

На правах рукописи



Гусев Андрей Георгиевич

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

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский политехнический университет»

Научный руководитель: **Сарбаев Владимир Иванович**
Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор

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

Ременцов Андрей Николаевич
кандидат технических наук, доктор педагогических
наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский авто-
мобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)», профессор кафедры «Экс-
плуатация автомобильного транспорта и автосер-
вис»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образова-
ния «Владимирский государственный универси-
тет имени Александра Григорьевича и Николая
Григорьевича Столетовых»

Защита состоится «20» декабря 2024г. в 11ч. 00мин. на заседании объеди-
ненного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030,
г. Орёл, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО
«ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библио-
теке по адресу: 302028, г. Орёл, пл. Каменская, д.1.

Автореферат разослан «__»_____2024 года. Объявление о защите дис-
сертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официа-
льном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>)

и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Рос-
сийской Федерации (<https://minobrnauki.gov.ru>).

*Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экзем-
плях направлять в диссертационный совет 99.2.032.03 по адресу:*

302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, тел.: +79606476660, e-mail:

srmotu@mail.ru.

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



Васильева В.В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 отказов, 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 расчета 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. Бол-

дин, В.М. Власов, А.С. Гребенников, А.С. Денисов, А.Н. Ременцовым, 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, А.Г. Кирилловым, Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецовым, В.С. Лукинским, Л.Б. Миротиным, 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.

Целью исследования является повышение 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 Higer;
- 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 гг.); 81-ой, 82-ой научно-методических и научно-исследовательских конференциях МАДИ «Актуальные вопросы техни-

ческой эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта» (Москва, 2023, 2024 гг.); VII, VIII, IX международных научно-практических конференциях «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2021, 2022, 2023 гг.).

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 130 страницах, список использованной литературы из 139 наименований, 49 рисунков, 27 таблиц и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, показано состояние исследуемого вопроса, сформулированы теоретическая и практическая значимость темы исследования, определены объект, предмет и цель исследования, сформулированы научные задачи исследования, представлены реализация, апробации и публикации результатов.

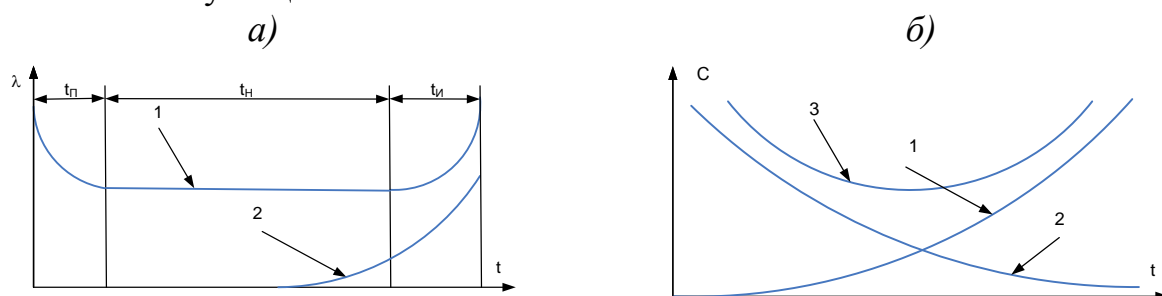
В первой главе проведен анализ известных методов и моделей надежности, методов обеспечения работоспособности ТС. Приводится обзор работ основных ученых в данных областях, а также их публикаций.

Основной причиной снижения надежности в процессе эксплуатации являются износ и старение компонентов объекта. Износ приводит к изменению размеров, нарушению работоспособности (например, из-за ухудшения условий смазки), поломкам, снижению прочности и т.д. Старение приводит к изменению физико-механических свойств материалов, влекущему поломки или отказы.

Надежность объекта на стадии эксплуатации можно иллюстрировать графиком типичной зависимости интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации (рисунок 1а). В период приработки надежность, в первую очередь, определяется конструктивно-технологическими факторами, следствием чего является повышенная интенсивность отказов. По мере выявления и устранения этих факторов надежность объекта приводится к номинальному уровню, который сохраняется в продолжительном периоде t_n нормальной эксплуатации.

В процессе эксплуатации в объекте накапливаются проявления износа и усталости, интенсивность которых возрастает (возрастающая кривая 2) с увеличением срока эксплуатации (Рисунок 1а). Наступает период $t_{ин}$ интенсивного

износа объекта, который заканчивается его приходом в предельное состояние и снятием с эксплуатации.



а – динамика надежности; б – оптимизация общих затрат

Рисунок 1 – Эксплуатация ТС

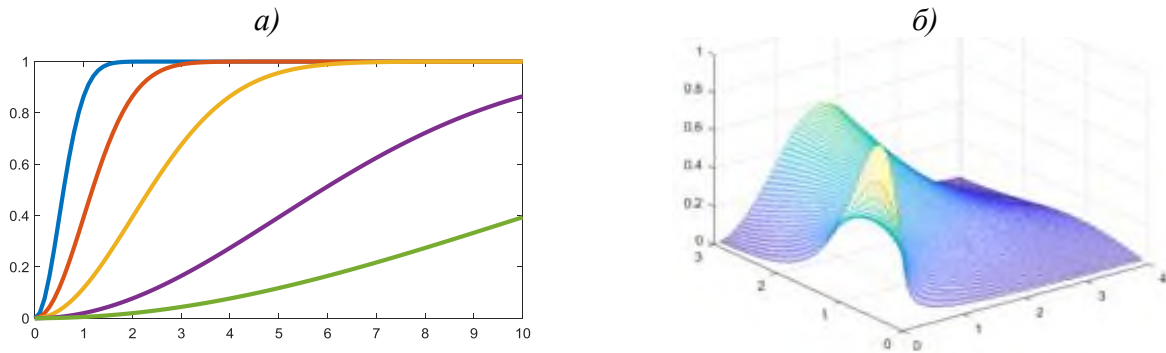
Такая картина динамики надежности приводит к оценке эффективности эксплуатации определенных агрегатов. Т.е. за счет накопления усталости и износа интенсивность отказов возрастает (Рисунок 1б). Ежегодные затраты на эксплуатацию характеризуются графиками, из которых видно, что существует оптимальный срок эксплуатации объекта, при котором суммарные затраты на эксплуатацию минимальны. Продолжительная эксплуатация, существенно превышающая оптимальный срок, экономически невыгодна.

