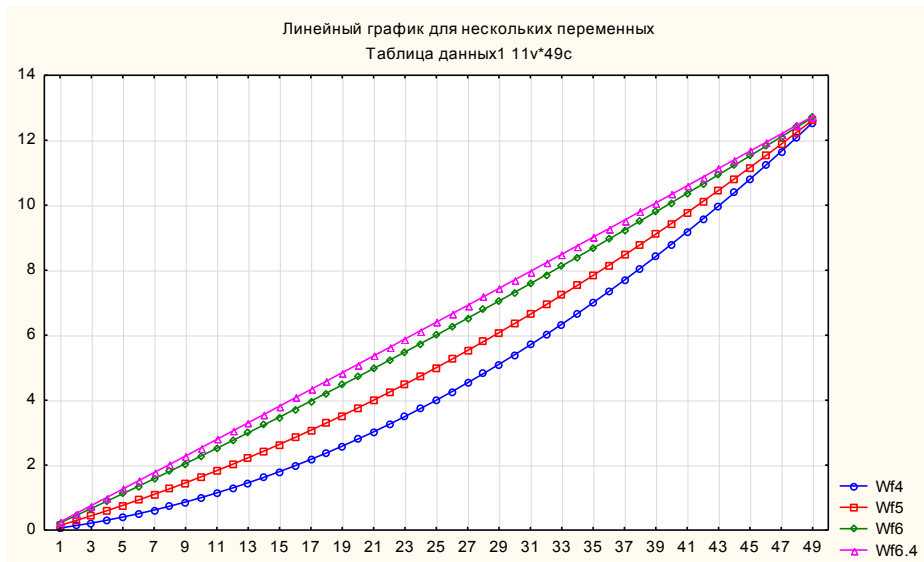


Рисунок 3.7 – Ведущие функции

Для этих функций при значениях $Z_{ot}=100$ т.р. и $Z_{av}=185$ т.р. построены зависимости стоимостного критерия (Рисунок 3.8).

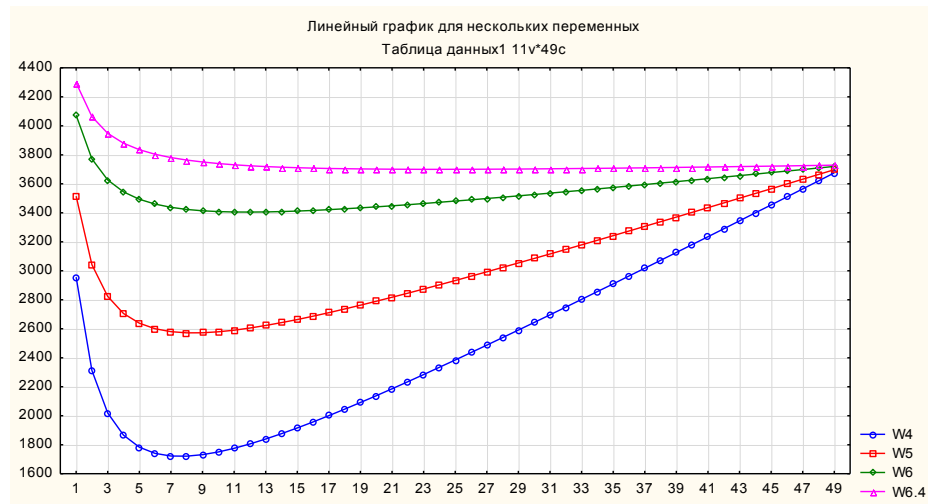


Рисунок 3.8 – Вариации стоимостного критерия по ведущим функциям

Таким образом, предложено предупредительные замены определенных деталей и узлов заднего моста проводить во время проведения ТО различных видов. Результаты расчетов по определению оптимальных периодичностей предупредительных замен деталей и узлов заднего моста автобуса Neiger приведены в главе 4.

3.3 Построение прогнозной модели пробега автобусов

В работе вместе с методикой формирования периодичностей предупредительных замен деталей и узлов заднего моста предлагается методика прогноза пробега автобусов на основе статистического анализа данных.

Так, в рамках проведенного исследования по статистике отказов одного из предприятий транспортного обслуживания с целью построения прогноза интенсивности использования автобусов (среднесуточный пробег) был проведен статистический анализ по данным за последние семь лет (Рисунок 3.9) [4, 18, 22, 55].

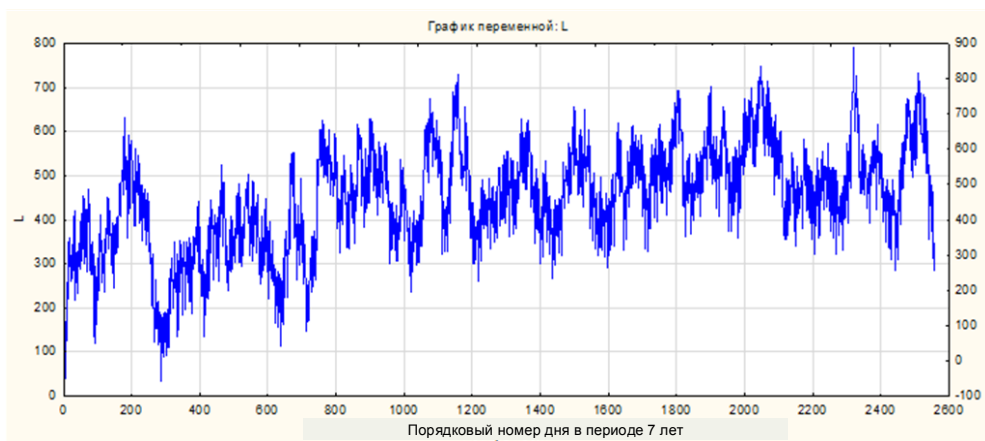


Рисунок 3.9 – Динамика общего пробега автобусного парка

В целом, уже из графика интенсивности использования автобусов видно, что имеет место некоторая тенденция возрастания интенсивности и существует некоторая сезонность перевозок [43, 76].

В рамках подтверждения данных предположений проведен спектральный анализ и построена периодограмма (Рисунок 3.10), явное присутствие двух периодических составляющих на очень низкой частоте и частотах $\sim 0,14$ и $\sim 0,28$, что соответствует годовому периоду (Таблица 3.2) и недельному (Таблица 3.3). Если первые два периода имеют явное обоснование, то для полунедельного цикла сезонности явного обоснования нет, однако он присутствует и статистически значим.

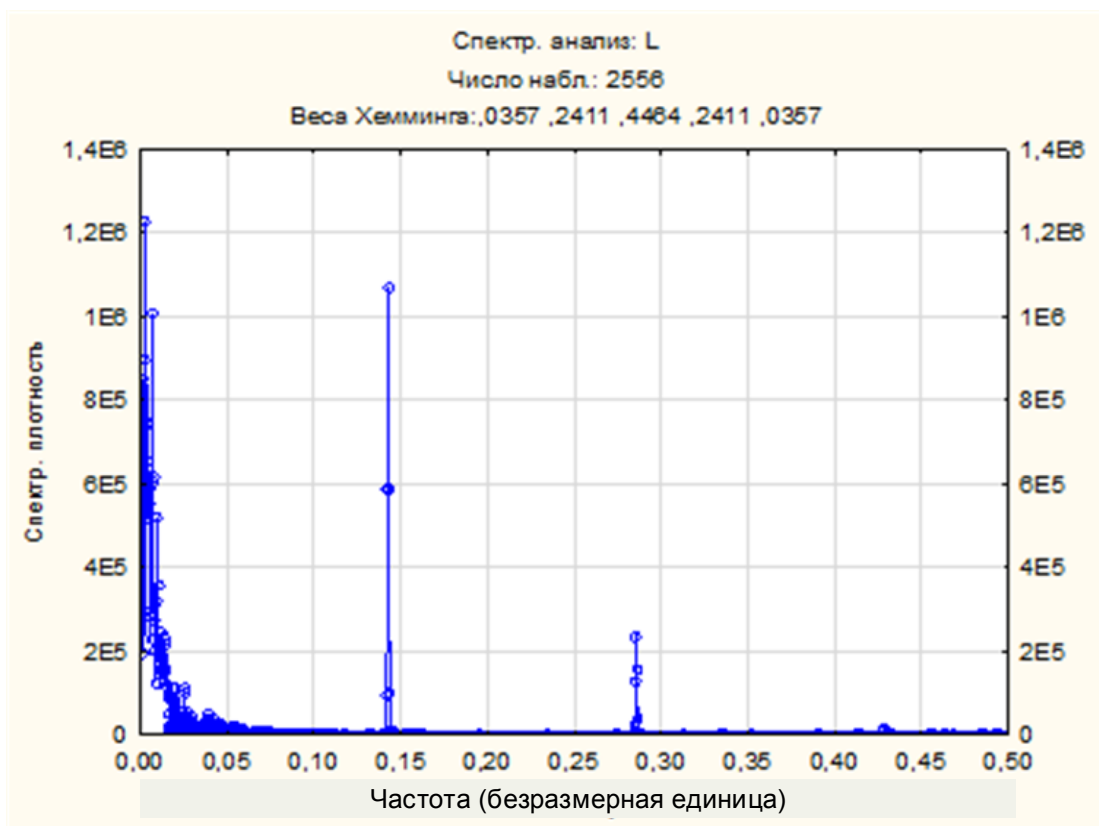


Рисунок 3.10 – Периодограмма временного ряда объемов перевозок

Таблица 3.2 – Таблица спектрального анализа для годового цикла сезонности

Спектр. анализ: L (Таблица данных1)						
Число набл.: 2556						
	Частоту	Период	Косинус коэфф.	Синус коэфф.	Периодограм а	Плотн.
6	0,00234	426,00	-0,0646	3,047	1187	29667
7	0,00273	365,14	-19,603	15,703	80628	89643
8	0,00313	319,50	-41,043	-4,434	217799	122826
9	0,00352	284,00	8,433	-10,248	22513	74507
10	0,00391	255,60	11,211	-4,997	19256	51943

Таблица 3.3 – Таблица спектрального анализа для недельного цикла сезонности

Спектр. анализ: L (Таблица данных1)						
Число набл.: 2556						
	Частоту	Период	Косинус коэфф.	Синус коэфф.	Периодограм а	Плотн.
363	0,142019	7,041	0,0538	2,2678	6576	97897
364	0,142410	7,022	-0,7643	5,4369	38524	586977
365	0,142801	7,003	2,5934	42,8073	235049	106859
366	0,143192	6,984	-0,5023	-5,4261	37957	589390
367	0,143583	6,965	-0,4043	-3,5817	16604	103487

Таблица 3.4 – Таблица спектрального анализа для полунедельного цикла сезонности

Спектр. анализ: L (Таблица данных1)						
Число набл.: 2556						
	Частоту	Период	Косинус коэфф.	Синус коэфф.	Периодограм а	Плотн.
728	0,284820	3,511	2,2407	-0,5502	6804	26150
729	0,285211	3,506	3,1078	-2,0583	17758	127860
730	0,285602	3,501	18,4071	-5,8944	477436	237852
731	0,285993	3,497	-7,8741	1,5399	82268	155008
732	0,286384	3,492	-2,7306	0,5647	9935	42498
733	0,286775	3,487	-1,7780	0,4949	4353	8229

Далее для оценки возможности построения робастной процедуры прогнозирования интенсивностей перевозок проведен анализ автокорреляции временного ряда. Автокорреляционная функция (Рисунок 3.11) имеет достаточно инерционный характер.

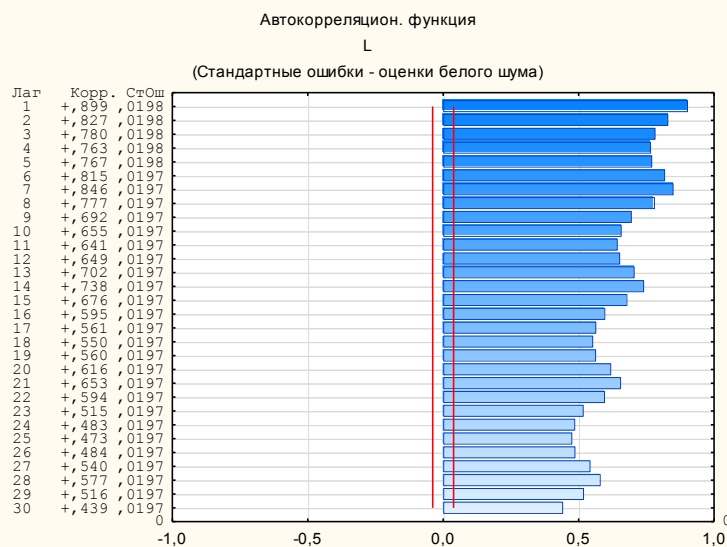


Рисунок 3.11 – Автокорреляционная функция интенсивности использования

Такой характер автокорреляции говорит о том, что имеется возможность построения достаточно адекватного прогноза на месячный период. В общем случае для формирования модели ряда при построении процедур прогноза помимо сезонной составляющей особое место играет тренд процесса. Для оценки тренда

процесса используется регрессионный анализ [4, 27, 55].

Простая регрессия предполагает наличие одной независимой и одной зависимой переменной. Функция считается линейной. Классическая модель простой регрессии задается уравнением:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_i. \quad (3.15)$$

Переменная y_i определяется через линейное преобразование переменной x . Константа β_0 представляет свободный член, а коэффициент β_1 – регрессионный коэффициент. В общем случае основной задачей регрессионного анализа является поиск их оптимальных числовых оценок. Величины $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ представляют некоррелированные ошибки ($\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$) с нулевым средним $M(\varepsilon_i) = 0$ и дисперсией $D(\varepsilon_i) = \sigma^2, i = 1..N$.

При доказательстве основных теоретических положений предполагается, что распределение ошибки починено нормальному закону распределения, хотя в практических ситуациях использования методов это выполняется не всегда.

Основная задача регрессионного анализа – найти значения параметров регрессии β_0 и β_1 , при которых точки будут ближе всего к прямой (Рисунок 3.12).

