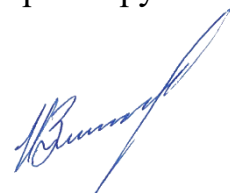


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЛОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА»

На правах рукописи



Загородний Николай Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор
Новиков Александр Николаевич

Орёл 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	17
1.1 Система контроля, технического обслуживания и ремонта, оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей в Российской Федерации	17
1.2 Существующие методы прогнозирования и оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	23
1.3 Системный подход в управлении уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	37
1.4 Методы и подходы повышения уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	52
1.5 Выводы по главе 1 и задачи исследования	60
2 МЕТОД И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	63
2.1 Современные методы и технологии анализа сложных организационно- технических систем	63
2.2 Алгоритм методики расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности	87
2.3 Концептуальная информационная модель системы управления уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	92
2.4 Выводы по главе 2	98
3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	100
3.1 Системно-информационный анализ факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей и построения когнитивной модели	100
3.2 Разработка когнитивной модели влияния факторов на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	102

3.3 Методика расчета интегральных показателей влияния факторов на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	115
3.4 Методика оценки количественных характеристик факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	119
3.5 Методика оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	136
3.6 Выводы по главе 3	156
4 МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ	158
4.1 Многокритериальная оптимизация и построение вариационного ряда воздействий на факторы. Когнитивное моделирование при решении задач многокритериальной оптимизации	158
4.1.1 Применение метода идеальной точки для определения последовательности воздействий на факторы	161
4.1.2 Применение метода контрольных показателей для определения последовательности воздействий на факторы	166
4.2 Моделирование реструктуризации воздействий при распределении ресурсов	169
4.3 Концептуальная модель управления эксплуатационной надежностью прогнозированием технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов	177
4.3.1 Мониторинг уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	189
4.3.2 Технические решения для получения данных об эксплуатационных режимах грузовых автомобилей	191
4.3.3 Методы обеспечения непрерывности мониторинга эксплуатационной надежности	194
4.3.4 Состав и структура системы мониторинга эксплуатационной надежности	196
4.4 Выводы по главе 4	202

5 МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ	205
5.1 Методика прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей.....	205
5.2 Методика прогнозирования изменений структурных параметров, вызывающих отказ агрегата, системы или элемента автомобиля на основе эксплуатационных режимов.....	212
5.3 Методика определения изменения структурного параметра на пусковых режимах агрегата при прогнозировании	223
5.4 Выводы по главе 5	228
6 ПРЕДЛОЖЕНИЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ.....	231
6.1 Разработка предложений, характеризующих эксплуатационные режимы транспортного средства, необходимых для объективной оценки его фактического и прогнозируемого состояний	231
6.2 Кластерный подход к техническому обслуживанию и ремонту грузовых автомобилей	237
6.3 Формирование диапазонов параметров, определяющих эксплуатационные режимы для отдельных агрегатов	242
6.4 Техничко-экономическая оценка результатов исследования	254
6.5 Выводы по главе 6	266
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	268
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	273
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	274
ПРИЛОЖЕНИЕ А	301
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	308
ПРИЛОЖЕНИЕ В	314
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	322

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Основным видом транспорта для перевозки грузов в России является автомобильный транспорт. Согласно официальным данным Федеральной службы государственной статистики, его доля в общей структуре перевозок в последние годы составляет около 70%.

Объем перевозок грузов автомобильным транспортом в РФ также продолжает расти. По сравнению с 2020 г. объем перевозок за 2023 г. вырос на 20%.

На 1 января 2024 г. на территории Российской Федерации в общей сложности зарегистрировано 8 млн 138 тыс. единиц коммерческой техники. Более половины (51,2%) парка занимают легкие коммерческие автомобили, которых насчитывается более 4,17 млн шт. Немного меньше (44,3%) в стране числится грузовых автомобилей (ГА) – более 3,6 млн шт., причем 77,5% из них находятся в возрасте старше 10 лет.

Объем парка грузовых автомобилей в России достаточно большой, а результаты проведенных исследований и опыт технической эксплуатации грузовых автомобилей показывают, что существенное повышение эксплуатационной надежности данной категории транспортных средств (ТС) не может быть достигнуто отдельными мероприятиями. Для этого требуется системный подход и рассмотрение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, как сложной организационно-технической системы, анализ и управление которой должен осуществляться в динамике с использованием современных средств и методов.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р утверждена Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года (Стратегия) с прогнозом на период до 2035 года. Среди стратегических направлений Стратегии можно выделить следующие:

- дифференцированный подход к требованиям качества и частоты технического обслуживания и ремонта транспортной инфраструктуры с учетом фактического использования и назначения;
- эффективный и регулярный профилактический ремонт транспортных средств;
- мониторинг транспортных средств и предиктивное техническое обслуживание и ремонт.

Анализ нормативной базы в сфере эксплуатации автомобильного транспорта показал, что в 2020 г. согласно приказу Минтранса РФ от 31.08.2020 г. № 344 отменено Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта, которое являлось основным инструментом управления технической эксплуатацией. Базовыми элементами системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) являлись показатели долговечности узлов, агрегатов и автомобиля в целом, а также результаты их диагностирования. Использование этих данных и получение закономерностей давало возможность прогнозировать техническое состояние транспортных средств, корректировать межсервисные интервалы, прогнозировать затраты предприятия. В связи с чем, вопросы, связанные с технической эксплуатацией транспортных средств, переведены в «зону ответственности» автопроизводителей.

Объем парка грузовых автомобилей в России достаточно большой, а результаты проведенных исследований и опыт технической эксплуатации грузовых автомобилей показывают, что существенное повышение эксплуатационной надежности данной категории транспортных средств не может быть достигнуто отдельными мероприятиями.

Применяемые в настоящее время мероприятия, направленные на повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта, не могут значительно повлиять на эксплуатационную надежность ТС, так как традиционные методы не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание подлежащей решению проблемы заведомо является

неточным или неполным. Одним из эффективных, но недостаточно изученных методов повышения эксплуатационной надежности ТС, является метод когнитивного моделирования. Под когнитивными картами понимают математические модели, способные описать проблемы функционирования сложных систем и выявить причинно-следственные связи их составляющих. Данный метод применяется для прогнозирования, моделирования и оценки различных стратегий развития системы и дальнейшего принятия управленческих решений.

Анализ данной актуальной проблемы с научной точки зрения, несмотря на значительные результаты, позволил выявить существенный ряд недостатков в области технической эксплуатации транспортных средств, для устранения которых требуется системный подход и рассмотрение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, как сложной организационно-технической системы, анализ и управление которой должно осуществляться в динамике с использованием современных средств и методов, что позволит внести значительный вклад в развитие страны.

Современный уровень развития цифровых технологий и алгоритмов обработки больших данных позволяет реализовать системный подход к повышению эффективности эксплуатации транспорта, однако для этого необходимо совершенствование научно-методического аппарата, что является актуальной научной проблемой.

Степень разработанности проблемы.

Научные основы повышения эффективности эксплуатации, прогнозирования изменения технического состояния и обеспечения надежности автомобильного транспорта в отечественных и зарубежных странах заложены в трудах таких ученых, как Ф.Н. Авдонькин, Е.В. Агеев, В.А. Аметов, И.Н. Аринин, А.Р. Асоян, Л.Л. Афанасьев, В.Н. Басков, А.П. Болдин, Д.П. Великанов, В.М. Власов, В.С. Волков, Н.Я. Говорущенко, А.С. Денисов, А.Ф. Дергачев, Л.В. Дехтеринский, В.Н. Добромиров, И.Е. Дюмин, Н.С. Захаров, Ю.А. Заяц, Н.И. Иващенко, В.И. Карагодин, Р.Н. Колегаев, М.В. Корогодский, В.А. Корчагин, Г.В. Крамаренко,

Е.С. Кузнецов, И.А. Луйк, Д.П. Мартино, Л.В. Мирошников, С.М. Мороз, Г.М. Напольский, А.Н. Новиков, А.Н. Островцев, А.В. Постолиит, Б.Д. Прудовский, В.И. Рассоха, Л.Г. Резник, В.И. Сарбаев, А.В. Терентьев, Ю.В. Трофименко, А. Хедми, А.М. Шейнин, Р. Штойер, С.В. Шумик, Н.Н. Якунин и других, результаты которых учтены при выполнении диссертационной работы.

Цель работы – повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей за счет управления эксплуатационной надежностью.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ существующих методов управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей. Научно обосновать необходимость введения понятия «уровень эксплуатационной надежности».

2. Сформировать когнитивную модель управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей с целевой функцией «уровень эксплуатационной надежности».

3. Разработать методику оценки значений факторов, определяющих эксплуатационную надежность и формирующих комплексный независимый критерий, составляющие которого есть функции времени.

4. Разработать методику динамической оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, сущность которой состоит в линейной свертке двух критериев: критерия влияния факторов на целевую функцию и критерия значений этих факторов.

5. Разработать методику формирования множества факторов модели управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей с построением вариационного ряда воздействий на основании многокритериальной оптимизации, улучшение которых наиболее эффективно повышает уровень эксплуатационной надежности.

6. Разработать концептуальную модель управления эксплуатационной надежностью, отличительной особенностью которой является прогнозирование технического состояния агрегатов, систем, элементов на основе мониторинга эксплуатационных режимов.

7. Разработать метод прогнозирования технического состояния грузовых автомобилей, построенный на адаптивных принципах реализации воздействий с учетом наработки на эксплуатационных режимах.

8. Разработать научно-методический подход принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия.

9. Выполнить технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемых решений.

Объект исследования – система технической эксплуатации грузовых автомобилей.

Предмет исследования – процесс управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей.

Рабочая гипотеза заключается в том, что повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей возможно за счет применения подходов, базирующихся на методе прогнозирования по наработке на эксплуатационных режимах, а также управления эксплуатационной надежностью на основе когнитивных моделей с наложением временного ряда значений факторов и реструктуризации воздействий, направленных на повышение уровня эксплуатационной надежности.

Научная новизна исследования:

1. Впервые установлен механизм, определяющий оценку уровня эксплуатационной надежности, как результат преобразования двухкритериальной задачи оптимизации в однокритериальную: критерия влияния факторов на систему и критерия значений факторов, описывающих процесс управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей.

2. Для совершенствования системы управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей впервые применено когнитивное моделирование с построением вариационного ряда воздействий на факторы и определения рационального объема ресурсов с использованием многокритериальной оптимизации по Парето.

3. Разработаны теоретические положения, описывающие процессы адаптивного изменения последовательности воздействий при управлении эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, относящиеся как к производственно-технической базе, персоналу, так и к процессам обслуживания и ремонта грузовых автомобилей.

4. Разработаны базовые принципы системы прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей, которые основаны на учете наработки на эксплуатационных режимах элементов, агрегатов, механизмов, систем и автомобиля в целом и определении их влияния на техническое состояние.

5. Разработан кластерный подход к техническому обслуживанию и ремонту, основанный на разработанной системе прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса грузовых автомобилей.

Теоретическая значимость заключается в применении разработанных методов, основанных на совместном применении математического аппарата, а именно, теории нечетких множеств (когнитивного моделирования), динамических временных рядов и многокритериальной оптимизации, направленных на прогнозирование, базирующемся на мониторинге эксплуатационных режимов с целью повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей. Предлагаемый научно-методический аппарат включают в себя совокупность методов и математических моделей, схем и условий, технических решений, отражающих объективные закономерности в эксплуатации автомобилей с использованием ранее не применяемых в данной сфере подходов для решения актуальной проблемы.

Практическая значимость работы состоит в разработке, апробации и внедрении новых технических и технологических решений, подтвержденных патентами, программами ЭВМ, базами данных, заключается в прикладном характере результатов исследований, применяемых отраслью материального производства (транспортным комплексом и его современной структурой) и предприятиями, эксплуатирующими грузовые автомобили. В частности:

1. Внедрение технологических решений позволяет повысить уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей на 16%.

2. Разработана, апробирована и внедрена адаптивная система технического обслуживания и ремонта (АСТОР), повышающая уровень эксплуатационной надежности: на 26% (Акт внедрения в ООО «Белдорстрой» г. Белгорода от 14.01.2025 г.); на 31% (Акт внедрения в ООО «БЕЛМАГ» г. Белгорода от 29.10.2024 г.); на 29% (Акт внедрения в ООО «ДОРОЖНОЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 96» от 15.10.2024 г.); на 29% (Акт внедрения в АО «Лебединский ГОК» от 10.10.2024 г.); Акт внедрения Министерством автомобильных дорог и транспорта Белгородской области от 01.10.2024 г.; Акт внедрения ОАО НИИАТ от 26.05.2025 г.

3. Разработано, апробировано и внедрено устройство контроля моторного масла в двигателе внутреннего сгорания, позволяющее прогнозировать периодичность его замены (Патент РФ № 184276 от 23.05.2018 г.).

4. Внедрено в учебный процесс ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (Акт внедрения от 29.10.2024 г.).

Методология и методы исследования.

Диссертационная работа основана на анализе оценки качества эксплуатации грузовых автомобилей, современных научных отечественных и зарубежных трудах ведущих ученых в области эксплуатационной надежности. Используются следующие методы исследований: статистического анализа; теория нечетких множеств; когнитивное моделирование; теории графов; теории структурного анализа и синтеза; прогнозирование; корреляционный анализ; многокритериальная оптимизация; математическое моделирование; математическое программирование; эксперимент.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, основанный на когнитивном подходе к моделированию.

2. Методика динамической оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, основанная на линейной свертке двух критериев: критерия влияния факторов на целевую функцию и критерия значений этих факторов.

3. Метод формирования множества факторов вариационного ряда воздействий, основанный на многокритериальной оптимизации по Парето.

4. Метод управления эксплуатационной надежностью прогнозированием технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов.

5. Методики прогнозирования изменения структурных параметров на основе коэффициентов влияния эксплуатационных режимов.

6. Методика АСТОР, основанная на кластерном подходе к определению сроков и объема технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

7. Алгоритмы принятия решений: в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия; по конкретным грузовым автомобилям (ГА) при направлении в средний ремонт (СР), капитальный ремонт (КР), списание; мониторинга эксплуатационной надежности ГА.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов исследований подтверждается как теоретически, так и экспериментально, а именно:

1) эффективным использованием современного математического аппарата: методов статистического анализа; решения задач многокритериальной оптимизации; прогнозирования; теории нечетких множеств; когнитивного моделирования; теории графов; структурных анализа и синтеза; корреляционного анализа; математического моделирования; математического программирования; эксперимента;

2) отсутствием противоречий: с результатами ранее проводимых исследований, в том числе ведущими учеными по повышению эффективности технической эксплуатации автомобилей и поддержанию на должном уровне эксплуатационной надежности грузовых автомобилей; с теорией принятия решений; с научной литературой в области технической эксплуатации грузовых автомобилей; с публикациями в том числе, в рецензируемых изданиях;

3) возможностью и необходимостью практической реализации разработанной системы принятия решений в части управления

эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия.

Основные положения и результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на Международных научно-практических конференциях и форумах с 2014 г. по н.в.: Международная научно-техническая конференция «Молодой инженер - основа научно-технического прогресса», ЮЗГУ, Курск, 2015 г.; Международная научно-практическая конференция «Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, 2017 г.; Ежегодная конференция «Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования», Воронежская гос. лесотехническая акад., Воронеж, 2016 – 2018 гг.; Международная научно-техническая конференция «Современные автомобильные материалы и технологии» САМИТ-2018, ЮЗГУ, Курск, 2018 – 2019 гг.; Международная научно-техническая конференция молодых ученых, БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2017 г., 2020 г., 2024 г.; Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении», ЮЗГУ, Курск, 2018 г.; Conference Series "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Enterprise Information Systems" 2018 г.; Международная научно-практическая конференция «Техника и технологии: пути инновационного развития», ЮЗГУ, Курск, 2018 г.; Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь, Могилев, 2018 г.; Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы функционирования систем транспорта», Тюменский индустриальный университет, Институт транспорта ТИУ, Тюмень, 2019 - 2020 гг.; Международная научно-практическая конференция «Новые информационные технологии и системы в решении задач

инновационного развития», МЦИИ ОМЕГА САЙНС, Уфа, Ижевск, 2020 г.; Международная научно-практическая конференция «Прогрессивные научные исследования - основа современной инновационной системы», МЦИИ ОМЕГА САЙНС, Уфа, Волгоград, 2020 г.; Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство», БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2020-2021 гг.; Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», ОГУ имени И.С. Тургенева, Орёл, 2016 - 2022 гг.; Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум» 2015 – 2021 гг.; Всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2021, Южный федеральный ун-т, Дивноморское, Геленжик, Ростов-на-Дону – Таганрог, 2021 г.; Международная конференция по транспортной доступности Арктики: сети и системы, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2021 г.; Международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте», Липецкий государственный технический университет, Липецк, 2022 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Студент-Наука», Воронежский государственный технический университет, Воронеж, 2022 г.; Международная молодежная конференция «Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее», ОГУ имени И.С. Тургенева, Орёл, 2022-2023 гг.; Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения)», БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2023 г.; Научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ «Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта», МАДИ, Москва, 2023 г.; Международная научно-практическая конференция «Инженерно-техническое образование и наука» (ИТОН-2023), Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Новороссийск, 2023 - 2024 гг.; Международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков», Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, 2023 г., а также на ежегодных

семинарах кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2014-2024 гг.

Связь работы с научными программами.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках грантов и хозтем: НИР № У-218/15 от 16.07.2015 г.; У-212/2017, У-213/2017 от 26.09.2017 г.; У-238/2017 от 26.10.2017 г.; У-254/2017 от 10.11.2017 г.; У-157/19 от 14.10.2019 г.; У-134/2020 от 04.09.2020 г.; У-111/2022 от 28.06.2022 г.; У-113/2022 от 26.10.2022 г.; У-24/23, У-25/23, У-26/23, У-27/23, У-28/23, У-29/23, У-30/23, У-31/23 от 03.04.2023 г.; У-111/23, У-112/23 от 14.12.2023 г.; У-97/24 от 26.11.2024 г.; программы стратегического академического лидерства «Приоритет – 2030» проект № Пр-5/22 на тему «Интеллектуальные транспортные системы», а также соответствием:

- Указу Президента РФ от 7.07.2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ» в части соответствия п. 7. Транспортные и космические системы;

- Указу Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития РФ» в части создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем;

- Распоряжению Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3684-р «Программа фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021 - 2030 годы)» в части разработки научных основ создания автоматизированных систем управления.

Информационная база исследования.

Законодательные и нормативные правовые акты, Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года (Стратегия) с прогнозом на период до 2035 года, материалы федеральных и региональных органов власти, управлений и ведомств, статистические данные.

Личный вклад автора.

Автором лично сформулированы все основные идеи, положенные в основу системы принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, цели и задачи работы, выбраны

основные направления теоретических и экспериментальных исследований, предложены концептуальные положения, разработана методы их формирования и реализации, совокупность методик, отображающих научно-технологические основы повышения эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта: пункт 11. Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем; пункт 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; пункт 14. Эффективность и качество эксплуатационных материалов, закономерности изменения характеристик, показателей работоспособности, определение нормативов расходования и рациональных сроков службы эксплуатационных материалов и их влияние на ресурс агрегатов автотранспортных средств; пункт 17. Развитие информационных технологий в сфере перевозок, технической эксплуатации и сервиса.

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в научных трудах: 76 статьях, в том числе 19 в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 5 в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Web of Science и Scopus. Результатом проведения исследований являются опубликованные научные работы: 3 монографии, 1 патент на полезную модель, 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 5 свидетельства о регистрации базы данных.

Структура и объем работы. Диссертация включает в себя введение, шесть глав, заключение, библиографический список из 203 источников, четыре приложения. Диссертация изложена на 324 страницах, включает 32 таблицы, 59 рисунков.

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

1.1 Система контроля, технического обслуживания и ремонта, оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей в Российской Федерации

Более тридцати лет система технического обслуживания и проведения ремонтных работ предусматривалась на планово-предупредительной основе. Регламентирующим документом являлось «Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта». Однако с 2020 г. данное положение утратило свою силу согласно приказу Минтранса РФ от 31.08.2020 г. № 344 [140]. Сегодня большинство вопросов обслуживания и ремонта автомобилей регулируется фактически требованиями регламентов к техническому обслуживанию и ремонту, разработанными заводами-изготовителями автомобилей. Большинство подходов к поддержанию исправного состояния автомобилей, описанных в этих регламентах и руководствах, также в своей сути схожи с ранее применявшимся положением, где приведен регламент обслуживания и ремонта, перечень проводимых операций, а также нормативы пробегов между ремонтами, справочник трудоемкостей по различным видам работ, нормативы простоев во время проведения работ по ТО и Р, корректирующие коэффициенты к нормативам в соответствии с конкретными условиями эксплуатации [3].

Основной смысл планово-предупредительной системы – принудительная остановка автомобилей для проведения соответствующего вида технического обслуживания по достижении определенного пробега или периода эксплуатации [26]. Это необходимо для недопущения преждевременного износа, а также для своевременного восстановления работоспособности узлов и агрегатов, которые ее утратили.

В [140] предусмотрены виды технических операций, представленные на рисунке 1.1.

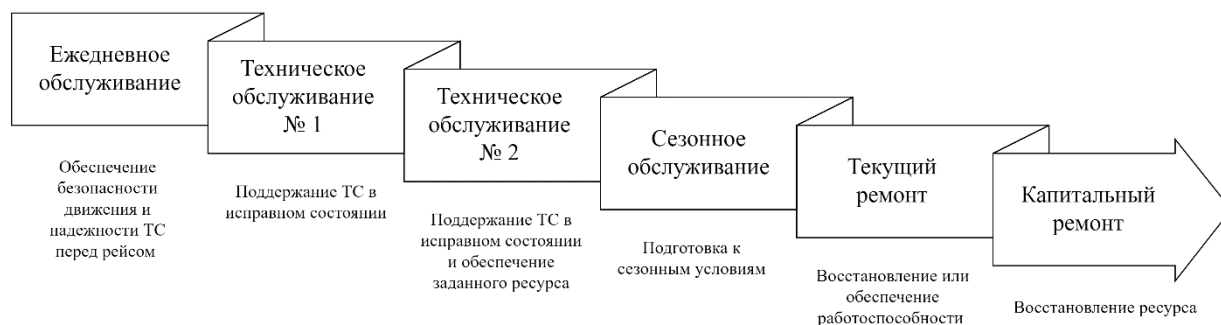


Рисунок 1.1 - Виды технических обслуживаний транспортных средств

В настоящее время производители многих марок грузовых отечественных автомобилей придерживаются этого перечня в своих рекомендациях по обслуживанию и ремонту. Каждый из перечисленных видов обслуживания и ремонтов отличается трудоемкостью и периодичностью.

Производители легковых отечественных автомобилей, а также импортных легковых и грузовых используют иной перечень видов операций, который, как правило, имеет привязку к моточасам наработки или кратен определенному периоду пробега. Перечни операций не имеют периодичности как в ТО-1 и ТО-2, а скорее индивидуальны для каждого пробега или наработки, хотя основная суть остается той же.

Нет необходимости описывать различные системы периодического обслуживания, применяемые для каждой конкретной марки и модели автомобиля, сама суть системы представлена на примере отечественной школы, где основные виды операций аналогичны по наполнению, целям и задачам с системами периодического обслуживания и ремонтными циклами других производителей автомобилей.

Эксплуатационный ремонтный цикл соответствует наиболее распространенной в настоящее время системе технического обслуживания (ТО) и ремонта как автомобилей в целом, так и их отдельных узлов и агрегатов [31]. Поскольку рассматриваемая проблема представляется довольно сложной, ее разбивают на более малые и решают в несколько этапов:

проектирование автомобиля и его узлов и агрегатов осуществляется конструкторскими бюро под конкретные определенные задачи с заданным сроком службы [133]. После чего производится подготовка документации, регламентирующей особенности эксплуатации и ремонтов, определяющая структуру самого ремонтного цикла, который позволяет уверенно достигать проектных сроков службы [132].

Плановая система организации ремонта с жестко определенными межсервисными и межремонтными интервалами в настоящее время считается устаревшей и нецелесообразной по множеству объективных причин [51,52]. Наблюдается переход к более гибким структурам ремонтного цикла, опирающихся на результаты контрольно-диагностических мероприятий, проводимых с оптимально подобранными периодами в сочетании с мероприятиями последующих ТО и ремонтов в объемах, определенных на основе результатов диагностики [22].

Таким образом, в роли ключевых критериев, определяющих выбор стратегии ремонтов и ТО, выступают нормативные значения диагностических параметров, а также взаимосвязь величин отклонений от этих параметров и сценариев, обосновывающих ту или иную структуру ремонтного цикла [33,35].

В качестве диагностического параметра принято понимать некую характеристику детали, узла или агрегата, которую можно рассматривать как выходную информацию о состоянии [37]. Значения параметров обычно подразделяют на номинальные, допустимые, предельные и текущие [4].

В качестве номинальных значений параметров понимают расчетные значения для нового изделия или отремонтированного, принятые при проектировании и определенные проектно-конструкторской документацией, которые служат базисом при начале отсчета отклонений [28].

Допустимые значения параметра, как правило, характеризуют предел, до наступления которого, состояние механизма (предотказное), находящегося в работе, можно охарактеризовать как исправное и не требующее вмешательства до следующего запланированного контрольного мероприятия [53,82].

В качестве предельного значения параметра понимают такое наибольшее или наименьшее заранее определенное его значение, при котором механизм еще находится в работоспособном состоянии, но его дальнейшая эксплуатация будет недопустима или нецелесообразна [134].

Под текущим значением параметра понимают его фактическое значение на момент измерения или определения [34].

Помимо рассмотренных значений параметров при групповых заменах деталей для принятия решения о замене может применяться условно-допускаемое значение параметра, с более жесткими границами допустимых значений, на основании которого может обосновываться целесообразность замены детали, несмотря на ее исправность, при условии замены отказавших деталей, связанных с данной спецификой и обобщенностью ремонтных операций (например, при замене натяжного ремня, целесообразна замена натяжных роликов даже не смотря на их исправность и отсутствие достижения предельных значений параметров износа) [64].

Вопросами изменения технического состояния транспортных средств ввиду изнашивания, старения, деформаций, коррозии отдельных деталей занимался основоположник теории старения машин академик ВАСХНИЛ А.И. Селиванов, впоследствии ее развивали А.М. Шейнин и Л.В. Дехтеринский и др. [46,47,154,185,186] В настоящее время активно продолжают исследования взаимного влияния неисправных деталей на исправные, объединенных в единой системе. Каждая из причин отказов нарушает работоспособность автомобиля и приводит к прекращению транспортной работы. В структуре парка коммерческих автомобилей РФ по состоянию на 1 января 2024 г. грузовые автомобили насчитывали 3,6 млн единиц (44,3% от общего количества коммерческого транспорта), причем 77,5% из них находились в возрасте старше 10 лет. Экспериментальные исследования причин отказов грузового автотранспорта показывают, что в 40% случаев они являются следствием процессов изнашивания, в 26% - следствием пластической деформации, в 18% - усталостных разрушений, в

12% случаев разрушения от температурных воздействий, на долю прочих причин приходится 4% [180].

Причины отказов характеризуются множеством различных факторов таких как качество материалов деталей, точность обработки, качество сборки агрегатов, условия эксплуатации, связанные с климатическими особенностями, качеством дорожного покрытия, режимов движения, качество ГСМ, уровень организации работ по ТО и ТР, квалификация водителей и персонала, производящего работы по ТО и ТР [146,147].