Определение рациональных режимов поддержания работоспособности агрегатов и узлов автомобиля 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 выполнен анализ показателей эксплуатационной надежности заднего моста автобуса и условий эксплуатации, в которых эта надежность реализована.

В работе приведены соотношения для оценки основных показателей надежности ТС, таких как: вероятность безотказной работы (ВБР), вероятность отказа, плотность вероятности отказа, интенсивность отказов и средняя наработка на отказ.

Рассмотрена модель надежности Вейбулла (Рисунок 2а), которую можно использовать для моделирования отказов значительного количества деталей и узлов ТС, в том числе деталей заднего моста автобуса. Плотность распределения Вейбулла является достаточно гибким с точки зрения параметризации законом и записывается в виде $f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$, где a – параметр масштаба;

b – параметр формы. Эта двухпараметрическая функция имеет достаточно сложный характер (Рисунок 2б) и при значении b , близком к 1, распределение Вейбулла близко к экспоненциальному, при $b = 2$ переходит в модель Релея, при $b = 2,5-3,5$ – к нормальному закону. Значения $b < 1$ моделируют отказы в период приработки. Значение $b > 1$ может быть использовано для моделирования наработки до отказа, когда ТС имеет как период приработки, так и старения.



а – вероятность отказа; б – плотность модели Вейбулла

Рисунок 2 – Показатели модели надежности Вейбулла

В работе приведены основные соотношения для расчета схем надежности. Так, для последовательного соединения, вероятность безотказной работы определена для произвольно заданного момента времени $P_s(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t)$. Для вероятности отказа параллельной схемы справедливо соотношение $P_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t))$. В общем случае, обеспечение работоспособности достигается на основе расчетов характеристик надежности и поиска целесообразной периодичности ТО и предупредительных замен.

Основной задачей исследования является разработка методов и проведение расчетов по определению рациональной периодичности предупредительных замен для повышения эффективности системы обеспечения работоспособности автобусов (на примере заднего моста автобусов большого класса).

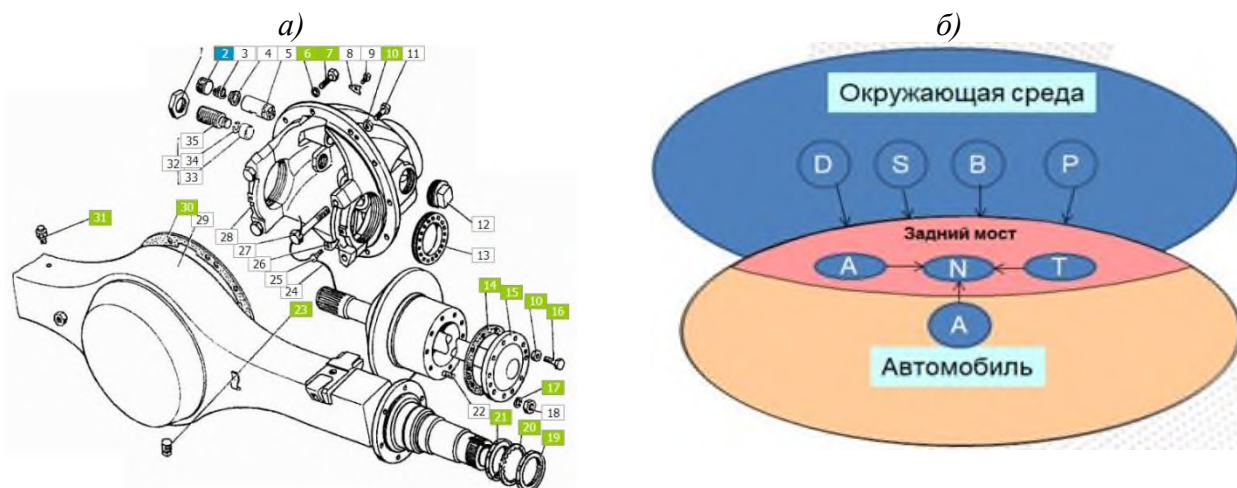
Во второй главе рассматриваются вопросы оценки значимости факторов системы «автомобиль – задний мост – окружающая среда», их влияние на характеристики надежности заднего моста автобуса, а также приведены результаты исследования показателей эксплуатационной надежности заднего моста автобуса Higer.

ЗМ является одним 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 3а). Естественно, что он еще является опорой для задней части автомобиля. Задний мост крепится к кузову или раме посредством задней подвески.

Основными узлами заднего моста являются: две полуоси; штампованный кожух (корпус); центральный редуктор; две колесные передачи; дифференциал;

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 3б).

Воздействие условий эксплуатации на ведущий мост автобуса может быть представлено в формализованном виде, где показатели его надежности описываются некоторым абстрактным множеством $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$, или $n_i \in N$.