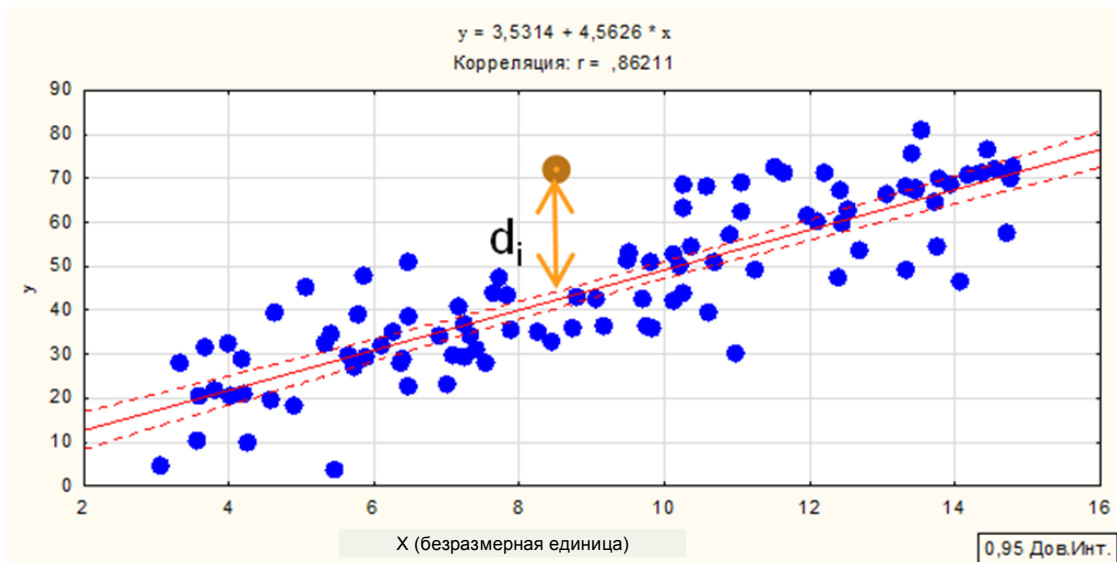


Рисунок 3.12 – Постановка задачи оценки параметров модели простой регрессии

Наиболее часто оценивание параметров регрессии осуществляется на основе метода наименьших квадратов (МНК) [12, 22]. МНК-оценки неизвестных значений параметров регрессии β_0, β_1 получаются в результате минимизации суммы

квадратов отклонений точек, соответствующих экспериментальным данным, от прямой регрессии, т.е. $\sum_{i=1}^n d_i^2 \rightarrow \mathit{min}$.

Таким образом, задача оптимального выбора параметров ставится следующим образом:

$$Q(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \rightarrow \mathit{min}. \quad (3.16)$$

Решение задачи минимизации функционала $Q = Q(\beta_0, \beta_1)$ сводится к вычислению частных производных $Q(\beta_0, \beta_1)$ по β_0 и β_1 и последующего решения системы уравнений.

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = 0 \end{cases}. \quad (3.17)$$

Пользуясь правилами и свойствами вычисления производных суммы и производных сложных функций, получим следующую систему

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \cdot (-1); \quad \frac{\partial S}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \cdot (-x_i) \quad (3.18)$$

В результате решения системы получаем МНК-оценки параметров простой регрессии:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \cdot \bar{x}, \quad \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.19)$$

где \bar{x} и \bar{y} – средние значения соответствующих величин.

Параметры регрессии полностью определяют положение прямой на плоскости. Однако, следует отметить, что выбор зависимой и независимой переменной существенно сказываются на параметрах прямой. Т. е. для регрессионных зависимостей $y(x)$ и $x(y)$ в результате расчета МНК-оценок параметров, прямые не будут совпадать. Пусть $y = \beta_0^x + \beta_1^x x$ и $x = \beta_0^y + \beta_1^y y$ – прямые регрессии. Если предположить, что прямые тождественны, то коэффициенты должны быть связа-

ны соотношениями $\hat{\beta}_0^y = \frac{-\hat{\beta}_0^x}{\hat{\beta}_1^x}$ и $\hat{\beta}_1^y \cdot \hat{\beta}_1^x = 1$. А это в свою очередь приводит к необходимости равенства коэффициента корреляции 1 (т.е. наличия жесткой функциональной зависимости).

На основе приведенной модели регрессионного анализа проведен анализ ряда (Рисунок 3.13), который показал статистически значимое наличие тренда.

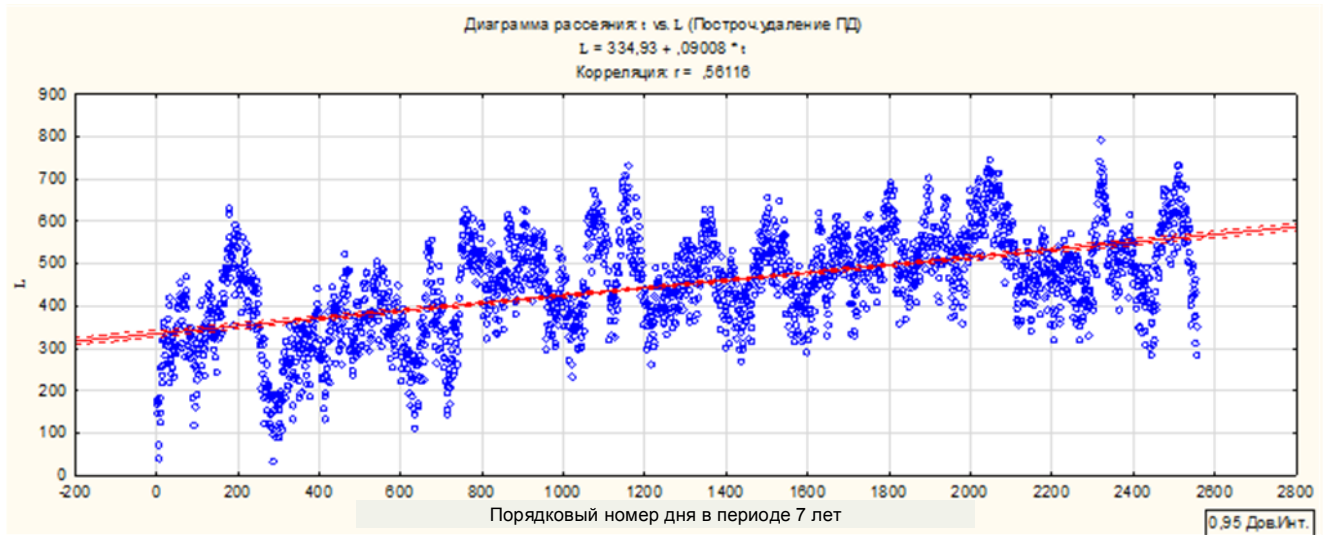


Рисунок 3.13 – Регрессионная модель пробега

Количественные значения оценок параметров регрессии [43, 56] (Таблица 3.5) достаточно значимы. Кроме того, свободный член и наклон имеют статистическую значимость с уровнем выше 0.99.

Таблица 3.5 – Таблица оценок параметров регрессии тренда

		Итоги регрессии для зависимой переменной 'Таблица данных'				
		R= ,56116245 R2= ,31490329 Скоррект. R2= ,31463505				
		F(1,2554)=1173,9 p<0,0000 Станд. ошибка оценки: 98,074				
N=2556	БЕТА	Ст.Ош. БЕТА	В	Ст.Ош. В	t(2554)	p-знач.
Св.член			334,925	3,88089	86,3009	0,00
t	0,56116	0,01637	0,090	0,00262	34,2628	0,00

Свободный член регрессионной зависимости равен 3345, что представляет пробег на начало сбора статистики предприятия, а линейный член 0,09.

Таблица дисперсионного анализа (Таблица 3.6) также подчеркивает наличие сильной статистической значимости по наличию тренда.

Таблица 3.6 – Таблица дисперсионного анализа

Эффект	Дисперсионный анализ; ЗП:(Таблица данных)				
	Сумма квадр.	сс	Средн. квадр.	F	р-знач.
Регресс.	1129161	1	1129161	1173,94	0,00
Остатки	2456579	2554	9619		
Итого	3585741				

Таким образом, показана робастность процедуры прогноза на основе модели регрессионного анализа.

С другой стороны, в результате проведенного статистического анализа интенсивности использования парка автобусов показана возможность построения модели временного ряда (Рисунок 3.14), который можно использовать для повышения качества прогнозирования будущей интенсивности на полтора – два года [33, 76].

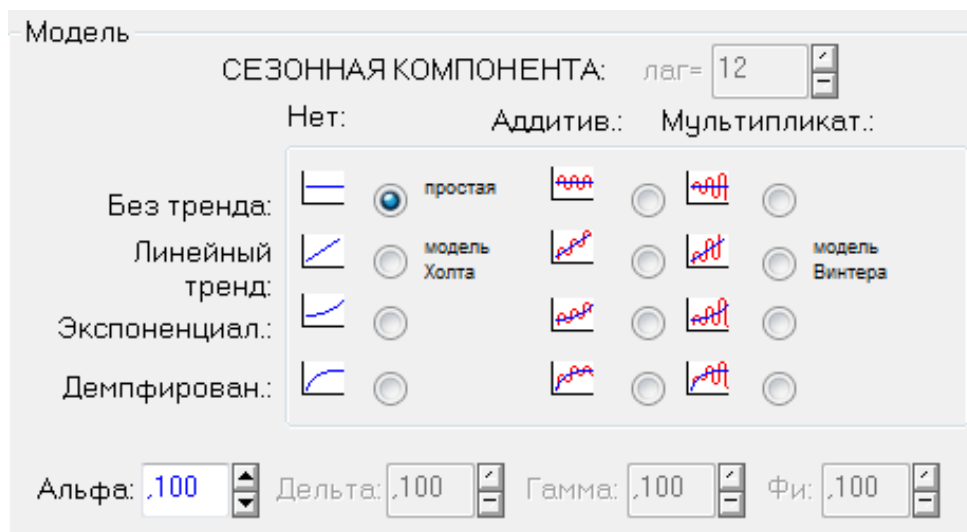


Рисунок 3.14 – Зависимости вероятности отказа и безотказности от пробега

Для реализации прогноза предлагается использование процедур экспоненциального сглаживания, которая вместе с прогнозом по модели регрессии будет давать результирующую комбинацию.

Как видно из рисунка, модель временного ряда в стандартных процедурах прогнозирования может иметь линейный, экспоненциальный и демпфированный тренд. Кроме того, на этот тренд может быть наложена сезонная составляющая как с постоянной амплитудой, так и постоянно возрастающей

Любой временной ряд может быть разложен на две составляющие - детерминированную и случайную:

$$y_t = f(t) + \varepsilon_t. \quad (3.20)$$

Если бы на изучаемом интервале времени коэффициенты уравнения, описывающего тренд, остались бы неизменными, то для построения модели прогноза, вполне оправданным было бы применение метода наименьших квадратов. Однако часто бывает, что в течение анализируемого периода эти коэффициенты меняются во времени. Для коротких временных рядов такие скачки уловить крайне трудно. В подобной ситуации применение метода наименьших квадратов для определения модели прогноза может привести к существенным ошибкам.

Метод *экспоненциального сглаживания* [4, 12] заключается в том, что временной ряд сглаживается с помощью, взвешенной скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. Взвешенная скользящая средняя с экспоненциально распределенными весами характеризует значение процесса на конце интервала сглаживания, т. е. является средней характеристикой последних уровней ряда. Именно это свойство используется для прогнозирования.

Пусть временной ряд ξ_t описывается полиномом p -ой степени

$$y_t = \sum \frac{a_i}{i!} t^i + \varepsilon_t. \quad (3.21)$$

Требуется по данным ряда составить прогноз на моменты времени $(n+l)$, $l=1..L$ путем взвешивания наблюдений ряда y_t таким образом, чтобы более поздним наблюдениям придавались большие веса, чем более ранним.

Экспоненциальной средней первого порядка для ряда y называется ряд

$$S_t^{(1)}(y) = \alpha \sum_{i=0}^n (1-\alpha)^i y_{t-i}, \quad (3.22)$$

где α – параметр сглаживания ($0 < \alpha < 1$).

Экспоненциальной средней k -го порядка ряда y называется ряд

$$S_t^{(k)}(y) = \alpha \sum_{i=0}^n (1-\alpha)^i S_{t-i}^{(k-1)}(y). \quad (3.23)$$

Для экспоненциальных средних справедливо рекуррентное отношение Бра-

уна

$$S_t^{(k)}(y) = \alpha S_t^{(k-1)}(y) + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(k)}(y). \quad (3.24)$$

Последнее отношение показывает, что веса, придаваемые предшествующим наблюдениям, убывают в геометрической прогрессии.

В практических приложениях обычно используются линейные и квадратические модели.

Линейная модель имеет только первые два члена полинома

$$y_t = a_0 + a_1 t + \varepsilon_t. \quad (3.25)$$

На основании теоремы Брауна-Майера получить систему уравнений, связывающих оценку коэффициентов a_0 и a_1 с экспоненциальными средними

$$S_t^{(1)}(y) = \hat{a}_0 + \frac{1 - \alpha}{\alpha} \hat{a}_1, \quad S_t^{(2)}(y) = \hat{a}_0 + \frac{2(1 - \alpha)}{\alpha} \hat{a}_1. \quad (3.26)$$

Решая систему относительно оценок \hat{a}_0 и \hat{a}_1 , получим

$$\begin{aligned} \hat{a}_0 &= 2S_t^{(1)}(y) - S_t^{(2)}(y) \\ \hat{a}_1 &= \frac{\alpha}{1 - \alpha} [S_t^{(1)}(y) - S_t^{(2)}(y)]. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Прогноз для линейной модели рассчитывается по формуле $y_{t+l} = \hat{a}_0 + l \cdot \hat{a}_1$.

Для реализации процедуры необходимо выбрать модель временного ряда. Наша модель имеет тренд и сезонную составляющую (недельную). Годовую можно не учитывать, поскольку прогноз более чем на два - три месяца делать не целесообразно.

В результате выполнения процедуры вместе с исходным рядом дается прогнозный ряд и ошибка прогноза.

Естественно, что полученные результаты прогнозной модели по интенсивности использования подвижного состава позволяют оценить интенсивность отказов соответствующих деталей и узлов, что требует различной периодичности ТО.

Информационной основой для решения задачи прогнозирования являются: нормативная наработка детали или комплекта деталей до первой и последующих замен; стоимость запасных частей (по всей номенклатуре); пробеги каждого из автобусов с начала эксплуатации, после последнего ТО, после замены конкретных

деталей или комплекта деталей, по которым предусматривается выполнение ПР; среднесуточные пробеги по каждой модели автобуса; нормативная трудоемкость проведения ТО-2 и ПР по всей номенклатуре технических воздействий и всем моделям автобусов.

В результате решения данной задачи получаем: общее (в номенклатуре и по моделям автобусов) число операция ПР; общая нормативная трудоемкость этих операций; количество необходимых запасных частей (в номенклатуре); стоимость запасных частей по моделям.

На основании полученной информации составляются долгосрочные прогнозы в деталях и узлах, необходимых для поддержания парка автобусов в работоспособном состоянии.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Предложена последовательная модель надёжности заднего моста автобуса, в которую включены наименее надежные детали и узлы, что подтверждено статистикой отказов, полученной в результате эксплуатации автобусов в автобусном предприятии. Показано, что при найденных параметрах модели надежности Вейбулла, она может быть с достаточной адекватностью заменена моделью Релея, для которой предложена схема расчета показателей надежности деталей заднего моста.

2. Рассмотрены возможные критерии для решения задачи оптимизации периодичностей предупредительных замен деталей заднего моста. Предложена оптимизационная постановка задачи расчета периодичности предупредительных замен на основе комплексных показателей технической готовности и ценового критерия.

3. Сформулирована модель для определения оптимальных периодичностей проведения предупредительных замен деталей и узлов заднего моста автобуса на

основе минимума затрат на поддержание работоспособности заднего моста в зависимости от периодичности ППЗ, с учетом расчета ведущих функций отказов.