Множество этих факторов своим влиянием порождает множество различающихся отказов, которые в конечном итоге приводят к ухудшению технико-экономических показателей эксплуатации парков автомобилей. Кроме того, для каждого автомобиля будут характерны только специфические индивидуальные особенности неисправностей [107,108]. В связи с этим при организации работ по ТО и ТР необходим индивидуальный подход к каждому автомобилю [131]. Важен сбор и обработка статистической информации по техническому состоянию каждого автомобиля, что помогает организовать детальное планирование работ по ТО и ТР, а также формировать условия для безотказной работы транспортных средств [46,47,154,185,186].

При ежедневном осмотре, как правило, проводится экспресс-диагностирование [137]. Оно затрагивает системы, влияющие на безопасность эксплуатации автомобилей, и результатом такого диагностирования обычно является резюмирование относительно технического состояния той или иной системы по признаку наличия или отсутствия неисправности без уточнения причины неисправности [65].

Современные методы диагностирования все еще не могут устанавливать техническое состояние всех систем автомобиля. Контролепригодность пока находится на уровне 0,5 – 0,74, поэтому от 25 до 50% всех работ по ТО регламентированы заданной номенклатурой. С помощью диагностики отказы различных систем могут выявляться с достоверностью 0,8 – 0,85 [130]. При этом до 40% всех отказов являются самопроявляющимися, не требующими

средств диагностики и устраняются текущим ремонтом [109]. Перспективы развития методов диагностики предполагают увеличение контролепригодности узлов и агрегатов автомобилей, что в свою очередь будет увеличивать безотказность и сокращать количество случайных воздействий и сокращение объема работ [110].

В настоящее время распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р утверждена Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года (Стратегия) с прогнозом на период до 2035 года [175].

Стратегией предусматривается внедрение предиктивной аналитики для решения задач, связанных с проведением технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств. Также в рамках мониторинга транспортных средств предполагается установка технических средств для сбора и постоянного мониторинга состояния транспортных средств и отдельных узлов транспортных средств, при этом применяемые технические решения будут зависеть от вида транспортного средства. Исходя из уровня развития систем искусственного интеллекта стратегией предусматривается их внедрение для анализа данных, прогнозирования отказов и поддержки принятия решений о проведении упреждающих ремонтов. Реализация указанного направления позволит повысить надежность и сроки эксплуатации транспортных средств, а также будет способствовать снижению затрат на обслуживание и ремонт транспортных средств [175].

Развитие и внедрение информационных технологий на транспорте необходимо реализовывать с опорой на отечественные решения [13]. Так Стратегией [175] предполагается разработка стандартов и типового отечественного программного обеспечения для предиктивной аналитики в целях технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Разработчиками документа предполагается, что к 2025 г. до 30% данных будут собираться и анализироваться в реальном времени, а в транспорте - применяться для моделирования и оптимизации транспортных потоков, планирования развития транспортной и логистической инфраструктуры, оптимизации

ремонт и технического обслуживания за счет прогнозирования на основе интеллектуального анализа данных и событий [32].

Современные автомобили сегодня получают все более развитые системы бортового диагностирования, позволяющие осуществлять электронное сканирование большинства систем автомобиля и оперативно оповещать водителя о наличии тех или иных отклонений параметров от нормы [156]. При необходимости данные системы позволяют проводить углубленную диагностику, однако для таких работ необходима высокая квалификация и, очень часто, специализированная техническая поддержка производителя.

1.2 Существующие методы прогнозирования и оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

В настоящее время при рассмотрении методов прогнозирования технического состояния автомобилей имеется возможность руководствоваться ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 (НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Контроль состояния и диагностика машин ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ), который, хоть и регламентирует более широкое направление «машины», но в полной мере соответствует всему спектру вопросов прогнозирования и оценки технического состояния автомобилей [30].

Данный ГОСТ предполагает полный цикл контроля состояния машины (автомобиля) и включает в себя пять этапов (рисунок 1.2) [30].

Согласно ГОСТу, решение задачи прогнозирования сводится к определению показателя сохранения работоспособного состояния автомобиля, используя статистику различных данных об автомобиле, и, следовательно, не исключает ошибок. Поэтому, в данном случае выполнение требований стандарта являются более рекомендательным, чем обязательным [30].

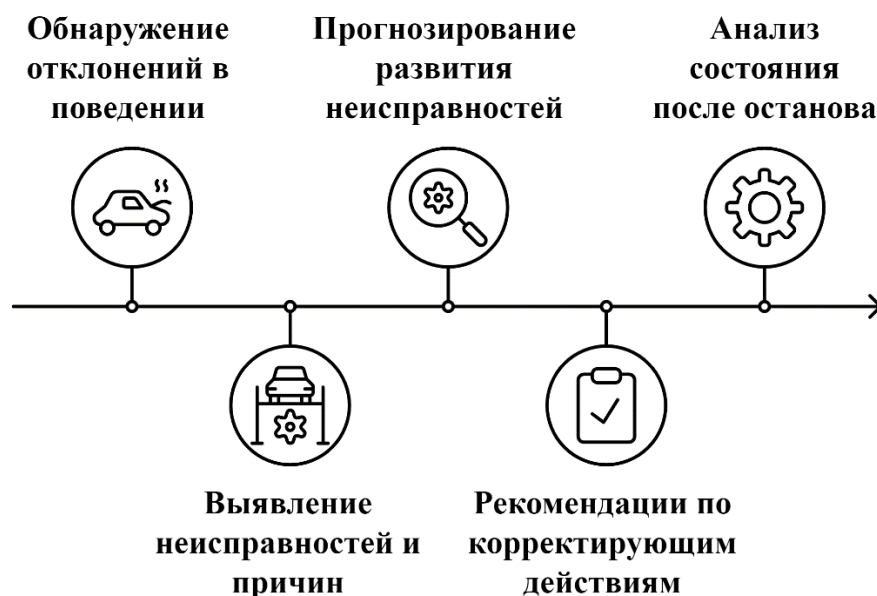


Рисунок 1.2 – Этапы контроля состояния автомобилей

Для формирования адекватного подхода к решению задачи прогнозирования возникновения неисправностей важно знать перечень всех видов неисправностей, которые способны проявляться в данном автомобиле, а также иметь четкое представление о причинно-следственных связях при взаимодействии деталей, узлов и агрегатов между собой, а также логику развития неисправностей в соответствии с этими взаимосвязями [62]. Необходимо также быть уверенным и иметь возможность подтвердить достоверность информации о значениях различных контролируемых параметров, характеризующих режимы работы, а также связанные с ними эксплуатационные параметры и параметры технического состояния, используемых в дальнейшем в расчетах [61].

Условия эксплуатации, при которых используются ГА, влияют на режимы работы агрегатов и деталей, ускоряя или замедляя интенсивность изменения параметров их технического состояния [89-93,140].

Различают:

- дорожные условия;
- условия движения (транспортные, природно-климатические, сезонные).

Дорожные условия определяют режим работы ГА, характеризуются

технической категорией дороги (их пять), видом и качеством дорожного покрытия, сопротивлением движению автомобиля, элементами дороги в плане (ширина, величины подъемов и уклонов, радиусы закруглений) [96].

Условия движения характеризуются влиянием внешних факторов на режимы движения и, следовательно, на режимы работы ГА и его агрегатов.

Транспортные условия (условия перевозок) характеризуются скоростью движения, длиной груженой ездки, коэффициентом использования пробега, коэффициентом использования грузоподъемности, коэффициентом использования прицепов, родом перевозимого груза.

Природно-климатические условия характеризуются температурой окружающего воздуха, влажностью, ветровой нагрузкой, уровнем солнечной радиации [104].

Сезонные условия характеризуются колебаниями температуры окружающего воздуха, изменением состояния дорожных условий, появлением ряда факторов, влияющих на интенсивность изменения параметров технического состояния ГА [77].

Учитывая вышесказанное, а также то, что наиболее существенными факторами условий эксплуатации являются температурные режимы окружающей среды и дорожные условия при мониторинге им следует уделить первостепенное внимание. Другие факторы найдут свое отражение на множестве режимов работы ГА. Таким образом, мониторинг условий эксплуатации предполагает в первую очередь учет температурных режимов окружающей среды, дорожных условий и транспортных условий.

Этот вывод следует из того, что, в частности, из природно-климатических условий влажность и ветровая нагрузка находят свое отражение на режимах работы двигателя, уровнем солнечной радиации в допустимых пределах можно пренебречь. Температура окружающей среды не находит существенного отражения на режимах работы ГА, т.е. является независимым фактором, но существенно влияет на износ и показатели надежности.

Кроме того, дорожные условия, характеризующиеся видом и качеством дорожного покрытия, сопротивлением движению, элементами дороги в плане также отражаются на множестве режимов работы ГА [115].

На множестве режимов работы ГА отражаются и транспортные условия, например, длина грузовой ездки, коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности, а скорость движения является измеряемым показателем.

Известно, что закономерности изменения технического состояния можно условно разделить на три вида. Закономерности первого вида основываются на наработке ТС. В случае постепенных отказов изменение параметра технического состояния аналитически достаточно хорошо может быть описано двумя видами функций (рисунок 1.3):

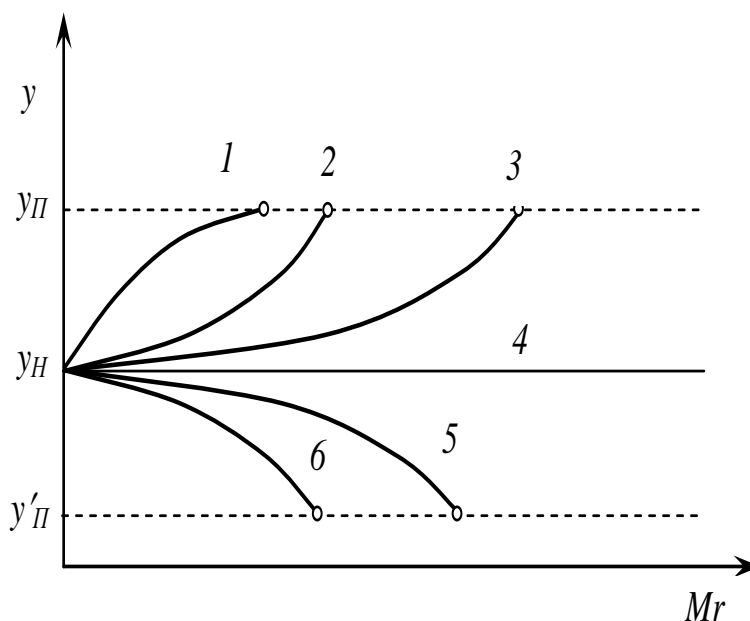


Рисунок 1.3 – Возможные формы зависимости параметра технического состояния y от времени t или наработки Mr :

1-3 – увеличение значение параметра; 4 – стабильность параметра;
5-6 – уменьшение значения параметра; y_n, y'_n – предельные значения параметра

а) полиномом (многочленом) n -го порядка

$$y = a_0 + a_1 l + a_2 l^2 + \dots + a_n l^n, \quad (1.1)$$

где a_0 – начальное значение параметра технического состояния;

l – наработка, пробег ГА, (мото-час, км);

a_1, a_2, \dots, a_n – коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости y от l ;

б) степенной функцией

$$y = a_0 + a_1 l^b, \quad (1.2)$$

где a_1, b – коэффициенты, определяющие интенсивность и характер изменения параметра технического состояния.

Зная функцию $y = \varphi(l)$ и предельное значение параметра технического состояния $y_{\text{п}}$, можно определить из уравнения $l = f(y)$ средний ресурс ГА.

Достаточно часто закономерности изменения параметра описываются линейным уравнением

$$y = a_0 + a_1 l, \quad (1.3)$$

где a_1 – интенсивность изменения параметра технического состояния, зависящая от конструкции и условий эксплуатации.

Принципиальное отличие использования закономерностей первого вида при определении технического состояния с использованием системы прогнозирования воздействий (СПВ) является учет не просто наработки l , а какой именно наработки, на каких режимах, при каких условиях эксплуатации и с каким распределением этих режимов во времени. Решение этой задачи потребует определения множества коэффициентов для каждой группы режимов работы ГА.

Когда рассматривают закономерности второго вида, то имеют в виду случайные процессы изменения технического состояния ГА.

Важно, что в данном случае имеют в виду влияние условий эксплуатации, квалификацию персонала, неоднородность моделей ГА и их начальное состояние, при которых интенсивность и характер изменения параметра технического состояния у разных ТС будет различной (рисунок 1.4). Наработка на отказ будет случайной величиной Mr_i ($i = 1 \dots n$) и иметь вариацию (рисунок 1.4), неминуема также нестабильность технического состояния y_i на определённом пробеге Mr_0 и, как следствие, – изменение

трудоемкости и продолжительности выполнения работ по восстановлению технического состояния.

Следовательно, так как наработка на отказ, трудоёмкость и продолжительность являются случайными величинами, важно знать те характеристики и математические модели, которые их описывают.

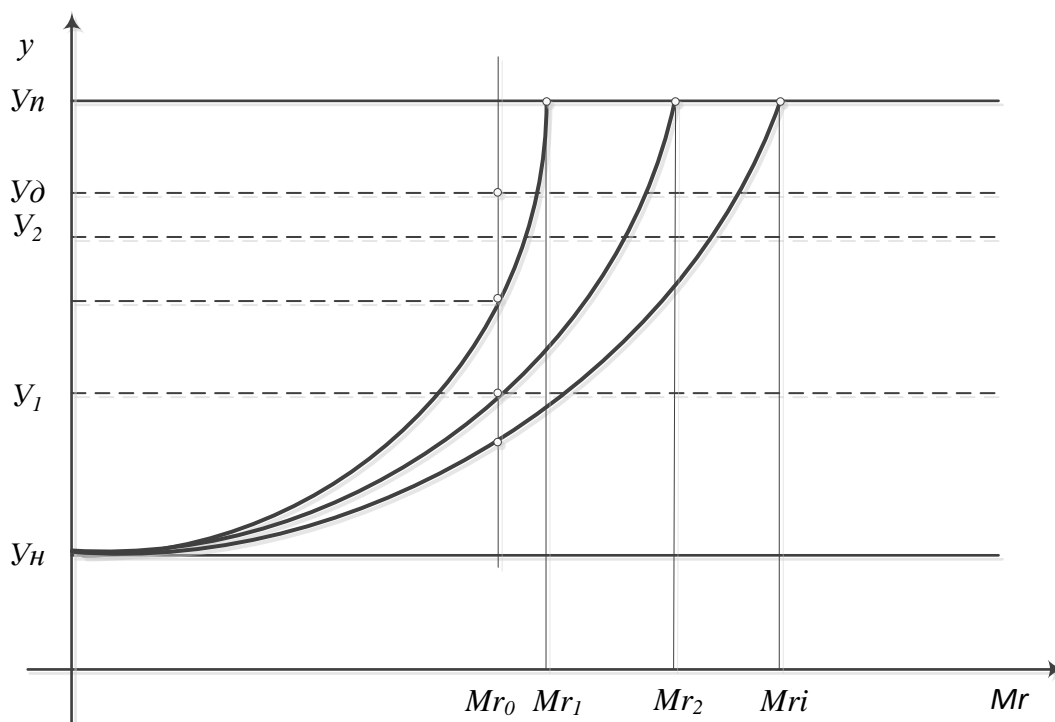


Рисунок 1.4 – Изменение ресурса и технического состояния объектов

Рассматривая систему прогнозирования воздействий как систему, в которой происходит мониторинг условий эксплуатации, а квалификация персонала как обслуживающего, так и водительского учитывается при фиксации воздействий и последующей по режимной наработке, то появляется возможность учитывать факторы условий эксплуатации и квалификации персонала. Следовательно, остается только влияние структурных параметров, которое под влиянием СПВ будет стремиться к уменьшению (рисунок 1.5).

Ранее рассмотренные два вида закономерностей: изменения параметров технического состояния по времени или пробегу и вариация параметров технического состояния достаточно точно характеризуют надёжность ТС и их элементов, т. е. позволяют оценить наработку на отказ, вероятность отказа ТС

при определённом пробеге, ресурсы его агрегатов и т. д., а при использовании СПВ значительно снизить погрешность в определении остаточного ресурса и воздействий [80].

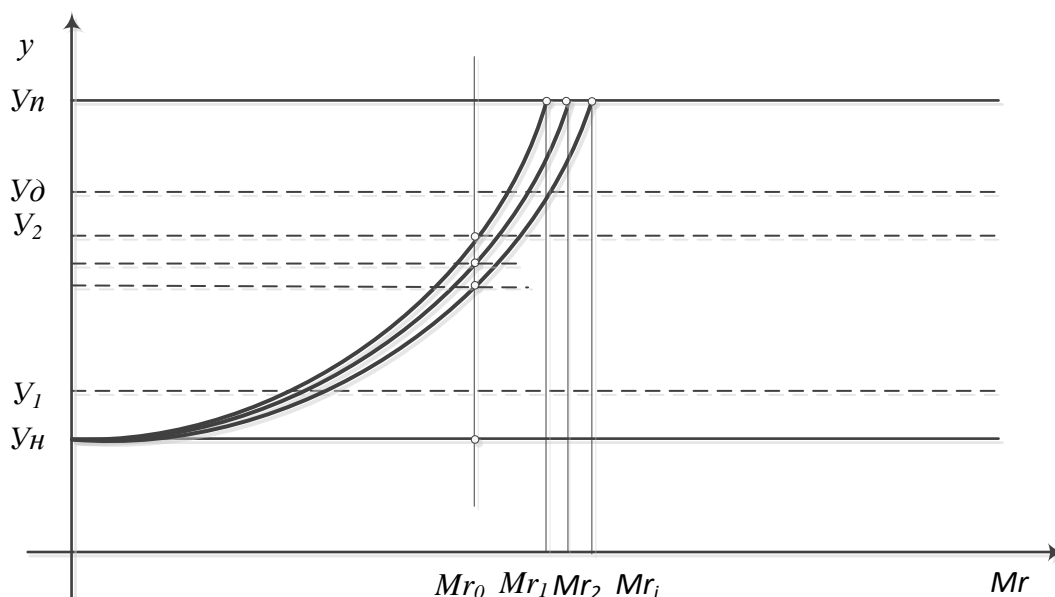


Рисунок 1.5 – Уменьшение вариации при использовании системы прогнозирования воздействий

Взаимосвязи между показателями надежности конкретного ТС и суммарным потоком отказов для модели ГА следует изучать с помощью закономерностей третьего вида, которые характеризуют процесс восстановления, возникновения и устранения отказов и неисправностей изделий во времени, т.е. с помощью воздействий [79]. Не останавливаясь подробно, на основе вышесказанного, следует отметить, что СПВ позволит вести контроль качества восстановления ресурса, используя важнейшие характеристики закономерностей третьего вида, к которому относятся:

- средняя наработка до k -го отказа

$$\bar{x} = \bar{x}_1 + \sum_{k=2}^m \bar{x}_{k-1,k},$$

где \bar{x}_1 – средняя наработка до первого отказа;

$\bar{x}_{k-1,k}$ – средняя наработка на отказ между $k-1$ и k -м отказом.

События x_1, x_2, \dots, x_k называются процессом восстановления.

Средняя наработка на отказ между $k-1$ и k -м отказами для n ТС:

$$\bar{x}_{k-1,k} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{k-1,k}}{n};$$

- коэффициент полноты восстановления ресурса, который характеризует возможность восстановления ресурса после ремонта, то есть качество произведённого ремонта.

На сегодняшний день моделирование процессов возникновения неисправности имеет в своем арсенале достаточно широкую вариативность, поэтому системы мониторинга признаков неисправностей должны учитывать имеющиеся и перспективные из них [173].

Современные электронные системы автомобилей обретают все большие возможности по управлению процессами с большим объемом данных, что в свою очередь, приводит к возможностям анализа закономерностей предвещающих возникновение неисправностей с переходом в прогнозирование отдельных отказов [66,116].

Стандарт ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 определяет правила разработки процедур прогнозирования технического состояния машин (в рассматриваемом нами направлении – автомобилей). Целью является формирование единых представлений о прогнозировании развития неисправностей среди пользователей и разработчиков систем мониторинга технического состояния, организация возможностей сбора данных о характеристиках для прогнозирования, установление общих подходов к подготовке прогнозов технического состояния, обучение эксплуатирующего персонала прогнозированию, и развитие систем прогнозирования в разрабатываемых системах мониторинга [30].

Также стандарт вводит перечень терминов, определений и понятий, определяет перечень исходных данных для прогнозирования и описывает основные методы моделирования отказа: математические модели для заданных условий эксплуатации, оценка ожидаемого срока службы, экспертные системы, математические модели, модели надежности, модели

изменения технического состояния, а также определяет методы проверки моделей [30,48].

Помимо регламента прогнозирования, описанного в ГОСТ выше, имеется также уже сложившаяся практика прогнозирования технического состояния автомобиля [30]. В реальных условиях прогнозирование технического состояния транспортных средств определяется вероятностным моментом наступления отказа, когда уже достигнуто предельное состояние автомобиля или выбором периода, когда автомобиль эксплуатируется без потери работоспособности, т.е. безотказно [68]. Необходимость иметь прогноз о техническом состоянии автомобиля продиктована потребностью в возможности управления техническим состоянием с целью оптимизации ресурсов, выделяемых на содержание парков автомобилей, а также иметь возможность своевременного планирования операций по обслуживанию и ремонту, и исключать или значительно уменьшить риски дорогостоящих ремонтов, к которым могут приводить внезапные неконтролируемые отказы развивающиеся по принципу домино [67]. Кроме этого, целью прогнозирования также является адаптация регламентов обслуживания и ремонта к каждой конкретной марке автомобиля и модели, в то время как обычные методы ремонта и обслуживания не могут обеспечить выполнения этого условия. В итоге с целью обеспечения возможностей прогнозирования появляется необходимость налаживать процесс обслуживания, который будет основан на сборе диагностической информации, анализа и последующего прогнозирования к определенному пробегу или времени. Расчет интервалов диагностирования производится на основе теории надежности, а также на основе информации об изменении технико-экономических показателей состояния автомобиля [49].

Как правило, при прогнозировании используются различные критерии оценки технического состояния, основанные как на прямых, так и на косвенных измерениях тех или иных параметров, например виброакустические, усталостно-прочностные, оценка динамики износа

периодическими замерами зазоров в подвижных соединениях, оценка осадков и взвеси изношенных частиц в масле, экономические показатели трудозатрат на ремонт и др. [50].

Методы прогнозирования условно можно разделить на три группы [24,192]:

1. Метод экспертных оценок, когда оценивается средняя оценка экспертов по конкретному вопросу [8,84,97,151].

2. Моделирование с использованием методов подобия, для которых подготавливаются соответствующие модели и проводится эксперимент, результаты которого переводятся через соответствующие коэффициенты для соответствия реальному автомобилю.

3. Статистические методы прогнозирования подразумевают использование аналитической функции, соответствующей описанию развития процесса во времени. Экстраполяция функции позволяет определять искомые параметры с определенной точностью.

Другим важным с точки зрения прогнозирования технического состояния способом является применение специализированных диагностических приборов и оборудования, содержащих в себе аналитические модули на базе встроенных компьютеров или других логических устройств, в том числе, имеющие возможность объединения в единую структуру с серверами служб технической поддержки, находящимися в распоряжении производителей автомобилей [78]. Множество этих устройств имеют возможность подключаться к блокам управления различных систем автомобилей с последующим считыванием диагностических параметров. Производиться это может как на автомобиле, стоящем на посту обслуживания, так и на ходу. Оборудование, как правило, имеет устройство ввода (клавиатуру или сенсорный дисплей), а также монитор, на котором отображаются интерфейс системы диагностики и диагностические параметры в соответствии с заданным набором контролируемых функций систем. Диагностирование производится в соответствии с определенными процедурами и общей логикой поиска данных о признаках проявления неисправностей, а также в тех случаях,

когда нет неисправностей, осуществляется проверка диагностических параметров на соответствие своим диапазонам значений для конкретных условий [69]. Также с помощью программного обеспечения диагностического оборудования возможна подача команд на исполнительные устройства автомобиля для управления ими в определенных режимах или корректировка параметров управляющих команд для постоянно осуществляемых процессов при работе того или иного агрегата автомобиля, с целью определения влияния этих корректировок на характер работы и степень отклонения от оптимальных значений результирующих параметров [57]. Но наличие лишь самих данных не может обеспечивать прогнозирование, так как необходимо, во-первых, сравнение этих данных с эталонными значениями, а, во-вторых, важно оценивать динамику изменения диагностических параметров во времени, причем учитывая наличие всех причинно-следственных связей этих параметров с техническими показателями автомобиля [117].

В СССР разрабатывались нормативы диагностических параметров ДВС для конкретных марок отечественных автомобилей и утверждены в качестве руководящих документов и ГОСТ. А в настоящее время, ввиду большого разнообразия марок и моделей транспортных средств, а также их низкой унификации - это довольно сложная задача, решение которой организовано в основном на уровне инженерных служб технического сопровождения и поддержки некоторых производителей автомобилей (в основном зарубежных), которые могут собирать информацию о диагностических параметрах с большого парка автомобилей и затем с помощью аналитических алгоритмов проводить анализ с последующим подведением итогов. В результате появляется возможность прогнозирования технического состояния автомобилей, но она скорее носит обобщающий характер и не позволяет применять прогноз к конкретному автомобилю в полной мере. Скорее данный подход работает для большой группы автомобилей одной марки и модели, где признакам проявления неисправности и отслеживания динамики проявления неисправности можно противопоставить соответствующую единую

стратегию, позволяющую улучшить ситуацию, уменьшив процент случающихся отказов. Так, на основании анализа статистики отказов или проявлений признаков неисправностей, автопроизводители выпускают сервисные бюллетени для конкретных марок и моделей, иногда учитывая даже период выпуска модели на конвейере [118]. Эти бюллетени содержат информацию о необходимых технологических операциях с автомобилями, попавшими в определенный интервал дат производства, которые могут обеспечить снижение количества возможных неисправностей в конкретных узлах и агрегатах, учитывая исследования и анализ статистики их отказов, тем самым улучшая характеристики эксплуатационной надежности [159].