а – Конструктивная схема заднего моста; б – Влияние эксплуатационных факторов
Рисунок 3 – Задний мост

Для исследования надежности может быть выбран один из общепринятых показателей надежности, например, вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, наработка на отказ, и др. Полагается, что уровень надежности заднего моста формируется под влиянием шести множеств факторов:

- конструктивные особенности (автомобиль): $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$; $a_i \in A$;
- система ТО и ремонта: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$; $t_i \in T$;
- дорога: $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$; $r_i \in R$;
- климатические условия: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$; $s_i \in S$;
- нагрузка (интенсивность эксплуатации): $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$; $b_i \in B$;
- водитель: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$; $p_i \in P$.

Приведенные выше шесть групп факторов являются верхней структурой иерархии факторов, влияющих на надежность. В работе сформирована совокупность из 30 факторов, таких, как конструкция заднего моста, периодичность ТО, микрорельеф и другие, приведенные по значимости ниже. В совокупность приведенных факторов входят различные по своей природе факторы: простые и сложные, зависимые и независимые между собой, управляемые, частично управляемые и учитываемые. Такая классификация очень важна, т.к. позволяет принимать управленческие решения, на какие факторы необходимо воздействовать, чтобы получить максимальное повышение уровня эксплуатационной надежности рассматриваемого агрегата – заднего моста.

Для оценки значимости влияния приведенных факторов было привлечено 15 экспертов, которые дали свою оценку значимости факторов.

В результате обработки анкет экспертов наиболее значимым оказались факторы:

1. Конструкция заднего моста;
 9. ТО- Качество и регулярность выполнения операций ТО;
 10. ТО-Качество устанавливаемых запасных частей;
 25. Эксплуатация - Загрузка автобусов;
- При этом коэффициент конкордации

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

оказался равным 0.89, что говорит о достаточно хорошей согласованности мнений экспертов.

Основными деталями и узлами ЗМ являются две полуоси, штампованный кожух (корпус), центральный редуктор, две колесные передачи передающих крутящий момент, дифференциал, карданный вал. На основе проведенных исследований по отказам узлов для формализации схемы надежности будем использовать наименее надежные. На эти позиции приходится 98,6% всех отказов.

Для поддержания заданного уровня надежности в работе ставится задача определения оптимальных периодичностей предупредительных замен (ПЗ) деталей заднего моста автобуса. Эта задача может быть решена с помощью метода определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности, которая связана со средней наработкой до отказа $P_d\{x_i \geq L_{to}\} \geq R_d$, где x_i – наработка до отказа; L_{to} – периодичность ПЗ; R_d – допустимая вероятность безотказной работы.

В связи с этим было проведено исследование показателей надежности заднего моста автобуса Niger, эксплуатируемых в автобусном предприятии «ИП Иваненко Галина Ивановна» в г.о. Чехов Московской области. На момент проведения исследований в предприятии эксплуатировалось всего 35 автобусов. Проведение ТО и ремонта автобусов производится на собственной производственной базе.

Испытания и обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с ГОСТ 27.403-2009 и РД 50-690-89. 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 РД для нашего исследования определили: вид объекта наблюдений – восстанавливаемый; время наблюдений – 3 года; количество подконтрольных автомобилей – 14 ед.; наблюдаемый параметр – наработка между отказами деталей и узлов ЗМ.

В рамках исследований в течение трех лет проводилась работа по сбору и анализу статистики отказов узлов и агрегатов 14 (четырнадцати) автобусов Niger. Общий пробег подконтрольной группы автобусов за три года эксплуатации составил 7.560.000 км. За период наблюдений была собрана информация об отказах ведущего моста автобусов и выполненных работах по их устранению.

Анализ данных учета ремонтных работ по заднему мосту подконтрольной группы автобусов показал, что за период наблюдений произошло 221 отказ. 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 $e = 0,1$. Для решения

задачи определения рациональных периодичностей замен деталей ЗМ такие показатели оценки являются приемлемыми.

В результате получены статистические характеристики по отказам основных деталей ЗМ, а именно, сапуна – 35 %, сальников задней ступицы/полуоси – 22 %, ведущей и ведомой шестерни – 11%, сателлита дифференциала – 16%, шестерни полуоси заднего моста - 10%, редуктора в сборе – 6% (рис. 4).

Для каждого узла и детали ЗМ выполнена проверка соответствия всех распределений теоретическим, в том числе нормальному, экспоненциальному, гамма-распределению, Вейбулла и др. Результаты оценки показали, что наилучшим образом эмпирическое распределение описывается распределением Вейбулла, которое является основным законом, рекомендуемым нормативными документами для исследования надежности.

Детальное представление результатов исследований выражено в формировании параметров моделей надежности деталей заднего моста (Рисунки 4, 5).