4. Выполнен статистический анализ данных по пробегу автобусов предприятия за семь лет. На основе полученной статистики построена трендовая модель прогноза годового пробега автобусов для подконтрольного автобусного предприятия, сочетающая регрессионную составляющую по тренду и сезонную компоненту.

ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В четвертой главе диссертации рассматриваются вопросы внедрения предложенных методов и моделей. Даны методические рекомендации по использованию разработанных в диссертации методов, методик. Получены прогнозные значения на общий пробег автобусного парка. Рассчитаны значения периодичности предупредительных замен. Выполнено формальное описание БП управления ТОР. Приведены программные формы автоматизированной системы управления АТП, в котором реализовано внедрение.

4.1 Трендовая модель и прогноз годового пробега автобусов АТП

В рамках обследования предприятия использовались данные по пробегу всего парка автобусов за последние 7 лет (Таблица 4.1 и Рисунок 4.1) по ежемесячным данным.

Таблица 4.1 – Данные по пробегу парка ТС, тыс. км

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Январь	107,823	125,305	128,416	158,247	152,398	186,271	193,107
Февраль	105,396	127,755	145,074	151,913	178,943	184,552	205,189
Март	107,823	130,698	131,767	164,964	166,731	180,432	209,517
Апрель	121,265	129,509	138,563	149,84	164,832	194,833	199,417
Май	124,375	138,808	149,052	161,974	162,633	171,817	202,335
Июнь	111,474	113,677	139,896	169,189	171,845	177,233	210,403
Июль	126,994	139,041	127,592	149,567	160,446	174,938	206,392
Август	118,2	139,279	147,137	162,552	170,867	187,973	195,033
Сентябрь	104,263	131,865	159,562	150,972	178,34	176,316	194,504
Октябрь	119,452	144,117	146,257	158,219	177,447	200,581	216,308
Ноябрь	105,199	129,754	146,252	173,698	164,465	191,206	202,52
Декабрь	108,906	140,743	156,982	159,671	188,673	203,891	196,237

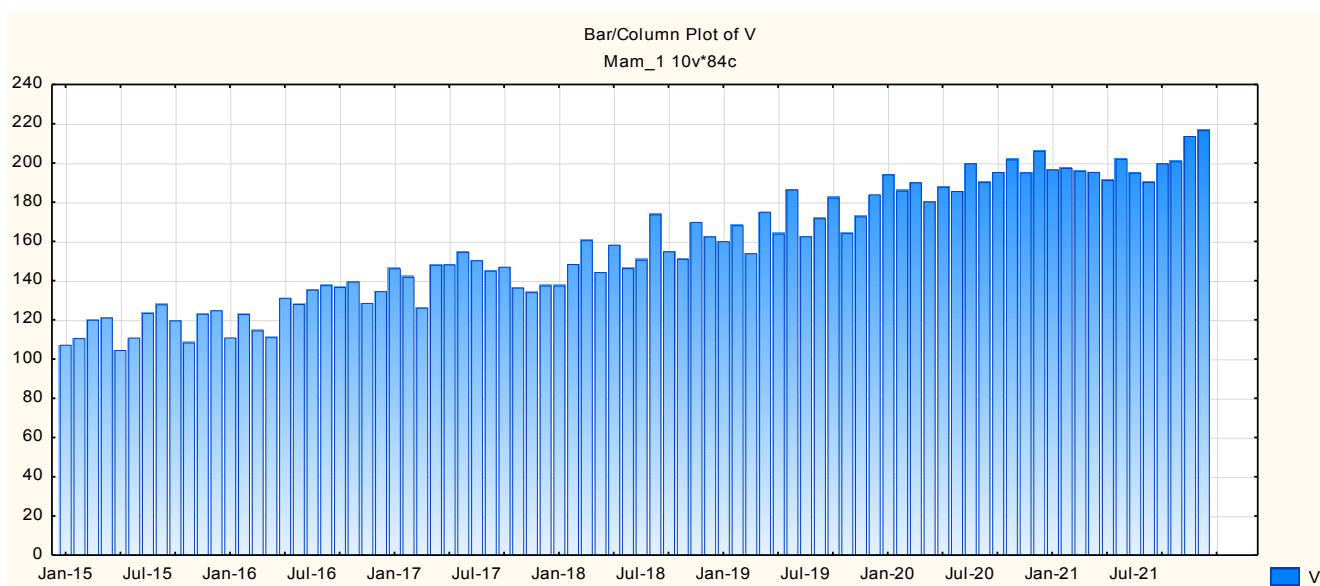


Рисунок 4.1 – График пробега автобусного парка, тыс. км

Для оценки возможности построения модели прогноза построена автокорреляционная функция пробега (Рисунок 4.2).

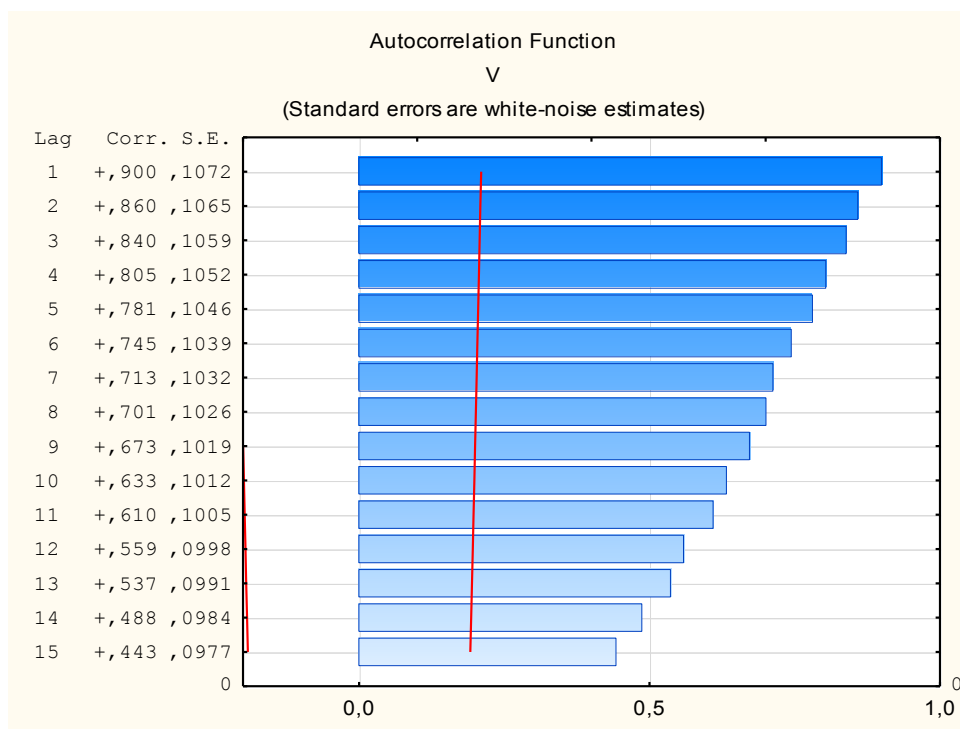


Рисунок 4.2 – Автокорреляционная функция общего пробега

Для построения прогноза использовалось два метода: регрессионный анализ и экспоненциальное сглаживание. Модель регрессионного анализа дала результат (Рисунок 4.3).

$$Y=106.19+1.2086*N.$$

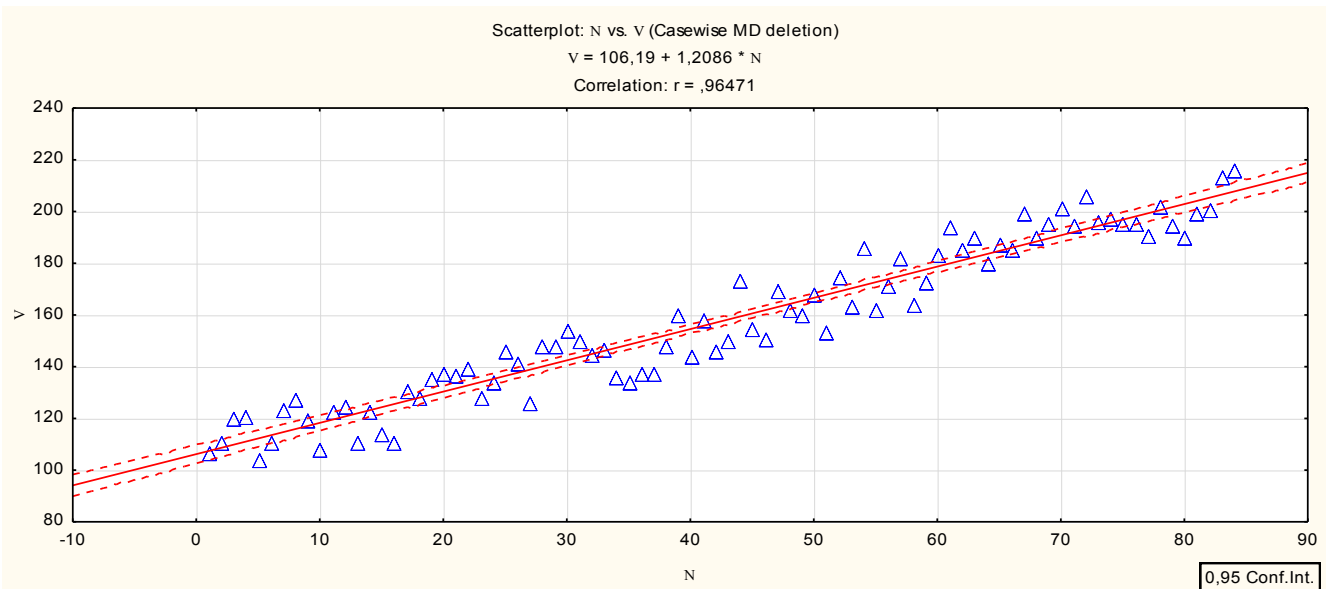


Рисунок 4.3 – Модель регрессионного анализа по месяцам

По модели регрессионного анализа в качестве прогноза на 2022 год были получены результаты, представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты прогноза по модели регрессионного анализа

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
208,9	210,1	211,3	212,5	213,7	215,0	216,2	217,4	218,6	219,8	221,0	222,2

Далее в работе выполнен прогноз по модели экспоненциального сглаживания (Рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – График прогноза по модели экспоненциального сглаживания

Для полученной модели прогноза выполнен анализ различных ошибок, а именно: средней, средней абсолютной, средней процентной и др. (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Таблица оценок ошибки прогноза

Exp. smoothing: S0=106,3 T0=1,316 (Mam_1) Lin.trend,no season; Alpha= ,100 Gamma=,100 V	
Summary of error	Error
Mean error	-0,27237574149
Mean absolute error	7,13403297639
Sums of squares	6128,81750040986
Mean square	72,96211310012
Mean percentage error	-0,46109047398
Mean abs. perc. error	4,70761262356

Сами результаты прогноза на 2022 год для общего пробега автобусного парка по модели экспоненциального сглаживания представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Прогнозные значения по модели экспоненциального сглаживания

Exp. smoothing: S0=106,3 T0=1,316 (Mam_1) Lin.trend,no season; Alpha= ,100 Gamma=,100 V			
Case	V	Smoothed Series	Resids
80	189,9910	205,7729	-15,7819
81	199,4270	205,2338	-5,8068
82	200,4770	205,6342	-5,1572
83	213,3840	206,0480	7,3360
84	216,2600	207,7844	8,4756
85		209,7196	
86		210,8072	
87		211,8948	
88		212,9825	
89		214,0701	
90		215,1577	
91		216,2453	
92		217,3329	
93		218,4205	
94		219,5081	
95		220,5958	
96		221,6834	

Между этими моделями прогноза имеется некоторое различие. В связи с этим в качестве базовой модели предлагается взвешенная комбинация этих двух прогнозов с равными коэффициентами (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Результирующий прогноз

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
209,3	210,5	211,6	212,8	213,9	215,1	216,2	217,4	218,5	219,6	220,8	221,9

Полученные данные могут быть использованы для расчета объемов запасов узлов заднего моста

4.2 Формирование оптимальных периодичностей предупредительных замен деталей и узлов заднего моста

Далее в результате диссертационных исследований на основе полученных показателей распределения Вейбулла сформирована база данных ведущих функций для основных узлов и деталей заднего моста (Рисунок 4.5).

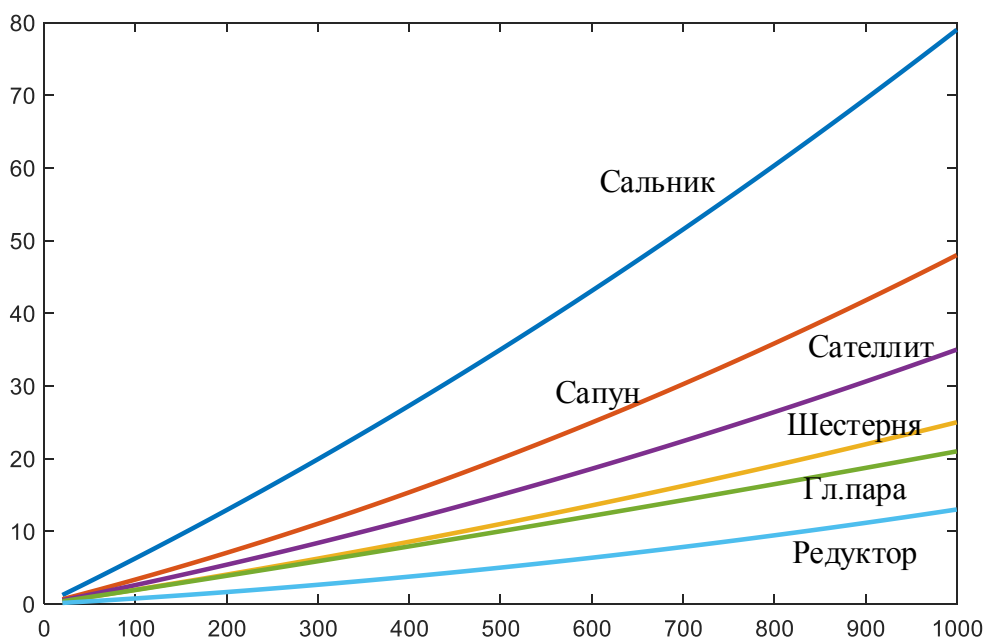


Рисунок 4.5 – Ведущие функции потока отказов узлов ЗМ

На основании предложенной в главе 3 методики предупредительных замен на основе стоимостного критерия в работе проведен расчет циклов ТО для значений, представленными инженерным составом предприятия по временным и финансовым ресурсам для выполнения всех необходимых работ как по реализации предупредительных замен, так и работ в случае аварийных ситуаций (Таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Таблица показателей

	Ц _д	Р _{дн}	Чел	Т _{ож}	Z _{то}	Z _{ав}
Сапун	1	1	1	1	8	50
Сальник	10	1	2	1	24	50
Гл. пара	115	2	3	7	157	140
Сателлит	80	2	3	21	122	350
Шестерни	50	1	2	14	64	245
Редуктор	900	2	2	70	928	1085

В таблице сформирован следующий список показателей:

C_d – стоимость узла (тыс. руб);

$P_{дн}$ – время ремонтных работ (дни);

Чел – состав рабочей бригады (чел);

$T_{ож}$ – время доставки узла (дни);

$Z_{то}$ – затраты на плановый работы (тыс. руб);

$Z_{ав}$ – затраты на аварийные работы (тыс. руб);

Данные рассчитывались исходя из средней зарплаты 7 тыс.руб / день, простоя автобуса исходя из 15 тыс.руб / день и транспортировки автобуса в случае отказа на линии – 35–50 т.р.