Однако даже такой подход имеет свои ограничения и не является в полной мере совершенным, поэтому производители автомобилей, претендующие на лидирующие позиции и позиционирующие себя, как «премиальные бренды», совершенствуют методы прогнозирования технического состояния автомобилей своей марки всем доступным арсеналом средств [93]. Имитационное моделирование производится практически для всех узлов и агрегатов, огромные ресурсы сосредоточены для построения математических моделей с привлечением большого количества специалистов в области программирования и математических методов анализа, прогнозирование характеристик разрабатываемой детали уже просчитывается на стадии ее проектирования и затем лишь подтверждается в ходе стендовых и ходовых испытаний, а также подвергается необходимой корректировке на основе результатов испытаний. Такой подход дает помимо улучшения характеристик самих деталей, узлов и агрегатов еще и довольно точные прогнозные модели их поведения в реальной эксплуатации, что приводит к возможности с высокой точностью определять назначенный ресурс деталям узлам и агрегатам для определенных условий или режимов эксплуатации. Поскольку высокую важность для автопроизводителей имеет как обоснование высокой цены на конечную продукцию (автомобили и запасные части к ним), так и сокращение издержек на покрытие возможных расходов на возмещение

убытков, связанных с гарантийными ремонтами автомобилей, прогнозирование становится особо актуальным [39]. От его точности во многом зависит финансовый успех автопроизводителя, особенно, когда речь идет о разделении вины продавца или эксплуатанта за случившийся отказ и последующего определения плательщика. Для автопроизводителя выгодно, чтобы как можно меньше возмещений по устранению неисправностей, связанных с гарантийными отказами, так как это основа прямых убытков. Поскольку практически во всех странах в юридической практике повсеместно используется принцип презумпции вины производителя (продавца), то сбор доказательной базы для подтверждения отсутствия заведомо неисправных или бракованных деталей с одной стороны, а также возможных нарушениях правил эксплуатации с другой стороны являются неотъемлемой важной частью процесса сокращения издержек автопроизводителя. В данном случае система прогнозирования уже выступает в роли предупреждающей неисправности и отказы и является встроенной в интерфейс бортовых устройств оповещения водителя или специалистов служб эксплуатации предприятия эксплуатанта о необходимости предупреждения отказа ТО или реже ремонтным воздействием на те или иные детали, узлы, агрегаты для предотвращения вероятного отказа. Кроме того, такие развитые системы имеют связь в режиме реального времени не только с владельцем автомобиля, но и с производителем, который в свою очередь, может через свою сеть уполномоченных дилеров осуществлять также связь с системой самодиагностики автомобиля, отслеживать динамику изменения диагностических параметров, соответствующих техническому состоянию отдельных деталей, узлов и агрегатов, а также поддерживать связь с владельцем автомобиля для консультаций и рекомендаций по тому или иному действию, в целях недопущения отказов. Такой подход практически полностью исключает возникновение неисправностей по причине неправильной эксплуатации автомобиля, остающейся незамеченной для автопроизводителя, а собранная информация в полной мере является

доказательной базой отсутствия вины продавца (производителя). В случае же возникновения внезапного непрогнозируемого отказа, без подтверждения вины эксплуатанта, это дает возможность детально сосредоточиться на изучении данного случая, исключая другие, которые могли быть подобными данному, в случае, когда, по причине незрелости системы самодиагностики и прогнозирования, большинство исходных данных для анализа оставалось бы недоступно ввиду отсутствия их сбора и анализа. Кроме того, ввиду отнесения автомобилей к средствам повышенной опасности, всегда имеются риски о недостоверном истолковании причин различных аварий и дорожно-транспортных происшествий. В таких случаях наличие в распоряжении диагностических параметров автомобиля может играть решающее значение для вынесения справедливого суждения. Диагностические данные многих автомобилей для большей надежности могут распределяться и дублироваться в различных блоках управления и даже в смарт-ключе, как следствие – становятся крайне затруднительными действия злоумышленников не только по угону автомобиля, но и тех, которые пытаются исказить или подменить данные об автомобиле, чтобы извлечь из этого какую-либо выгоду. Таким образом, самые совершенные на сегодняшний день из систем самодиагностики автомобиля в своем развитии с ростом технических возможностей за счет увеличения количества сенсоров, предоставляющих обратную связь, обеспечивая сбор все большего количества данных от различных узлов и агрегатов, начинают обладать некоторыми свойствами системы прогнозирования, хоть пока и не в полной мере, так как основной функционал систем прогнозирования остается вынесенным за пределы самого автомобиля [42].

В настоящее время большинство автопроизводителей, имея достаточно развитую цифровую архитектуру электронных систем автомобилей, включающих большое количество как исполнительных устройств с обратной связью, так и отдельных сенсоров начинают реализацию прогнозирования на основе данных от этих систем [43]. Пока что сбор данных, их обработка,

анализ и прогноз проходят на удаленных серверах компаний автопроизводителей. Большая часть информации остается закрытой и конечному эксплуатанту доступны лишь дозированные общие рекомендации на основе полученных данных, а сама логика анализа, как и массив данных недоступна. Тем не менее, в связи с появлением множества дополнительных устройств, позволяющих производить подключение к цифровым системам автомобиля с целью сбора данных и их дальнейшей обработки у конечных эксплуатантов, парков автомобилей и даже отдельных автомобилей появляются возможности самостоятельного анализа и прогнозирования отказов [194]. Это становится особенно актуальным в связи с санкционной политикой, проводимой в отношении нашей страны, результатом которой являются риски отключения от технической поддержки автомобилей зарубежного производства, а также отсутствие необходимого и достаточного функционала базовых бортовых систем самодиагностики для решения задач прогнозирования.

1.3 Системный подход в управлении уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Для формирования системного подхода в управлении эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей изучены исследования ученых в данном направлении. Рассматриваемые работы можно сгруппировать по признаку, характеризующему основной способ повышения надежности автомобилей в данном исследовании. Всего условно выделено три основных группы: организационно-методологический подход, предполагающий использовать методы анализа проблемы с последующим формированием некой методологии корректирования процессов эксплуатации, направленных на повышение показателей надежности, согласно цели исследования; конструктивно-технологический подход, предполагающий повышение показателей надежности за счет реализации изменений в конструкции деталей,

узлов и агрегатов автомобилей, их модернизацию или модификацию; организационно-технологический, предполагающий повышение показателей надежности за счет совершенствования различных технологических процессов, сопровождающих как эксплуатацию, так и ремонт автомобилей [196].

Организационно-методологический подход использован в рассматриваемых работах, описанных ниже.

В работе В.Н. Баскова предлагается повышать надежность автомобилей путем внедрения рационального измерителя процессов эксплуатации автомобилей, на основе значений которого происходит оптимизация графиков и нормативов системы ТО и ТР в целях повышения показателей эксплуатационной надежности. Предполагается систематизация и классификация факторов по степени их влияния на режимы работы автомобиля на основе экспериментальных данных. Автором вводится понятие «единый рациональный измеритель влияния внешних условий эксплуатации», он обоснован как механическая энергия, затрачиваемая автомобилем на перевозку грузов, и построен на расчете более удобных в использовании интегральных показателей [11,12].

Формула расчета измерителя процесса эксплуатации машин описывается уравнением:

$$A = (G_n + q\gamma\beta)\psi L, \quad (1.4)$$

где G_n – масса негруженого автомобиля;

q – грузоподъемность;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

β – коэффициент использования пробега;

ψ – коэффициент сопротивления дороги движению [11,12].

Однако в данной работе практически не участвуют в рассмотрении факторы, влияющие на условия эксплуатации, такие, как квалификация персонала управляющего автомобилем, квалификация обслуживающего персонала, качество запчастей и ГСМ, совершенство системы управления парком машин и принятия управленческих решений, и другие важные с точки

зрения проработки проблем эксплуатационной надежности и, безусловно, оказывающие на нее значимое влияние [11,12].

В работе Асоян А.Р. предлагалось повышать долговечность автомобильных двигателей совершенствованием методов оценки технического состояния и технологий восстановления их основных элементов [9].

В основе работы лежит обобщение и развитие аналитических зависимостей показателей технического состояния двигателя от наработки, при этом предлагаемая оценка деталей двигателей в исследованиях с целью совершенствования методов дефектоскопии и последующего ремонтного воздействия не предусматривает установления причинно-следственных связей и четких корреляций между особенностями эксплуатации рассматриваемых деталей и агрегатов двигателей и их последующим техническим состоянием, характеризуемым степенью износа, количеством устранимых и неустранимых ремонтным воздействием дефектов, учет которых мог бы с достаточной достоверностью характеризовать уместность и обоснованность применяемых подходов для каждого конкретного случая ремонта [9].

В работе Зырянова И.В. рассматривается повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации [63].

Целевой функцией данной работы является разработка методов управления ресурсом карьерных самосвалов в экстремальных условиях для повышения эффективности транспортных систем в динамике развития карьера. Автором предлагается рассмотреть взаимосвязи между показателями надежности карьерного автотранспорта и факторами, оказывающими на неё влияние. Далее обосновываются подходы воздействия на факторы таким образом, чтобы как нивелировать их негативное воздействие, так и на базе исследований обеспечить условия для создания новых транспортных средств, обладающих более высокими показателями надежности в условиях эксплуатации в глубоких карьерах на основе математических моделей динамических процессов при загрузке и движении карьерных автосамосвалов, оценки их влияния на ресурс машин. Однако в данной работе не учтено

влияние человеческого фактора при эксплуатации и ремонте машин [63].

При рассмотрении работы Денисова А.С. можно отметить, что основной целью является нахождение такого оптимального режима эксплуатации автотранспорта, при котором существенно снижаются затраты фонда времени, труда и экономические затраты при сохранении высоких показателей исправности автотранспорта за счет всесторонних исследований и определения системы во взаимосвязи технического состояния автотранспорта и условий эксплуатации [44,45].

На основе исследований планируется рассмотреть возможности корректировки ремонтного цикла, в структуре которого должны быть обоснованы элементы планово-предупредительной системы. В данной работе величина влияющих факторов определялась в значительной их части расчетным путем, что в свою очередь может искажать объективность полученных результатов [44,45].

Гурьяновым Ю.А. в работе в качестве основной цели предлагается обеспечение требуемого уровня надежности и экологичности машин в процессе эксплуатации применением мониторинга состояния масел и агрегатов машин на основе экспресс-методов и портативных средств [38].

Реализацию данной цели предполагается осуществлять за счет решения нескольких следующих задач: обоснование методик быстрого определения состояния масел в агрегатах, состояние самих агрегатов, обладающих достаточной точностью, а также определение необходимого количества дополнительных разрабатываемых методик при необходимости; теоретическое обоснование и исследование новых экспресс-способов и разработка методики анализа физико-химических свойств масел и параметров частиц износа; обоснование предельных значений параметров качества масла и частиц износа; обоснование разработки математической модели для анализа взаимосвязей изнашивания агрегатов автомобилей и характеристиками частиц износа в масле, сопоставления результатов реальных экспериментов с моделируемыми тестовыми, и отладка алгоритма для осуществления

мониторинга [38].

В данной работе не рассматривается сравнение различных классов масел (минеральной и синтетической основы) и их особенностей влияния на ресурс и износ двигателей автомобилей, а также рассматриваемые методы диагностики не предполагают анализ влияния свойств масел на баланс ресурса по отдельным деталям двигателя и скорости их изнашивания [38].

Исследуя работу Якунина Н.Н., можно отметить, что в качестве основной цели автором рассматривается повышение надежности автомобилей за счет использования новых методологических основ контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации. Достигать цели предполагается решением нескольких задач: за счет разработки методик, позволяющих осуществлять мониторинг технического состояния и реализовать контроль с функциями управления техническим состоянием на основе системы сертификации услуг по ремонту и обслуживанию. В данной работе не проведен анализ корреляций между выходящими за пределы оптимальности режимов работы двигателей и степенью изнашивания их деталей в таких условиях, частота возникновения таких режимов в реальных условиях эксплуатации и соответствующие стратегии назначения регламентов ремонтного и обслуживающего воздействия [195].

В работе Данилова И.К. основной целью является повышение эффективности использования ресурса ДВС снижением трудоемкости, в том числе и на этапе принятия проектных решений, материальных ресурсов за счет системного подхода к планированию эксплуатационно-ремонтного цикла. В данной работе предлагаемые методы диагностирования предполагают оценивать состояние деталей двигателя и выявлять степень их износа диагностическими мероприятиями по факту и не предполагают увязывать их результаты в систему анализа скорости износа в зависимости от условий эксплуатации в случае постоянной изменчивости условий эксплуатации и могут служить лишь для статистически определяемой фиксированной стратегии системы ремонта и обслуживания, что не способствует созданию

динамической прогнозной системы ремонта и обслуживания, учитывающей постоянные изменения условий эксплуатации [40].

Рассматривая работу Никишина В.Н., можно выявить основную цель: разработка методологических основ процессного подхода к менеджменту безопасности и качества технико-технологических систем, применительно к серийному производству автомобильных дизелей. Исследования в данной работе и последующее применение их результатов в практике несомненно имеют значительное влияние на увеличение эксплуатационной надежности как разрабатываемых, так и создаваемых дизельных двигателей, однако остается неисследованным вопрос о реальных запасах прочности и резервов форсирования рассматриваемых двигателей, что в свою очередь определяет как показатели их надежности в целом, так и уровень живучести в реальных условиях эксплуатации при влиянии динамических нагрузок, превышающих нормативные, а также влияния качества топлива, масел и других не учтенных в работе факторов [119].

В работе Гринчаром Н.Г. в качестве основной цели рассматривалось повышение надежности дорожно-строительных машин, с высокой долей применения гидравлических механизмов, за счет обеспечения их безотказности в работе, даже при ограниченных по времени возможностях осуществления ремонтов и обслуживания при применении современных методов технической диагностики. В данной работе довольно подробно рассмотрены как проблемы эксплуатации гидравлических систем дорожно-строительной техники, так и меры обеспечения повышения показателей эксплуатационной надежности применением планово-предупредительных методов с широким применением диагностических средств, предотвращающих отказы, однако недостаточно проработан вопрос увязки графиков планово-предупредительной системы ремонтов и обслуживания к циклическим авральным периодам работ или сезонным периодам высокой и низкой интенсивности работ машин, а также вопрос резервирования как машин, так и отдельных агрегатов с целью перекрытия случайных вероятных отказов [36].

В работе Булакиной Е.Н. рассматривается повышение эксплуатационной надежности гидрофицированных машин на основе оперативного управления процессами их обслуживания. В качестве цели автором предложено создание системы, которая позволяла бы осуществлять корректирующее воздействие на мероприятия технического обслуживания и повышать эксплуатационную надежность автомобилей и оборудования с высоким уровнем развития гидросистем, на основе диагностических методов, не требующих разборки для изучения технического состояния. В данной работе подробно описано влияние загрязнителей рабочей жидкости в гидроприводах гидрофицированных машин, но при этом не уделено внимание рассмотрению других факторов, существенно влияющих на показатели надежности, работоспособности, показатели эффективности эксплуатации и др. К этим факторам можно отнести температурный режим работы гидросистемы, параметры рабочей жидкости, влияние пакетов присадок в рабочей жидкости, соотношение простоев и времени в работе и т.д. [20].

При изучении работы Дегтярева М.Г. выявляется цель исследования – повышение ресурса трансмиссионных колесных тракторов с шарнирной рамой путем обоснования комплексного диагностического параметра и методологических основ модернизации машин с разработкой методов и средств для ТО и ремонта [41].

На основании проведенных исследований множество факторов, способствующих увеличению износа деталей трансмиссии, объединены в четыре группы и составлена модель увеличения зазоров. Наименее ресурсным узлом определена карданная передача, составлена модель комплексного диагностического параметра для трансмиссии трактора с разноресурсными узлами. В данной работе подробно изучены вопросы эксплуатации и износов шарниров рам и карданных передач тракторов Кировец, но при этом изучались лишь существующие решения без рассмотрения возможных модификаций или модернизаций узлов и систем, таких, как применение дополнительных пыле-грязезащитных чехлов, кожухов, применения демпфирующих устройств

карданных передач и другие возможные технические решения, способные оказать существенное влияние на эксплуатационную надежность рассматриваемых систем.

В работе Бодрова В.А. представлены методы повышения эффективности эксплуатации автомобилей за счет введения регламентов проведения текущего ремонта, а также путем предложения мероприятий по совершенствованию существующих методов нормирования на основе действия факторов комплексными показателями сложности и прогнозной информации [15].

Несмотря на хорошую теоретическую проработку классификации групп факторов, влияющих на эффективность ремонтов автомобилей и применяемый математический аппарат при расчетах, фокус работы в основном приходится на технически обоснованное влияние и соответствующие ему факторы, при этом неучтенными остались факторы квалификации персонала, оптимальности организационной структуры ремонтно-обслуживающих предприятий, системы управления и принятия решений и другие, в значительной степени оказывающие влияние на эффективность ремонта автомобилей и их эксплуатационную надежность в целом [15].

В работе Терентьева А.В. уделено внимание повышению эффективности эксплуатации автомобилей за счет многокритериальной оценки периода эксплуатации автомобилей. Автор в своей работе доказывал эффективность разработанного научно-методического подхода, позволяющего определять период эксплуатации автомобилей. В работе также сформированы алгоритмы оптимизации показателей технической эксплуатации автомобиля. Алгоритмы построены на основе изменения работы системы технического обслуживания и ремонта автомобилей. Разработанные алгоритмы учитывают значения показателей надежности, конструктивной и экологической безопасности. Совокупность результатов исследования позволила осуществлять подготовку системной информации об оптимальном сроке эксплуатации автомобиля (прогнозируемого, планируемого или осуществляемого) для

совершенствования управления процессами материальных и энергетических ресурсов на всех стадиях жизненного цикла автомобилей и в системе технической эксплуатации автомобилей. Однако фокус исследования в большей степени смещен к рассмотрению вопроса соответствия узкой группе заранее выбранных критериев оптимальности, при этом не включающих в полной мере аспект экономической эффективности и целесообразности эксплуатации на протяжении всего периода жизненного цикла автомобиля [170].

В работе Кузьмина Н.А. целью обозначена разработка методологии, которая сможет обеспечить улучшение эксплуатационно-технических показателей деталей двигателей автомобилей, работающих в условиях воздействия высоких температур [94].

В работе проведено обширное исследование влияния различных нагрузочных режимов работы двигателя на тепловой режим его основных деталей с возможностью предупреждения аварийных режимов и своевременных ремонтных воздействий, однако методикой исследований не учитывались такие негативные факторы при эксплуатации машин, как влияние ГСМ низкого качества, особенности стиля вождения, эксплуатация при наличии проявленных или непроявленных неисправностях систем топливоподачи, смазки, системы охлаждения двигателя, системы зажигания и прочих, что, в свою очередь, может потребовать корректировки расчетных значений рассматриваемых параметров [94].

Целью работы Репина С.В. являлась разработка методологии совершенствования системы технической эксплуатации, направленной на улучшение выполнения организационных, управленческих и технологических процессов технической эксплуатации на основе теоретических исследований, применения информационных технологий, направленных на улучшение показателей эксплуатационной надежности строительных машин [149].

Данная работа подробно описывает организационные и управленческие способы повышения показателей эксплуатационной надежности парка машин, но при этом сама структура управленческих методов предусматривает в

качестве базиса принятия решений состояния парка на основе статистики отказов и не предусматривает более учет фактического состояния техники методами постоянного диагностирования с целью как корректировки управленческих решений, принятых по анализу статистики, так и построения прогнозов [149].

Кокоревым Г.Д. в работе в качестве основной цели определена следующая: повышение эффективности организационно-управленческой системы управления парком автомобилей, ремонтом и техническим обслуживанием в сельском хозяйстве с помощью кибернетического метода и формирования на его основе методик эффективного диагностирования [74].

В работе достаточно подробно проработаны организационные вопросы управления парком машин с опорой на диагностику и экспертную оценку технического состояния машин, однако не учитываются такие факторы, влияющие на эффективность организационных мероприятий и в целом не связанные с технической стороной, как логистика запчастей и складское хранение, условия в ремонтных мастерских для персонала и их оснащенность и т.д. [74].

При рассмотрении работы Корнеева С.В. можно выделить цель работы: разработка методологии научно обоснованного совершенствования технического обслуживания ДСМ для сокращения эксплуатационных затрат [81].

В данной работе подробно рассмотрены условия работы масел и смазок в различных узлах и агрегатах ДСМ, проведено изучение их ресурса и наработки до предельного состояния, однако также сделаны предположения о сохранности базовых свойств масел, таких как вязкость на протяжении всего периода их эксплуатации, а основным показателем достижения предельного состояния определена степень загрязнения масел продуктами износа и окисления [81].

В данный момент при использовании широкого ассортимента современных масел и смазок, созданных на разных основах, имеющих в своем составе большое количество добавок и присадок, такой подход не вполне

уместен и требует уточняющих корректировок с учетом изменений всех свойств масел и смазок в процессе их эксплуатации в зависимости от продолжительности и условий эксплуатации, а также режимов нагружения узлов и агрегатов.

Конструктивно-технологический подход использован в рассматриваемых работах, описанных ниже.

В работе Кулакова А.Т. рассматривается повышение надежности автотракторных дизелей. В работе описываются процессы совершенствования системы смазки, очистки и технологии деталей автотракторных дизелей. Основные предлагаемые методы: дросселирование второстепенных потребителей масла, увеличение маслоподводящих отверстий и канавок в верхних коренных вкладышах, установка масляного насоса повышенной производительности, установка дополнительных фильтров и теплообменников масла, изменение конструкции впускного коллектора, установка форсунок для смазки цилиндро-поршневой группы, усовершенствование коленвала за счет отказа от грязеуловителей и изменение масляных каналов [95].

Предлагаемые методы и подходы позволяют повысить эксплуатационную надежность двигателей, но при этом предполагаются только конструктивные изменения деталей двигателей и их модернизация, и не учитываются факторы качества и класса моторных масел, применяемых при эксплуатации двигателей, нет сравнительного анализа показателей надежности в результате эксплуатации двигателей при использовании различных масел [95].

При рассмотрении работы Аметова В.А., в которой предлагается повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла, можно отметить, что основой данной работы является улучшение работоспособности трибосистемы агрегат-масло, которое осуществляется путем сбора информации о физико-химическом состоянии смазывающего вещества, в

результате чего изучается состав как самого масла, так и масляных отложений. Также изучается вопрос внедрения модификаторов в масло [7].

Несмотря на широкий ряд исследуемых вопросов и их важность, в данной работе не проводится исследование различий влияния характеристик модифицированных масел в соответствии со спецификой двигателей и других агрегатов, коробок передач, редукторов главных передач и т.д., учитывающих различия их условий эксплуатации и назначения, характеризующие степень форсирования, величиной удельных нагрузок на детали, особенностями теплового режима, скоростными характеристиками работы и другими параметрами.

В работе Пастухова А.Г. предлагается повышать надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники. Автором предложены следующие мероприятия: выявление резерва повышения надежности карданных шарниров путем исследования закономерностей между заданными в производстве осевыми и радиальными зазорами в подшипниках карданных шарниров, а также связанными с ними показателями эксплуатационной надежности с последующей разработкой внесения изменений в конструкцию карданных шарниров, позволяющую существенно улучшить их эксплуатационные показатели [128, 129]. Одной из наиболее важных в расчетах является формула, учитывающая параметры контактной усталости поверхностей тел качения и их обойм:

$$L_{h_0} = \frac{A}{n \cdot \beta} \cdot \left[\frac{C(H - L_W)}{T_{кш}} \right], \quad (1.5)$$

где A - коэффициент приведения размерностей;

n - частота вращения карданного вала, мин⁻¹;

β - угол излома КШ, град;

C - динамическая «грузоподъемность подшипника, Н;

H - размер крестовины по торцам, мм;

L_W - длина игольчатого ролика, мм;

$T_{кш}$ - крутящий момент, передаваемый шарнирами КП, Н·м;

m - показатель степени уравнения кривой усталости (для роликовых

подшипников $m = 10/3$) [128, 129].

В данной работе автором подробно рассмотрены особенности эксплуатации карданных передач и возможности повышения показателей их надежности, но при этом отсутствует изучение влияния на ресурс и показатели надежности карданных передач технического состояния агрегатов (величина износа, люфты и сопутствующие динамические нагрузки, вибрация и т.д.) [128-129].

Абрамовым В.Н. в работе основное направление исследований формулируется целью – анализ, обобщение и разработка мероприятий по повышению эксплуатационной надежности резинотехнических изделий автомобильного транспорта [1]. В соответствии с темой исследования автором рассматривались различные параметры контакта колеса на деформируемом грунте (рисунок 1.6), основные соотношения, определяющие геометрию шины в контакте с грунтом, описываются системами уравнений (1.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{\varphi}(P_y - cZ^N) = rP \\ 2 \int_0^{\beta} r_0 d\varphi + 2r(\Pi - \beta - \gamma) = H, \\ \int_0^{\beta} r_0 \cos \varphi d\varphi = \frac{B}{2}, \\ B - 2r(\sin \beta - \sin \gamma) = B_0, \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} Z_W + \sqrt{\frac{PR}{c}} + r(\cos \beta + \cos \gamma) = H, \\ 2 \int_q^2 cZ^N + r_{\alpha} \cos qxl\varphi = dG_k, \\ \frac{c}{\mu} Z_W^{\mu+1} - P_{\mu} Z + rP_z(\cos \varphi - \cos \beta) = 0, \\ \frac{\mu}{\mu+1} h = r(1 - \cos \beta). \end{array} \right. \quad (1.6)$$

В данной работе подробно изучены конструкции существующих шин, особенности их эксплуатации, изнашивания и сопутствующие недостатки, разработаны предложения по улучшению основных характеристик шин с повышением их эксплуатационной надежности, но в то же время при разработке формирования предложений по улучшению отдельных свойств шин не прорабатывались вопросы баланса улучшения отдельных показателей свойств шин, что в свою очередь при удорожании технологий, улучшающих эти отдельные показатели, может явиться причиной придания отдельным качествам избыточных свойств, ресурс которых может быть не исчерпан до списания шины, что будет выводить технико-экономические показатели эксплуатации таких шин за пределы оптимальных значений [1].

в рассматриваемых работах, описанных ниже.

Спицыным И.А. в работе предлагаются к рассмотрению технологические методы повышения надежности узлов и агрегатов, деталей трансмиссий сельскохозяйственной техники при проведении ремонта и эксплуатации [157].

В основе работы лежат исследования условий эксплуатации агрегатов трансмиссии и разработка способов их ремонта и восстановления с изучением их влияния на показатели надежности. Также в работе изучается введение в трансмиссионное масло добавок порошка капрона. В ходе испытаний определяются оптимальные значения добавок в масло полимерных присадок, температура и нагрузка при обкаточных режимах, что в совокупности позволяет отладить технологию обкатки с улучшением пределов контактной выносливости зубчатых колес и шестерен [157].

При этом в данной работе исследуемая статистика случаев отказов и снижения ресурса трансмиссионных агрегатов не учитывает влияние квалификации обслуживающего и ремонтного персонала, возможности ремонтных баз и их оснащения, а также возможных нарушений режимов эксплуатации механизмов, приводящим к преждевременным отказам и снижению эксплуатационной надежности.

В работе Павлова А.И. предлагается повышение надежности гидроприводов лесных машин. В основе работы лежит разработка научно обоснованных технических решений по формированию системы предупреждения и обнаружения отказов гидроприводов лесных машин, что позволяет решить проблему повышения их надежности, обеспечить рост производительности машин и снижения себестоимости их эксплуатации. На основе анализа возникающих в ходе тестовых воздействий свободных затухающих колебаний, позволяющих определить техническое состояние гидропривода в процессе технического обслуживания и ремонта; определение частот и амплитуд колебаний рукавов высокого давления на рабочих режимах, выявление резонансных частот и оптимальных, принятых за эталон. В работе

подробно рассмотрены вопросы эксплуатации и способы повышения эксплуатационной надежности гидроприводов как системы, но при этом не учтены особенности рабочих гидравлических жидкостей, их свойства, качества, технические параметры и ресурс, старение, загрязнение и др., влияющие на процессы, происходящие в гидроприводах и приводящие к изменению их технического состояния [125].

Меновщиковым В.А. в работе в качестве цели работы предполагается повышение эксплуатационной надежности карданных передач, применяемых в различных системах передачи крутящего момента транспортно-технологических машин. В данной работе подробно исследованы особенности конструкции игольчатых подшипников карданных передач, факторы, влияющие на надежность их работы и ресурс, однако не производилось сравнение с другими видами передач подобного типа, например типа ШРУС или других, на основе которого можно формировать выводы для уместности использования того или иного вида передачи в зависимости от конкретных условий эксплуатации, требований к механизму и т.д. [111].