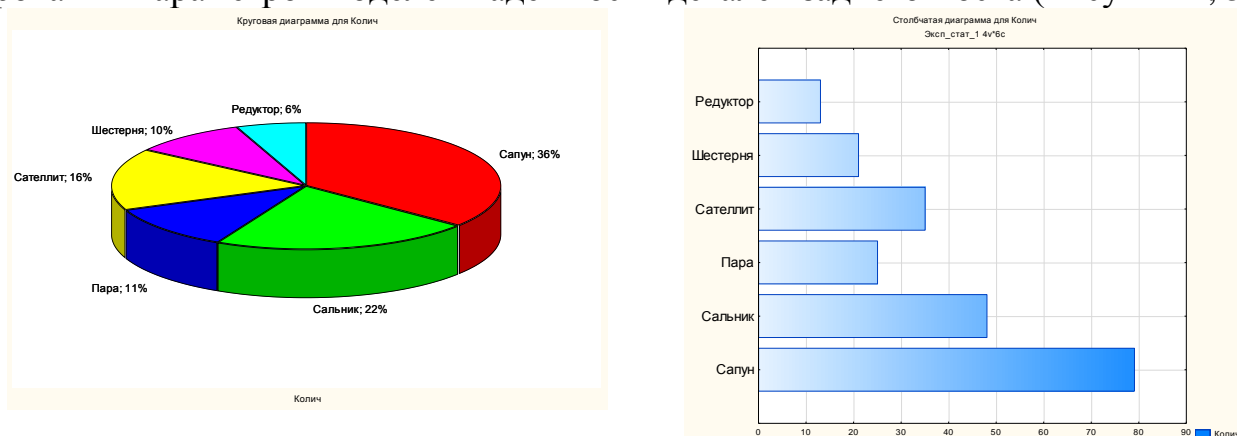


Рисунок 4 – Распределение отказов заднего моста автобуса Niger

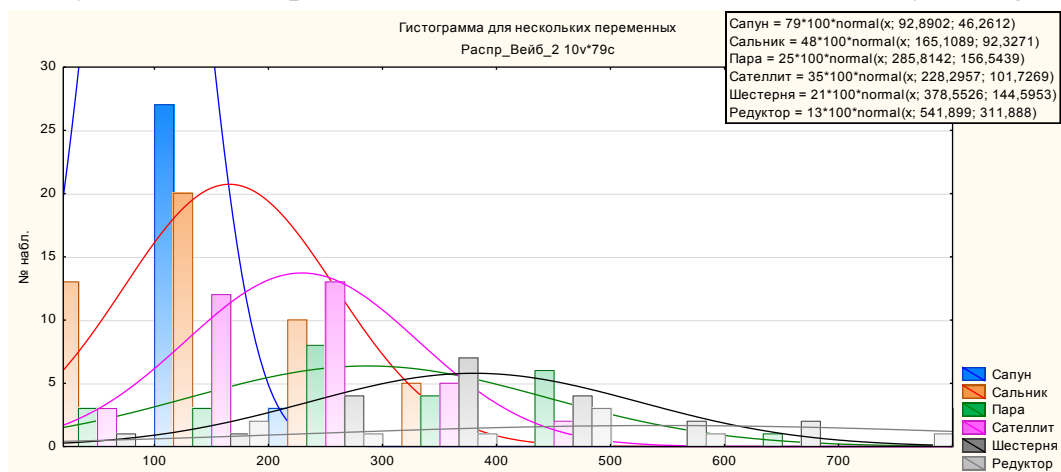


Рисунок 5 – Совместная гистограмма отказов для деталей и узлов ЗМ

Далее по собранной в рамках проведенных исследований статистической информации сформирована таблица для параметров модели надежности Вейбулла (Таблица 1).

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 автобуса.

Таблица 1 – Параметры надежности деталей и 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	1,75
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	5,7	694,53	203,60	29,31	675,32	1,84

В общем случае, исходя из конструктивных особенностей, для ЗМ имеет место последовательная схема надежности. При этом, справедливым остается соотношение для вероятности безотказной работы (ВБР) всего моста, как произведение ВБР последовательно соединенных деталей.

Для отдельных деталей ЗМ в рамках статистических исследований были получены параметры a и b модели надежности Вейбулла, для которой вероятность безотказной работы задается соотношением $P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right)$, 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 $P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}\right) \cdot t^2\right]$.

В третьей главе поставлена и решена задача определения оптимальной периодичности предупредительных замен деталей и узлов ЗМ на основе комплексных показателей надежности и ценового критерия.

Рационально выбранная периодичность обслуживания и предупредительных замен деталей и узлов, существенным образом может влиять на уменьшение числа и времени unplanned ремонтов $T_{\text{непл}}$. Реальное суммарное время unplanned ремонтов при этом за счет предупредительных замен сократиться на величину $\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}$ будет равно

$$T_{\text{непл}}^{\text{пр}} = T_{\text{непл}} - \Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{непл}}$ – время unplanned ремонтов без предупредительных замен;

$\Delta T_{\text{непл}}^{\text{пред}}$ – сокращение времени за счет предупредительных замен;

$T_{\text{непл}}^{\text{пр}}$ – реальное время unplanned ремонтов, сокращенное за счет предупредительных замен.

Однако проведение предупредительных замен в рамках плановых ТО повысит время его выполнения $T_{\text{план}}$ и увеличится на величину $\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$, т. е. реальное время $T_{\text{план}}^{\text{пр}}$ значение будет равно

$$T_{\text{план}}^{\text{пр}} = T_{\text{план}} + \Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{план}}$ – время плановых ТО без предупредительных замен;

$\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$ – увеличение времени планового ТО за счет выполнения предупредительных замен;

$T_{\text{план}}^{\text{пр}}$ – реальное время плановых ТО с предупредительными заменами.

В плане сравнения приращения времени плановых ТО $\Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$ и сокращения неплановых ремонтов $\Delta T_{\text{неп}}^{\text{пред}}$ следует учитывать их существенную разницу $\Delta T_{\text{неп}}^{\text{пред}} \gg \Delta T_{\text{план}}^{\text{пред}}$, что определяется необходимостью подготовки автобусов при проведении неплановых ремонтов. А это требует мойки, диагностики неисправности, заказа необходимых деталей и узлов, и т.д.

Таким образом, периодичность предупредительных замен влияет как на плановые ТО, так и неплановые 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 предупредительных ремонтов 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

$$C_0 = C_{\text{дет}} + C_{\text{тра}} + C_{\text{расх}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{прост}}, \quad (4)$$

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

$$C_{\text{пред}} = C_{\text{дет}} + C_{\text{расх}} + C_{\text{зп}}, \quad (5)$$

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 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.