На основе показателей данной таблицы получены зависимости критерия стоимости от периодичности предупредительных замен для всех основных узлов заднего моста (Рисунки 4.6–4.8), в результате чего определены рациональные периодичности предупредительных замен (Таблица 4.7).

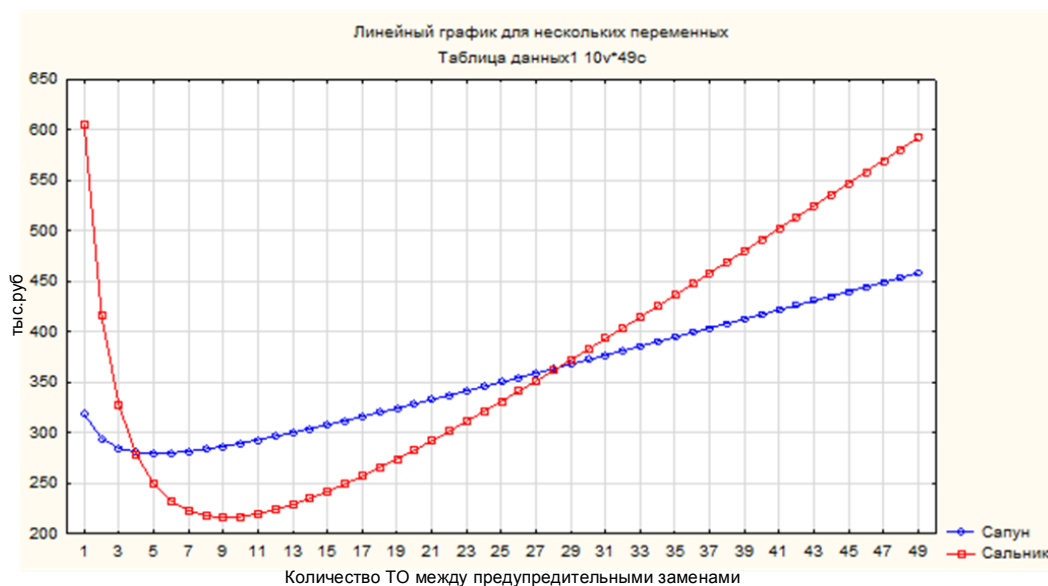


Рисунок 4.6 – Стоимостной критерий для сапуна и сальника

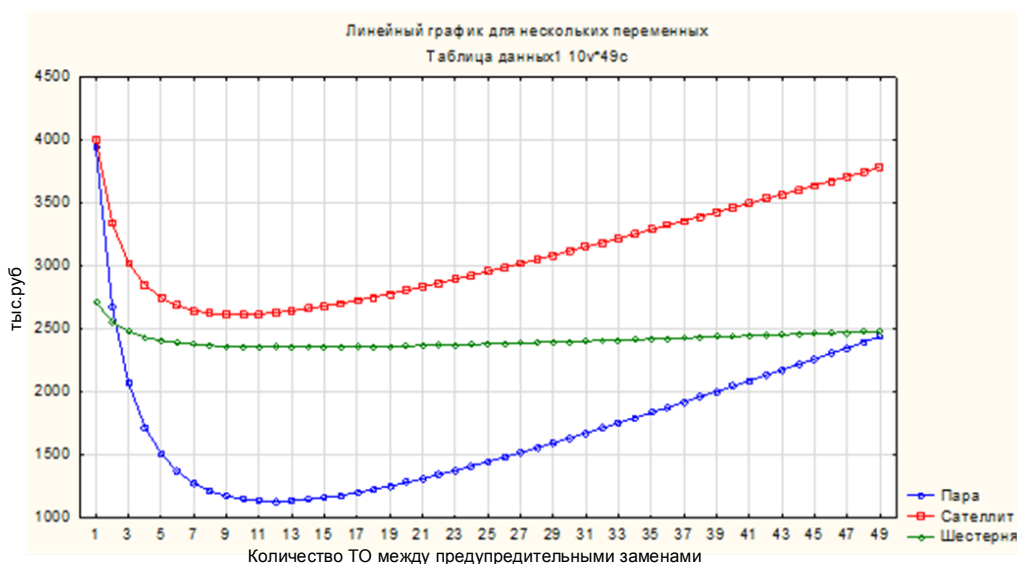


Рисунок 4.7 – Стоимостной критерий для пары, сателлита и шестерни

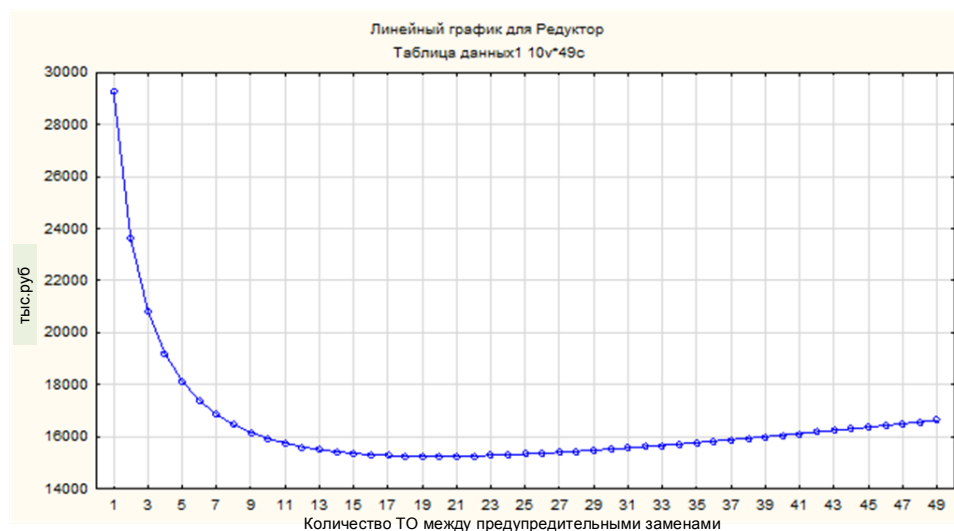


Рисунок 4.8 – Стоимостной критерий для редуктора

В результате полученных рекомендаций можно рассчитать сокращение расходов на обслуживание заднего моста автобуса исходя из сравнительного анализа периодичности, которая используется в практике автобусного парка и предложенной периодичности.

В таблице 4.7 приведены численные значения общих затрат на замену каждого узла в зависимости от периодичности предупредительных замен. В заштрихованной ячейках таблицы указаны конкретные расходы в зависимости от периода для рекомендуемых периодов. Эти данные соответствуют графикам (Рисунки 4.6–4.8).

Таблица 4.7 – Общие затраты на замену узлов

№ ТО	тыс.км	Сапун	Сальник	Гл. пара	Сателлит	Шестерни	Редуктор
1	20	318,3	605,9	3948,8	4012,9	2714,9	29279,3
2	40	294,2	415,8	2680,0	3342,3	2556,5	23626,0
3	60	284,4	326,6	2069,4	3026,0	2479,7	20839,7
4	80	280,4	277,9	1722,1	2851,2	2435,7	19200,1
5	100	279,3	249,3	1506,3	2747,3	2407,9	18133,8
6	120	279,9	232,3	1365,8	2683,9	2389,5	17395,2
7	140	281,4	222,5	1272,3	2645,8	2377,0	16861,4
8	160	283,7	217,5	1210,1	2624,5	2368,3	16464,1
9	180	286,4	215,9	1169,9	2615,1	2362,4	16162,4
10	200	289,5	216,7	1145,6	2614,2	2358,4	15930,2
11	220	292,8	219,4	1133,3	2619,7	2355,9	15750,1
12	240	296,3	223,5	1130,2	2630,3	2354,6	15610,1
13	260	300,0	228,6	1134,3	2644,7	2354,1	15501,6
14	280	303,8	234,7	1144,3	2662,2	2354,4	15418,3
15	300	307,8	241,5	1158,9	2682,3	2355,3	15355,4
16	320	311,8	248,9	1177,4	2704,4	2356,6	15309,5
17	340	315,8	256,8	1199,1	2728,3	2358,4	15277,6
18	360	320,0	265,1	1223,5	2753,6	2360,4	15257,5
19	380	324,2	273,7	1250,2	2780,2	2362,8	15247,5
20	400	328,4	282,7	1279,0	2807,8	2365,4	15246,1
21	420	332,6	291,9	1309,4	2836,4	2368,2	15252,2
22	440	336,9	301,3	1341,3	2865,7	2371,2	15264,7
23	460	341,3	311,0	1374,5	2895,8	2374,4	15282,9
24	480	345,6	320,8	1408,9	2926,5	2377,7	15306,1
25	500	350,0	330,8	1444,2	2957,7	2381,2	15333,7
26	520	354,4	340,9	1480,5	2989,4	2384,7	15365,2
27	540	358,8	351,1	1517,6	3021,5	2388,3	15400,2
28	560	363,2	361,5	1555,4	3054,1	2392,1	15438,3
29	580	367,7	371,9	1593,8	3086,9	2395,9	15479,3
30	600	372,1	382,5	1632,8	3120,1	2399,8	15522,8

В результате анализа таблицы 4.7 сформирована таблица сравнительного анализа оценки расходов (Таблица 4.8). Для каждого агрегата в столбце «Минимум», тыс.км. указана рекомендуемая величина пробега между заменами, доставляющая минимум по общим расходам в течении жизненного цикла (7 лет) для одного автобуса. В столбце «Минимум», тыс. руб. указываются эти минимальные расходы. В столбце «Были» тыс.км. указывается пробег между заменами, который

был принят на предприятии, а в столбце «Были» тыс.руб. указывается расходы, которые сопровождаются при данном пробеге. В результате формируется столбец «Экономия», представляющий разность между расходами.

Таблица 4.8 – Сравнительный анализ периодичности замен

Агрегат	Минимум		Были		Экономия
	тыс.км	тыс.руб	тыс.км	тыс.руб	
Сапун	100	279,3	300	307,8	28,5
Сальник	180	215,9	300	241,5	25,6
Гл.пара	240	1130,2	300	1158,9	28,7
Сателлит	200	2614,2	300	2682,3	68,1
Шестерня	260	2354,1	500	2381,2	27,1
Редуктор	400	15246,1	500	15333,7	87,6

Таким образом, последняя таблица показывает, что суммарное снижение затрат от выбора рекомендуемой периодичности предупредительных замен узлов заднего моста составляет 267,6 тыс.руб. за весь жизненный цикл одного автобуса, или 37,9 тыс. руб в год на один автобус.

Таким образом, в работе выполнены исследования по выбору рациональной периодичности предупредительных замен деталей и узлов заднего моста автобусов большого класса в условиях стоимостного критерия и получены рекомендации по периодичностям предупредительных замен (Рисунок 4.9), в том числе, замена: сапуна – 100 тыс. км; сальников – 180 тыс. км.; шестерни – 260 тыс. км.; редуктор в сборе – 400 тыс. км.

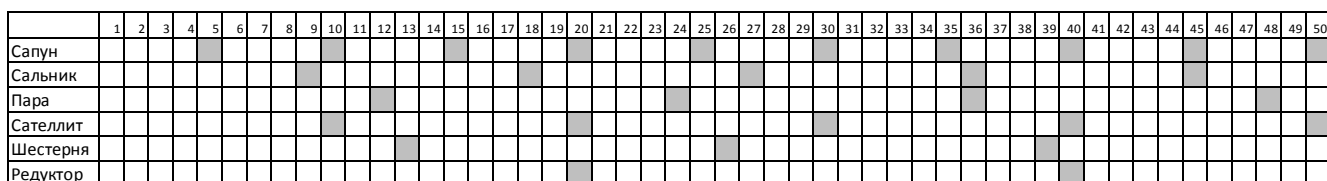


Рисунок 4.9 – График проведения предупредительных замен

Найденные значения периодичностей позволяют более рационально решать задачи управления запасами основных узлов и агрегатов ЗМ автобусов большого класса.

Оценка эффективности внедрения предлагаемых режимов ПЗ деталей и узлов ЗМ может быть произведена на основе оценки повышения уровня работоспособности ЗМ. Основным показателем уровня работоспособности является коэф-

коэффициент технической готовности (КТГ), который определяется как отношение времени нахождения автомобиля в исправном состоянии к общему времени нахождения автомобиля в эксплуатации [116]:

$$\text{КТГ} = \text{АДэ}/(\text{АДэ}+\text{АДр}), \quad (4.1)$$

где АДэ – число автомобиле-дней в исправном состоянии;

АДр – число автомобиле-дней в ТО и ремонте.

Отметим, что для нашего случая для одного автобуса $\text{АДэ}+\text{АДр} = 365$.