1.4 Методы и подходы повышения уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Для описания состояния парка автомобилей или одиночного автомобиля существует множество показателей, сформированных благодаря различным подходам оценки тех или иных характеристик автомобилей и зависящих от специфики эксплуатирующих субъектов и их внутренней организации [25]. Для технических подразделений, осуществляющих непосредственную эксплуатацию автотранспорта, включающую как непосредственное использование по назначению, так и организующих все процессы ремонта и обслуживания автомобилей наибольшую актуальность получили показатели, которые могут охарактеризовать парк автомобилей с точки зрения его исправности и наличия возможностей выполнять свои функции по прямому

назначению [2,6,10,139]. Одним из таких показателей является показатель технической готовности парка. Его смысл заключается в отображении отношения исправного количества автомобилей в парке, готовых к работе, ко всему списочному количеству автомобилей. Данный показатель легко определяем, емок, но при всех его достоинствах имеет также и недостатки. Во-первых, его значение – это расчет на базе статистических данных, имеющихся по факту, но состояние парка – процесс динамический и не может быть предопределен каким-то текущим значением уровня технической готовности, так как это скорее ориентировочное значение о ситуации на текущий момент.

В современных условиях иметь в распоряжении фактическую информацию о количестве исправных автомобилей уже недостаточно, так как необходимо учитывать динамику изменения технического состояния как парка автомобилей, так и единичного, конкретного автомобиля в парке, оценивать вероятности наступления отказов и степень сложности их устранения, причем не только сложность ремонта, но и затраты времени, а также финансов. Современные системы учета ремонтов, планирования и контроля периодичности технического обслуживания, списания отслуживших свой ресурс аккумуляторов, шин и прочих запасных частей имеют довольно разрозненную невзаимосвязанную структуру, потоки информации в которой зачастую не являются объединенными в систему, поэтому анализ всей информации производится вручную, не всегда в полном объеме. В последнее время начали появляться программные продукты для управления парком автомобилей, позволяющие осуществлять сбор, систематизацию и анализ информации о техническом состоянии автомобилей парка предприятия эксплуатанта, однако пока единообразие подходов не наблюдается. И даже в случае, когда сбор информации о техническом состоянии автомобилей налажен, выстроена система планирования обслуживания, отслеживание технического состояния техники и регистрация в соответствующих электронных ресурсах обеспечена, это дает эффект улучшения организации в целом, ее оптимизации, но до решения задач прогнозирования все так же

бывает недостаточно [98]. Здесь как раз и вскрываются недостатки существующих систем анализа, которые в подавляющем большинстве оперируют лишь данными о техническом состоянии самих автомобилей, периодичности и объемах ремонтного воздействия и операций технического обслуживания. Практически полностью отсутствует корректировка под условия эксплуатации и соответствующие мероприятия, которые могли бы быть разработаны или скорректированы заблаговременно до возникновения последствий этих различающихся условий. В имеющемся арсенале средств у эксплуатирующих парки автомобилей сегодня есть лишь корректировка периодичностей тех или иных операций ТО, которая может проводиться на основе уже фактически случившихся отказов, частоты их проявления и других показателей. Причем если корректировка введена для группы автомобилей, ее, как правило, редко связывают с особенностями влияния внешних факторов эксплуатации, так как степень их влияния сложно оценить силами специалистов эксплуатирующих организаций, поскольку это довольно сложная задача. Поэтому корректировки, однажды внесенные, как правило, не подвергаются изменениям, даже если условия эксплуатации изменились или предыдущая статистика отказов, на основе которой приняты эти корректирующие меры, имела лишь единичный кратковременный характер воздействия. Все это в совокупности приводит к неоптимальному режиму эксплуатации, увеличению издержек на обслуживание и ремонт, ввиду возможных избыточных вводимых корректировок, которые могут приводить к перерасходу материалов и запасных частей для ТО, а также издержек, связанных с простоем техники, когда чрезмерно частое проведение мероприятий по обслуживанию фактически уже не актуально, исходя из текущих условий эксплуатации [83]. Имеются также риски в случае обратной ситуации, когда корректировки произведены в сторону увеличения периодов обслуживания. Здесь возникают риски внезапных отказов, в случаях, когда условия эксплуатации резко меняются в худшую сторону. С другой стороны, эти корректировки в сложившейся практике почти никогда не бывают

своевременны, так как при резком изменении условий эксплуатации и отсутствии корректировок, отказы начинают возникать чаще и лишь затем, после изучения статистики, по ним принимаются меры, когда актуальность этих мер уже отсутствует.

Исходя из очевидности описанных проблем, дальнейшие пути развития методов повышения эксплуатационной надежности ведут к развитию таких систем обслуживания и ремонта автомобилей, которые в своей основе будут иметь прогнозный аппарат с высокой точностью, позволяющий предупреждать отказы на основе предупредительной системы ремонтных и обслуживающих воздействий. Можно обозначить ряд необходимых условий для развития таких систем:

1. Детализация информации о техническом состоянии агрегатов, узлов, деталей автомобиля. То есть автомобиль и система технической эксплуатации должны иметь встроенную систему определения своего технического состояния с высокой точностью и частотой обновления этой информации, и взаимосвязью с единой системой.

2. Развита цифровая архитектура автомобиля. Система цифровой связи должна увязывать между собой сенсоры всех деталей, оборудованные ими.

3. Программное обеспечение должно обеспечивать одновременную возможность сбора, систематизации, записи и обработки информации от всех сенсоров командных и исполнительных устройств автомобиля.

4. Программное обеспечение цифровой трансформации, внедренной в работе автомобиля, должно проводить сравнительный анализ поступающих сигналов с датчиков, оценивающих техническое состояние узлов и агрегатов, деталей автомобиля, и определять устойчивые причинно-следственные связи развития сценариев взаимовлияния при различных условиях эксплуатации.

5. Программное обеспечение цифровой системы должно на основе систематического анализа данных выявлять определенные сочетания групп сигналов, связанные с наступлением тех или иных отказов и формировать границы безопасных режимов сочетания сигналов.

6. Программное обеспечение цифровой системы должно иметь возможность интерпретации групп сигналов и последующий перевод в понятный для пользователя вид, с целью предупреждения опасных режимов «определение границ безопасности эксплуатации» или внесения ограничений на программном уровне с возможностями корректировок в случае изменений условий эксплуатации.

7. Программное обеспечение цифровой системы должно иметь возможность ввода внешних данных (той информации, которая не может быть считана непосредственно с сенсоров деталей, узлов и агрегатов автомобиля). Такими данными являются те, которые не относятся к техническому состоянию самого автомобиля. Это набор данных всех тех внешних условий, которые оказывают существенное влияние на эксплуатацию автомобиля, такие как климатические условия, тип дорожного покрытия, городской или загородный тип эксплуатации, степень загрузки транспортного средства, наличие уклонов дороги (равнинный или горный тип местности), квалификация водителей, квалификация персонала, производящего обслуживание и ремонт, и многие другие. Аналитический блок цифровой системы должен иметь возможность каждому из соответствующих влияний и величине значения этого влияния присваивать ряд как прогнозных значений изменения эксплуатационной надежности, так и комплекс предупредительных мер корректировки мероприятий обслуживания и ремонта.

Именно заблаговременное планирование и ввод корректирующих воздействий на основе прогнозной системы с предварительным учетом данных от всех внешних и внутренних факторов способен дать ожидаемый эффект повышения эксплуатационной надежности.

Как видно из приведенного перечня, при обеспечении выполнения всех его пунктов, реализация прогнозирования технического состояния автомобилей становится практически полностью достижимой, обеспечение высокого уровня показателя технической готовности упрощается, но самое главное, управление уровнем эксплуатационной надежности становится более

стабильным, устойчивым и прогнозируемым [172]. Полнота данных о внутренних и внешних факторах, влияющих на эксплуатационную надежность, обработанных компьютерными аналитическими алгоритмами и нейросетями сформирует четкое представление о причинно-следственных связях между конкретными факторами и степенью их влияния на конкретные эксплуатационные показатели узлов, деталей, агрегатов и автомобилей в целом, что упростит конечному эксплуатанту организацию стратегии обслуживания и ремонта, так как формирование периодичности, объема работ, требуемый уровень квалификации персонала для проведения работ, перечень материалов и запасных частей, ориентировочную стоимость и продолжительность работ алгоритм цифровой структуры будет производить автоматически [14,72]. Для служб эксплуатации автомобильных парков система планирования ремонтов и ТО сможет стать автоматизированной, роль участия человека в этом случае можно будет снизить, при этом оставив возможность внесения необходимых корректировок вручную в процессе управления планированием ремонтов и ТО.

Важно отметить, что пункты перечня с 1-го по 6-й в основном могут быть реализованы только производителями автомобилей. Лишь иногда в настоящее время по собственной инициативе владельцев на небольшое количество автомобилей может быть установлено дополнительное оборудование, по функционалу приближающее автомобиль к уровню, на котором требования этих 6-ти пунктов могут быть выполнимы. С техническими параметрами, которые могут быть выражены через соответствующие диагностические параметры автомобиля ситуация понятна, параметры давно описаны, их сбор, систематизация и анализ успешно проводится, правда пока в основном при процедурах электронной диагностики автомобиля и для большинства марок и моделей автомобилей это не доступно на постоянной основе в режиме реального времени. При этом учет внешних факторов воздействия на автомобиль, как правило, затруднен, степень влияния этих факторов не нормирована и не регламентирована [176]. Роль этих

факторов существенна, для факторов характерна динамика, поэтому без их учета в режиме реального времени, без формирования соответствующих стратегий, адаптирующих эксплуатацию автомобиля к этим факторам, обеспечение надежного управления показателями эксплуатационной надежности не представляется возможным.

Автопроизводителями данная проблема в достаточной мере осознана, но подход к ее решению носит упрощенный характер. Условия эксплуатации большинством автопроизводителей поделены на две категории: нормальные условия эксплуатации и тяжелые. К тяжелым относят эксплуатацию автомобиля в условиях бездорожья, запыленной местности, эксплуатацию при температурах ниже определенного и выше определенного значения, преимущественно городскую эксплуатацию, езду преимущественно с прицепом, высокую (более 80% от максимальной) скорость эксплуатации транспортного средства и т.д. [85]. Остальные условия эксплуатации относят к нормальным. При этом регламент обслуживания обязывает сокращать периоды технического обслуживания обычно вдвое и затрагивает в основном процедуры смены масел и фильтров, проверок регулировок зазоров и крепежа. Такой подход автопроизводителей вполне оправдан, поскольку хоть и есть вероятность, что какие-либо из более часто проводимых операций по обслуживанию и заменам будут избыточными, но с точки зрения прибыли, получаемой автопроизводителем через авторизованный сервисный центр такая практика более чем себя оправдывает, тем более, что при эксплуатации автомобиля в условиях, которые можно отнести к более легким, чем нормальные, в заводских регламентах о техническом обслуживании нет рекомендаций по увеличению межсервисных периодов.

По сравнению с авторизованным сервисом, где увеличение количества работ ведет к увеличению прибыли, для эксплуатирующих автомобили предприятий может складываться такая ситуация, при которой прибыль одного цеха может оборачиваться убытком другого, т.е., если ремонтное подразделение будет осуществлять больше ремонтов, это будет приводить к

большим потерям предприятия в целом [145].

Задача оптимизации расходов, которую решает перед собой транспортное предприятие, самостоятельно обслуживающее свой парк автомобилей, сводится к нахождению такого решения, при котором совокупные убытки на ремонт, обслуживание и содержание автомобилей будут минимальны [86,87]. В данном случае принятая практика разделения условий эксплуатации автомобилей на нормальные и тяжелые не в полной мере отвечает задаче оптимизации, не учитывает конкретные степени воздействия внешних факторов, не используется в прогнозных моделях и не используется в аналитических подходах, учитывающих динамическое изменение величин факторов, на основе которых могли бы быть даны более точные корректирующие значения для сценариев учета влияния факторов и соответствующих им стратегий обслуживания, с целью максимизации выгод от выявленных резервов [142].

Таким образом, учет влияния внешних факторов на показатели эксплуатационной надежности представляется важным и необходимым. В первом приближении необходимо рассмотреть факторы и сгруппировать их по соответствующим признакам. Например, воздействующая температура окружающей среды, влажность, атмосферное давление, наличие осадков – можно отнести к группе факторов, характеризующих погодные условия. Ровность дорожного покрытия, тип дорожного покрытия, уклоны, количество поворотов дороги – факторы особенностей эксплуатации. Уровень мастерства вождения, квалификация водителя, стаж, уровень здоровья водителя, соблюдение водителем правил дорожного движения и т.д. – можно отнести к факторам квалификации управления. Квалификация персонала, выполняющего ремонт и обслуживание, – фактор квалификации обслуживающего персонала. Качество топлива, масел и смазок можно отнести к факторам ГСМ. Различные показатели запасных частей – оригинальность, импортозамещенность и т.д. – к факторам качества запчастей [143]. В рассмотрении должны также фигурировать факторы, характеризующие

работу служб снабжения и склада, условия хранения автомобилей, а также систему управления предприятием и, в частности, парком автомобилей. Таким образом, все внешние воздействия, оказывающие влияние на техническое состояние автомобилей, должны быть определены, сгруппированы и объединены в систему, на основании которой в дальнейшем будет возможно определение их влияния на показатели уровня эксплуатационной надежности.

1.5 Выводы по главе 1 и задачи исследования

1. Выполненный анализ структуры парка коммерческих автомобилей в РФ показал, что более 3,6 млн шт. (44,3% от общего количества коммерческого транспорта) приходится на грузовые автомобили, причем 77,5% из них находятся в возрасте старше 10 лет. Увеличение возраста грузовых автомобилей значительно влияет на показатели технической эксплуатации и эффективности их работы, снижение надежности, а также приводит к росту издержек, связанных с эксплуатацией парка транспортных средств.

2. Установлено, что развитие транспортной отрасли в России происходит согласно транспортной стратегии РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Разрабатываются стандарты и типовое отечественное программное обеспечение для предиктивной аналитики в целях технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Данные должны собираться, анализироваться в реальном времени, и применяться для оптимизации ремонтов и технического обслуживания. За счет прогнозирования на основе интеллектуального анализа данных и событий, возможно обеспечить необходимый уровень эксплуатационной надежности, что подтверждает актуальность проблематики.

3. Анализ нормативных документов и передового опыта автопроизводителей показал, что в настоящее время отсутствуют единые методики прогнозирования и оценки уровня эксплуатационной надежности транспортных средств. Так в 2020 году отменено «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта», и на текущий момент времени не приняты замещающие его нормативно-

правовые акты. В случае с некоторыми автопроизводителями сбор данных, их обработка, анализ и прогноз проходят на удаленных серверах компаний. При этом конечный эксплуатант получает лишь ограниченные рекомендации, без раскрытия логики принятия решений.

4. Анализ разработок ведущих ученых, связанных с прогнозированием и оценкой уровня эксплуатационной надежности транспортных средств, показал, что несмотря на большое количество отдельных исследований, в настоящее время отсутствует системный подход в управлении уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

5. Установлено, что принятая практика разделения условий эксплуатации автомобилей на нормальные и тяжелые не в полной мере отвечает задаче оптимизации, не учитывает конкретные степени воздействия внешних факторов, не используется в прогнозных моделях и в аналитических подходах, учитывающих динамическое изменение величин факторов, на основе которых могли бы быть даны более точные корректирующие значения для сценариев учета влияния факторов и соответствующих им стратегий обслуживания, с целью реструктуризации воздействий для максимизации выгод от выявленных резервов. Таким образом, все внешние воздействия, оказывающие влияние на техническое состояние автомобилей, должны быть определены, сгруппированы и объединены в систему, на основании которой в дальнейшем будет возможно определение их влияния на показатели уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ существующих методов управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей. Научно обосновать необходимость введения понятия «уровень эксплуатационной надежности».

2. Сформировать когнитивную модель управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей с целевой функцией «уровень эксплуатационной надежности».

3. Разработать методику оценки значений факторов, определяющих эксплуатационную надежность и формирующих комплексный независимый критерий, составляющие которого есть функции времени.

4. Разработать методику динамической оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, сущность которой состоит в линейной свертке двух критериев: критерия влияния факторов на целевую функцию и критерия значений этих факторов.

5. Разработать методику формирования множества факторов модели управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей с построением вариационного ряда воздействий на основании многокритериальной оптимизации, улучшение которых наиболее эффективно повышает уровень эксплуатационной надежности.

6. Разработать концептуальную модель управления эксплуатационной надежностью, отличительной особенностью которой является прогнозирование технического состояния агрегатов, систем, элементов на основе мониторинга эксплуатационных режимов.

7. Разработать метод прогнозирования технического состояния грузовых автомобилей, построенный на адаптивных принципах реализации воздействий с учетом наработки на эксплуатационных режимах.

8. Разработать научно-методический подход принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия.

9. Выполнить технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемых решений.

2 МЕТОД И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Управление эксплуатационной надежностью ТС является сложной организационно-управленческой проблемой, решение которой предусматривает использование методологического подхода, основанного на математическом аппарате [88]. Для этого необходимо:

- проанализировать, систематизировать и обосновать подходы к решению данного класса задач в условиях наличия многих факторов, влияющих на систему управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей (далее – Система), в том числе методами многокритериальной оптимизации;
- разработать концептуальную информационную модель системы управления эксплуатационной надежностью, с обоснованием перечня факторов, влияющих на нее;
- обосновать целевую функцию, характеризующую эффективность Системы и причинно-следственные связи факторов, влияющих на нее;
- обосновать методы и выполнить решение оптимизационной задачи многокритериальной оптимизации управления эксплуатационной надежностью. Разработать критерий эффективности выполнения мероприятий, направленных на повышение уровня эксплуатационной надежности.

2.1 Современные методы и технологии анализа сложных организационно-технических систем

При анализе управления эксплуатационной надежностью используется целевая функция, однако, при решении задач управления ЭН появляются три критерия: критерий влияния факторов на целевую функцию, значения этих факторов и критерий стоимости этих факторов. В связи с этим требуется решение трёхкритериальной задачи оптимизации.

Анализ данных – это исследования, связанные с обчислением многомерной системы данных, имеющей множество параметров. В процессе анализа данных исследователь производит совокупность действий с целью формирования определенных представлений о характере явления, описываемого этими данными. Как правило, для анализа данных используются различные математические методы [135].

Анализ данных некорректно рассматривать только как обработку информации после ее сбора. Анализ данных – это, прежде всего, средство проверки гипотез для решения задач исследователя [121].

К современным методам анализа сложных организационно-технических систем, которые направлены на оценку результатов различных проводимых действий, контроль, прогнозирование и планирование, относят:

1. Методы получения и представления характеристик, параметров и числовых значений.
2. Методы, основанные на результатах сравнительного анализа автомобилей и их свойств, показателей и параметров.
3. Методы определения взаимосвязей в характеристиках, параметрах и свойствах автомобилей [16-19,193].

Представленные выше методы применяются для решения типовых задач анализа информации, которую используют в своей деятельности эксперты, аналитики и лица, принимающие итоговые решения в управлении процессами.

Задачи анализа информации, которую используют аналитики в решении типовых задач анализа данных, следующие:

1. Согласование полученных сведений из разнотипных шкал.
2. Анализ полученной информации, ее оценка и распределение этой информации по степени влияния на целевой показатель.
3. Задачи кластеризации и таксономии. Эти задачи учитывают выделение классов и автоматическую классификацию.
4. Сегментация. При проведении анализа значения фактора распределяются по сегментам.

5. Выявление причинно-следственных связей и закономерностей между параметрами и ассоциированными группами значений этих параметров.

6. Прогнозирование значений параметров [16-19].

Среди методов и технологий анализа данных выделяют следующие (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Виды методов и технологий анализа данных

К классическим методикам статической обработки данных относятся:

- корреляционный анализ;
- регрессионный анализ;
- факторный анализ;
- дискриминантный анализ и др. [16-19,193].

Данные методики очень сложны в применении и применяются только в случае обладания экспертами знаниями и опытом в области статистики и программирования, так как приходится прибегать к многократному повторению одних и тех же операций без использования доступных средств автоматизации.

Нейросетевой подход основывается на решении задач с помощью искусственно построенных нейронных сетей. Данный подход хорошо зарекомендовал себя в решении неформализуемых или трудноформализуемых задач в области прогнозирования, классификации и оптимизации [120]. Нейросетевой подход позволяет получить исчерпывающие конечные результаты при незначительной полноте исходных данных. Недостатками такого подхода является обязательное преобразование данных к числовому виду и сложная интерпретация полученных результатов [122].

Для решения задач с ненадежными исходными данными применяются методы нечеткой логики [178]. К плюсам данного подхода можно отнести естественность языка описания условий и метода решения задач, универсальность и эффективность. Недостатком данного подхода является то, что исходные данные системы могут оказаться субъективными и противоречивыми, несоответствующими действительности [123].

Метод построения нечетких нейронных сетей объединяет в себе идеи метода нечеткой логики и нейросетевого подхода. Благодаря их сочетанию становится возможным исправление ряда недостатков каждого из методов [138].

Метод нечеткого ситуационного вывода заключается в сравнении исходной нечеткой ситуации с бесконечным числом подобных типовых ситуаций. Управленческие решения принимаются на основе выбора наиболее подходящей типовой ситуации. К достоинствам данного метода относится стойкость к изменяющимся решениям и условиям выработки, а также доступность алгоритмов действий.

Для моделирования и анализа сложных систем используются методы когнитивного моделирования, в основе которых лежит разработка когнитивных карт [23]. Под когнитивными картами понимают математические модели, способные описать проблемы функционирования сложных систем и выявить причинно-следственные связи их составляющих. Когнитивные карты включают в себя совокупность факторов-концептов, оказывающих влияние друг на друга и на систему в целом. Данный метод

применяется для прогнозирования, моделирования и оценки различных стратегий развития системы и дальнейшего принятия управленческих решений [179]. Отличительными особенностями применения когнитивных карт являются наглядность представления материала и доступность интерпретации установленных причинно-следственных связей. К недостаткам традиционного метода когнитивного моделирования можно отнести невозможность моделирования временных параметров операций системы, а также отсутствие возможности различать последовательное и параллельное влияние включенных в систему концептов [153].

В настоящее время широко применяется комбинированный подход, основанный на когнитивном моделировании и методах нечеткой логики. Такой подход позволяет успешно решать задачи исследования слабоструктурированных систем [141].

Case Based Reasoning (CBR) - метод системы рассуждений на основе прецедентов, основывающийся на гипотезе о монотонности пространства решений. Для принятия правильного решения нужно отыскать наиболее схожую аналогичную ситуацию и принять то же решение. Несмотря на то, что данный метод зачастую показывает очень хорошие результаты, его главным недостатком является то, что в системах CBR отсутствует непосредственно сам процесс моделирования, а принятые решения основываются на множестве данных, из-за чего отсутствует возможность выявления наиболее важных факторов и установления степени их влияния на систему.

Метод «дерева решений» подходит для решения задач классификации и численного прогнозирования. Суть метода заключается в построении узловой структуры, имеющей вид дерева. Целью метода является достижение одного из конечных узлов, где и указано решение задачи. К плюсам данного метода можно отнести его наглядность, к минусам – проблематичность определения значимости узлов.

Иерархические методы анализа данных разработаны для решения различных задач на основе обобщения различных суждений и установления

системы предпочтений. Метод основывается на качественном или количественном иерархическом представлении концептов системы, отражающих суть проблемы и степень их взаимосвязи между собой.

Метод построения генетических алгоритмов – метод, основанный на результатах моделирования эволюционного процесса. Данный метод учитывает генетическое наследование и естественный отбор. Данный метод выступает больше в роли метода научного исследования, нежели как технология анализа данных [100,101].

Методология когнитивного моделирования предложена Р. Аксельродом. Суть этой методики состоит в следующем. Изначально проводится моделирование субъективных представлений экспертов о ситуации и включает методологию структуризации ситуации: модель представления знаний и мнения эксперта в виде знакового орграфа (когнитивной карты) (F, W) , где F – множество факторов ситуации, W – множество причинно-следственных отношений между факторами ситуации; методы анализа ситуации. Методология когнитивного моделирования предназначена для принятия итоговых решений в сложных ситуациях.

В настоящее время эта методология может быть дополнена моделью значений факторов на временном ряду, а значения величины отношений причинности между концептами – моделью их вычисления и корректировки на основе алгоритмов обучения нейросетевых моделей [160].

Метод когнитивного моделирования сложных организационно-технических систем сводится к построению когнитивных карт. В 1948 г. предложено понятие «когнитивная карта» психологом Э. Толменом.

Когнитивная карта – это вид математической модели, позволяющий формализовать описание сложного объекта, проблемы или функционирования системы и выявить структуры причинно-следственных связей между элементами системы, сложного объекта, составляющими проблемы и оценки последствий в результате воздействия на эти элементы или изменения характера связей.

Когнитивные карты включают в себя совокупность факторов-концептов, оказывающих влияние друг на друга и на систему в целом. Такое влияние вызывает и обратный эффект – система сама начинает оказывать влияние на концепты. Данный метод применяется для прогнозирования, моделирования и оценки различных стратегий развития системы и дальнейшего принятия управленческих решений.

Когнитивное моделирование предполагает создание и изменение когнитивных карт на основе взаимодействия системы с окружающим миром, т.е. динамическая система, описываемая когнитивной моделью, в первую очередь, определяется динамикой взаимодействия с окружающей средой [105].

Когнитивные карты различаются по степени общности, «масштаба» и организации. Имеют отличительные черты между собой.

Классические когнитивные карты представляются ориентированным графом и формируют моделируемую систему, которая включает в себя факторы, представленные ее объектами и имеющие причинно-следственную связь между собой. Причинно-следственная связь между собой может быть нейтральной, положительной или отрицательной.

Когнитивные карты, созданные в результате моделирования, упрощают и облегчают выбор принятия управленческих решений, что позволяет представлять четко и наглядно анализируемую систему с учетом причинно-следственных связей между элементами.

Создание механизма генерации сценариев вариантов решений из заданного набора операций возможно благодаря использованию когнитивного моделирования [106]. Возможными сценариями вариантов решений из заданного набора операций является некая последовательность определенных действий и решений, которая позволяет изменить сложившуюся ситуацию и найти более эффективный способ решения вопроса. Способ решения вопроса является возможным сценарием механизма [161].

Каждая когнитивная карта имеет отличительные черты. В случае использования созданной когнитивной карты механизм генерации сценариев

вариантов решений из заданного набора операций будет различный, что говорит о том, что модели не всегда могут быть использованы и реализованы.

Для принятия управленческих решений при многоцелевом задании критериев в ряде работ большое распространение получили нечеткие когнитивные карты [114].

Нечеткой когнитивной картой называется такая карта, в которой каждая дуга определяет не только направление и характер, но также и степень влияния (вес) связываемых концептов. В зависимости от подхода вместо знаков дуг между концептами используют отношения, значения которых могут лежать на отрезке $[-1, 1]$, либо нечеткие или лингвистические (морфологические) переменные [113].

Построение нечеткой матрицы положительных взаимосвязей элементов происходит на результатах взаимодействий концептов от исходной когнитивной карты. Исходная когнитивная карта обладает положительно-отрицательными нечеткими связями.

Итоговые связи в исходной когнитивной карте получаются исходя из усреднений отдельно положительных и отрицательных связей по оценкам всех экспертов с учетом значимости каждого эксперта.

Преимуществом использования когнитивных карт является наличие нескольких вариантов решений проблемы или управленческого решения, направленных на уменьшение риска возникновения отказов и неисправностей узлов и агрегатов автомобиля, а также осуществление прогнозирования ресурса.