Постановка задачи оптимизации сводится к виду

$$C(t) = C_0(t) + C_{\text{пред}}(t) \rightarrow \min, \quad (6)$$

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.

Для поиска этих зависимостей предлагается использовать ведущую функцию, которая описывает поток отказов и представляет математическое ожидание количества отказов V_t на временном интервале $(0, t) - H(t) = M(V_t)$. Различие ведущих функций отказов для стратегии с предупредительными заменами и без (Рисунок 6а) очевидно. При этом среднее количество отказов при стратегии с предупредительными заменами существенно меньше. Но зато расходы на их реализацию больше. Таким образом, с учетом вероятностного характера изучаемых процессов, задача оптимизации периодичности ПЗ сводится к виду:

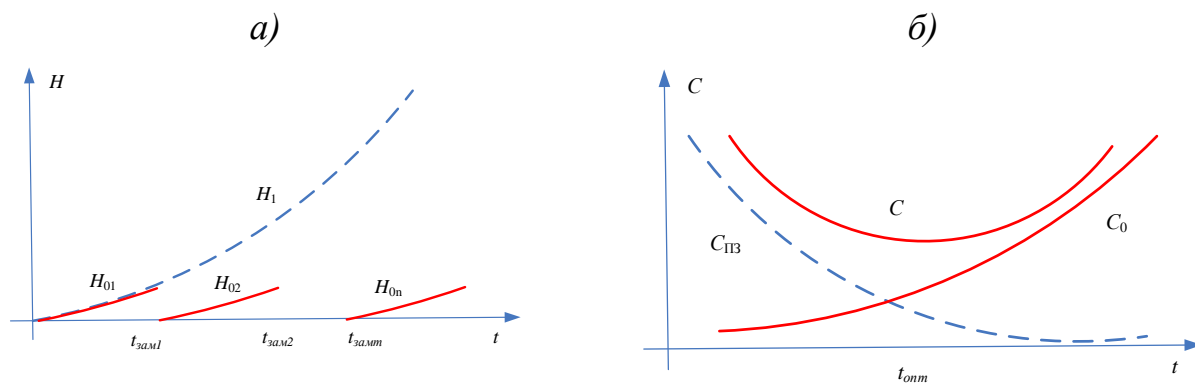
$$W = N * Z_{то} + H(dTO) * (Z_{то} + Z_{ав}) \rightarrow \min, \quad (7)$$

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

$Z_{ав}$ – 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.



а – ведущие функции; б – подбор периодичности

Рисунок 6 – Ведущие функции с предупредительными заменами и без

Следующим этапом решается задача подбора такого Δt , который по суммарным расходам $C_{\Sigma}(T_{ц})$ на всем жизненном цикле ТС доставляет минимум (Рисунок 6б).

В работе рассмотрены 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 85 тыс. руб., 185 тыс. руб. и 285 тыс. руб. Тогда зависимость стоимостного критерия от периодичности предупредительных замен будет иметь вид, приведенный на графике (Рисунок 7).

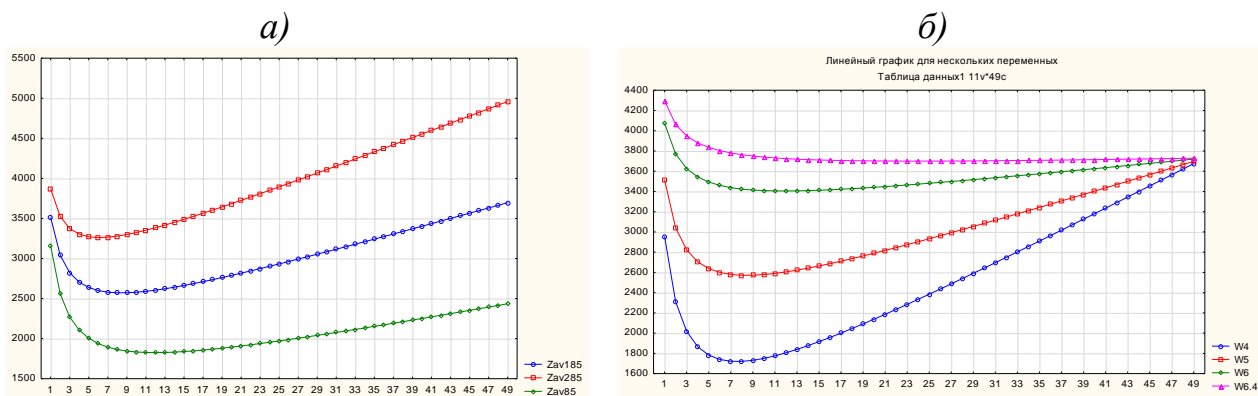


Рисунок 7 – Вариации стоимостного критерия

Предложенная в работе методика, а также проведенный статистический анализ отказов и неисправностей узлов и деталей позволили разработать карту надежности ЗМ. Имея такие расчеты по выбору интервалов пробегов для предупредительных замен с учетом вариации стоимостного критерия и данных по параметрам отказов, формируется рациональная программа предупредительных замен, совмещенных с программой технического обслуживания ТС. В результате получены рекомендации по периодичностям предупредительных замен в том числе, замена: сапуна – 100 тыс. км.; сальников – 180 тыс. км.; пара – 240 тыс. км; сателлит – 200 тыс. км; шестерни – 260 тыс. км.; редуктор в сборе – 400 тыс. км (Рисунок 8).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Сапун																																																		
Сальник																																																		
Пара																																																		
Сателлит																																																		
Шестерня																																																		
Редуктор																																																		