Общая продолжительность простоев в ремонте по устранению отказов i -той детали за период наблюдений до внедрения системы предупредительных замен (СПЗ) $\text{АД}_р^i$ определяется как произведение количества отказов N^i на суммарную величину простоев в ремонте $P_{\text{дн}}^i$ и в ожидании ремонта $T_{\text{ож}}^i$:

$$\text{АД}_р^i = N^i * (P_{\text{дн}}^i + T_{\text{ож}}^i). \quad (4.2)$$

Общая продолжительность простоев в ремонте после внедрения системы предупредительных замен (СПЗ) $\text{АД}_{\text{пзр}}^i$ определяется как сумма простоев при выполнении ПЗ $\text{АД}_{\text{пз}}^i$ и простоев на устранение внезапных отказов $\text{АД}_{\text{рпз}}^i$:

$$\text{АД}_{\text{пзр}}^i = \text{АД}_{\text{пз}}^i + \text{АД}_{\text{рпз}}^i \quad (4.3)$$

Продолжительность простоев при проведении ПЗ определяется как произведение их количества за период наблюдений на величину нормативного простоя при проведении одной ПЗ:

$$\text{АД}_{\text{пз}}^i = (L_{\text{общ}}/l_{\text{пз}}^i) * P_{\text{дн}}^i \quad (4.4)$$

Продолжительность простоев при устранении внезапных отказов $\text{АД}_{\text{рпз}}^i$ определяется как произведение количества этих отказов на величину нормативного простоя при устранении одного отказа. Количество внезапных отказов при функционировании СПЗ можно определить исходя из их общего количества и вероятности отказа в рассматриваемом периоде наблюдений. Мы устанавливали периодичность ПЗ с учетом обеспечения вероятности безотказной работы $\text{ВБР} = 0,9$, т.е. вероятность отказа составляет $P_{\text{отк}} = 0,1$. Таким образом,

$$\text{АД}_{\text{рпз}}^i = 0,1 * N^i * P_{\text{дн}}^i \quad (4.5)$$

Подставляя полученные выражения в формулу (3П), получим:

$$\text{АД}_{\text{пзр}}^i = (L_{\text{общ}}/l_{\text{пз}}^i) * P_{\text{дн}}^i + 0,1 * N^i * P_{\text{дн}}^i \quad (4.6)$$

Внедрение СПЗ естественным образом приводит к сокращению времени нахождения автобусов в ремонте и к соответствующему повышению основного показателя уровня работоспособности – коэффициента технической готовности. Собственно, величина увеличения КТГ_{изм}ⁱ вследствие внедрения СПЗ и является показателем-измерителем увеличения уровня работоспособности агрегата, для которого эта система разрабатывалась, в нашем случае, для заднего моста. Сокращение продолжительности простоев в ТО и ремонте приводит к соответствующему увеличению продолжительности нахождения автобусов в технически исправном состоянии, т. е.

$$\begin{aligned} \text{КТГ}_{\text{изм}}^i &= (N^i * (P_{\text{дн}}^i + T_{\text{ож}}^i) - (АД_{\text{пз}}^i + АД_{\text{рпз}}^i)) / (АД_{\text{э}} + АД_{\text{р}}) = \\ &= (N^i * (P_{\text{дн}}^i + T_{\text{ож}}^i) - ((L_{\text{общ}} / I_{\text{пз}}^i) * P_{\text{дн}}^i + 0,1 * N^i * P_{\text{дн}}^i)) / 365 * 3 * 14 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Исходные данные и результаты расчетов КТГ_{изм}ⁱ сведены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет изменения КТГ

Деталь, узел	N ⁱ	P _{дн}	T _{ож}	АД _р ⁱ	I _{пз} ⁱ	АД _{рпз} ⁱ	АД _{пз} ⁱ	АД _{пзр} ⁱ	АД _{изм}	КТГ _{изм} ⁱ
Сапун	79	1	1	158	80	7,9	75,6	83,5	74,5	0,005
Сальник	48	1	1	96	100	4,8	42,0	46,8	49,2	0,003
Гл. пара	25	2	7	225	240	5	63	68	157	0,010
Сателлит	35	2	21	805	200	7	75,6	82,6	722,4	0,047
Шестерни	21	1	14	315	300	2,1	29,1	31,2	283,8	0,019
Редуктор	13	2	70	936	360	2,6	37,8	40,4	895,6	0,058
Всего	221			2535		29,4	323,1	352,5	2182,5	0.142

В таблице приведены показатели:

Nⁱ – общее количество отказов i-той детали;

P_{дн} – время устранения отказа (дни);

T_{ож} – время ожидания доставки детали/узла (дни).

Таким образом, внедрение системы предупредительных замен для деталей и узлов ЗМ позволяет повысить уровень работоспособности автобусов на 14,2 %, при этом время нахождения автобусов на линии может быть увеличено на 727 авт-дней в год. Принимая, что 1 день работы автобуса на линии приносит доход

25 тыс. руб, получим увеличение годового дохода предприятия 18,175 млн. руб / год.

4.3 Программная поддержка БП управления ТО и ремонтом

В рамках внедрения методов и моделей, разработанных в диссертации, для системы управления предприятием разработаны некоторые интерфейсные формы разработанных предложенных методов с программной системой управления предприятием. Из базы данных системы берется вся информация по ремонту и обслуживанию. Кроме того, предложено использовать методы и модели управления запасами, согласованные с результатами моделирования периодичности ТО и ремонта.

С использованием специального АРМ «*Планирование выпуска ТС*» в программе имеется возможность генерации плана выпуска автобусов с суточными разрядами, которая выполняется с учетом различных графиков работы ТС, а также режимов работы водителей. Имеется возможность эффективного оперативного планирования с удобным интерфейсом отображения текущей работы автобусов (Рисунок 4.10).

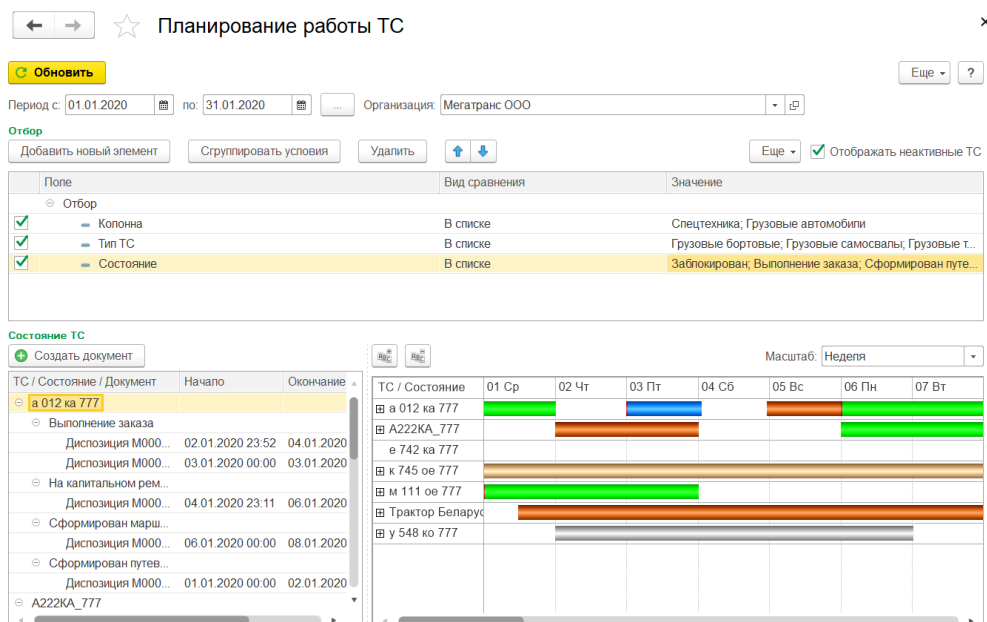


Рисунок 4.10 – Планирование выпуска ТС

С использованием специального АРМ «*Анализ и учет эксплуатационных показателей*» на основе анализа выданных путевых листов в ПО собирается вся информация по выработке ТС и ТЭП (Рисунок 4.11):

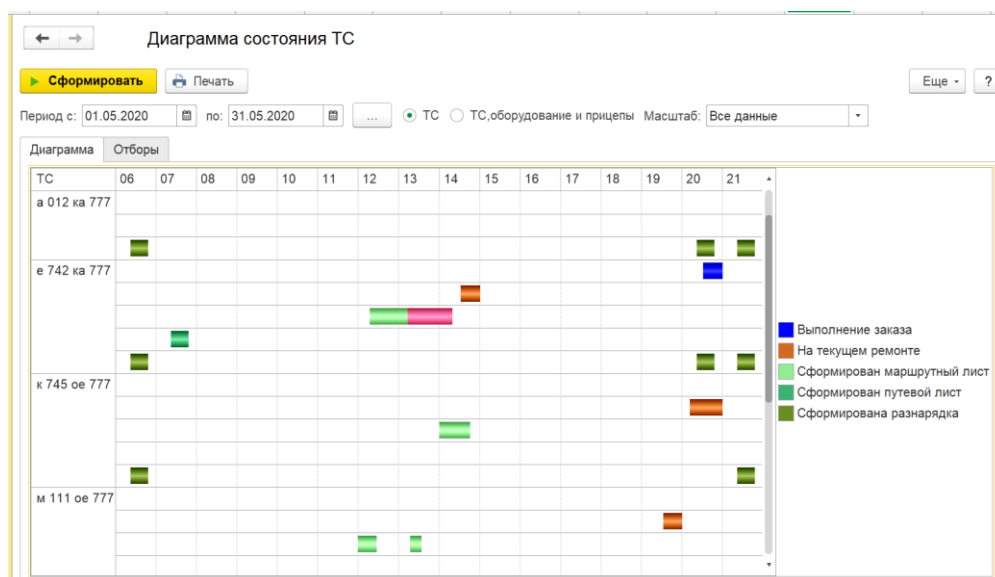


Рисунок 4.11 – Учет и анализ технико-эксплуатационных показателей работы техники

При этом могут быть доступны функции включения отдельных отчетов:

- карточка работы ТС;
- наработка оборудования в моточасах;
- выработка транспортных средств;
- пробег ТС;
- диаграмма состояния ТС (в виде диаграммы Ганта);
- и другие.

С использованием специального АРМ «*Учет плановых ТО и ремонтов автобусов*» ПО имеет возможность учитывать использование различные видов ТО автобусов.

В рамках расширения возможностей имеющегося ПО в данную форму включены возможности запуска предложенных в диссертации моделей настройки периодичности ТО в зависимости от используемых параметров выработки (наработка в моточасах, пробег и т. д.), а также от временных показателей, имеющих в календарном плане (Рисунок 4.12). Для каждого типа ТО, ремонта и предупредительных замен добавлена возможность включения новых моделей ТС с указа-

нием списка запчастей, агрегатов и узлов, а также списка работ. Предусматривается возможность интерфейсного взаимодействия с Excel.

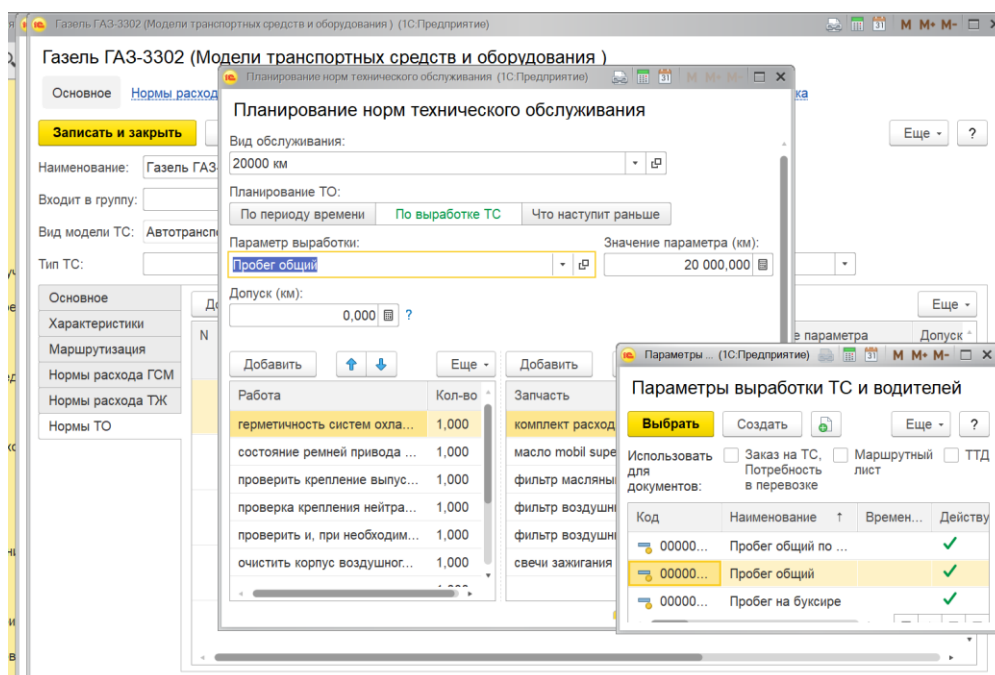


Рисунок 4.12 – Учет плановых ТО и ремонтов автомобилей

- контроль статуса текущей заявки.
- учет заявок на ТОР.
- учет ТО по книжке.
- координация документов заявок на ремонтный лист и на ремонт.
- учет плановых ТО и автобусов.
- формирование и оценка плана загрузки ремонтных площадок.
- выдача форм «Требование-накладная» из документа «Ремонтный лист».
- контроль и учет операций с агрегатами.
- учет шин и иной дополнительной комплектации.

С использованием специального АРМ «Ремонты» доступен учет проводимых ТО и ремонтов как на собственных ремонтных участках, так и в сторонних ремонтных предприятиях (Рисунок 4.13).

Рисунок 4.13 – Форма – ремонты в собственных и сторонних цехах

В рамках расчета возможностей и планирования загрузки собственных ремонтных участков имеется функция «*Планирование загрузки ремонтных цехов*».

С использованием специального АРМ «*Складской учет запчастей и расходных материалов*» ПО имеет возможность основных манипуляций с запасными частями:

- внутреннее перемещение номенклатур между складами;
- учет поступления запчастей, топлива, ТЖ и расходных материалов на склад;
- возможность проведения инвентаризаций;
- списание товаров на автомобиль;
- контроль актуальных остатков товаров на складах.

Имеется возможность анализа движение запчастей на складах. Для учета остатков разработан множество удобных форм.

Склад	Номенклатура	Начальный остаток		Приход		Расход		Конечный остаток	
		Количество	Стоимость без НДС (регн)	Количество	Стоимость без НДС (регн)	Количество	Стоимость без НДС (регн)	Количество	Стоимость без НДС (регн)
Склад ГСМ				1 649,000	54 805,09	10,000	313,56	1 639,000	54 491,53
	Англизир			51,000	1 991,53	10,000	313,56	41,000	1 677,97
	Бензин А-92			540,000	17 372,88			540,000	17 372,88
	Бензин А-95			558,000	18 016,95			558,000	18 016,95
	Дизельное топливо			500,000	17 423,73			500,000	17 423,73
Склад запчастей				3 118,000	198 067,05	32,500	51 949,15	3 085,500	146 117,90
	Аккумулятор Varta VX-30			2,000	20 339,98	2,000	20 339,98		
	Англизир			50,000	21 186,44		5 508,47	37,000	15 677,97
	Бензин А-92			1 000,000	34 745,76			1 000,000	34 745,76
	Бензин А-95			1 000,000	36 033,90			1 000,000	36 033,90
	Гайка			12,000	84,00			12,000	84,00
	Дизельное топливо			1 000,000	34 830,51			1 000,000	34 830,51
	Масло моторное			50,000	33 898,31	13,500	9 152,55	36,500	24 745,76
	Шины Bridgе Type R16			4,000	16 949,15	4,000	16 949,15		
Центральный склад				2 000,000	707 627,12			2 000,000	707 627,12
	Городской			1 000,000	29 661,02			1 000,000	29 661,02
	Междугородный			1 000,000	677 966,10			1 000,000	677 966,10
Итого				6 767,000	960 499,26	42,500	52 262,71	6 724,500	908 236,55

Рисунок 4.14 – Складской учет запчастей и расходных материалов

В работе предложено включение функции прогноза потребностей в запчастях, разработанной в диссертации, а также использованием имеющихся в использовании моделей управления запасами, которые подстраиваются по сформированные прогнозы.

4.4 Описание технологических процессов управления ТО и ремонтами

Формальное описание технологических процессов (ТП) управления ТО и ремонта выполнено для конкретного предприятия, но может быть рассмотрено как типовой проект обеспечения функций управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами.

Основной результат ТП – качественное и своевременное выполнение ТО и ремонта автобусов.