Использование когнитивных карт осуществляется в последовательности:

- формирование списка концептов, определяющего состав системы;
- формирование причинно-следственных связей между концептами (согласованных отношений причинности), определяющих структуру системы;
- выявление значений отношений причинности между каждой парой концептов (согласованных значений отношений причинности);

- выполнение построения когнитивной карты;
- определение нескольких вариантов решения и оценка их последствий;
- интерпретация когнитивной карты и выбор варианта решения [103].

Применение когнитивного моделирования открывает широкие возможности прогнозирования и управления в различных областях.

Еще одним преимуществом классического (традиционного) когнитивного моделирования является моделирование и оценка применения различных стратегий при принятии решений. В исследуемой системе могут происходить различные изменения, а созданные когнитивные карты на основе применения классического (традиционного) моделирования учитывают эти изменения и анализируют возможные последствия от реализации этих принятых решений [162]. Также в классическом (традиционном) моделировании удастся учитывать все изменения, которые могут произойти в концептах, и принять решения по исключению возможности дестабилизации системы.

Когнитивное моделирование находит свое применение во всех отраслях жизни человека, т.к. оно автоматизирует некоторые функции процесса познания. Когнитивные карты часто используются для разработки уникальных проектов, направленных на повышение эффективности работы предприятий и совершенствование процесса принятия управленческих решений [58,59].

Огромным преимуществом использования методики когнитивного моделирования является возможность не доводить до критических ситуаций в управленческой деятельности предприятий, но в случае все же их возникновения производить выбор наиболее эффективного решения для разрешения конфликта.

Взаимосвязь традиционных когнитивных карт с временным рядом значений факторов выводит на новый уровень анализ системы с позиции ее оценки по величине значения целевой функции. Таким образом, добавляя к вектору коэффициентов влияния факторов на систему вектор значений этих факторов и вектор удельной стоимости изменений значений факторов

получаем трехкритериальную задачу оптимизации [163]. Результатом решения этой задачи оптимизации является сценарий действий по увеличению значения целевой функции. Учитывая дискретность значений факторов и дискретность затрат, связанных с их поддержанием и увеличением, можно утверждать о том, что сценарий, т.е. результат решения оптимизационной задачи будет функцией как значения выделенных средств на планируемый период, так и вектора значений факторов.

Система управления технической готовностью является сложной организационно-технической системой [76]. Поэтому при оценке уровня готовности используется ограниченное количество факторов, позволяющих эффективно управлять системой. Выбор перечня факторов происходит на основе применения метода экспертного опроса, предполагающего извлечение знаний на нескольких уровнях, представленных на рисунке 2.2 [8,97,151].

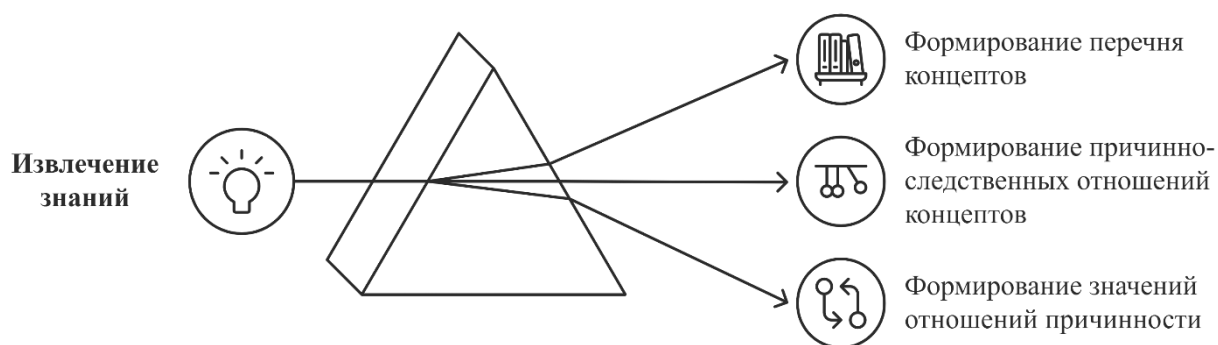


Рисунок 2.2 – Картирование извлечения знаний

Этапы формирования и анализа разрабатываемой когнитивной карты:

1. Формирование матрицы взаимовлияний и дальнейшее согласование отношений между концептами. Устанавливаются величины значений влияния факторов друг на друга. Результатом первого этапа является когнитивная карта.

Макситриангулярные операции с нечеткими матрицами являются основой для моделирования проблемно-целевых моделей систем на основе нечетких когнитивных карт.

Для определения взаимовлияния факторов формируется нечеткая матрица R размером $2n \times 2n$, элементы которой определяются из исходной

когнитивной матрицы W путем замены:

если $W(\kappa_i, \kappa_j) > 0$, то $r_{2i-1, 2j-1} = w(\kappa_i, \kappa_j)$, $r_{2i, 2j} = w(\kappa_i, \kappa_j)$;
 если $W(\kappa_i, \kappa_j) < 0$, то $r_{2i-1, 2j-1} = -w(\kappa_i, \kappa_j)$, $r_{2i, 2j} = -w(\kappa_i, \kappa_j)$.

Остальные элементы принимают нулевые значения. Процедура транзитивного замыкания R позволяет согласовать отношения взаимовлияния факторов $R^{\wedge} = R \vee R^2 \vee R^3 \vee \dots$

2. Расчет системных показателей. Значения системных показателей позволяют выполнить расчет интегральных показателей.

Консонанс влияния концепта κ_i на концепт κ_j

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}, \quad (2.1)$$

где v_{ij} – элемент транзитивно замкнутой когнитивной матрицы взаимовлияний, находящийся в i -й строке и j -м столбце.

Диссонанс влияния концепта κ_i на концепт κ_j

$$d_{ij} = 1 - c_{ij}. \quad (2.2)$$

Взаимный консонанс влияния концептов κ_i и κ_j

$$\tilde{c}_{ij} = \frac{|(v_{ij} + v_{ji}) + (\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}{|v_{ij} + v_{ji}| + |\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji}|}. \quad (2.3)$$

Взаимный диссонанс влияния концептов κ_i и κ_j

$$\tilde{d}_{ij} = 1 - \tilde{c}_{ij}. \quad (2.4)$$

Воздействие (влияние) концепта κ_i на концепт κ_j

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|) \quad \text{для } v_{ij} \neq -\bar{v}_{ij}. \quad (2.5)$$

Взаимное положительное влияние концептов κ_i и κ_j

$$\vec{p}_{ij} = \vec{p}_{ji} = (v_{ij} S v_{ji}), \quad (2.6)$$

где S – соответствующая S -норма.

Далее определяются интегральные показатели влияния концептов на систему и системы на концепты.

Консонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}. \quad (2.7)$$

Диссонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}. \quad (2.8)$$

Воздействие i -го концепта на систему

$$\vec{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}. \quad (2.9)$$

Консонанс влияния системы на j -й концепт

$$\tilde{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}. \quad (2.10)$$

Диссонанс влияния системы j -й концепт

$$\tilde{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}. \quad (2.11)$$

Воздействие системы на j -й концепт

$$\tilde{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}. \quad (2.12)$$

Когнитивные карты могут формироваться различной степени общности.

Описывать системы чрезмерно большим количеством факторов нецелесообразно ввиду потери наглядности, одного из главных преимуществ когнитивных моделей.

Методы когнитивного моделирования могут быть применены и для индикаторов некоторых факторов.

Наличие комплексных факторов в традиционных когнитивных картах и картах, моделирующих оценку уровня целевой функции, имеет различное значение. Если необходимо вычислять не только интегральные показатели, но и значение целевой функции как аддитивную свертку вектора коэффициентов влияния и вектора значений, то каждый фактор должен быть либо вычисляем, либо сам зависит от других факторов, не входящих в исходную карту, либо является комплексным. То есть, если система имеет N факторов, влияющих на целевую функцию, а среди них K факторов могут быть вычислены непосредственно, то для оставшихся факторов $M=N-K$ можно применить расчет индикаторного уровня значения фактора.

Если фактор зависит от других факторов, не входящих в исходную карту, выполняется декомпозиция этого фактора, строится для него когнитивная карта, в которой целевой функцией является сам исходный фактор. Для отличия терминологии в когнитивной карте, полученной при декомпозиции фактора, факторы-концепты будем называть индикаторами, а

целевую функцию – индикаторной функцией или индикаторным уровнем при вычислении её значения. При формировании когнитивной карты при декомпозиции следует следить за тем, чтобы все индикаторы могли быть вычисляемыми величинами.

Вычисление значений индикаторов производится в относительных величинах и вычисляется индикаторный уровень значения фактора как скалярное произведение вектора влияний индикаторов на фактор и вектора значений индикаторов. Данная процедура выполняется для всех факторов, значения которых не может быть вычислено прямыми методами.

Системы, в которых происходят любые изменения со временем, описываются динамическими моделями. Существуют два типа динамики системы:

- функционирование – процессы в системе, которые позволяют достичь поставленных целей.
- развитие – процессы в системе, которые позволяют изменять ее при изменении поставленных ранее целей [147,193].

Выше рассмотрены подходы к построению когнитивных моделей. В том виде, в котором они рассматриваются традиционно, речь идет о статических системах. Введение динамического фактора может быть представлено в различном виде: в виде изменения величины причинно-следственных связей между факторами, изменения самих причинно-следственных связей, изменения состава факторов, изменения значения факторов. Первые два вида взаимосвязаны между собой, так как значение связи между двумя факторами равное нулю фактически убирает их связь. То есть, построив когнитивную карту заведомо с избыточными связями и изменяя их значения в диапазоне $0 \leq \omega_{ij} \leq 1$, получим зависимость интегральных показателей от времени, в течение которого происходит изменение причинно-следственных связей между факторами.

При изменении структуры этого недостаточно, так как возможно появление новых факторов, которых в системе не предусматривалось.

Особое значение задача когнитивного моделирования приобретает в тех случаях, когда значения факторов изменяются во времени. Наложение временного ряда на интегральные показатели системы во взаимосвязи со значениями факторов может иметь целью решение двух задач:

- оценка значения целевой функции при данных значениях структуры системы и значениях факторов;
- решение задачи многокритериальной оптимизации: а) поиск таких значений факторов, которые при заданных интегральных показателях дадут целевой функции оптимальное значение; б) поиск такого сценария воздействия на факторы, реализация которого приведет к максимальному приращению уровня; в) поиск последовательности факторов, улучшение значений которых приводит к максимальному технико-экономическому эффекту, т.е. наибольшее приращение уровня при минимальных затратах.

Многокритериальная оптимизация – это область многокритериального принятия решений, которая связана с задачами математической оптимизации, включающими более одной целевой функции, подлежащей оптимизации одновременно. Многоцелевая оптимизация – это тип векторной оптимизации, который находит свое применение в областях науки: инженерии, экономику и логику и т.д., где необходимо принимать оптимальные решения при наличии компромиссов между двумя или более конфликтующими целями [144].

Примером многоцелевых задач оптимизации, имеющих от трех целей и выше, является сокращение материальных затрат при покупке автомобиля с наиболее высокими показателями качества, а также увеличение производительности при условии минимального расхода горюче-смазочных материалов, запасных частей, топливо-энергетических ресурсов и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу т.д.

Методы решения задач многокритериальной оптимизации можно подразделить на четыре группы (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Виды методов решения задач многокритериальной оптимизации

Вместо исходной многокритериальной задачи в соответствии с выбранным методом, формируется замещающая задача. В состав замещающей задачи входит один критерий, а к исходной системе ограничений добавляется одно или несколько дополнительных ограничений.

Очевидная сложность этой задачи в подборе конкретных параметров для критериев, заменяемых ограничениями.

Существуют три основных типа задач многокритериальной оптимизации. Рассмотрены задачи с двумя критериями f_1 и f_2 .

1. При постановке задачи можно определить, что критерий f_1 имеет более высокий приоритет, чем критерий f_2 или наоборот (выбор главного критерия).

2. Задача многокритериальной оптимизации может быть сведена к однокритериальной методом аддитивной линейной свертки вида $f = \sum_i^n \alpha_i f_i$, где коэффициенты α_i называются коэффициентами весомости, причем $\sum_i^n \alpha_i = 1$.

3. Метод максиминной свертки. Критерии f_1 и f_2 равнозначны.

Выбор главного критерия, оценивающего существенные для проектирования свойства объекта, является субъективным и базируется на опыте экспертов. Оставшиеся критерии можно заменить ограничениями, параметры которых также определены субъективно.

В результате чего происходит решение однокритериальной задачи. На новом допустимом множестве D' появляется простая задача поиска оптимального пути решения. При этом в задаче добавляются ограничения,

которые позволяют сохранить ограничения снизу на приемлемых уровнях, не добиваясь максимальных значений других критериев. Следует учитывать, что переход от исходной задачи к задаче с одним главным критерием не является переходом от одной эквивалентной задачи к другой задаче. В таком случае происходит только лишь изменение исходной задачи, которая при ее решении в каждом определенном случае требует объяснения, анализа и обоснования.

Учет остальных критериев можно выполнить также на основе ранжирования по уровню важности свойств для анализа системы [75]. Далее решается однокритериальная задача оптимизации, но из множества ее решений выбирается то, для которого значение очередного критерия в ранжированном ряду наилучшее.

Свёртка векторного критерия является заменой вектора рассматриваемых критериев функцией от его компонент, таким образом, получается новая целевая функция. Эта функция может быть аддитивной, мультипликативной или не быть ни той, ни другой. Решение замещающей задачи называется субоптимальным.

Объединение всех частных критериев в один:

$$f = \sum_i^n \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}; \alpha_i > 0, \sum_i^n \alpha_i = 1 \quad (2.13)$$

Весовые коэффициенты α_i могут при этом рассматриваться как показатели относительной значимости отдельных критериев $f_i(x)$. Чем большее значение придается критерию $f_j(x)$, тем больший вклад в сумму (1.16) он должен давать и, следовательно, тем большее значение α_j должно быть выбрано. Если критерии имеют принципиально различный смысл, достаточно сложно указать окончательный набор коэффициентов α_i . Вообще, априори не ясно, в каком отношении должны находиться весовые коэффициенты α_i и α_j , если известно желательное соотношение между $f_i(x)$ и $f_j(x)$ в оптимальной точке.

Метод максиминной свертки. Обычно применяется в форме

$$J(x) = \min_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D} \quad (2.14)$$

Здесь в отличие от метода линейной свертки на целевой функционал $J(x)$

оказывает влияние только тот частный критерий оптимальности, которому в данной точке x соответствует наименьшее значение соответствующей функции $f_i(x)$. И если в случае (2.14), вообще говоря, возможны «плохие» значения некоторых $f_i(x)$ за счет достаточно «хороших» значений остальных критериев, то в случае максиминного критерия производится расчет «на наихудший случай» и по значению $J(x)$ можно определить гарантированную нижнюю оценку для всех критериев $f_i(x)$. Этот факт расценивается как преимущество максиминного критерия перед методом линейной свертки.

Метод оптимизации Парето. Рассмотрим многокритериальный метод оптимизации, предложенный итальянским экономистом Парето [165-169].

Пусть имеется n критериев. Под x будем понимать некоторое решение задачи на нахождение максимума функции f_i ($i = 1 \dots n$). Обозначим его через x^* и предположим, что существует другое решение x^{**} , такое, что для всех критериев $f_i(x)$ имеют место неравенства причем, хотя бы одно неравенство строгое.

$$f_i(x^{**}) \geq f_i(x^*) \text{ при } (i = 1 \dots n), \quad (2.15)$$

В результате можно сделать вывод, что решение x^{**} лучше, чем решение x^* . Поэтому далее анализируются только те x^{**} , для которых не существует x^* , чтобы выполнить указанное неравенство [165-169].

Множеством Парето при n критериях $f_i(x)$ на максимум именуется множество таких x , для которых не существует такого x^* , чтобы выполнялось неравенство причем хотя бы одно неравенство строгое.

$$f_i(x^*) \geq f_i(x) \text{ при } (i = 1 \dots n), \quad (2.16)$$

На рисунке 2.4 представлено множество возможных решений X . Множество F называется множеством достижения или множеством граничных возможностей [165-169].

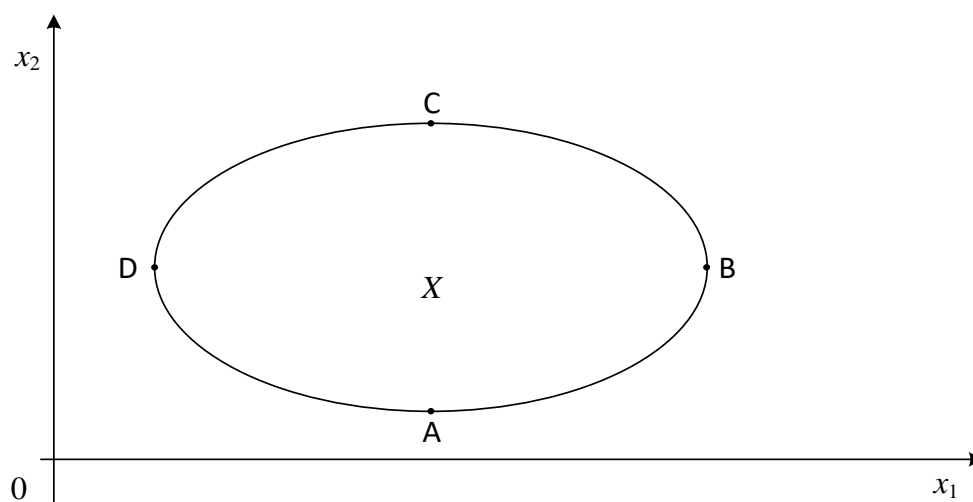


Рисунок 2.4 - Геометрическая интерпретация множества решений

Множество Парето представляет собой часть границы множества достижимости, т.е. ему принадлежат те значения критериев, над которыми не доминируют другие варианты [165-169].

Недостатком рассматриваемой интерпретации множества Парето для задачи с двумя критериями является то, что полученный вариант решения задачи не является однозначным. Аналитик, эксперт или лицо из управленческой деятельности делает выбор наиболее рационального решения задачи из множества Парето (точку на дуге, представляющей множество Парето) [165-169].

В данном случае множеством Парето будет:

- дуга АВ (рисунок 2.5, а), если к критериям предъявляются условия:

$$f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \max, f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \min;$$

- дуга DC (рисунок 2.5, а), если к критериям предъявляются условия:

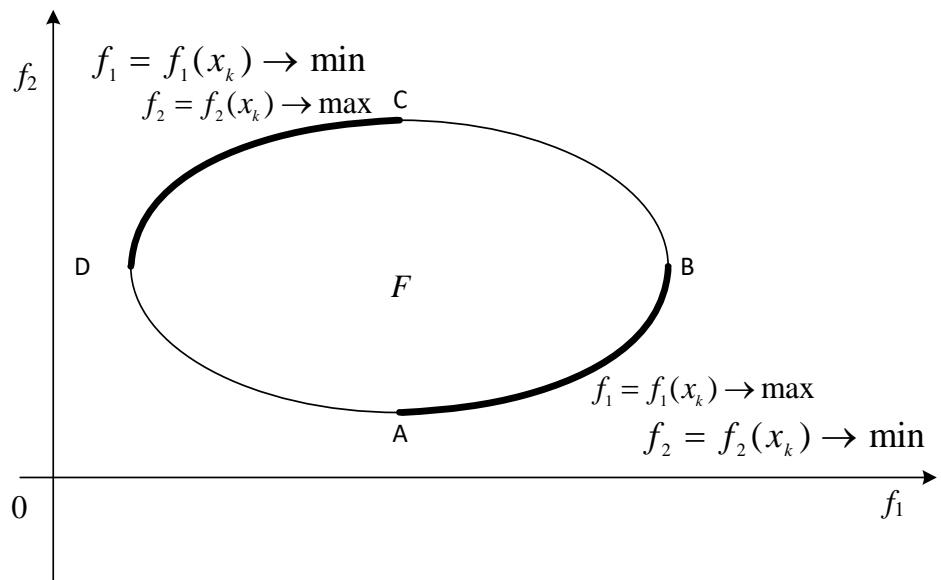
$$f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \min, f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \max;$$

- дуга BC (рисунок 2.5, б), если к критериям предъявляются условия:

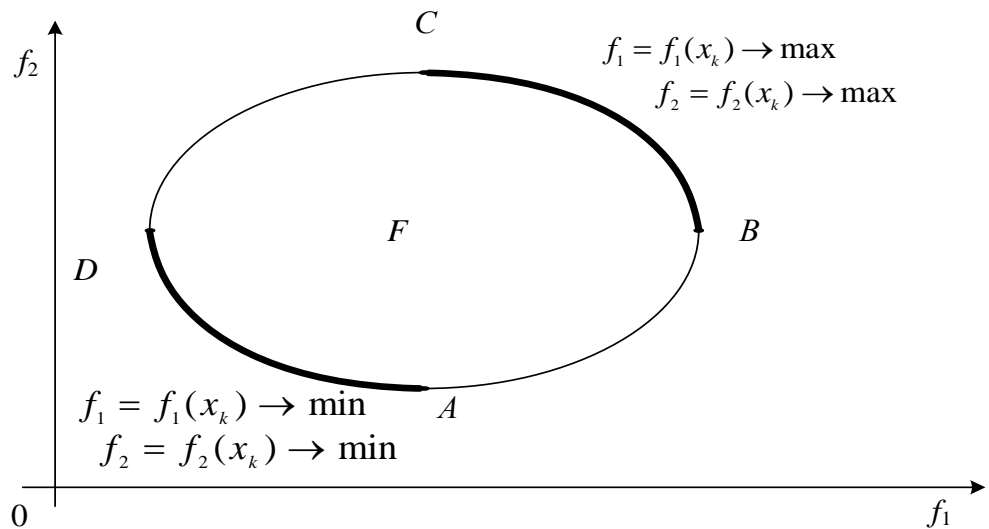
$$f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \max, f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \max;$$

- дуга AD (рисунок 2.5, б), если к критериям предъявляются условия:

$$f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \min, f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \min.$$



а)



б)

Рисунок 2.5 – Геометрическая интерпретация множества Парето

Следует отметить, что нахождение оптимального множества Парето не дает ответа на вопрос об оптимальности решения, если таковое должно быть единственно. Поэтому после получения Парето-оптимальных решений можно применить другие методы, например, метод идеальной точки и метод контрольных значений, которые рассмотрим ниже [165-169].

Под эффективностью по Парето понимают такое состояние системы, при котором ни один показатель системы не может быть улучшен без ухудшения какого-либо другого показателя [165-169].

Для задачи многоцелевой оптимизации не гарантируется, что одно решение одновременно может улучшить все поставленные цели или имеющиеся критерии. Допускается конфликт целевых функций [165-169].

Оптимальное решение по Парето – это решение, при котором не может быть достигнуто совершенствование ни одной целевой функции без снижения других целевых значений [136,165-169].

Без дополнительной информации о субъективных предпочтениях может существовать (возможно, бесконечное) количество оптимальных по Парето решений, все из которых считаются одинаково хорошими. Исследователи изучают задачи многоцелевой оптимизации с разных точек зрения, и, таким образом, при их постановке и решении существуют разные философии решений и цели. Целью может быть поиск репрезентативного набора оптимальных решений по Парето и/или количественная оценка компромиссов при достижении различных целей, и/или нахождение единого решения, удовлетворяющего субъективным предпочтениям человека, принимающего решения [165-169].

Бикритериальная оптимизация обозначает частный случай, в котором существуют две целевые функции.

В многоцелевой оптимизации обычно не существует приемлемого решения, которое минимизировало бы все целевые функции одновременно. Поэтому внимание уделяется оптимальным по Парето решениям.

В ходе оптимизации по Парето наибольшее усечение области допустимых решений достигается для двух критериев. При увеличении числа критериев эффективность этого метода падает. Если критериев более 5, применение этого метода считается нецелесообразным.

Выделение множества Парето методом линейной свертки – метод, преобразующий критерии задачи в один скалярный критерий, по которому и происходит поиск оптимальных решений.

Рассмотрим случай поиска максимального значения. То есть

$$f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \max, f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \max.$$

Проведем линейную свертку.

$$f = \sum_i^n \alpha_i f_i = \alpha_1 f_1(x_k) + \alpha_2 f_2(x_k), \quad (2.17)$$

где $\sum_i^n \alpha_i = 1$.

Далее решается классическая однокритериальная задача. При критериях более двух, выбор значений весовых коэффициентов является достаточно сложной задачей. Если критериев два, то расставить значения и отследить изменение множества решений по мультикритерию в зависимости от самих весовых коэффициентов можно путем последовательного изменения одного из весовых коэффициентов с заданным шагом.

Если на начальном этапе выбрать шаг решения равным γ и приравнять начальное значение одного из коэффициентов (например, α_2) этому шагу, то получим выражение:

$$f = \sum_i^n \alpha_i f_i = (1 - \gamma) \cdot f_1(x_k) + \gamma \cdot f_2(x_k) \rightarrow \max. \quad (2.18)$$

В этом случае параметр свертки γ принимает значения от 0 до 1. Так как происходит последовательное изменение значений параметра свертки γ , то значимость критериев также постепенно меняется от одного к другому. В результате чего происходит выбор наилучшего решения в зависимости от каждого критерия.

Данный метод определения множества Парето имеет существенное ограничение: линейная свертка пропускает вогнутые точки. То есть множество Парето должно быть выпуклым для применения линейной свертки. Поэтому такой метод поиска оптимальных значений позволяет частично определить множество точек границы Парето [200].

Метод идеальной точки является продолжением метода оптимизации по Парето. Идеальная точка – точка абсолютного максимума в критериальном пространстве, которая позволит достичь максимального значения всем критериям. Паретовское множество состоит из единственной точки, если эта точка принадлежит достижимому множеству. Реализовать данную точку возможно. Если идеальная точка находится вне множества, то такую точку реализовать нельзя [171].

Для реализации этого метода необходимо выбрать идеальную точку, т.е. точку, в которой все критерии достигают своего максимального значения

$$f_1^{max_1^0} f_2^{max_2^0} \dots f_n^{max_n^0}.$$

Далее для каждого объекта найти многокритериальную метрику (расстояние) до идеального объекта как корень квадратный из суммы квадратов расстояний:

$$W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i(x_j) - f_i^{max}}{f_i^{max}} \right)^2},$$

где W_j – многокритериальная метрика, расстояние до идеальной точки, глобальный минимизируемый критерий;

x_j – номер объекта, где $j = 1 \dots m$ – количество объектов;

n – количество критериев;

$f_i(x)$ – значение i -го критерия;

f_i^{max} – максимальное значение i -го критерия.

Далее выполнялась задача поиска объекта (точки) с минимальным расстоянием до идеальной точки.

$$W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i(x_j) - f_i^{max}}{f_i^{max}} \right)^2} \rightarrow \min \quad (2.19)$$

Выше рассмотрен случай максимизации критериев (дуга ВС на рисунке 2.5, б), если к критериям предъявляются условия: $f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \max$, $f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \max$. На практике не исключен случай, изображенный на рисунке 2.5, а (дуга АВ), когда к критериям предъявляются условия: $f_1 = f_1(x_k) \rightarrow \max$, $f_2 = f_2(x_k) \rightarrow \min$. В этом случае по одному критерию, например, по первому будет f_1^{max} , а по второму – f_2^{min} . Но минимальное значение может быть равно нулю, и формула (2.19) не работает, так как значение W стремится к бесконечности.

В этом случае решение может быть выполнено через приведение обоих критериев к решению задачи максимизации, либо, если оба критерия уже подвержены нормировке, можно воспользоваться формулой (2.20)

$$W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{ud.m})^2} \rightarrow \min, \quad (2.20)$$

где вместо максимального значения i -го критерия принимаются координаты идеальной точки. И тот и другой подход позволят выделить оптимальную по Парето точку.