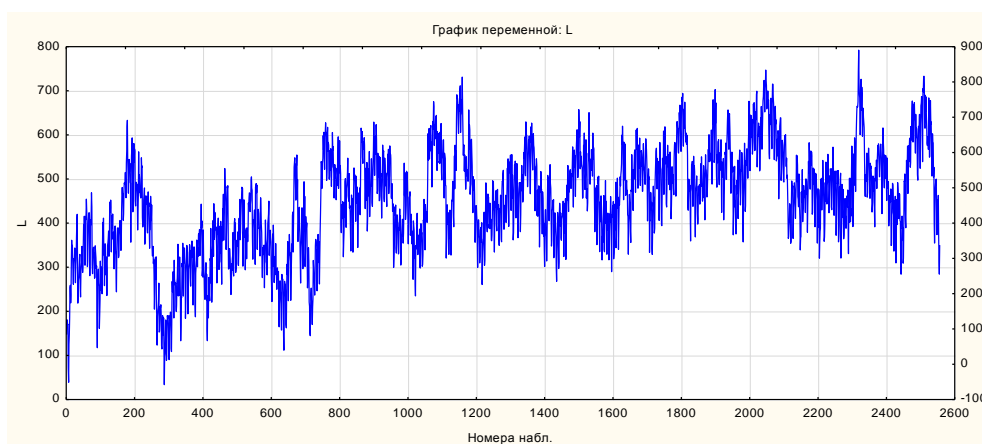
Рисунок 8 – Периодичности проведения предупредительных замен

Таким образом, предложено предупредительные замены определенных деталей и узлов заднего моста проводить во время проведения ТО различных видов.

Результаты экспертизы, приведенные в главе 2, показали, что интенсивность эксплуатации является основным фактором, влияющим на надежность. В связи с этим в работе была поставлена задача разработки методики прогнозирования интенсивности эксплуатации автобусного парка для предприятия в целом.

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

В целях оценки интенсивности эксплуатации автобусов для типового предприятия был проведен статистический анализ общего пробега парка ТС за 7 лет (Рисунок 9).



Риснок 9 – Временной ряд общего пробега парка

Из графика видно, что динамика интенсивности эксплуатации имеет нестационарный характер. В связи с этим для формирования прогнозной модели получены основные статистические характеристики изучаемого процесса. Построены автокорреляционные функции интенсивности использования автобусов и показано наличие достаточно больших корреляций. Естественно, что чем больше значения автокорреляции, тем более точным будет прогноз.

Для выявления тренда проведен регрессионный анализ данного временного ряда. Найдены оценки параметров регрессии (Таблица 2). Свободный член регрессионной зависимости равен 3345 (это пробег на начало сбора статистики предприятия), а линейный член 0.09. Полученная таблица дисперсионного анализа показала статистическую значимость на наличие линейного тренда. Значение критерия Фишера (F-отношения) более 1000. Таким образом, при решении задачи прогноза этот факт также необходимо учитывать.

Таблица 2 – Параметры регрессии

Итоги регрессии для зависимой переменной (Таблица данных 1)						
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	0,561162	0,016378	0,0901	0,002629	34,2628	0,00

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, который можно использовать для повышения качества прогнозирования будущей интенсивности на полтора два года.

Модель временного ряда в стандартных процедурах прогнозирования (экспоненциальное сглаживание, модель Брауна) 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.

Если временной ряд ξ_t описывается полиномом p -ой степени $y_t = \sum \frac{a_i}{i!} t^i + \varepsilon_t$, то Линейная модель имеет только первые два члена полинома $y_t = a_0 + a_1 t + \varepsilon_t$. На основании теоремы Брауна-Майера получить систему уравнений, связывающих оценку коэффициентов a_0 и a_1 с экспоненциальными средними $S_t^{(1)}(y) = a_0 + \frac{1-\alpha}{\alpha} a_1$, $S_t^{(2)}(y) = a_0 + \frac{2(1-\alpha)}{\alpha} a_1$.

В результате для получения прогноза предлагается использование процедуры экспоненциального сглаживания, которая вместе с прогнозом по модели регрессии будет давать результирующую комбинацию.

В результате решения задачи прогнозирования могут быть получены: общее (в номенклатуре и по моделям автобусов) число ТО и ПЗ; общая нормативная трудоемкость этих операций; количество необходимых запасных частей (в номенклатуре); стоимость запасных частей по моделям.

В четвертой главе диссертации рассматриваются вопросы внедрения предложенных методов и моделей. Выполнено формальное описание БП управления ТОР. Приведены программные формы автоматизированной системы управления АТП, в котором реализовано внедрение. Даны методические рекомендации по использованию разработанных в диссертации методов и моделей.

В рамках обследования предприятия использовались данные по пробегу всего парка автобусов за последние 7 лет.

В работе выполнен прогноз по модели экспоненциального сглаживания (Рисунок 10).

Далее в результате диссертационных исследований на основе полученных показателей распределения Вейбулла сформирована база данных ведущих функций для основных узлов и деталей заднего моста (Рисунок 11а).

На основе данных показателей получены зависимости критерия стоимости от периодичности предупредительных замен для всех основных деталей и узлов заднего моста (Рисунки 11б), в результате чего определены рациональные периодичности предупредительных замен. Исходя из разностей расходов на обслуживание каждого узла заднего моста получена общая экономия затрат на поддержание работоспособности заднего моста 267,6 тыс. руб. за весь жизненный цикл одного автобуса, или 37,9 тыс. руб. в год на один автобус.