Основными функциями ТП являются (Рисунок 4.15):

1. Технологический процесс – Открытие заказа.
2. Технологический процесс – Приемка техники на ремонт.
3. Технологический процесс – Разборка.
4. Технологический процесс – Дефектовка.
5. Технологический процесс – Выдача запчастей со склада участка.
6. Технологический процесс – Формирование заявки на приобретение ЗУК.
7. Технологический процесс – Решение о способе удовлетворения заявки.
8. Технологический процесс – Комплектация со склада.
9. Технологический процесс – Изготовление запчастей.
10. Технологический процесс – Ремонт узлов и агрегатов.
11. Технологический процесс – Субподрядные работы.
12. Технологический процесс – Комплектация и перемещение запчастей.
13. Технологический процесс – Выполнение ремонтных работ.
14. Технологический процесс – Подписание акта выполненных работ.
15. Технологический процесс – Списание запчастей, возврат неиспользованных запчастей.

16. Технологический процесс – Возврат техники заказчику.

17. Технологический процесс – Закрытие заказа.

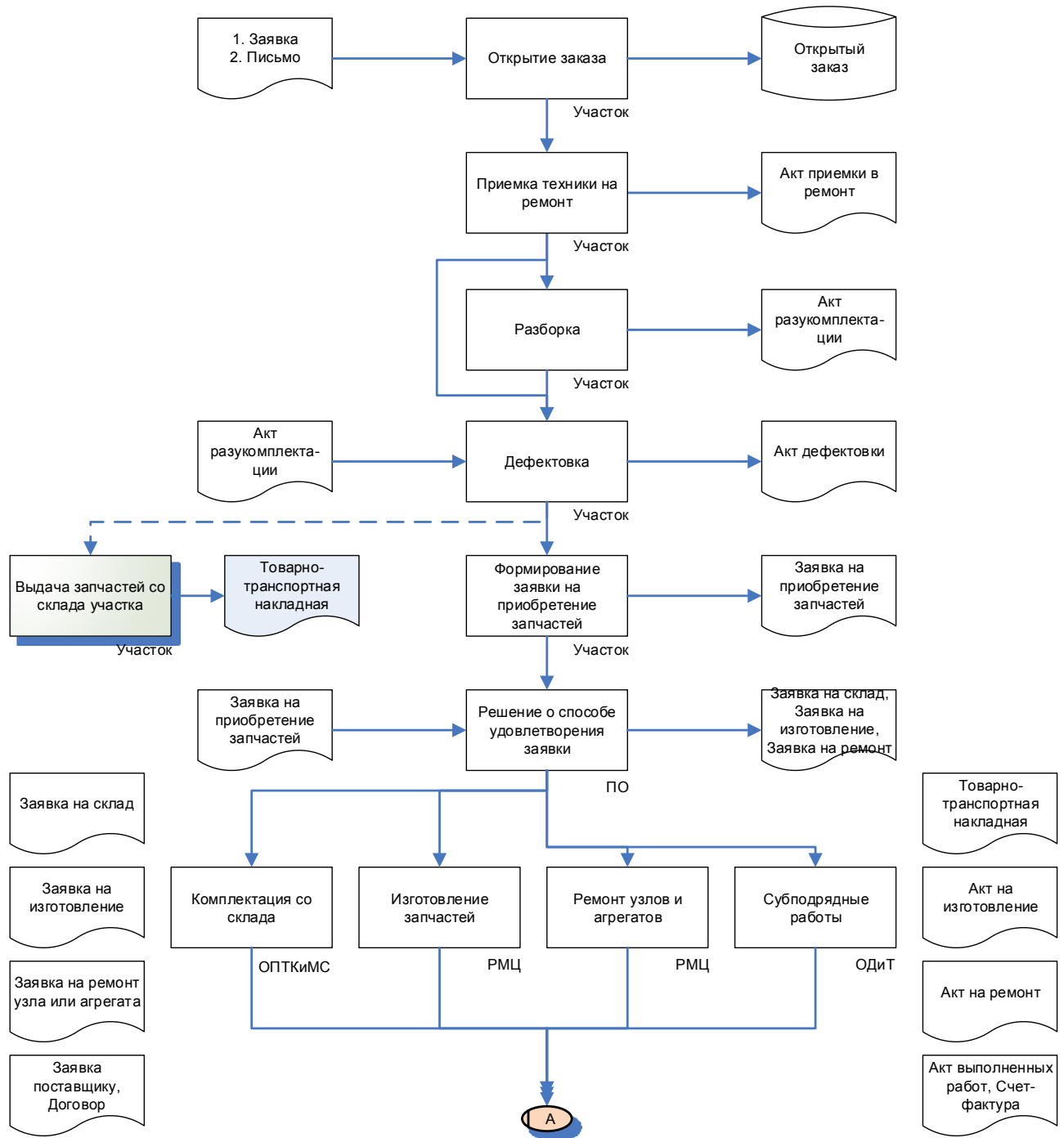


Рисунок 4.15 – Схема БП, выполнение ремонтных работ

Результатом функции 1 открытие заказа – сформированные документы на выполнение работ по ремонту. Входящие документы содержат: дата заявки, заявитель, марка техники, требуемый ремонт и другие.

Результат функции 2 – принятое ТС. Исходящие документы – Акт приемки с реквизитами: номер акта, дата, принятое ТС, требуемый ремонт.

И так далее в соответствии с названием бизнес процесса (Рисунок 4.16).

К основным функциям ТП относятся:

1. Технологический процесс – Регистрация перечня обслуживаемой ТС
2. Технологический процесс – Регистрация данных о выполненных ТО и ремонтах.

3. Технологический процесс – Формирование отчетов о текущем состоянии и истории ремонта обслуживаемой ТС

Основной результат ТП – выполненные в течение месяца заказы на ремонт.

К основным функциям ТП относятся:

1. Формирование заявок на участке.
2. Формирование плана номенклатуры на месяц.
3. Контроль выполнения планов номенклатуры.
4. Порядок выполнения и схема технологического процесса

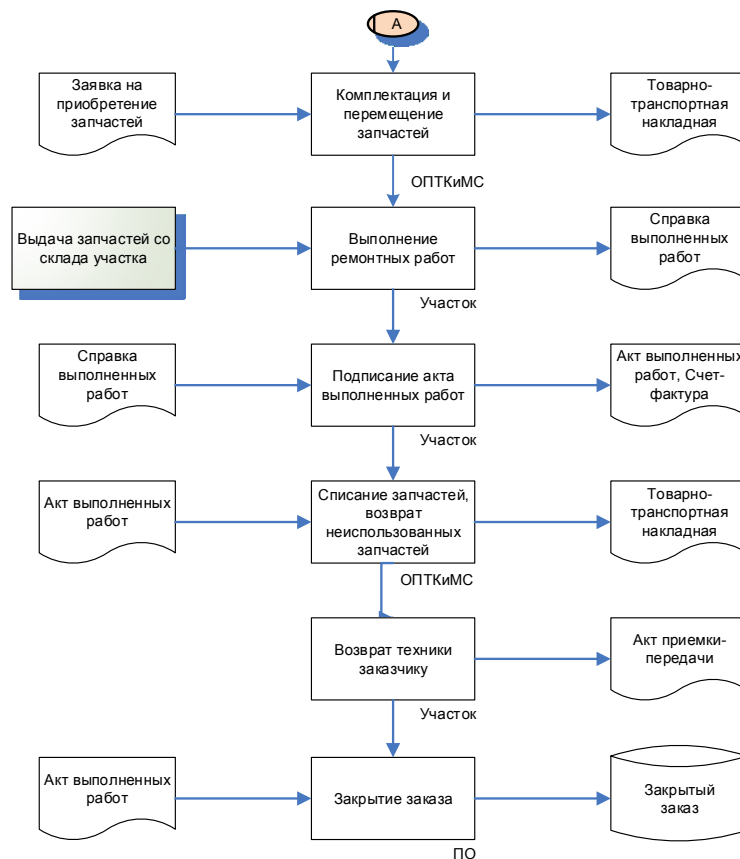


Рисунок 4.16 – Схема БП, выполнение ремонтных работ - продолжение

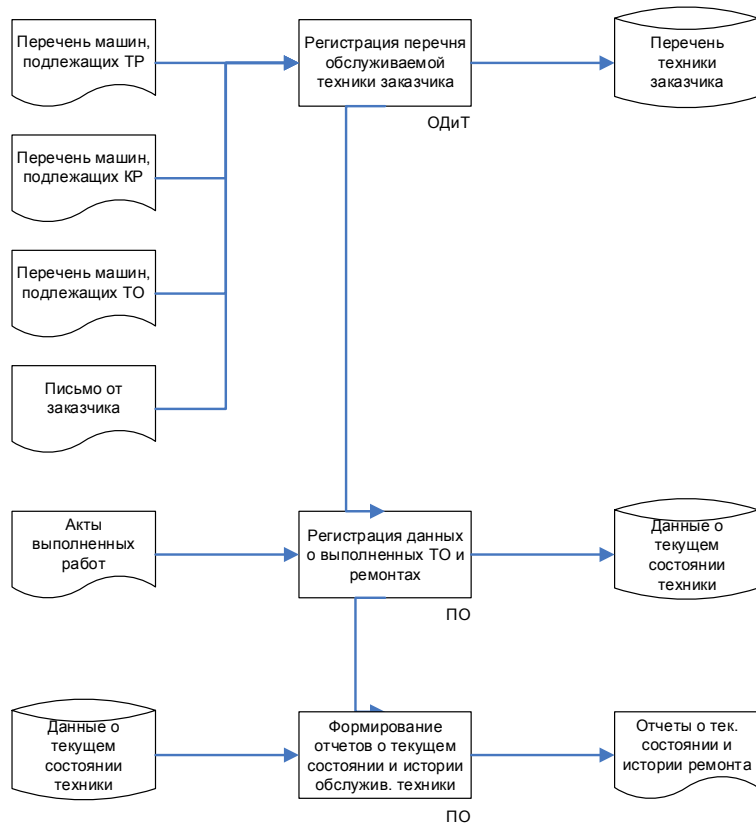


Рисунок 4.17 – Схема БП, сопровождение данных о текущем состоянии и истории ремонта

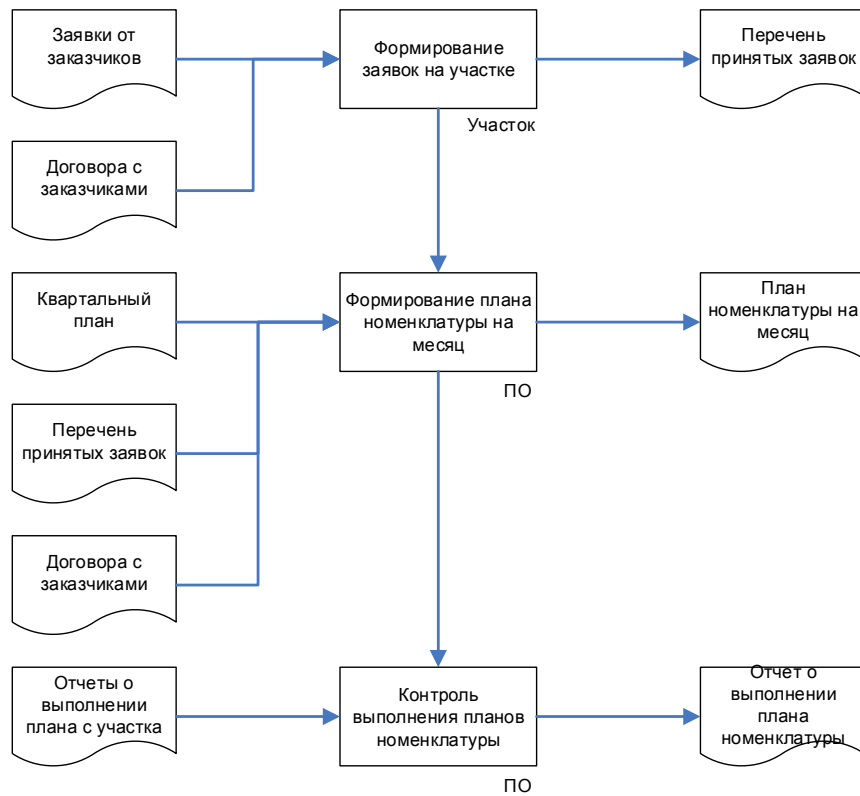


Рисунок 4.18 – Схема БП, контроль выполнения основных заказов

Результат функции 1 – перечень заявок на выполнение ТО, ТР и КР. Заявки могут быть подтверждением запланированных работ.

Результат функции 2 – план для номенклатуры, утвержденный на месяц.

Результат функции 3 – отчет о выполнении месячного номенклатурного план.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. На основе статистического анализа общего пробега автобусов транспортного предприятия получен прогноз пробега с использованием методов регрессионного анализа и экспоненциального сглаживания.

2. По данным статистики отказов основных узлов заднего моста сформирована база данных ведущих функций потока отказов, которая позволила по предложенной методике рассчитать рациональные периодичности предупредительных замен для основных деталей ЗМ: сапуна – 80 тыс. км; сальников – 100 тыс. км; шестерни – 100 тыс. км; редуктор в сборе – 360 тыс. км. Исходя из разностей расходов на обслуживание каждого узла заднего моста получено снижение затрат на поддержание работоспособности в размере 37,9 тыс.руб на один автобус в год.

3. В рамках расширения возможностей имеющегося ПО заказчика включены возможности запуска предложенных в диссертации моделей настройки периодичности ТО в зависимости от используемых параметров наработки, а также от временных показателей, имеющих в календарном плане. Для каждого типа ТО, добавлена возможность включения предупредительных замен с указанием списка запчастей, в перечень выполняемых работ. Предусматривается возможность интерфейсного взаимодействия с Excel.

4. Выполнено формальное описание технологических процессов регистрации и учета выполнения ремонтных работ; сопровождения данных о текущем состоянии и истории ремонта автобусов; контроль выполнения заказов по ТО и ремонту. Описание выполнено для конкретного предприятия, но может быть рассмотрено как типовой проект обеспечения функций управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решена важная научная и практическая задача, связанная с обоснованием режимов планово-предупредительных замен деталей заднего моста автобуса, позволяющих повысить эффективность эксплуатации автобусов.

2. Проведен анализ российских и зарубежных источников по теме диссертации. Приведены основные положения теории надежности технических систем и ТС, соотношения для оценки основных показателей надежности ТС, таких как: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ и др. Рассмотрены основные модели надежности, в том числе Вейбулла. Проведен анализ наиболее используемых методов обеспечения работоспособности автомобилей. Показано, что работоспособность может быть существенно повышена за счет расчетов характеристик надежности и поиска целесообразной периодичности ТО и предупредительных замен отдельных деталей и узлов автомобилей.

3. Разработана классификация факторов, влияющих на характеристики надежности заднего моста автобуса. Проведена экспертиза, выполнена обработка результатов и выделена совокупность наиболее значимых факторов, влияющих на интенсивности отказов деталей и узлов заднего моста автобуса. По степени влияния на надежность заднего моста важнейшими являются: конструкция заднего моста; качество и регулярность выполнения операций ТО; качество устанавливаемых запасных частей; интенсивность эксплуатации автобусов.