Метод контрольных показателей – метод, используемый для поиска наиболее эффективного сбалансированного решения, которое располагается по всем показателям удаленно от минимальной границы.

Пусть имеется n -критериальная задача:

$$W_i = f_i(x) \rightarrow \max, \quad i = 1 \dots n.$$

Каждой функции $f_i(x)$ назначается контрольный показатель, которым выступает её нижняя граница

$$f_i(x) \geq f_i^*.$$

Тогда, для каждого объекта вводится глобальный критерий W , который максимизирует минимальное расстояние от текущей функции $f_i(x)$ до нижней границы f_i^* .

$$W = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \rightarrow \max. \quad (2.21)$$

Получаем ограничение задачи справа исходя из неравенства слева:

$$\min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \leq \frac{f_i(x)}{f_i^*} \Rightarrow f_i(x) \geq f_i^* \cdot W.$$

Решая задачу, находим такое W , при котором все функции принимают значения, наиболее удаленные от своих нижних границ f_i^* .

Решение данной задачи является оптимальным по Парето в случае, если отсутствует другое решение, которое является выше его. Существует еще такое понятие, как фронт Парето (границы Парето). Фронт Парето – набор оптимальных и эффективных решений задач по Парето.

Фронт Парето задачи многоцелевой оптимизации ограничен так называемым надирным целевым вектором и идеальным целевым вектором, если они конечны.

Компоненты надирного и идеального целевых векторов определяют верхнюю и нижнюю границы целевой функции оптимальных решений по Парето. На практике целевой вектор надира может быть только приближен, поскольку весь оптимальный набор по Парето неизвестен.

В работе рассмотрена многокритериальная оптимизация по Парето, метод линейной свёртки, метод контрольных показателей и метод идеальной точки. Данные методы позволяют решить многокритериальные задачи и найти наилучшие решения этих задач. Огромным преимуществом этих методов является их применение при различном множестве критериев в задачах. Если данные методы правильно применять и использовать, то возможно уменьшить количество вариантов решений задач и найти наиболее верный и подходящий. Изначально следует оптимизировать заданное множество по Парето, уменьшив количество решений задач, а далее использовать метод идеальной точки, который позволяет найти наиболее приемлемый вариант решения задачи. Вариантов решения задачи может быть несколько. В этом случае необходимо учитывать интервалы отклонения от самого лучшего варианта. Если осуществляется поиск только одного варианта решения, то необходимо рассмотреть не только самую близкую к идеальной точку, но и близкие к ней.

Любой многофакторный анализ дает прямолинейную связь, а когнитивная карта показывает причинно-следственные связи независимых факторов через зависимые на целевую функцию, т.е. вычисляются коэффициенты влияния (интегральные показатели) каждого фактора на целевую функцию.

Таким образом, выполняется анализ методов многокритериальной оптимизации с целью повышения уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

2.2 Алгоритм методики расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности

Одной из основных научных задач данного направления исследования является разработка методики оценки, прогнозирования и управления уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, который рассматривается как комплексный показатель, характеризующий способность к обеспечению эксплуатационной надежности ТС [102,112].

Технический осмотр транспортных средств проводится по заранее установленному плану, но это может повлиять на достоверность итогового результата, а именно могут быть снижены объективность и эффективность мероприятий контроля исполнения требований и правил [177].

Наличие данного недостатка позволяет определить и другие недостоверные сведения. Далее перечисляются основные недостатки, влияющие на достоверность результатов по оценке технического состояния ТС и их эксплуатационной надежности:

- проведение проверок по заранее установленному плану;
- малое количество времени для проведения контроля, что не позволяет проверить весь парк грузовых автомобилей;
- полученные сведения о техническом состоянии автомобилей актуальны только на момент проверки;
- возможные остановки в работе сотрудников предприятия на момент проверки;
- человеческий фактор;
- низкая объективность сведений об эксплуатационной надежности парка грузовых автомобилей [148].

Для проведения более эффективного контроля с получением наиболее достоверных сведений о состоянии грузовых автомобилей необходима организация непрерывного и постоянного контроля за техническим состоянием ТС в любой момент времени [71].

Внедрение непрерывного и постоянного контроля за техническим состоянием автомобилей позволит оперативно и достоверно получать информацию об эксплуатационной надежности грузовых автомобилей [124]. Это говорит о том, что есть необходимость внедрения в процесс работы элементов цифровой трансформации, которые будут постоянно контролировать значения факторов, влияющих на эксплуатационную надежность грузовых автомобилей [126]. Помимо этого, в процесс работы требуется внедрение и результатов научно-исследовательской деятельности, позволяющей прогнозировать, оценивать и контролировать эксплуатационную надежность парка грузовых автомобилей [69].

В настоящее время актуальной задачей является определение критерия оценки эффективности работы управленческого состава предприятия, а также и всех сотрудников предприятия, занимающихся вопросами обеспечения эксплуатационной надежности автомобилей, отсюда и определяются научные задачи данного исследования [150].

Рассмотрены понятия коэффициент технической готовности (КТГ) и уровень эксплуатационной надежности.

Надежность бывает таких видов как:

- эксплуатационная;
- техническая;
- морально-психологическая и др.

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается [29].

Под коэффициентом готовности понимается комплексный показатель, характеризующий сам факт готовности объекта (их совокупности, или систему) к чему-либо в данный момент времени или на каком-то достаточно малом временном интервале Δt . Наличие информации об изменении во времени коэффициента не говорит о его значении в момент времени t_1 ,

следующий за моментом времени t_0 или интервалом Δt .

Коэффициент технической готовности можно рассчитать как отношение количества исправных автомобилей к списочному количеству. КТГ может быть изменен за малый промежуток времени, так как число исправных автомобилей в любой момент времени может уменьшиться или увеличиться. КГТ изменяется ступенчато.

Уровень эксплуатационной надежности – это комплексный показатель, характеризующий способность предприятия обеспечить ЭН грузовых автомобилей для выполнения поставленных задач и плановых показателей.

Очевидно, что способность не может измениться скачкообразно, следовательно, определение уровня ЭН есть решение задачи генезиса (как работало руководство предприятия на интервале времени $[T_0 - \Delta T; T_0]$) и задачи прогноза (каков будет уровень ЭН на интервале времени $[T_0; T_0 + \Delta T]$).

Поэтому, наибольшую ценность имеет оценка уровня, а оценка коэффициента носит частный, инспектирующий характер. Простота определения КТГ, отсутствие вычислительной техники и единого информационного пространства долгое время позволяли этому показателю оставаться одним из основных. Однако с развитием системы эксплуатации, системы управления жизненным циклом изделий и ее информационной поддержки необходимость разработки нового критерия, способного оценить ЭН грузовых автомобилей, является все более актуальной. Именно поэтому одной из основных научных задач является разработка методики прогнозирования и оценки уровня ЭН грузовых автомобилей, как показателя, характеризующего способность обеспечить готовность грузовых автомобилей для выполнения поставленных ей задач [197,198].

Разработка методики оценки управления уровнем ЭН грузовых автомобилей включает в себя целый ряд частных задач:

1. Необходимо проанализировать, систематизировать и обосновать подходы к решению данного класса задач в условиях наличия многих факторов, влияющих на систему управления эксплуатационной надежностью

грузовых автомобилей (далее – Система).

2. Разработать концептуальную информационную модель системы управления эксплуатационной надежностью.

3. Обосновать перечень факторов, оказывающих влияния на Систему. На первом этапе исследования во внимание принимаются все факторы, оказывающие, в том числе, по мнению исследователя, несущественное влияние.

4. Определить целевую функцию, характеризующую эффективность Системы.

5. Установить причинно-следственные связи факторов при влиянии на целевую функцию. При решении этой задачи устанавливаются как положительные, так и отрицательные связи.

6. Установить величину причинно-следственной связи факторов.

7. На основе методов системно-информационного анализа выполнить расчет интегральных показателей, в том числе – влияние каждого фактора на Систему [199].

Задачи 1–7 являются общими задачами формирования методики определения влияния факторов на эксплуатационную надежность (рисунок 2.6).

8. Разработать методы расчета значений факторов, влияющих на обеспечение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей. Решение данной задачи должно опираться на базовые принципы получения объективной информации, недопустимость субъективного ввода данных, а при невозможности избежать этого – дублирование и контроль вводимой информации. Основная информация должна быть использована из информационной сети предприятия. Значения факторов должны быть подвергнуты процедуре нормировки – их значения могут находиться в диапазоне от 0 до 1 включительно.

9. Разработать методику оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, как:
$$Y = \vec{K} \cdot \vec{R} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot r_i$$
 Уровень

эксплуатационной надежности представляет собой скалярное произведение двух векторных критериев: вектора коэффициентов влияния и вектора значений факторов.

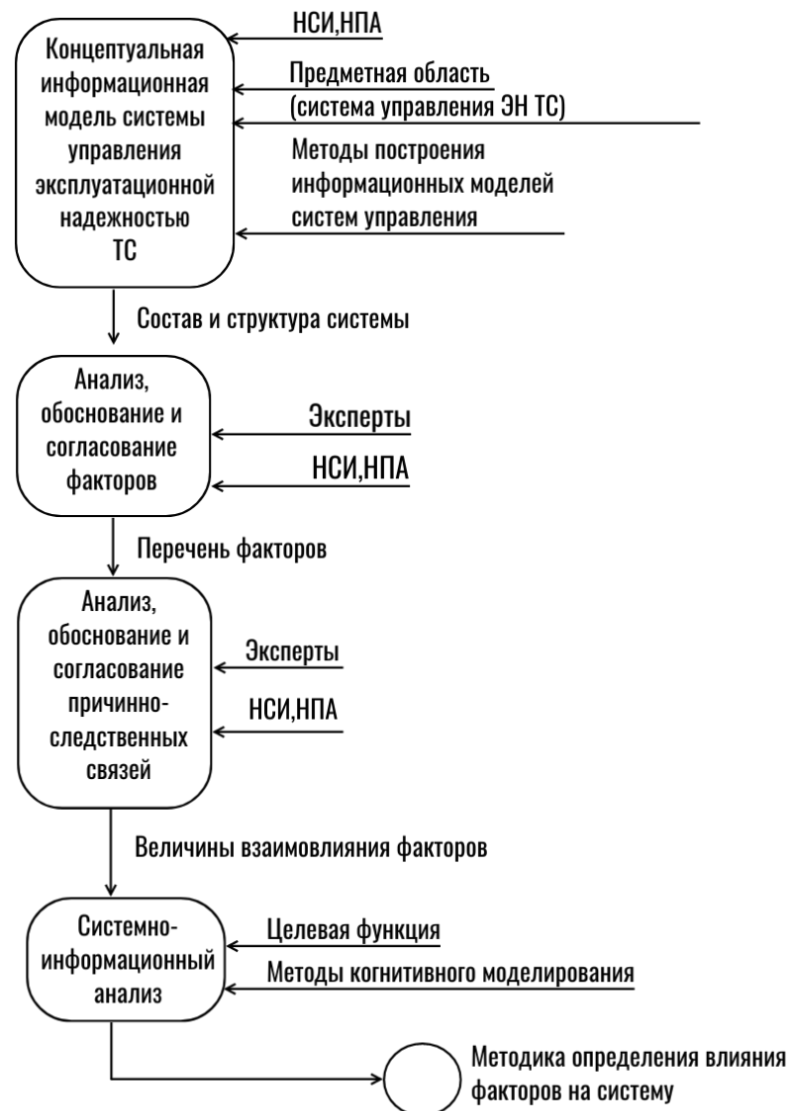


Рисунок 2.6 – Алгоритм разработки методики расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности

10. Обосновать методы решения и выполнить решение оптимизационной задачи управления эксплуатационной надежностью. Необходимо определить вариационный ряд воздействий (направленных на изменение значений факторов) с их продолжительностью, реализация которых дает максимальный прирост уровня эксплуатационной надежности при наименьших затратах за заданное время.

11. Разработать критерий эффективности выполнения мероприятий, направленных на повышение уровня эксплуатационной надежности.

12. Разработать подходы к решению задачи определения изменения значения фактора в зависимости от времени и затрат. Одним из главных принципов в определении таких зависимостей является принцип убывающей производительности, доказанный еще Карлом Марксом: с увеличением вложений средств и времени в один из факторов, его значение все медленнее приближается к единице.

13. Разработать алгоритм повышения уровня эксплуатационной надежности на основе решения оптимизационной задачи. Решение этой задачи должно предусматривать также восстановление уровня с критически низкого значения до оптимального.

Полученные значения могут быть использованы на предприятиях в качестве неизменной части при расчете уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Решение задач 8–13 направлено на реализацию функции управления ЭН, обеспечивает оценку уровня ЭН и базируется на значениях факторов, для которой выполняется расчет уровня ЭН и определяются механизмы управления. Система поддержки принятия решений руководителями предприятия является динамической системой, в которой в каждый из моментов времени могут измениться не только значения факторов, но и сама структура системы с причинно-следственными связями и функциями затрат.

Перечень указанных выше задач образует завершенную постановку научных задач и позволяет разработать программу исследования, конечной целью которого будет разработка научно-методического аппарата оценки, прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей. Применение современных методов анализа данных положено в основу методов прогнозирования и оценки.

2.3 Концептуальная информационная модель системы управления уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Необходимость применения информационных моделей обусловлена возможностью представлять сложные процессы (системы) в виде графических форм (графа, блок-схемы, алгоритма решения задачи, диаграммы). Отличительной чертой информационных моделей является способность работать в режиме реального времени с информацией (данными) об объекте [127]. Достаточным набором условий для построения информационной модели системы прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей являются: информация о состоянии системы, ее цели, имеющиеся внутренние и внешние ресурсы и время для достижения этих целей и необходимые для этого действия. Концептуальная информационная модель позволяет выстроить эффективную систему прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей.

Для построения концептуальной информационной модели на первом этапе определен состав системы (сущности) управления прогнозированием и уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей (УЭН ГА). К составу системы относятся: начальное техническое состояние ГА (узлов, агрегатов и систем каждого транспортного средства); организация эксплуатации ГА и эксплуатационные режимы, определяющие техническое состояние ГА; ресурсное обеспечение (укомплектованность предприятия водителями и специалистами по ТО и Р, инфраструктура, качество и количество горюче-смазочных материалов, запасных частей, инструментов и принадлежностей, что в значительной степени влияет на УЭН ГА), планируемые мероприятия.

На втором этапе определены и описаны операторы системы и построена концептуальная информационная модель управления прогнозированием и УЭН ГА (рисунок 2.7).

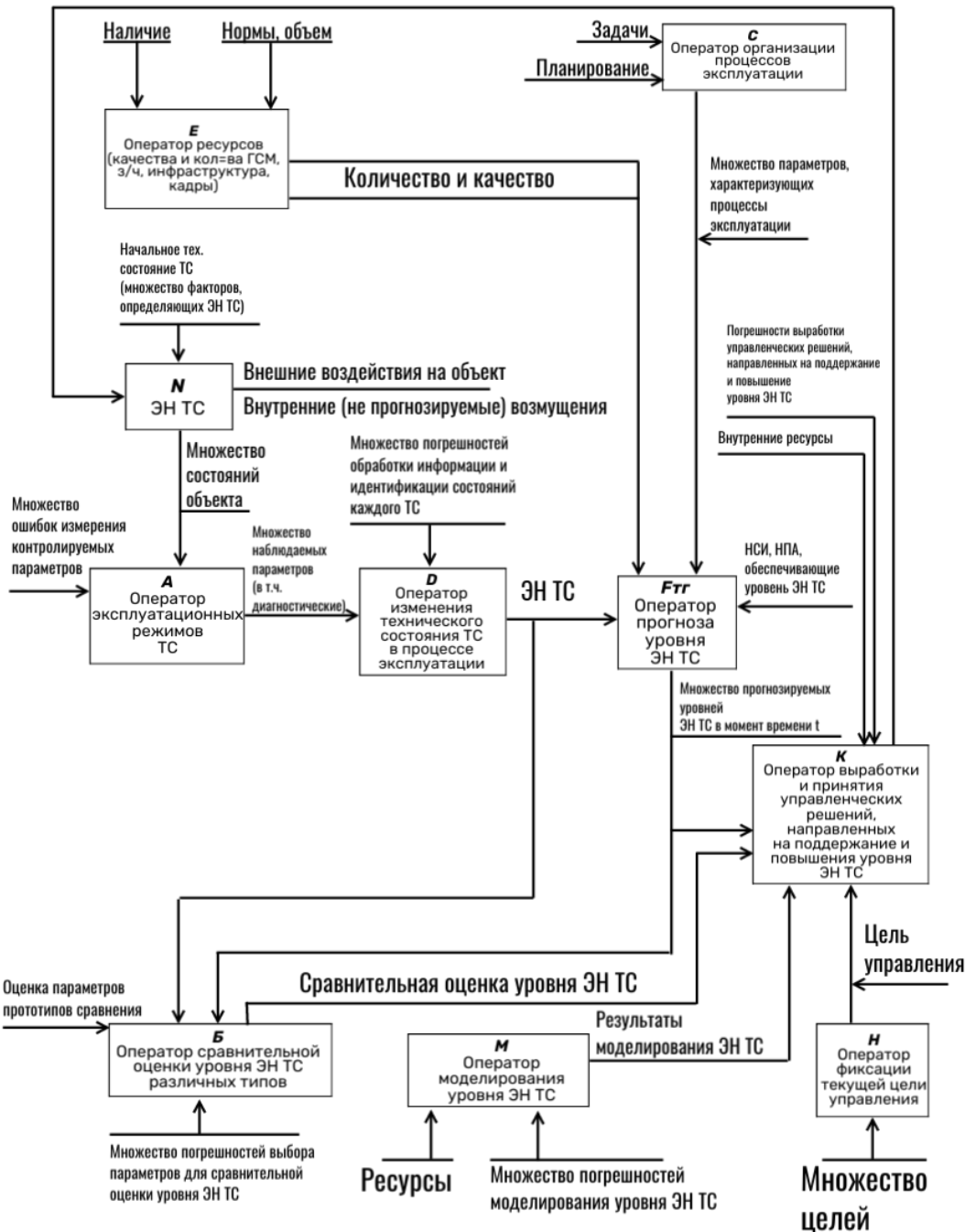


Рисунок 2.7 – Концептуальная информационная модель управления ЭН ГА

Оператор N является оператором, изменяющим структурные параметры под воздействием внутренних и внешних воздействий, а также управляющих решений. Входными данными являются значения параметров, описывающих:

X_H – начальное техническое состояние ГА;

I_S – внешние воздействия на объект;

O_U – внутренние возмущения системы;

U – управляющие воздействия.

В результате работы данного оператора формируется поток данных X , характеризующий множество состояний объектов ГА. В результате эксплуатации и применения определенной модели ГА, поток данных X обрабатывается оператором A при реальных ошибках измерения контролируемых параметров Y .

Эта первичная информация поступает в бортовую систему, а затем дублируется в базе данных типовой конструкции и БД эксплуатационной надежности транспортного средства обслуживающей организации (обслуживающего структурного подразделения) в off-line режиме.

Если проведенные воздействия относятся к агрегату, то создаются БД типовой конструкции агрегатов. В указанных БД скапливается массив статистической информации о воздействиях и соответствующих им распределениям наработки по режимам работы и условиям эксплуатации. Поток для входа такой информации в БД с транспортного средства открыт. В результате происходит непрерывное изменение наработки на эксплуатационных режимах, а выходом из оператора A является прогнозируемый вариационный ряд отказов X_P . Полученный остаточный ресурс X_P до отказа каждого определенной модели ГА с учетом погрешностей обработки информации и идентификации состояний определенной модели ГА Y_I в процессе эксплуатации позволяет оценить с помощью оператора D его техническое состояние.

Информация от операторов N , A , D последовательно поступает в оператор прогноза уровня ЭН ГА (оператор $F_{Эн}$), который выполняет обработку информации для прогноза уровня УЭН определенной модели ГА.

Получение прогнозируемых воздействий базируется на информации о режимах работы, условиях эксплуатации, диагностических параметрах, воздействиях на транспортное средство и информации из БД типовой конструкции. Обработка этой информации завершается аналитическим прогнозом воздействий. Для каждой определенной модели ГА формируется свой объем информации. Программы сбора информации представлены в Приложении А.

Интегрированные данные T по всем моделям грузовых автомобилей на выходе из оператора D следуют по двум направлениям: в оператор $F_{Эн}$ для

оценки уровня эксплуатационной надежности и в оператор сравнения **B**. В оператор **FЭн** кроме потока T следуют потоки Λ , Δ , Pj .

При этом поток Λ является следствием обработки информации Ψ о наличии ресурсов ГСМ, З/Ч, а также об инфраструктуре, штате и нормативной информации Ω в операторе **E** (оператор качества и количества ГСМ, З/Ч). В данном операторе на основании штата персонала и информации о динамике изменения кадров, обрабатывается информация об укомплектованности водителями и специалистами ТООР с последующей передачей информации в потоке Λ оператору **FЭн**, т.к. наличие квалифицированного персонала является важным ресурсом, от которого зависит уровень ЭН.

Поток Δ является следствием обработки информации об организации процессов эксплуатации в операторе **C** на основании информации о планировании G и задачах F , определяющих процессы эксплуатации.

Поток Pj является нормативной информацией для работы оператора **FЭн**, которая разделяется на нормативно-справочную и нормативно-правовую.

Оператор сравнения **B** позволяет оценить уровень эксплуатационной надежности определенной модели ГА для принятия решений о ремонте или списании ГА. Входной информацией R является ограниченный перечень параметров прототипов сравнения. Ими могут быть приняты как зарубежные, так и отечественные образцы. Погрешность выбранных параметров для оператора сравнительной оценки учитывается потоком Y_P .

Оператор **M** по запросу моделирует получение возможных уровней ЭН ГА при различных ресурсах X_R с учетом погрешностей модели Y_M . Разработанная модель уровня ЭН ГА позволяет:

- определить базовое значение уровня ЭН ГА;
- рассчитать стоимость увеличения значения фактора на один пункт;
- определить значение уровня при увеличении значения факторов;
- определить наиболее эффективное распределение ресурсов для повышения значения факторов, что приведет к повышению уровня ЭН ГА;

- рассчитать прирост уровня ЭН ГА, после проведенных мероприятий.

С учетом требований многофункциональности оператор ***H*** фиксирует (выбирает) цель из множества возможных ***L*** и передает ее оператору ***K*** для выработки и принятия решения, направленного на поддержание и повышение уровня ЭН определенной модели ГА.

Ключевым оператором системы является оператор ***K*** выработки и принятия управленческих решений, связанных с обеспечением, поддержанием и повышением уровня ЭН. Результатом работы оператора ***K*** является управленческое решение, формирующее управляющее воздействие ***U***. На входе в оператор:

- поток информации X_U о текущем уровне ЭН ГА;
- поток информации, по сравнительной оценке, ***J*** с выбранными прототипами сравнения;
- результаты моделирования ***Mk***;
- информация о выбранной цели управления ***Nk***;
- поток информации о внутренних ресурсах ***O_K***;
- погрешность выбора решений ***Q***, определяемая другими факторами.

Разработанная концептуальная информационная модель системы прогнозирования и управления ЭН ГА отвечает принципам многофункциональности и комплексности. Комплексный аспект предполагает единую методическую и информационную базу для оценки уровня эксплуатационной надежности как отдельного ГА, так и определенного типа ГА.

Многофункциональный аспект предполагает использование методического аппарата и единой информационной базы для решения различных задач благодаря структурной декомпозиции механизма вычислений при единстве исходных данных:

- оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей;
- управления уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей;
- сравнительной оценки уровня эксплуатационной надежности

грузовых автомобилей различных типов;

- решение задач ресурсного обеспечения ГА;
- прогнозирование технического состояния ГА.

2.4 Выводы по главе 2

1. Выявлено, что одним из современных методов и технологий анализа сложных организационно-технических систем является метод когнитивного моделирования, в котором взаимосвязь традиционных когнитивных карт с временным рядом значений факторов выводит на новый уровень анализ системы с позиции ее оценки по величине значения целевой функции. Добавляя к вектору коэффициентов влияния факторов на систему, вектор значений этих факторов и вектор удельной стоимости изменений значений факторов получена трехкритериальная задача оптимизации. Результатом решения этой задачи оптимизации является сценарий действий по увеличению значения целевой функции. Учитывая дискретность значений факторов и дискретность затрат, связанных с их поддержанием и увеличением, сделан вывод, что результат решения оптимизационной задачи будет функцией как значения выделенных средств на планируемый период, так и вектора значений факторов.

2. Установлено, что в настоящее время одним из основных показателей, характеризующих ТЭА, является коэффициент технической готовности, однако, с какой бы частотой он не определялся - не несет информации об уровне эксплуатационной надежности, о прогнозировании изменения технического состояния и технических воздействий с ГА, размере и номенклатуре необходимого склада запасных частей и расходных материалах и т.д.

3. Обоснована актуальность разработки информационной модели управления прогнозированием и эксплуатационной надежностью ГА тенденцией к мониторингу различных направлений деятельности, необходимостью создания научно-методического аппарата и возросшими возможностями программно-аппаратного обеспечения вычислительных систем. Применение информационных технологий в управлении

эксплуатационной надежностью ГА позволяет работать с большими объемами информации, обрабатывать слабоструктурированную информацию, повышать оперативность принятия решений, интегрировать разнообразные типы данных в единую систему.

4. Принципиальным отличием разработанной концептуальной информационной модели системы управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей является то, что она отвечает принципам многофункциональности и комплексности. В ней впервые применена концепция прогнозирования технического состояния грузовых автомобилей, построенная на адаптивных принципах учета наработки на эксплуатационных режимах, и методика прогнозирования уровня эксплуатационной надежности, как результат системно-информационного анализа с применением когнитивного моделирования.

3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

3.1 Системно-информационный анализ факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей и построения когнитивной модели

Работу любого предприятия можно рассматривать как функционирование сложной организационно-технической системы, направленной на получение прибыли. Снижение доли затрат, приходящихся на техническую эксплуатацию (ТЭ) грузовых автомобилей, всегда рассматривалось как одно из важнейших направлений увеличения прибыли. Однако показатели эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, коэффициент технического использования, готовность парка изделий и показатели безопасности при этом не должны снижаться.

Учитывая, что сама система технической эксплуатации содержит множество элементов, находящихся во взаимосвязи, необходимо решить задачу поддержания показателей эффективности технической эксплуатации автотранспорта на заданном уровне при ограниченном поступлении ресурсов.

Достаточно большое количество элементов системы и показателей эффективности усложняют задачу.

Таким образом, рассматривая систему управления ТЭ как сложную организационно-техническую систему, можно сделать вывод, что эффективным инструментом исследования являются методы системно-информационного анализа, в том числе методы когнитивного моделирования и выработки управленческих решений.

Принципиальный подход к управлению эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей описан на основе системно-информационного анализа. На первом этапе определялись состав и структура системы. В качестве элементов системы во взаимосвязи рассматриваются их количественные и качественные характеристики, такие как: численность

грузовых автомобилей, их оснащение и состояние, инфраструктура ТЭ (производственно-техническая база), наличие, укомплектованность и квалификация водителей, ремонтников, вспомогательного персонала, диспетчерской службы, наличие запасных частей, материалов, наличие подсистемы повышения квалификации и др.

В качестве целевой функции взят комплексный показатель эффективности эксплуатационной надежности.

Для определения степени влияния каждого элемента системы на целевую функцию строилась схема причинно-следственных связей с указанием величин влияния элементов системы (факторов) друг на друга.