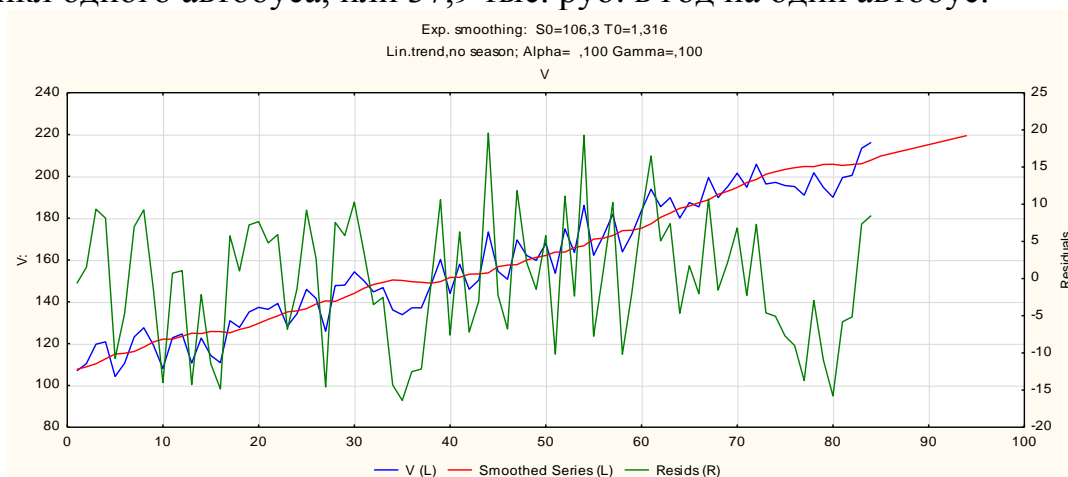


Рисунок 10 – График прогноза по модели экспоненциального сглаживания

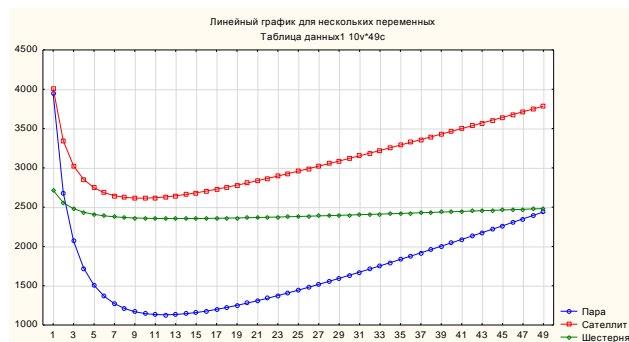
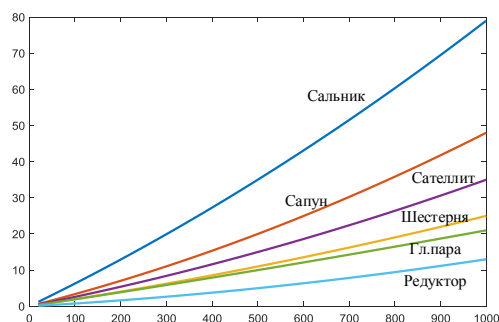


Рисунок 11 – Ведущие функции потока отказов узлов ЗМ

Внедрение системы предупредительных замен естественным образом приводит к сокращению времени нахождения автобусов в ремонте и к соответствующему повышению основного показателя уровня работоспособности – коэффициента технической готовности. Величина изменения коэффициента технической готовности $КТГ_{изм}$ вследствие внедрения системы ПЗ и является показателем-измерителем увеличения уровня работоспособности агрегата, для которого эта система разрабатывалась, в нашем случае, для заднего моста. Величину $КТГ_{изм}$ можно определить для каждой детали/узла как отношение разности простоев в ремонте и ожидания ремонта до и после внедрения системы ПЗ к общему времени нахождения автобусов в эксплуатации, включая время нахождения автобуса в ремонте, ожидании ремонта и в эксплуатации:

$$КТГ_{изм}^i = (N^i * (P_{дн}^i + T_{ож}^i) - (АД_{пз}^i + АД_{рпз}^i)) / (АДэ + АДр) = \\ = (N^i * (P_{дн}^i + T_{ож}^i) - ((L_{общ} / I_{пз}^i) * P_{дн}^i + 0,1 * N^i * P_{дн}^i)) / 365 * 3 * 14, \quad (8)$$

где N^i – общее количество отказов i -той детали;

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

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

$АД_{пз}^i$ – продолжительность простоев автобусов при проведении ПЗ i -той детали, авт-дн;

$АД_{рпз}^i$ – продолжительность простоев автобусов при устранении внезапных отказов при реализации системы ПЗ, авт-дн;

$АДэ$ – автомобиле-дни нахождения автобусов в эксплуатации (на линии);

$АДр$ – автомобиле-дни нахождения автобусов в ТО и ремонте;

$L_{общ}$ – общий пробег подконтрольной группы автобусов за период наблюдений, тыс. км;

$I_{пз}^i$ – периодичность проведения ПЗ i -той детали, тыс. км.

Исходные данные и результаты расчетов $КТГ_{изм}^i$ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – 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	100	7,9	75,6	83,5	74,5	0,005
Сальник	48	1	1	96	180	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	260	2,1	29,1	31,2	283,8	0,019
Редуктор	13	2	70	936	400	2,6	37,8	40,4	895,6	0,058
Всего	221			2535		29,4	323,1	352,5	2182,5	0.142

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. Такое значительное сокращение простоев в ремонте объясняется существующим дефицитом запасных частей для автобусов на рынке запасных частей. Так, время ожидания поставки редуктора в сборе составляет 60-90 дней (в среднем 70 дней). Создание на складе предприятия запаса дефицитных деталей и проведение ПЗ позволит значительно сократить простои автобусов и повысить уровень работоспособности автобусного парка.