4. Выполнены исследования и проведен анализ по выявлению статистики отказов различных узлов и деталей ведущего моста. Для отдельных деталей и узлов сформирована таблица для ресурсов, лимитирующих надежность заднего моста автобуса, а именно: средний ресурс до первого отказа, доверительный интервал, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, параметры распределения отказов по модели надежности Вейбулла. Доказано, что при найденных параметрах модели надежности Вейбулла, она может быть с достаточной адекватностью заменена моделью Релея, для которой предложена схема расчета показателей надежности заднего моста.

5. Предложена оптимизационная постановка задачи расчета периодичности предупредительных замен на основе комплексных показателей надежности и це-

нового критерия. На основе расчета ведущих функций отказов выполнены расчеты и обоснован перечень операций предупредительных замен, для каждой операции предложена оптимальная периодичность, согласованная с периодичностью ТО, в том числе, замена: сапуна – 80 тыс. км; сальников – 100 тыс. км; шестерни – 300 тыс. км.; редуктор в сборе – 400 тыс. км. Внедрение системы предупредительных замен для деталей и узлов ЗМ позволяет повысить уровень работоспособности автобусов на 14,2 %, при этом время нахождения автобусов на линии может быть увеличено на 727 авт-дней в год, в результате чего дополнительный годовой доход составит 18,175 млн. руб. Снижение затрат на поддержание работоспособности заднего моста при переходе на рекомендуемые периодичности предупредительных замен деталей и узлов составляет 267,6 тыс.руб. за весь жизненный цикл одного автобуса, или 37,9 тыс. руб в год. на один автобус.

6. На основании результатов статистического анализа разработана модель интенсивности использования автобусов, основанная на модели Брауна и модели временного ряда, включающей циклическую составляющую, полученную на основе спектрального анализа, и тренд, полученный с использованием регрессионного анализа. Полученная модель использована для разработки прогноза интенсивности использования парка автобусов, который служит основой для разработки планов работ по техническому обслуживанию и ремонту автобусов.

7. Для АТП выполнено формальное описание процессов управления ТО и ремонтом, которое может быть рассмотрено как типовой проект обеспечения функций управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами. Расширен функционал имеющегося программного обеспечения предприятия с возможностью использования предложенных в диссертации расчетных методов формирования периодичности ТО и предупредительных замен.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы Предложенные в диссертации теоретические положения, методические подходы и модели рекомендуются для использования при разработке и обоснованию периодичностей предупредительных замен деталей узлов и агрегатов автомобилей. Перспективными направлениями дальнейшей разработки темы, с целью повышения уровня работоспособности автомобилей, являются дальнейшее развитие научных ме-

тодов оптимизации режимов ТО и предупредительных замен для различных агрегатов и узлов автомобилей, проведение исследований надежности, разработка конкретных рекомендаций и их внедрение в практическую деятельность автотранспортных предприятий и организаций.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АТП – автотранспортное предприятие

ТС – транспортные средства (автомобили, автобусы и др.)

ТО – техническое обслуживание

ТОР – техническое обслуживание и ремонт

ЗМ – задний мост

ПЗ – предупредительные замены

З/Ч – Запчасти

ЗУК - Запчасти, Узлы, Комплектующие, Агрегаты

МН – модель надежности

ЭМН – экспоненциальная модель надежности

МНР – модель надежности Релея

МНВ – модель надежности Вейбулла

ВБР – вероятность безотказной работы

СКО – среднеквадратическое отклонение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 2001. – 405с.
2. Аксельрод, Д.И. Поэлементное диагностирование топливной аппаратуры высокого давления дизельных двигателей [Текст] / Д.И. Аксельрод // Тр. МАДИ. 1980. – С. 25.
3. Аксенов, И.И. Особенности приборной диагностики технического состояния машин / И.И. Аксенов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3-3(8-3). – С. 132-137.
4. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов/ Т. Андерсон. М.: Мир, 1976. – 757 с.
5. Антипенко, Г.Л. Выбор кинематической погрешности в качестве диагностического параметра для оценки состояния зубчатых передач в эксплуатации / Г.Л. Антипенко, В.А. Судакова, М.Г. Шамбалова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2017. – № 2(55). – С. 16-24.
6. Антипенко, Г.Л. Диагностика сцепления механической трансмиссии автомобиля / Г.Л. Антипенко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2020. – № 1(66). – С. 4-15.
7. Антипенко, Г.Л. Оценка технического состояния зубчатых колес по анализу кинематической погрешности передачи / Г.Л. Антипенко, В.А. Судакова, М.Г. Шамбалова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – № 3(52). – С. 6-18.
8. Аринин, И.Н. Диагностирование технического состояния автомобилей / И.Н. Аринин. – М.: Транспорт, 1978. – 176 с.
9. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей: [Текст] : учеб. Пособие для вузов / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 320 с.
10. Архирейский, А.А. Использование экспертных оценок при ранжировании мероприятий по повышению уровня качества технического обслуживания и ре-

монта транспортных средств / А.А. Архирейский, Н.З. Султанов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 9-3 (63). – С. 6-9.

11. Архирейский, А.А. Результаты исследования относительной важности критериев оценивания качества процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей по критериям системы сертификации / А.А. Архирейский // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 3-4 (57). – С. 12-15.

12. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М., Гуляева Т.И. Эконометрика. М.: Финансы и статистика. 2004. - 256 с.

13. Баженов, Ю.В. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Фундаментальные исследования. – Пенза, 2015. – № 4 – С. 16-21

14. Бакулина, А.Н. Определение показателей качества работы станций технического обслуживания / А.Н. Бакулина, С.К. Матевосян, Ю.О. Скрипниченко // Управление качеством в образовании и промышленности : сб. статей Всероссийской науч.-практ. конф. – Севастополь : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2017. – С. 143-151.

15. Барыкин А.Ю. Влияние условий эксплуатации на безотказность и долговечность ведущих мостов грузовых автомобилей / Барыкин А.Ю., Мухаметдинов М.М., Тахавиев Р.Х. // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - Ижевск, 2020. - С. 16-22.

16. Барыкин А.Ю. Особенности эксплуатации трансмиссионных масел в приводе колёс / А.Ю. Барыкин, Р.Х. Тахавиев // Итоговая научная конференция: (2017;Набережные Челны). Итоговая научная конференция проф.-препод. состава, 3 февраля 2017 г. [Текст]: сборник докладов. – Набережные Челны: ИПЦ Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2017. С. 61...68.

17. Бахвалов, С.В. Анализ оптимальных алгоритмов технического диагностирования / С.В. Бахвалов, А.М. Дунаев // Вестник Иркутского государственного

технического университета. – 2016. – № 7(114). – С. 55-59. – DOI 10.21285/1814-3520-2016-7-55-59.

18. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. М.: Финансы и статистика. 2005. -431 с.

19. Блянкинштейн, И.М. Методологические аспекты совершенствования технологического оборудования для технического обслуживания, ремонта, испытания, контроля и диагностики автотранспортных средств / И.М. Блянкинштейн // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – Т. 5. № 3. – С. 263-274.

20. Божко В.П. Информационные технологии в статистике. М.: Финстатинформ. 2002. - 144 с.

21. Болдин, А.П. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: Академия, 2012. – 336 с.

22. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с. : ил.

23. Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров. М.: Мир. ООО «Издательство АСТ». 2003. - 686 с.

24. Бродецкий, Г. Л. Управление запасами: учеб. пособие / Г. Л. Бродецкий. — М.: Эксмо, 2008. — 352 с.

25. Бугримов, В.А. Моделирование процессов управления запасами предприятия автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев // Научное обозрение. – 2017. –№ 8. –С. 63–68.

26. Бышов, Н.В. Диагностика технического состояния фильтрующего элемента гидросистемы / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, В.В. Акимов и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. № 1. – С. 63-68.

27. Валеев С.Г. Регрессионное моделирование при обработке данных/ С.Г. Валеев. Казань: ФЭН, 2001. - 296 с.

28. Варнаков, Д.В. Оптимизация системы технического сервиса путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию машин / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, М.Е. Дежаткин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2 (38). – С. 168-173.

29. Варнаков, Д.В. Теоретические основы концепции технического сервиса машин по фактическому состоянию на основе оценки их параметрической надежности / Д.В. Варнаков, О.Н. Дидманидзе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 2 (57). – С. 67-71.

30. Вершинина, О.Г. Разработка метода диагностирования фрикционов гидродинамической коробки передач городского автобуса: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Г. Вершинина. – Тюмень, 2003. – 23 с.

31. Власов М.П., Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов. — Ростов н/Д : Феникс, 2005. — 409 с.

32. Власов, В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст] : учебник для сред. проф. образования / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М.Круглов ; под ред. В.М.Власова. – 9-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 432 с.

33. Волков, П.Н. Математические методы в экспериментальных исследованиях: математические методы планирования и статистического анализа экспериментов при определении характеристик исследуемых объектов. Ч. 1 / П.Н. Волков. – М.: Мир Книги, 1992. – 121 с.

34. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1990-07-01. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.11.89 № 3375, 1990. – 70 с.

35. ГОСТ 27.319-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. Введ. 1997-01-01. Принят Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.06.96 № 429, 1997. – 23 с.

36. ГОСТ 27.402-95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное

распределение. Введ. 1997-01-01. Принят Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.04.95 № 7-95, 1997. – 42 с.

37. ГОСТ Р 27.004-2009 Надежность в технике. Модели отказов. Введ. 2009-12-15. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.12.2009. – № 1244-ст. – 15 с.

38. ГОСТ Р 27.301-2011 Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. Основные положения. Введ. 2011-12-14. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.12.2011. – № 1492-ст. – 19 с.

39. ГОСТ Р 27.403-2009 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы. Введ. 2009-12-15. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.12.2009. – № 1246-ст. – 15 с.

40. ГОСТ Р 27.607-2013 (МЭК 60300-3-5:2001) Надежность в технике. Управление надежностью. Условия проведения испытаний на безотказность и статистические критерии и методы оценки их результатов. Введ. 2013-09-19. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19.09.2013. – № 1075-ст. – 50 с.

41. ГОСТ Р 50779.27-2007 (МЭК 61649:1997) Статистические методы. Критерий согласия и доверительные интервалы для распределения Вейбулла. Введ. 2007-11-14. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.11.2007. – № 303-ст. – 16 с.

42. ГОСТ Р МЭК 60605-6-2007 Надежность в технике. Критерии проверки постоянства интенсивности отказов и параметра потока отказов. Введ. 2007-12-27. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2007. – № 579-ст. – 31 с.

43. Гришин А.Ф., Кочерова Е.В. Статистические модели. Построение, с анализ. М.: Финансы и статистика. 2005 - 416с.

44. Гусев, А.Г. Использование спутниковых систем для контроля за качеством управления автобусами на линии // Сарбаев В. И., Гусев А. Г., Чусова А.С., Южаков В.В./ Мир транспорта и технологических машин. – № 1(72) – 2021. – С. 36–41

45. Гусев, А.Г. Надежность и условия эксплуатации задних мостов автобусов // Гусев А.Г., Сарбаев В. И. / Мир транспорта и технологических машин. – № 3–5 (78). – 2022. – С. 11–18

46. Гусев, А.Г. Нечеткая модель диагностики заднего моста автобуса / В.И. Сарбаев, А.Г. Гусев // МАДИ, 2023. – № 3. – С. 45–49.

47. Гусев, А.Г. Обеспечение безопасности дорожного движения в автотранспортном предприятии // В.И.Сарбаев, А.Г.Гусев, И.А.Томилов, Г.В.Сидельников / Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств : материалы XXI Междунар. науч. практ. конф. 21–22 нояб. 2019 г., г. Владимир / под общ. ред. проф. Ю. В. Баженова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 447 с. 270-272

48. Гусев А.Г. Организация технического обслуживания и ремонта в малом автобусном предприятии // В.И.Сарбаев, А.Г.Гусев /Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств : материалы XXI Междунар. науч. практ. конф. 21 – 22 нояб. 2019 г., г. Владимир / под общ. ред. проф. Ю. В. Баженова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 447 с. 128-132

49. Гусев А.Г. Расчет показателей надежности заднего моста автобуса в условиях нечеткой формализации параметров отказов // В.И.Сарбаев, А.Г.Гусев / Мир транспорта и технологических машин. - № 1-1 (80) 2023. - С. 19-27

50. Гусев А.Г. Учет влияния качества и стоимости запасных частей в управлении запасами автосервиса // Гришин А.С., Сарбаев В. И., Джованис С., Гусев А. Г. /Мир транспорта и технологических машин. - № 3-5 (78) 2022. - С. 120-127

51. Гусев, Д.А. Повышение надежности агрегатов трансмиссии / Д.А. Гусев, А.В. Неговора // Состояние, проблемы и перспективы развития АПК : материалы

Международной науч.-практ. конф. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2010. – С. 37-39.

52. Гусев, Д.А. Повышение надежности агрегатов трансмиссии / Д.А. Гусев, А.В. Неговора // Состояние, проблемы и перспективы развития АПК : материалы Международной науч.-практ. конф. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2010. – С. 37-39.

53. Денисов, А.С. Эффективный ресурс двигателей / А.С. Денисов. – Саратов, Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1983. – 108 с.

54. Дорохов, А.С. Проект цифровой системы для диагностирования ресурсоопределяющих узлов коробок перемены передач с гидравлическим управлением мобильных энергетических средств / А.С. Дорохов, М.Н.Костомахин, Н.А. Петрищев и др. // Технический сервис машин. – 2019. – № 4 (137). – С. 83-95.

55. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ: перевод с английского / Н. Дрейпер, Г. Смит. 3-е изд. Москва: Вильямс, 2007. 912 с.

56. Дубров А.М, Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. М.:Финансы и статистика. 2000. -352 с.

57. Ершов, Д. Ю. Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении [Текст] / Д. Ю. Ершов // Молодой ученый. – 2013. – №4. – С. 62-64.

58. Ефремов А.А. Вычисление нечеткой вероятности безотказной работы систем с нечеткими параметрами моделей надежности // Доклады ТУСУРа. – 2015. - №2(36). – С.136-140.

59. Задорожний, В.Г. Модели управления производством при случайно изменяющихся факторах / В. Г. Задорожний, И. П. Якубенко // Современная экономика: проблемы и решения. – 2011. – №9(21). – С. 138–144.

60. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. – 2012. –№ 12. –Ч. 2. –С. 186–191.

61. Змызгова, Т.Р. Развитие методов диагностики усталостных повреждений деталей металлоконструкций по показаниям датчиков деформаций интегрального типа / Т.Р. Змызгова // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2017. – № 2 (45). – С. 38-43.

62. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. – М.: ООО «Магистр-пресс», 2005. – 536 с.

63. Избранные главы теории нечетких множеств : учеб. пособие / В.И. Ухоботов. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2011. 245 с.

64. Илюхин, А.Н. Применение нечеткой логики в автоматизированной системе испытаний дизельных двигателей с использованием метода Саати [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / А.Н. Илюхин. – Набережные Челны, 2009 – 122.

65. Ишков, А.М. Теория и практика надежности техники в условиях севера / А.М. Ишков, М.А. Кузьминов, Г.Ю. Зудов. – Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – 313 с.

66. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов. // Экономический журнал Высшей школы экономики, 2002. – Т. 6. – № 1. – С. 85–116.

67. Кардашев, А. Г. Автоматизированная система оптимального управления запасами ремонтного предприятия: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Кардашев Алексей Генрихович. – М., 2002 – 133 с.

68. Керимов, Ф.Ю. Критерий комплексной оценки эффективности технической эксплуатации машин / Ф.Ю. Керимов, И.А. Филимонов, А.А. Ивойлов // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2008. – № 2(13). – С. 27-32.

69. Королев, А.Е. Экспертная оценка использования техники / А.Е. Королев // Аллея науки. – 2017. – Т. 5. – № 16. – С. 876–880.

70. Косолапов, А.А. Методика анализа надёжности нечётких систем с использованием теории размытых множеств / А. А. Косолапов // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013 : мат. междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : КУПРИЕНКО, 2013. – С. 71–81.

71. Кравченко, В.А. Обслуживание и ремонт автотранспортных средств / В.А. Кравченко, Р.И. Бутков. – зерноград : Азово-Черномор. инж. ин-т, 2015. – 339 с.

72. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и дополн. / Е. С. Кузнецов [и др.]. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

73. Кузова легковых автомобилей. Техническое обслуживание и ремонт / А.Ф. Синельников, С.К. Лосавио, С.А. Скрипников [и др.]. – М.: Академкнига, 2004. – 496 с.

74. Кукушкин, Е.В. Математическая модель привода стэнда для испытаний карданных передач / Е.В. Кукушкин // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 116-118.

75. Логачев, В. Г. Модель формирования вероятности безотказной работы машин с учетом вариации периодичности технического обслуживания / В. Г. Логачев, А. Н. Макарова // Вестник Курганской ГСХА. –2015. – № 4. – С. 45–47.

76. Лукашин, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю.П. Лукашин. М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

77. Лукинский, В. С. Прогнозирование надежности автомобилей / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.

78. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования коробки передач автомобилей / В.В. Лянденбургский, М.В. Нефедов, В.Н. Боровков // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 5 (24). – С. 1–11.

79. Макарова, А.Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук / А.Н. Макарова. – Тюмень, 2015. – 208 с.

80. Максимов, В.А. Определение норм расхода запасных частей городскими автобусами (для целей планирования) / В.А. Максимов, О.В. Моложавцев // Грузовик. – 2014. – № 7. – С. 19–21.

81. Мандель, А.С. О выборе критериев в задачах управления запасами в условиях неопределенности // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления «ВСПУ-2014». – Москва: ИПУ РАН, 2014. – С. 4212–4218.

82. Мандель А. С. Управление многономенклатурными запасами в условиях неопределенности и нестационарности. Ч.II. Создание страховых запасов. // Проблемы управления. - 2012 г. - Т. 1. - стр. 42-46.

83. Мануилов, Н. И. Моделирование работы резиновых уплотнений тормозной сети подвижного состава в условиях низких температур / Н.И. Мануилов, П.Ю. Иванов, Е.Ю. Дульский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 3 (55). – С. 112–119.

84. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем [Текст] / В.Р. Матвеевский. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.

85. Мерляк, В.К. Требования к нагрузителям стендов для испытания трансмиссий / В.К. Мерляк // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: сб. материалов конф. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2021. – С. 41–42.

86. Мирошников, Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.

87. Мороз, С.М. Обеспечение безопасности технического состояния автотранспортных средств: учеб. пособие / С.М. Мороз. – М.: Академия, 2010. – 208 с.

88. Москвичев Д.А. Влияние критериев надежности при техническом обслуживании модульных транспортных средств / О.В. Виноградов // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4 (75). – С. 27–32.

89. Москвичев Д.А. Влияние технологии технического обслуживания и ремонта на коэффициент технической готовности модульных грузовых автомобилей / О.В. Виноградов // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 3(66). – С. 3–8.

90. Москвичев Д.А. Оценка периодичности технического обслуживания модульного транспортного средства по наработке / О.В. Виноградов // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – №4 (75). – С. 134–137.

91. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта. Теоретические основы: Учебное пособие / А. П. Болдин, В. И. Сарбаев. – Москва, 2010. – 206 с.

92. Опанович, В.А. Технология диагностирования машин / В.А. Опанович, Ю.Д Карпиевич // Наука и техника. – № 2. – 2012. – С. 45–52.

93. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента / М. Аугамбаев, А. З. Иванов, Ю. И. Терехов; под ред. Г.М. Рудакова. – Ташкент: Уки-тувчи, 2004. – 336 с.

94. Основы теории надежности и диагностики: методич. Пособие / Н.Ф. Булгаков, Е.Г. Махова, В.В. Коваленко [и др.]. – Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2013. – 86 с.

95. Пастухов А.Г. Резервы формирования безотказности карданных передач / А.Г. Пастухов, Р. Глигорич, Е.П. Тимашов и др. // Современные проблемы инновационного развития агроинженерии: материалы международной науч.-произв. конф. – Белгород: Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Я. Горина, 2012. – С. 107–112.

96. Пастухов, А.Г. Метод статистических испытаний для оценки долговечности шарниров карданных передач / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов // Технический сервис машин. – 2018. – Т. 133. – С. 151–156.

97. Пастухов, А.Г. Оценка теплонапряженности агрегатов трансмиссий на основе системного подхода / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 129. – С. 73–78

98. Пилюшина, Г.А. Особенности испытания и обкатки коробок передач после ремонта / Г.А. Пилюшина, Н.А. Казорин // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2021. – № 33. – С. 74–77.

99. Ратников, А.С. Обоснование диагностического параметра оценки технического состояния карданной передачи / А.С. Ратников, А.Г. Кириллов, А.С. Рат-

ников // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 8-2(19-2). – С. 348-352. – DOI 10.12737/15554.

100. РД 50-690-89 Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным

101. Рыжиков, Ю. И. Теория очередей и управление запасами / Ю. И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

102. Савин Л.О. Повышение точности определения периодичности технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания на автомобильной технике при ее эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2 (73). – С. 23–32.

103. Савин, Л. О. Оптимизация параметров контроля и ТО критичных агрегатов АТ при ее эксплуатации в особых условиях / Л. О. Савин, М. В. Королёв // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1 (56). – С. 24–35.

104. Сазонова, А. К. Управление запасами предприятия и их оптимизация / А. К. Сазонова, Л. Н. Матвийчук // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2019. – Т. 8. – № 5. – С. 124–127.

105. Сарбаев, В. И. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта. Теоретические основы: Учебное пособие / А. П. Болдин, В. И. Сарбаев. – Москва. – 2010. – 206 с.

106. Сарбаев, В.И. Техническая эксплуатация автотранспортных средств. Выбор стратегии в организации и управлении: Учебное пособие / Под общей редакцией В.В. Тарасова / Сарбаев В.И., Тарасов В.В. – М.: МГИУ, 2004. – 192 с.

107. Сарбаев, В.И. Возможности эксплуатационного диагностирования автомобилей MERCEDES-BENZ специального назначения для повышения эффективности процессов ТО и текущего ремонта, осуществляемых на автотранспортном предприятии в кооперации с фирменными СТО // А. П. Болдин, В. И. Сарбаев, А. С. Чусова / Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 4 (63). – С. 3–13.

108. Сарбаев, В.И. Надежность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта. Теоретические основы // В. И. Сарбаев, А. П. Болдин / Учебное пособие. – М.: МАИИ, 2010. – 206 с.

109. Сарбаев, В. И. Техническая эксплуатация городских автобусов (особенности организации и управления): Учебное пособие / В. А. Максимов, В. И. Сарбаев, А. А. Хазиев. – М.: МГИУ, 2002. – 112 с.

110. Сарбаев, В.И. Условия функционирования и выбор стратегии развития предприятий автосервиса: Учебное пособие. 2-е изд., переработанное и дополненное / В.И.Сарбаев, В.В.Тарасов. – М.: МГИУ, 2002. – 116 с.

111. Сарбаев, В.И. Техническая эксплуатация автотранспортных средств. Выбор стратегии в организации и управлении: учеб. пособие / В.И. Сарбаев, В.В. Тарасов; под ред. В.В. Тарасова. – М.: МГИУ, 2004. – 192 с.

112. Системы, технологии и организация услуг в автомобильном сервисе: учебник / А.Н. Ременцов, Ю.Н. Фролов, В.П. Воронов [и др.]. – М.: Академия, 2013. – 480 с.

113. Скворцов, А.А. Разработка методики виброакустической оценки дефектов ведущих мостов легковых автомобилей для бортовой системы диагностирования агрегатов трансмиссии: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Скворцов. – Ижевск, 2015. – 20 с.

114. Теория эксплуатационных свойств автомобиля / Н. А. Кузьмин. – ИН-ФРА-М, 2013. – 256 с.

115. Терских, В.М. Оптимизация и управление складом запасных частей на предприятиях обслуживающих и эксплуатирующих АТС: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Терских Виктор Михайлович; Красноярск, 2016. – 134 с.

116. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов [и др.]. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

117. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С.М. Круглов [и др.]; под ред. В.М. Власова. – М.: Академия, 2003. – 356 с.

118. Тимашов, Е. П. Обоснование системы технического обслуживания и ремонта на основе характеристик машинно-тракторного парка / Е. П. Тимашов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1(29). – С. 40–45.

119. Тимашов, Е.П. Результаты экспертной оценки надежности автомобилей, их агрегатов и узлов / Е.П. Тимашов // Индустрия туризма и сервиса на пути инновационного развития : материалы международной науч.-практ. и науч.-метод. конф. – Белгород: Белгородский университет кооперации, экономики и права, 2018. – С. 122–130.

120. Тимашов, Е.П. Совершенствование процессов диагностики узлов трансмиссии автомобилей: монография / Е. П. Тимашов. – Белгород : Белгородский университет кооперации, экономики и права, 2018. – 182 с.

121. Тимашов, Е.П. Экспертная оценка надежности отдельных агрегатов транспортных и технологических машин / Е.П. Тимашов // Роль науки в удвоении валового регионального продукта: материалы XXV Международной науч.-произв. конф. – Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 178–179.

122. Тютрин, С.Г. Отличительные особенности системы надежностно-ориентированного технического обслуживания / С.Г. Тютрин // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий : материалы международной науч.-практ. конф. – Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2017. – С. 462–465.

123. Федотов, А.И. Диагностика автомобиля: учебник для вузов / А.И. Федотов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 468 с.

124. Фетисов, П. Б. Управление запасами запасных частей автотранспортных средств, выполняющих перевозку строительных грузов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Фетисов Павел Борисович. – М., 2013. – 246 с.

125. Фролова, Л.В. Формирование бизнес-модели предприятия [Электронный ресурс]: учебник / Л. В. Фролова, Е.С. Кравченко. Электронные текстовые данные. – Киев: ЦУЛ, 2012. – 384 с.

126. Харахашян, С.М. К вопросу оценки результативности и эффективности процесса «Техническое диагностирование» / С.М. Харахашян, К.Л. Хубиян, В.П. Димитров // Вестник Донского государственного технического университета. – 2009. – Т. 9. – № 1(40). – С. 61-66.

127. Чечет, В.А. Основные положения системной диагностики машин / В.А. Чечет, А.Г. Левшин, А.Н. Скороходов и др. // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 6 (88). – С. 51–55.

128. Шрайбфедер, Дж. Эффективное управление запасами/Дж. Шрайбфедер; пер. с англ. Ю. Орлова. Изд-во Альпина Паблишер, 2019. 304 с.

129. Brooks, C. Introductory Econometrics for Finance / C. Brooks. – Cambridge University Press, 2002. – 340 p.

130. Chebotarev, S. V. Economic factorial analysis: general theory and original approaches / S. V. Chebotarev // The 4th International Carpathian Controlling Conference (ICCC 169 2003): Proceedings of the conference. High Tatras, Slovak Republic, 2003. – Pp. 795–798.

131. Howson, C. Successful Business Intelligence, Second Edition: Unlock the Value of BI & Big Data / C. Howson. – McGraw-Hill, 2013. – 336 p.

132. Kimball, R. The Data Warehouse Toolkit. Practical Techniques for Building Dimensional Data Warehouses / R. Kimball. – Indianapolis: Wiley, 2013. – 600 p.

133. Kovtonyuk A. Adaptive Kalman filtering of speech signals based on a block model in the state space and vector quantization of autoregressive features / A. Kovtonuk, A. Kalyuzhny, V. Semenov // Proc. 8-th Austral. Conf. SST-2000. Canberra, 2004. – Pp. 262–267.

134. Poznyak, A. Advanced Mathematical Tools for Automatic Control Engineers / A. Poznyak // Deterministic Technique, Elsevier, New York, 2008. – Vol. 1. – 803 p.

135. Sarbaev, V. Diagnostics of passenger cars and minibuses with diesel engines for compliance with euro emissions standards / A. P. Boldin, V. I. Sarbaev,

P. V. Aksenov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 2017. – Vol. 8. – Issue 12. – Pp. 933–943.

136. Sarbaev, V. The method of rational organization of maintenance of light commercial vehicles of foreign production using specialized diagnostic tools at the motor transport company in cooperation with the branded service stations / V. Sarbaev, A. Boldin, V. Bogumil, A. Chusova // MATEC Web of Conferences (2021). – The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021), 2021. – Orel, Russia. – Pp. 101–109.

137. Seber G.A.F., Wild C.J. Nonlinear regression / G.A.F. Seber // Wiley, New York, 1989. – Pp. 109–117.

138. Sydsaeter K. Essential mathematics for economic analysis. FT: Prentice Hall / K. Sydsaeter, 2001. – 696 p.

139. Thomsen E. OLAP Solutions: Building multidimensional information systems / E. Thomsen. – Wiley computer publishing, 2007. – 696 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

А.Ю. Наливайко

« 31 / 05 » 2023г.

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы Гусева Андрея Георгиевича на тему:
 «Разработка системы обеспечения работоспособности заднего моста
 автобусов большого класса», выполненной на соискание ученой степени
 кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация
 автомобильного транспорта»

Материалы диссертационной работы аспиранта кафедры «Наземные транспортные средства» Гусева Андрея Георгиевича «Разработка системы обеспечения работоспособности заднего моста автобусов большого класса» используются в учебном процессе кафедры «Наземные транспортные средства» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» при изучении дисциплины «Научные основы технической эксплуатации автомобильного транспорта», 2 курс направления подготовки аспирантов 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта», профиль «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Заведующий кафедрой
 «Наземные транспортные средства»,
 д.т.н., профессор

А.В. Келлер

Профессор кафедры
 «Наземные транспортные средства»,
 д.т.н., профессор

В.И. Сарбаев

Директор
Иваненко Галина Ивановна

Справка о внедрении

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Гусева Андрея Георгиевича на тему: «Разработка системы обеспечения работоспособности заднего моста автобусов большого класса» обладают актуальностью, представляют практический интерес и были использованы при корректировании работ при Е.О., Т.О-1, Т.О-2, а также был сформирован обновлённый список запасных частей склада по данному узлу.

Директор



Иваненко Г.И.