Для понимания движения информации, учета входных и выходных параметров, возмущений в системе строилась информационная модель управления эксплуатационной надежностью [152]. Выполнялось когнитивное моделирование, в результате которого рассчитывались значения коэффициентов влияния элементов на систему эксплуатационной надежности и влияние системы на каждый элемент. Само по себе когнитивное моделирование в таком виде показывает лишь значимость данного элемента для всей системы эксплуатационной надежности и не зависит от времени, а следовательно, в таком виде не может использоваться для управления. Для того чтобы устранить этот недостаток модели необходимо дополнить систему факторами, зависящими от времени. Таким вектором является вектор значений факторов, характеризующих элементы системы. Этот вектор зависит от времени и содержит относительные значения факторов. Таким образом, показатель эффективности технической эксплуатации, представленный как скалярное произведение двух векторов – вектора влияний и вектора значений факторов зависит от времени и представляет собой качественный уровень эксплуатационной надежности в текущий момент времени.

Реализация функции управления эксплуатационной надежностью предполагает выбор элемента системы, на который необходимо в первую очередь оказать воздействие для повышения значения целевой функции. В

качестве критерия при выборе элемента целесообразно использовать критерий, равный максимальному отношению коэффициента влияния к значению фактора из множества возможных – $k = \max(k_i/b_i)$. При этом используется минимально возможное количество ресурсов для повышения значения фактора. Это связано в первую очередь с законом убывающей производительности. Далее процесс повторяется до окончания ресурсов.

Сущность разработанного подхода к управлению эксплуатационной надежностью заключается в нахождении элементов (факторов) системы и построении их вариационного ряда в каждый момент времени, по критерию наибольшего отношения коэффициента влияния к значению фактора, характеризующего элемент.

Основные результаты и их новизна заключаются в разработанном методе управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, отличающегося тем, что выбор управляющего воздействия осуществляется на основе когнитивного моделирования при выполнении системно-информационного анализа с учетом влияния фактора на эксплуатационную надежность, его значения, объема финансирования и минимально возможного размера вложения средств в данный фактор системы.

3.2 Разработка когнитивной модели влияния факторов на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

В настоящее время одним из основных показателей, характеризующих эффективность управления парком машин, является коэффициент технической готовности. Данный показатель универсален для большинства парков машин вне зависимости от их разновидностей и назначения и удобен в расчетах. В целях совершенствования методов прогнозирования и управления парком, совершенствования методики принимаемых управленческих решений и анализа их эффективности на всех стадиях необходим анализ факторов, влияющих на коэффициент технической готовности, а также присвоение этим

факторам определенных индикаторов и придание этим индикаторам весового значения относительно группы подобных индикаторов, а также выявление закономерностей корреляции индикаторов с уровнем эксплуатационной надежности.

Построение когнитивной карты системы ЭН ГА предполагает тщательное планирование, организацию, проведение и обработку экспертного опроса. Целями экспертного опроса являются:

- формирование перечня факторов-концептов, входящих в состав системы и оказывающих прямое или косвенное влияние на целевую функцию;
- определение наличия причинно-следственных связей между факторами-концептами;
- определение величины причинно-следственных связей между факторами-концептами [8,97,151].

На основе этой информации строится когнитивная карта (когнитивная модель системы) для наглядного представления системы.

Выполняется несколько этапов обоснования выбора экспертов, формирование опросных листов, а также статистическая обработка результатов, а именно, каждому эксперту предлагается оценить состав системы, ее структуру (связи) и величину этих связей. Расчет минимального количества экспертов и согласованность их мнений представлены в Приложении В.

В результате получается когнитивная карта, представленная на рисунке 3.1.

Целевой функцией является уровень эксплуатационной надежности ГА, который имеет одиннадцать входных факторов-концептов – пять независимых (из них, 2 фактора и 3 блока факторов) и шесть зависимых (из них, 1 блок и 5 факторов).

Независимые факторы:

$k1$ – качество ГСМ;

$k2$ – система прогнозирования ТС;

Блок «Качество запасных частей» определяется следующими факторами:

$k3$ – соответствие нормативным требованиям запчастей;

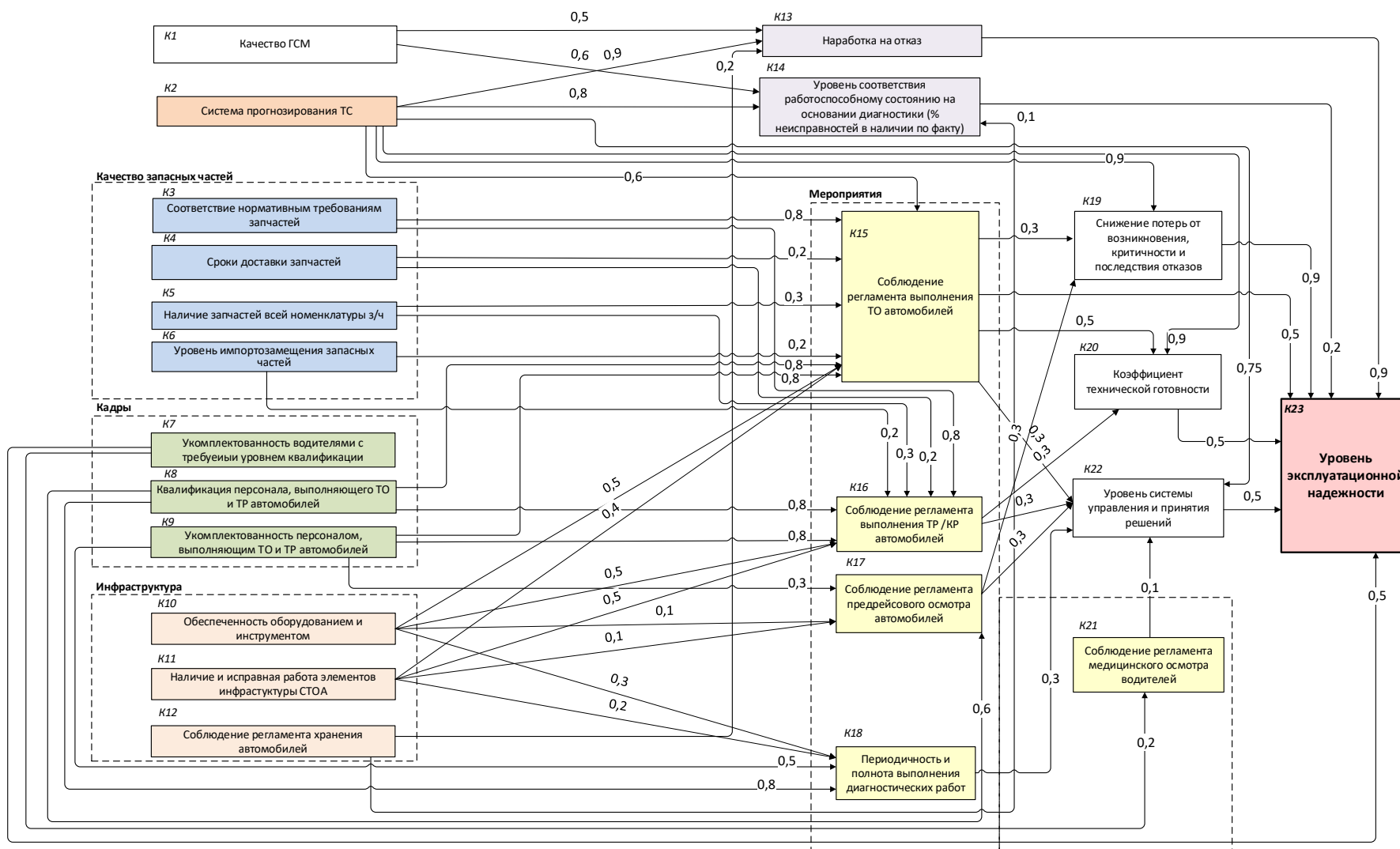


Рисунок 3.1 – Когнитивная карта системы управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей

k4 – сроки доставки запчастей;

k5 – наличие запчастей всей номенклатуры;

k6 – уровень импортозамещения запасных частей;

Блок «Кадры» определяется следующими факторами:

k7 – укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации;

k8 – квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей;

k9 – укомплектованность персоналом, выполняющим ТО и ТР автомобилей;

Блок «Инфраструктура» определяется следующими факторами:

k10 – обеспеченность оборудованием и инструментом;

k11 – наличие и работоспособность элементов инфраструктуры СТОА;

k12 – соблюдение регламента хранения автомобилей.

Зависимыми являются следующие факторы, в рамках обеспечения уровня эксплуатационной надежности ГА:

k13 – наработка на отказ;

k14 – уровень соответствия работоспособному состоянию на основании диагностики (% неисправностей в наличии по факту);

k19 – снижение потерь от возникновения, критичности и последствия отказов;

k20 – коэффициент технической готовности;

k22 – уровень системы управления и принятия решений.

Блок «Мероприятия» определяется следующими факторами:

k15 – соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей;

k16 – соблюдение регламента выполнения ТР/КР автомобилей;

k17 – соблюдение регламента выполнения предрейсового осмотра;

k18 – периодичность и полнота выполнения предрейсового осмотра;

k21 – соблюдение регламента медицинского осмотра водителей;

k23 – целевая функция, уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Когнитивная модель включает количественные и качественные факторы. Для перевода качественных факторов в количественные предлагается использовать подход по созданию индикаторных переменных с использованием аппарата нечетких множеств.

Для детального изучения влияния факторов и их индикаторов на уровень эксплуатационной надежности требуется проанализировать каждый из них.

Первым исследуемым фактором ($k1$) является «Качество ГСМ», при этом его индикаторами будут: $X1.1.$ – индикатор, характеризующий влияние качества топлива; $X1.2.$ – индикатор, характеризующий влияние качества масла и смазки, технических жидкостей.

Вторым фактором ($k2$) является «Система прогнозирования ТС», при этом его индикаторами будут: $X2.1.$ – индикатор, характеризующий совершенство развития системы прогнозирования ТС.

Факторы ($k3$), ($k4$), ($k5$) и ($k6$) относятся к объединенной группе «Качество запасных частей».

Третьим фактором является ($k3$), учитывающий соответствие нормативным требованиям запчастей, при этом его индикаторами будут: $X3.1.$ – индикатор, характеризующий влияние фактического соответствия качества запчастей нормативным требованиям.

Четвертым фактором является ($k4$), учитывающий сроки доставки запчастей, при этом его индикаторами будут: $X4.1.$ – индикатор, характеризующий влияние системы учета и планирования склада, расчета резервов, заказа; $X4.2.$ – индикатор, характеризующий влияние стабильности поставок з/ч (совершенство логистики).

Пятым фактором является ($k5$), учитывающий наличие запчастей всей номенклатуры, при этом его индикаторами будут: $X5.1.$ – индикатор, характеризующий влияние наличия на складах з/ч и материалов.

Шестым фактором является ($k6$), учитывающий уровень импортозамещения запасных частей, при этом его индикаторами будут: $X6.1.$ – индикатор, характеризующий влияние степени импортозамещения запасных частей.

Факторы ($k7$), ($k8$) и ($k9$) относятся к объединенной группе «Кадры».

Седьмым фактором является (*k7*), учитывающий укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации при этом его индикаторами будут: *X7.1.* – индикатор, характеризующий влияние квалификации сотрудников, эксплуатирующих ТС; *X7.2.* – индикатор, характеризующий влияние оптимальности методов управления автомобилем; *X7.3.* – индикатор, характеризующий влияние предупреждения неисправностей (своевременность реагирования на неисправности и принятия контрмер для минимизации последствий); *X7.4.* – индикатор, характеризующий влияние закреплённости машин за конкретным водителем, либо отсутствия такой системы; *X7.5.* – индикатор, характеризующий влияние качества передачи смены (передачи информации между водителями о техническом состоянии, проявлениях неисправностей, устранении неисправностей на месте).

Восьмым фактором является (*k8*), учитывающий квалификацию персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X8.1.* – индикатор, характеризующий влияние соответствия квалификации персонала занимаемой должности.

Девятым фактором является (*k9*), учитывающий укомплектованность персоналом, выполняющим ТО и ТР автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X9.1* – индикатор, характеризующий влияние наличия персонала по профилю; *X9.2.* – индикатор, характеризующий влияние правильности и соответствие выполнения тех. регламента ТО, ТР; *X9.3.* – индикатор, характеризующий влияние проверки качества выполненных работ (приемки работ).

Факторы (*k10*), (*k11*) и (*k12*) относятся к объединенной группе «Инфраструктура».

Десятым фактором является (*k10*), учитывающий обеспеченность оборудованием и инструментом, при этом его индикаторами будут: *X10.1.* – индикатор, характеризующий влияние укомплектованности оборудованием и инструментом СТОА.

Одиннадцатым фактором является (*k11*), учитывающий наличие и исправную работу элементов инфраструктуры СТОА, при этом его индикаторами будут: *X11.1.* – индикатор, характеризующий влияние исправности оборудования и инструмента СТОА.

Двенадцатым фактором является (*k12*), учитывающий соблюдение регламента хранения автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X12.1.* – индикатор, характеризующий влияние наличия предпускового подогревателя в автомобиле; *X12.2.* – индикатор, характеризующий влияние хранения аккумуляторов в теплом помещении или организация их подогрева и подзарядки на автомобиле; *X12.3.* – индикатор, характеризующий влияние поддержания чистоты ТС (мойка, очистка); *X12.4.* – индикатор, характеризующий влияние условий хранения автомобилей.

Тринадцатым фактором является (*k13*), учитывающий влияние наработки на отказ, при этом его индикаторами будут: *X13.1.* – индикатор, характеризующий надежность (наработка на отказ); *X13.2.* – индикатор, характеризующий коэффициент запаса прочности агрегата, узла или детали; *X13.3.* – индикатор, характеризующий влияние остаточного ресурса агрегатов (наработка на отказ); *X13.4.* – индикатор, характеризующий влияние нагрузки (% загрузки от максимальной, в том числе перегруз транспортного средства); *X13.5.* – индикатор, характеризующий влияние скоростного режима; *X13.6.* – индикатор, характеризующий влияние процента нагрузки двигателя и трансмиссии; *X13.7.* – индикатор, характеризующий влияние периодичности эксплуатации (продолжительность простоев); *X13.8.* – индикатор, характеризующий влияние консервации/расконсервации (правильность, своевременность); *X13.9.* – индикатор, характеризующий влияние климатической зоны; *X13.10.* – индикатор, характеризующий влияние текущих погодных условий; *X13.11.* – индикатор, характеризующий влияние состояния дорожного покрытия; *X13.12.* – индикатор, характеризующий влияние режимов движения «город-трасса»; *X13.13.* – индикатор, характеризующий влияние рельефа местности.

Четырнадцатым фактором является (*k14*), учитывающий уровень соответствия работоспособному состоянию на основании диагностики (% неисправностей в наличии по факту), при этом его индикаторами будут: *X14.1.* – индикатор, характеризующий влияние технического состояния (эксплуатация с неустраненными неисправностями, изношенными деталями)

Факторы (*k15*), (*k16*), (*k17*), (*k18*) и (*k21*) относятся к объединенной группе «Мероприятия».

Пятнадцатым фактором является (*k15*), учитывающий соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X15.1.* – индикатор, характеризующий влияние своевременности ТО; *X15.2.* – индикатор, характеризующий влияние выполнения всего перечня необходимых операций; *X15.3.* – индикатор, характеризующий влияние соответствия тех. регламенту (порядок операций, использование спец. приспособлений, моменты затяжки, схемы нанесений герметиков, смазок, клеев и т.д.); *X15.4* – индикатор, характеризующий влияние наличия персонала по профилю; *X15.5.* – индикатор, характеризующий влияние соответствия квалификации персонала занимаемой должности; *X15.6.* – индикатор, характеризующий влияние правильности и соответствие выполнения тех. регламента ТО, *X15.7.* – индикатор, характеризующий влияние проверки качества выполненных работ (приемки работ).

Шестнадцатым фактором является (*k16*), учитывающий соблюдение регламента выполнения ТР/КР автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X16.1.* – индикатор, характеризующий влияние выполнения всего перечня необходимых операций; *X16.2.* – индикатор, характеризующий влияние соответствия тех. регламенту (порядок операций, использование спец. приспособлений, моменты затяжки, схемы нанесений герметиков, смазок, клеев и т.д.); *X16.3.* – индикатор, характеризующий влияние качества технологий ремонта и восстановления; *X16.4* – индикатор, характеризующий влияние наличия персонала по профилю; *X16.5.* – индикатор, характеризующий влияние соответствия квалификации персонала занимаемой

должности; *X16.6.* – индикатор, характеризующий влияние правильности и соответствие выполнения тех. регламента ТР; *X16.7.* – индикатор, характеризующий влияние проверки качества выполненных работ (приемки работ).

Семнадцатым фактором является (*k17*), учитывающий соблюдение регламента предрейсового осмотра автомобилей, при этом его индикаторами будут: *X17.1.* – индикатор, характеризующий влияние предупреждения выхода на линию неисправного автомобиля.

Восемнадцатым фактором является (*k18*), учитывающий периодичность и полноту выполнения диагностических работ, при этом его индикаторами будут: *X18.1.* – индикатор, характеризующий влияние качества диагностики и оценки состояния неисправностей; *X18.2.* – индикатор, характеризующий влияние объективности информации о техническом состоянии узлов и деталей автомобиля, *X18.3.* – индикатор, характеризующий влияние проверок технического состояния (периодичность, перечень операций согласно регламенту, используемый инструментарий).

Двадцать первым фактором является (*k21*), учитывающий соблюдение регламента медицинского осмотра водителей, при этом его индикаторами будут: *X21.1.* – индикатор, характеризующий влияние предупреждения возможного негативного влияния психо-физического состояния и состояния здоровья водителя на управление).

Факторы (*k19*), (*k20*) и (*k22*) внегрупповые.

Девятнадцатым фактором является (*k19*), учитывающий снижение потерь от возникновения отказов, их критичности и их последствий.

Двадцатым фактором является (*k20*), учитывающий влияние коэффициента технической готовности, при этом его индикаторами будут: *X20.1.* – индикатор, характеризующий влияние значения коэффициента технической готовности.

Двадцать вторым фактором является (*k22*), учитывающий уровень системы управления и принятия решений, при этом его индикаторами будут:

X22.1. – индикатор, характеризующий влияние наличия системы обратной связи в системе управления парком; *X22.2.* – индикатор, характеризующий влияние времени обратной связи; *X22.3.* – индикатор, характеризующий величину потерь и искажения информации в системе обратной связи; *X22.4.* – индикатор, характеризующий влияние достоверности и объективности информации в управленческой деятельности; *X22.5.* – индикатор, характеризующий влияние объективности анализа результата управленческих решений; *X22.6.* – индикатор, характеризующий влияние эффективности реализации управленческого решения.

Итогом рассмотрения факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности и присвоения этим факторам индикаторов, является создание методики расчета значений индикаторов в зависимости от степени влияния факторов (определение четких закономерностей между величиной влияния фактора и присвоением значения соответствующему индикатору).

Предложенные факторы и индикаторы позволяют учитывать, систематизировать, различать по значимости влияющие факторы, в зависимости от изменений внешних и внутренних воздействий. За счет присвоения влияющим факторам индикаторов, количественно отображающих степень влияния этих факторов, представляется возможность определять своевременность, очередность и степень контрвоздействия на эти факторы, отслеживать динамику их изменения и определять дальнейшие стратегии управления факторами для достижения высоких показателей УЭН ГА, что является предпосылкой для организации эффективной системы управления УЭН ГА с использованием цифровых методов.

Определение отношений причинности между парами концептов с использованием нейросетевых технологий и метода экспертных оценок

Предложенный ранее подход к построению когнитивных карт основан на экспертных оценках отношений причинности. Однако такой подход сложно адаптируется к изменениям данных о состоянии автомобилей и его трудно масштабировать. В связи с этим в последние годы актуальными стали

алгоритмы построения когнитивных карт с использованием машинного обучения и, прежде всего, искусственных нейронных сетей. В этом случае оценки отношений причинности определяются, как коэффициенты обученной нейронной сети. При таком подходе, при поступлении новых данных о состоянии автомобилей, нейронную сеть необходимо просто доучить, что сравнительно несложно, а изменение структуры модели будет означать только модификацию архитектуры нейронной сети [8,97,151].

Когнитивная карта может быть представлена в виде искусственной нейронной сети с входным слоем, двумя скрытыми слоями и выходным слоем. Входной слой будет задаваться вектором из 12 компонент; каждая компонента соответствует одному из показателей $k1-k12$. Соответственно первый скрытый слой соответствует показателям $k13-k18$, второй скрытый слой – показателям $k19-k22$, а выходной слой – показателю $k23$. Архитектура сети не полносвязная – связи определяются наличием причинности между показателями. Функции активации для внутренних слоев являются тождественными, а на выходном слое окончательный вывод делается с помощью сигмоидной (логистической) функции.

Алгоритм обучения предполагает наличие «учителя» - размеченных данных об уровне эксплуатационной надежности. То есть необходима большая обучающая выборка – автомобили с заданными показателями $k1-k22$. Объем выборки должен быть достаточно большим – результаты носят асимптотический характер, это один из основных недостатков подхода к построению когнитивных карт с использованием нейронных сетей. Для обучения используется алгоритм обратного распространения ошибки: вектор, описывающий автомобиль из обучающей выборки, подставляется в нейронную сеть с произвольным начальным заданием весов (отношений причинности) и на выходном слое нейронной сети получается уровень эксплуатационной надежности. Результат сравнивается с известным «правильным» значением. Если результат нейронной сети совпадает с известным, то веса сети не пересчитывают. Если результат не совпадает, то находится абсолютное значение отклонения – ошибки, и с помощью обратного распространения этой ошибки необходимо пересчитать веса на всех слоях сети. Обучение происходит пока уровень ошибки не будет меньше заранее заданного.

Таким образом, используя градиентный метод «обратного распространения ошибки» и метод обучения нейросети «с учителем», присвоив значение всем факторов равное 1, варьируя значениями входных параметров, получены коэффициенты взаимовлияния всех факторов, а также средние значения отношений причинности между каждой парой концептов когнитивной карты в пределах от 0 до 1. При этом результаты, полученные с использованием метода экспертного опроса и нейросетевым подходом, коррелируют и приведены в таблице 3.1 [8,97,151].

Таблица 3.1 - Средние значения отношений причинности между каждой парой концептов когнитивной карты

$w(k1, k13) = 0,5$	$w(k10, k16) = 0,5$
$w(k1, k14) = 0,6$	$w(k10, k17) = 0,1$
$w(k2, k13) = 0,9$	$w(k10, k18) = 0,3$
$w(k2, k14) = 0,8$	$w(k11, k15) = 0,4$
$w(k2, k19) = 0,9$	$w(k11, k16) = 0,5$
$w(k2, k20) = 0,9$	$w(k11, k17) = 0,1$
$w(k2, k15) = 0,6$	$w(k11, k18) = 0,2$
$w(k3, k15) = 0,8$	$w(k12, k13) = 0,2$
$w(k3, k16) = 0,8$	$w(k12, k14) = 0,1$
$w(k4, k15) = 0,2$	$w(k13, k23) = 0,9$
$w(k4, k16) = 0,2$	$w(k14, k23) = 0,2$
$w(k5, k15) = 0,3$	$w(k15, k19) = 0,3$
$w(k5, k16) = 0,3$	$w(k15, k23) = 0,5$
$w(k6, k15) = 0,2$	$w(k15, k20) = 0,5$
$w(k7, k23) = 0,5$	$w(k15, k22) = 0,3$
$w(k7, k21) = 0,2$	$w(k16, k20) = 0,3$
$w(k8, k17) = 0,6$	$w(k16, k22) = 0,3$
$w(k8, k18) = 0,8$	$w(k17, k19) = 0,3$
$w(k8, k16) = 0,8$	$w(k17, k22) = 0,3$
$w(k8, k15) = 0,8$	$w(k18, k22) = 0,3$
$w(k9, k18) = 0,5$	$w(k19, k23) = 0,9$
$w(k9, k15) = 0,8$	$w(k20, k23) = 0,5$
$w(k9, k16) = 0,8$	$w(k21, k22) = 0,1$
$w(k10, k15) = 0,5$	$w(k22, k23) = 0,5$

Из представленного перечня следует, что факторы $k1-k12$ являются независимыми входными факторами системы, при этом $k7$ подлежит

декомпозиции на факторы, подлежащие измерению. Зависимыми являются факторы $k13-k22$, при этом $k22$ – подлежит декомпозиции на факторы, подлежащие измерению. Все перечисленные факторы-концепты, формирующие состав когнитивной модели, отражают элементы, проверяемые при техническом осмотре ГА, а именно:

- соответствие номенклатуры и количественного состава грузовых автомобилей;
- техническое состояние марок и моделей грузовых автомобилей;
- организация эксплуатации грузовых автомобилей;
- организация ремонта грузовых автомобилей и состояние цехов по ТО и Р;
- состояние мест хранения грузовых автомобилей;
- состояние метрологического обеспечения грузовых автомобилей;
- состояние запасов запасных частей и материалов, качество ГСМ;
- наличие системы прогнозирования технического состояния;
- соблюдение регламентов предрейсового и медицинского осмотров и т.д.

Построение модели управления эксплуатационной надежности ГА на основе когнитивных принципов может быть выполнено на трех уровнях.

На первом уровне разрабатывается когнитивная карта, которая сама по себе уже является когнитивной моделью и позволяет анализировать влияние и взаимосвязи факторов и их влияние на целевую функцию, влияние системы на отдельные факторы, причинно-следственные связи факторов, а также полноту состава системы. Однако временные связи, определяющие динамику системы, на этом уровне модели не проявляются.

На втором уровне к данной модели добавляется временной ряд значений факторов и, применяя линейную свертку факторов, выполняется приход к однокритериальной задаче оптимизации. Первым вектором является вектор коэффициентов влияния факторов на целевую функцию, полученный на первом уровне моделирования, вторым вектором является вектор значений факторов.

Анализ факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности, показывает, что среди них имеются как факторы, которые можно вычислить и подвергнуть процедуре нормирования, так и факторы, вычисление которых

проблематично и связано с оценкой чего-либо. Например, «Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации», «Уровень системы управления и принятия решений». Решение этой задачи выполняется с использованием принципа декомпозиции фактора. Он начинает выполнять роль индикаторной целевой функции, на которую влияют концепты-индикаторы, образуя систему, к которой применяется процедура системно-информационного анализа. Использование индикаторов также является оправданным, если имеется группа факторов с выходом на один фактор, находящийся во взаимосвязи с другими факторами, не входящими в эту группу. То есть группа является как бы обособленной на когнитивной карте. В данном случае имеет место процедура масштабирования – представление группы факторов в качестве одного фактора.

На третьем уровне моделирования решается задача распределения средств и ресурсов для поддержания (обеспечения, повышения) значений факторов с целью получения наибольшего увеличения значений целевой функции (уровня эксплуатационной надежности ГА). При решении задачи характерным является то, что понятие «средства» содержит не только ежегодное финансовое обеспечение, но и другие ресурсы.

В качестве примера декомпозиции факторов-концептов рассмотрены фактор k_7 – «Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации» и k_{22} – «Уровень системы управления и принятия решений».

3.3 Методика расчета интегральных показателей влияния факторов на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Как упоминалось выше, на первом уровне разрабатывалась когнитивная карта, которая сама по себе уже являлась когнитивной моделью и позволяла анализировать влияние факторов на целевую функцию, влияние системы на отдельные факторы, причинно-следственные связи факторов, а также полноту состава системы. На основании этого выполнен расчет системных показателей, используя представленные в п.п 2.1 формулы (2.1)–(2.12).