Далее в работе выполнено формальное описание технологических процессов управления ТО и ремонта для конкретного предприятия, которое может быть рассмотрено как типовый проект обеспечения функций управления ТО, ремонтом и предупредительными заменами.

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.

В рамках общей системы автоматизации ТОР предприятия система имеет отдельные АРМ, а именно:

- планирование выпуска ТС;
- учет и анализ технико-эксплуатационных показателей работы техники;
- учет плановых ТО и ремонтов автобусов;
- ремонты;
- планирование загрузки ремонтных цехов;
- складской учет запчастей и расходных материалов.

В рамках расширения возможностей имеющегося АРМ «Учет плановых ТО и ремонтов автобусов» в данную форму включены возможности запуска предложенных в диссертации моделей настройки периодичности ТО в зависимости от используемых параметров выработки (пробег, наработка в мото-часах, и т.д.), а также от временных показателей, имеющих в календарном плане (Рисунок 12).

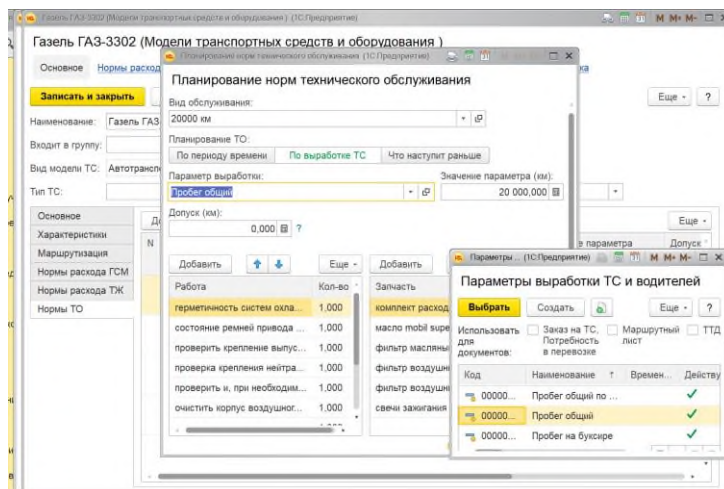


Рисунок 12 – Учет плановых ТО и ремонтов автомобилей

Для каждого типа ТО, ремонта и предупредительных замен добавлена возможность включения новых моделей ТС с указанием списка запчастей, агрегатов и узлов, а также списка работ. Предусматривается возможность интерфейсного взаимодействия с Excel.

Для специального АРМ «Складской учет запчастей и расходных материалов» также предложено расширение функций, включая функции прогноза работ по предупредительным заменам, а также использование имеющихся моделей управления запасами, которые подстраиваются под сформированные прогнозы.

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. Предложена 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. В порядке убывания по степени влияния на надежность заднего моста факторы распределились следующим образом: 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.

5. Предложена оптимизационная постановка задачи расчета периодичности предупредительных замен на основе комплексных показателей надежности и ценового критерия. На основе расчета ведущих функций отказов выполнены расчеты и обоснован перечень операций предупредительных замен, для каждой операции предложена оптимальная периодичность, согласованная с периодично-

стью 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 получена 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 типовый 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 обосновании периодичностей предупредительных замен деталей узлов и агрегатов автомобилей. Перспективными направлениями дальнейшей разработки темы, с целью повышения уровня работоспособности автомобилей, являются дальнейшее развитие научных методов 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.

По теме диссертационного исследования опубликованы следующие работы:

Статьи в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

1. Гусев, А.Г. Надежность и условия эксплуатации задних мостов автобусов / В.И. Сарбаев, А.Г. Гусев // Мир транспорта и технологических машин. – № 3–5 (78), 2022. – С. 11–17.

2. Гусев, А. Г. Использование спутниковых систем для контроля за качеством управления автобусами на линии / В.И Сарбаев, А.Г. Гусев, А.С. Чусова,

В.В. Южаков // Мир транспорта и технологических машин, 2021. – № 1(72). – С. 36–41.

3. 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, 2023. – № 1-1 (80). – С. 19–27.

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

5. Гусев, А. Г. Управление предупредительными заменами и запасами деталей и узлов в автобусном парке / В.И. Сарбаев, А.Г. Гусев, А.С. Гришин, С. Джованис // Мир транспорта и технологических машин, 2023. – № 2 (81). – С. 18–25

6. Гусев, А. Г. Предпосылки имитационного моделирования процессов организации работ по ТО и ремонту автомобилей в АТП общего пользования с подключением специализированных предприятий автосервиса / В.И. Сарбаев, А.П. Болдин, А.С. Чусова, А.Г. Гусев // Мир транспорта и технологических машин, 2023. – № 3-1 (82). – С. 36–42.

7. Гусев, А. Г. Выбор поставщиков запасных частей для предприятий автосервиса / А. С. Гришин, В. И. Сарбаев, С. Джованис, А. Г. Гусев // Мир транспорта и технологических машин, 2023. – № 4-1 (83). – С. 128–135.

Научные работы, опубликованные в других изданиях

8. 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. – С. 270–272.

9. 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. – С. 128–132.

10. Гусев, А. Г. Нечеткая модель диагностики заднего моста автобуса / В. И. Сарбаев, А. Г. Гусев // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 31 января–2 февраля 2023 г. // под общей редакцией А. А. Солнцева. – М.: МАДИ, 2023. – 215 с. – С. 14–20

11. Гусев, А. Г. Обоснование периодичностей предупредительных замен деталей заднего моста автобуса / В. И. Сарбаев, А. Г. Гусев // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомо-

бильного транспорта: сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 29 января–2 февраля 2023 г. // под общей редакцией А. А. Солнцева. – М.: МАДИ, 2024.– 225 с. – С. 44–50