На основании нейронной сети сформирована когнитивная карта (см. рисунок 2.3), с причинно-следственными связями и их значениями. На основании когнитивной карты построена исходная матрица взаимовлияний (рисунок 3.2).

	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23
k1	0,50	0,60									
k2	0,90	0,80	0,60				0,90	0,90		0,75	
k3			0,80	0,80							
k4			0,20	0,20							
k5			0,30	0,30							
k6			0,20	0,20							
k7									0,20		0,50
k8			0,80	0,80	0,60	0,80					
k9			0,80	0,80	0,30	0,50					
k10			0,50	0,50	0,10	0,30					
k11			0,40	0,50	0,10	0,20					
k12	0,20	0,10									
k13											0,90
k14			0,00								0,20
k15							0,30	0,50		0,30	0,50
k16								0,30		0,30	
k17							0,30			0,30	
k18										0,30	
k19											0,90
k20											0,50
k21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,10	
k22											0,50
k23											

Рисунок 3.2 – Исходная матрица

По формуле (2.5) построена транзитивно-замкнутая матрица (рисунок 3.3) и найдены максимальные значения влияний из всей цепочки влияний.

	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23	
k1	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,067
k2	0,90	0,80	0,60	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	0,00	0,75	0,81	0,246
k3	0,00	0,00	0,80	0,80	0,00	0,00	0,24	0,40	0,00	0,24	0,40	0,125
k4	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,06	0,10	0,00	0,06	0,10	0,031
k5	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,00	0,09	0,15	0,00	0,09	0,15	0,047
k6	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,06	0,10	0,00	0,06	0,10	0,031
k7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,02	0,50	0,031
k8	0,00	0,00	0,80	0,80	0,60	0,80	0,24	0,40	0,00	0,24	0,40	0,186
k9	0,00	0,00	0,80	0,80	0,30	0,50	0,24	0,40	0,00	0,24	0,40	0,160
k10	0,00	0,00	0,50	0,50	0,10	0,30	0,15	0,25	0,00	0,15	0,25	0,096
k11	0,00	0,00	0,40	0,50	0,10	0,20	0,12	0,20	0,00	0,15	0,20	0,081
k12	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,021
k13		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,039
k14			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,009
k15				0,00	0,00	0,00	0,30	0,50	0,00	0,30	0,50	0,070
k16					0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,30	0,15	0,033
k17						0,00	0,30	0,00	0,00	0,30	0,27	0,038
k18							0,00	0,00	0,00	0,30	0,15	0,020
k19								0,00	0,00	0,00	0,90	0,039
k20									0,00	0,00	0,50	0,022
k21										0,10	0,05	0,007
k22											0,50	0,022
k23												0,000
	0,070	0,065	0,200	0,178	0,048	0,078	0,117	0,161	0,009	0,143	0,350	

Рисунок 3.3 – Транзитивно-замкнутая матрица влияния фактора k_i на фактор k_j

Например, при вычислении $k4$ на $k21$ влияния выбиралось максимальное из десяти произведений (рисунок 3.4), некоторые из которых могли быть нулевыми.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23													
k1	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,067												
k2	0,90	0,80	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	0,00	0,75	0,81	0,246											
k3	0,00	0,00	0,80	0,80	0,00	0,00	0,24	0,40																
k4	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,06	0,10	=МАКС(B5*J\$14;C5*J\$15;D5*J\$16;E5*J\$17;F5*J\$18;G5*J\$19;H5*J\$20;I5*J\$21)															
k5	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,00	0,09	0,15	МАКС(число1; [число2]; [число3]; [число4]; [число5]; [число6]; [число7]; [число8]; [число9]; ...)															
k6	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,06	0,10																
k7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,02	0,50	0,031												
k8	0,00	0,00	0,80	0,80	0,60	0,80	0,24	0,40	0,00	0,24	0,40	0,186												
k9	0,00	0,00	0,80	0,80	0,30	0,50	0,24	0,40	0,00	0,24	0,40	0,160												
k10	0,00	0,00	0,50	0,50	0,10	0,30	0,15	0,25	0,00	0,15	0,25	0,096												
k11	0,00	0,00	0,40	0,50	0,10	0,20	0,12	0,20	0,00	0,15	0,20	0,081												
k12	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,021												
k13		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,039												
k14			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,009												
k15				0,00	0,00	0,00	0,30	0,50	0,00	0,30	0,50	0,070												
k16					0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,30	0,15	0,033												
k17						0,00	0,30	0,00	0,00	0,30	0,27	0,038												
k18							0,00	0,00	0,00	0,30	0,15	0,020												
k19								0,00	0,00	0,00	0,90	0,039												
k20									0,00	0,00	0,50	0,022												
k21										0,10	0,05	0,007												
k22											0,50	0,022												
k23												0,000												
	0,070	0,065	0,200	0,178	0,048	0,078	0,117	0,161	0,009	0,143	0,350													

Рисунок 3.4 – Формула для расчета влияния фактора $k4$ на фактор $k21$

Необходимо отметить следующее:

1. При наличии только положительных связей необходимости отображать столбцы независимых факторов нет, поэтому на рисунке 3.3 столбцы исходной матрицы начинаются с фактора $k13$.

2. Использование MS Excel для проведения расчета интегральных показателей оправдано только для тех случаев, когда отсутствует динамика структуры системы. Для практической реализации динамических систем необходима разработка прикладного программного обеспечения.

Анализ интегральных показателей когнитивной модели (рисунок 3.5) предполагает формулирование следующих выводов:

- влияние каких факторов на эксплуатационную надежность ГА является наиболее существенным;
- на какие факторы сама система оказывает наибольшее воздействие;
- сравнение степени воздействия выбранных факторов на систему эксплуатационной надежности и самой системы на выбранные факторы.

По результатам моделирования можно сделать следующие основные выводы. Фактор $k2$ (Система прогнозирования технического состояния) в

наибольшей степени по сравнению с другими факторами положительно влияет на эксплуатационную надежность ГА. Затем по степени положительного влияния следуют концепты: k_8 (Квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей); k_9 (Укомплектованность персоналом, выполняющим ТО и ТР автомобилей) и k_3 (Соответствие нормативным требованиям запасных частей).

Номер фактора	Влияние фактора на систему	Нормированное влияние фактора на систему	Номер фактора	Влияние системы на фактор	Нормированное влияние системы на фактор
k1	0,067	0,047	k23	0,350	0,247
k2	0,246	0,173	k22	0,143	0,101
k3	0,125	0,088	k21	0,009	0,006
k4	0,031	0,022	k20	0,161	0,113
k5	0,047	0,033	k19	0,117	0,083
k6	0,031	0,022	k18	0,078	0,055
k7	0,031	0,022	k17	0,048	0,034
k8	0,186	0,131	k16	0,178	0,126
k9	0,160	0,113	k15	0,200	0,141
k10	0,096	0,067	k14	0,065	0,046
k11	0,081	0,057	k13	0,070	0,049
k12	0,021	0,015	k12	0,000	0,000
k13	0,039	0,028	k11	0,000	0,000
k14	0,009	0,006	k10	0,000	0,000
k15	0,070	0,049	k9	0,000	0,000
k16	0,033	0,023	k8	0,000	0,000
k17	0,038	0,027	k7	0,000	0,000
k18	0,020	0,014	k6	0,000	0,000
k19	0,039	0,028	k5	0,000	0,000
k20	0,022	0,015	k4	0,000	0,000
k21	0,007	0,005	k3	0,000	0,000
k22	0,022	0,015	k2	0,000	0,000
k23	0,000	0,000	k1	0,000	0,000

Рисунок 3.5 – Интегральные показатели влияния факторов на систему и системы на фактор

Сама по себе система обеспечения эксплуатационной надежности в большей степени оказывает влияние на два фактора, составляющих в сумме 26,7%: k_{15} (Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей) и k_{16} (Соблюдение регламента выполнения ТР/КР автомобилей).

Группа факторов (k_{13} – k_{14} и k_{17} – k_{22}) в одинаковой степени подвержена влиянию как со стороны системы (обеспечения эксплуатационной надежности грузовых автомобилей), так и сама влияет на систему. Такая сбалансированность факторов этой группы свидетельствует о возможности

использования их в качестве показателей системы обеспечения эксплуатационной надежности. Таким образом, результаты моделирования подтверждают вывод о том, что состояние системы эксплуатационной надежности грузовых автомобилей характеризуется степенью реализации и качеством проведения мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность грузовых автомобилей. Следовательно, от адекватности, точности и оперативности оценки степени реализации и качества проведения этих мероприятий зависит уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей для выполнения поставленных перед ней задач.

3.4 Методика оценки количественных характеристик факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

На втором уровне к разработанной модели добавлен временной ряд значений факторов и, применяя линейную свертку факторов, сформирован переход к однокритериальной задаче оптимизации. Первым вектором является вектор коэффициентов влияния факторов на целевую функцию, полученный на первом уровне моделирования, вторым вектором является вектор значений факторов.

В таблице 3.2 представлено описание факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, способы их вычисления и принятые значения. Также указано, какие из факторов вычисляются как индикаторные показатели.

На основании значений факторов и их коэффициентов влияния построена проблемно-целевая модель оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, выполнив линейную аддитивную свертку этих двух показателей.

Таблица 3.2 – Значения факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей и способы их вычисления

Факторы		Значение факторов	
обозначение	наименование	способ вычисления	Фактическое значение для исследуемого предприятия
1	2	3	4
k1	Качество ГСМ	Принимает дискретные значения {0;1}. Данный фактор может принимать значение 0 или 1 в зависимости от того, сертифицированы ГСМ или нет. Так значение 0 данный фактор будет принимать в случае невозможности подтверждения соответствия топлива действующим требованиям к качеству ГСМ. Значение 1 фактор принимает в случае того, что ГСМ сертифицированы	1
k2	Система прогнозирования технического состояния	Принимает дискретные значения {0;0,25;0,5;0,75;1}. Нет системы прогнозирования – 0; Контроль за текущим состоянием ТС выполняется несистемно и с низким качеством, не является основой для прогнозирования, используется только бортовая система диагностирования – 0,25; Контроль за текущим состоянием ТС выполняется своевременно и с хорошим качеством, но не является основой для прогнозирования, в наличии и используются стационарные стенды для диагностирования – 0,5; Контроль за текущим состоянием ТС выполняется своевременно и с невысоким качеством, составляет основу для прогнозирования, используются бортовая система диагностирования и стационарные стенды, прогнозирование выполняется по статистическим данным – 0,75; Выполняется своевременно и с высоким качеством, является основой для прогнозирования, используются бортовая система диагностирования и стационарные стенды, выполняется индивидуальное прогнозирование по статистическим данным для каждого транспортного средства –1,0	0,5
k3	Соответствие нормативным требованиям	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Определяется, как отношение количества запасных частей на складе, соответствующих	

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4
	запчастей	нормативным требованиям ко всему количеству запчастей. Принимается как средняя величина по складу запасных частей. Значение 0 принимается в случае использования неоригинальных запасных частей и расходных материалов (низкого качества), либо качество которых невозможно подтвердить. Значение 1 - в случае использования только оригинальных запасных частей для ремонта и обслуживания ТС. Принимается как средняя величина по складу запасных частей	0,8
k4	Сроки доставки запчастей	Принимает дискретные значения {0;0,25;0,5;0,75;1}. В случае если невозможно определить срок поставки запасных частей ввиду их отсутствия на складах поставщиков, то принимается $k4=0$. Значение 0,25 данный фактор принимает в случае наличия на складах поставщиков только части необходимых запасных частей, либо их недостаточного количества и невозможности заказа недостающих запасных частей или возможностью заказа недостающих запасных частей со сроком доставки более 30 рабочих дней. Значение 0,5 данный фактор принимает в случае наличия на складах поставщиков только части необходимых запасных частей, либо их недостаточного количества и возможностью заказа недостающих запасных частей со сроком доставки 3-10 дней. Значение 0,75 данный фактор принимает в случае наличия на складах поставщиков запасных частей в полном объеме, а срок доставки составляет от 1 до 3 дней. Если математическое ожидание срока поставки запасных частей составляет максимум сутки, то –1	0,9
k5	Наличие запчастей всей номенклатуры	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Значение данного фактора рассчитываются как отношение количества запасных частей, которые есть на складе, соответствующих требованиям нормативно-технической документации к списочному количеству запасных частей	0,75
k6	Уровень импортозамещения запасных частей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Если импортозамещение отсутствует, либо отсутствуют импортные автомобили в парке, то принимается $k6=0$. В случае, если отношение количества импортозамещенных запчастей на складе ко всему количеству импортных запчастей в соответствии с требуемой номенклатурой, используемой для парка автомобилей, находится в диапазоне от 0,25 до 0,5. В случае, если отношение количества	

1	2	3	4																																				
		импортозамещенных запчастей на складе ко всему количеству импортных запчастей в соответствии с требуемой номенклатурой, используемой для парка автомобилей, находится в диапазоне от 0,5 до 0,75. В случае, если отношение количества импортозамещенных запчастей на складе ко всему количеству импортных запчастей в соответствии с требуемой номенклатурой, используемой для парка автомобилей, находится в диапазоне от 0,75 до 1,0	0,8																																				
k7	Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Комплексный показатель рассчитывается как индикаторная целевая функция	0,6																																				
k8	Квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей	<p>Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Определяется по шкале от 0 до 1 начальником автоколонны (автотракторного управления, АТП и т.д.), где x_1 – стаж в должности:</p> <p>0 – менее 3-х лет; 1 – более 3-х лет;</p> <p>x_2 – высшее техническое образование:</p> <p>0 – отсутствует; 1 – есть;</p> <p>x_3 – наличие дисциплинарного взыскания (не снятого):</p> <p>0 – отсутствует; 1 – есть</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>x_1</th><th>x_2</th><th>x_3</th><th>K_8</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>от 0,25 до 0,5</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>от 0 до 0,25</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>от 0,5 до 0,75</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>от 0,25 до 0,5</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>от 0,5 до 0,75</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>от 0 до 0,25</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>от 0,75 до 1,0</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>от 0,25 до 0,5</td></tr> </tbody> </table> <p>Значение фактора определяется по каждому работнику и принимается среднее значение</p>	x_1	x_2	x_3	K_8	0	0	0	от 0,25 до 0,5	0	0	1	от 0 до 0,25	0	1	0	от 0,5 до 0,75	0	1	1	от 0,25 до 0,5	1	0	0	от 0,5 до 0,75	1	0	1	от 0 до 0,25	1	1	0	от 0,75 до 1,0	1	1	1	от 0,25 до 0,5	0,75
x_1	x_2	x_3	K_8																																				
0	0	0	от 0,25 до 0,5																																				
0	0	1	от 0 до 0,25																																				
0	1	0	от 0,5 до 0,75																																				
0	1	1	от 0,25 до 0,5																																				
1	0	0	от 0,5 до 0,75																																				
1	0	1	от 0 до 0,25																																				
1	1	0	от 0,75 до 1,0																																				
1	1	1	от 0,25 до 0,5																																				
k9	Укомплектованность персоналом выполняющим ТО и ТР автомобилей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Отношение количества специалистов, соответствующих штатному расписанию, к общему количеству специалистов по штату	0,8																																				
k10	Обеспеченность оборудованием	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Указывается обеспеченность оборудованием и инструментом как отношение																																					

1	2	3	4
	и инструментом	количества в наличии к количеству, положенному нормативно-технической документацией	0,9
k11	Наличие и исправная работа элементов инфраструктуры СТОА	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]: отсутствует – 0; имеется специализированное помещение, оборудовано не полностью и не полностью укомплектовано специалистами согласно штату – от 0,25 до 0,5; имеется специализированное помещение, оборудовано не полностью и укомплектовано специалистами согласно штату – от 0,5 до 0,75; имеется оборудованное, специализированное помещение с инструментом, приборами, стендами, другим оборудованием и укомплектовано специалистами согласно штату – от 0,75 до 1,0	0,9
k12	Соблюдение регламента хранения автомобилей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Отсутствует отдельно выделенное место хранения – 0; имеется специализированная открытая площадка, оборудована не полностью, с твердым покрытием – от 0,25 до 0,5; имеется специализированное помещение, неотапливаемое крытое помещение (закрытая площадка, навес), оборудовано не полностью, – от 0,5 до 0,75; имеется оборудованное, специализированное помещение (закрытая площадка), отапливаемое крытое помещение – от 0,75 до 1,0	0,75
k13	Наработка на отказ	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Значение данного фактора рассчитывается как отношение текущей наработки на отказ к максимальной наработке на данном транспортном средстве. Рассчитывается по группам эксплуатации (карьерные самосвалы и весь парк ТС предприятия) и принимается наименьшее из полученных значений. Выполненный анализ справедлив для любой группы эксплуатации	0,3
k14	Уровень соответствия работоспособному состоянию на основании диагностики (% неисправностей в наличии по факту)	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Значение данного фактора рассчитывается как отношение количества обнаруживаемых неисправностей на основании диагностики ко всему списку фактически возможных для данного ГА. Для парка указывается наименьшее значение	0,75

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4
k15	Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Определяется как отношение фактически выполненного объема работ (количество операций) при выполнении планового ТО грузовых автомобилей к их нормативному показателю за отчетный период	0,95
k16	Соблюдение регламента выполнения ТР/КР автомобилей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Определяется как отношение фактически выполненного объема работ (количество операций) при выполнении ТР/КР грузовых автомобилей к их нормативному показателю за отчетный период	0,95
k17	Соблюдение регламента предрейсового осмотра автомобилей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Не выполняется – 0; Выполняется несвоевременно и с низким качеством – от 0 до 0,25; Выполняется своевременно и с хорошим качеством – от 0,25 до 0,75; Выполняется своевременно и с высоким качеством – от 0,75 до 1,0	0,9
k18	Периодичность и полнота выполнения диагностических работ	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Отношение количества фактических периодичности и объема выполненных пунктов регламента диагностирования к нормативным периодичности и количеству пунктов для данного автомобиля	0,8
k19	Снижение потерь от возникновения, критичности и последствия отказов	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1] и определяется наличием анализа логистической поддержки (ГОСТ 57105-2016). Отсутствует база данных - 0; база данных формируется обезличено без привязки к транспортным средствам от 0 до 0,5; база данных формируется индивидуально к конкретному транспортному средству с возможностью прогноза его технического состояния – от 0,5 до 1	0,9
k20	Коэффициент технической готовности	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. КТГ рассчитывается как отношение количества исправных грузовых автомобилей к общему списочному составу ТС. При определении КТГ к неисправным транспортным средствам относятся машины, числящиеся по учетным данным предприятия в капитальном, среднем ремонте, ожидающие ремонта, а также неисправные машины, выявленные и оцененные «неудовлетворительно» в ходе проверки	0,8
k21	Соблюдение регламента медицинского осмотра водителей	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Не выполняется – 0; Выполняется несвоевременно и с низким качеством – от 0 до 0,25; Выполняется своевременно и с хорошим	

1	2	3	4
		качеством – от 0,25 до 0,75; Выполняется своевременно и с высоким качеством – от 0,75 до 1,0	1
k22	Уровень системы управления и принятия решений	Принимает непрерывные значения в диапазоне [0;1]. Комплексный показатель рассчитывается как дополнительная целевая подфункция системы	0,62
k23	Целевая функция, Уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей		

Выполнив свертку вектора значений фактора и вектора их влияния на фактор, получена относительная величина – уровень эксплуатационной надежности, представленный выражением:

$$Y = \sum_{i=1}^{22} k_i x_i = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_{22} x_{22}, \quad (3.1)$$

где Y – уровень эксплуатационной надежности (значение целевой функции);

k_i – коэффициенты влияния факторов на целевую функцию,

$i=1 \dots 22$; x_i – значения факторов, $i=1 \dots 22$.

Значения влияния некоторых факторов для удобства интерпретации степени их влияния были распределены по четырем интервалам:

Множество интервалов можно представить в виде:

$$[0,1] = [0,0.25] \cup [0.25,0.5] \cup [0.5,0.75] \cup [0.75,1].$$

Где для каждого интервала характерны следующие условия:

Для первого: $\{x \in R | 0 \leq x \leq 0.25\}$, $\inf = 0$, $\sup = 0,25$.

Для второго: $\{x \in R | 0.25 \leq x \leq 0.5\}$, $\inf = 0,25$, $\sup = 0,5$.

Для третьего: $\{x \in R | 0.5 \leq x \leq 0.75\}$, $\inf = 0,5$, $\sup = 0,75$.

Для четвертого: $\{x \in R | 0.75 \leq x \leq 1\}$, $\inf = 0,75$, $\sup = 1$.

Значения влияния некоторых других факторов принимают дискретные значения 0 или 1, но поскольку расчет производится для парка автомобилей и предполагается, что автомобилей более чем 1, в случае, когда для большинства

автомобилей значения влияния фактора равно или близко к 0, в расчетах принимается значение 0, если значение влияния фактора приближается к 0,5, в расчетах принимается значение 0,5, если значение выше 0,5, в расчетах принимается значение 1.

Множество интервалов в этом случае можно представить в виде:

$$[0,1] = [0,0.5] \cup [0.5,1].$$

Где для каждого интервала характерны следующие условия:

Для первого: $\{x \in R | 0 \leq x \leq 0.5\}$, $\inf = 0$, $\sup = 0.5$.

Для второго: $\{x \in R | 0.5 \leq x \leq 1\}$, $\inf = 0.5$, $\sup = 1$.

Также в ряде случаев имеются объективные причины, в соответствии с которыми практически невозможно присвоение минимальных значений степени влияния фактора ниже определенного порогового значения или равные 0, а также максимальных значений близких или равных 1.

Градация значений УЭН предполагает соответствие значений степени влияния конкретных факторов определенным интервалам, установленным эмпирически. Определение граничных значений интервалов УЭН ГА представлено на рисунке 3.6.

Фактор	Нормированное значение влияния фактора	Значение фактора	Значение УЭН	Значение фактора	Значение УЭН	Значение фактора	Значение УЭН	Значение фактора	Значение УЭН	Значение фактора	Значение УЭН
k1	0,04715	0	0,00000	0,5	0,02357	1	0,05741	1	0,04715	1	0,04715
k2	0,17312	0,25	0,04328	0,5	0,04328	0,5	0,01435	0,75	0,12984	1	0,17312
k3	0,08797	0	0,00000	0,5	0,03519	1	0,04592	1	0,08797	1	0,08797
k4	0,02182	0,25	0,00545	0,5	0,00982	0,5	0,02583	0,75	0,01636	1	0,02182
k5	0,03308	0	0,00000	0,5	0,01240	1	0,04305	1	0,03308	1	0,03308
k6	0,02182	0,25	0,00545	0,5	0,00873	0,5	0,02296	0,75	0,01636	1	0,02182
k7	0,02182	0,1	0,00218	0,5	0,00654	0,5	0,01722	0,9	0,01963	1	0,02182
k8	0,13089	0,25	0,03272	0,5	0,04909	0,5	0,02153	0,75	0,09817	1	0,13089
k9	0,11260	0,1	0,01126	0,5	0,04504	0,5	0,02296	1	0,11260	1	0,1126
k10	0,06756	0,1	0,00676	0,5	0,03040	0,5	0,02583	1	0,06756	1	0,06756
k11	0,05700	0,25	0,01425	0,5	0,02565	0,5	0,02583	0,75	0,04275	1	0,057
k12	0,01478	0,25	0,00369	0,5	0,00554	0,5	0,02153	0,75	0,01108	1	0,01478
k13	0,02745	0,1	0,00274	0,5	0,00412	0,5	0,00861	0,95	0,02607	1	0,02745
k14	0,00633	0,25	0,00158	0,5	0,00238	0,5	0,02153	1	0,00633	1	0,00633
k15	0,04926	0	0,00000	0,5	0,02340	1	0,05454	1	0,04926	1	0,04926
k16	0,02322	0,2	0,00464	0,5	0,01103	0,5	0,02727	0,95	0,02206	1	0,02322
k17	0,02674	0,25	0,00669	0,5	0,01203	0,5	0,02583	0,75	0,02006	1	0,02674
k18	0,01407	0,2	0,00281	0,5	0,00563	0,5	0,02296	1	0,01407	1	0,01407
k19	0,02745	0	0,00000	0,5	0,01235	0,9	0,04650	0,9	0,02470	1	0,02745
k20	0,01548	0,1	0,00155	0,5	0,00619	0,5	0,02296	0,9	0,01393	1	0,01548
k21	0,00493	0,25	0,00123	0,5	0,00246	0,5	0,02870	0,75	0,00369	1	0,00493
k22	0,01548	0,25	0,00387	0,5	0,00480	0,5	0,01780	0,75	0,01161	1	0,01548
	1		0,15		0,38		0,62		0,87		1

Рисунок 3.6 – Определение граничных значений интервалов УЭН ГА

Оценку УЭН ГА производят согласно таблице 3.3, в которой указаны диапазоны УЭН и соответствующие им граничные значения.

Таблице 3.3 – Диапазоны УЭН ГА

Диапазон УЭН	УЭН от	УЭН до (включительно)	Δ УЭН
Критически низкий	0	0,15	0,15
Низкий	0,15	0,38	0,23
Средний	0,38	0,62	0,24
Высокий	0,62	0,87	0,25
Очень высокий	0,87	1	0,13

Для эффективного управления эксплуатационной надежностью предприятия в целом необходимо обеспечить УЭН ГА выше 0,62.

Анализ факторов, влияющих на уровень эксплуатационной надежности ГА, показывает, что среди них имеются как факторы, которые можно вычислить и подвергнуть процедуре нормирования, так и факторы, вычисление которых проблематично и связано с оценкой качества чего-либо. Например, укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации, уровень системы управления и принятия решений. Решение этой задачи может быть выполнено с использованием индикаторов факторов и применения к ним процедуры системно-информационного анализа. Использование индикаторов также является оправданным, если среди них нет взаимного влияния, но все они влияют на целевую функцию, роль которой выполняет фактор.

Далее производится вычисление значений индикаторов в относительных величинах и вычисляется индикаторный уровень значения фактора как скалярное произведение вектора влияний индикаторов на фактор и вектора значений индикаторов. Данная процедура выполняется для всех факторов, значения которых не может быть вычислено прямыми методами.

В качестве примера, одним из факторов, влияющих на эксплуатационную надежность ТС организации (предприятия), является соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей. Определен индикаторный уровень данного фактора. Индикаторами данного фактора являются концепты, представленные в таблице 3.4. Следует отметить, что в перечне индикаторов не отмечены такие индикаторы, как квалификация специалистов, однако опосредованно предполагается, что объем работ может

выполняться как специалистом сервисного (ремонтного) подразделения предприятия, так и водителем.

Таблица 3.4 – Перечень индикаторов фактора «Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей»

Индикатор		Значение индикатора	
обозначение	наименование	способ вычисления	число
x_1	Полнота выполнения объема ТО (технологических операций)	Отношение выполненных технологических операций к нормативному количеству операций по регламенту	1
x_2	Полнота проведения диагностических работ	Отношение количества диагностических операций, выполненных фактически к положенным по регламенту	0,8
x_3	Количество плановых обслуживаний, выполненных в полном объеме за последний плановый период	Отношение количества фактически выполненных ТО в полном объеме к запланированным	0,9
x_4	Отклонение сроков проведения ТО	Модуль отношения разности между плановым сроком и фактическим к плановому	0,93
x_5	Укомплектованность специнструментом	Отношение фактически исправного специнструмента к положенному по штату	0,7
x_6	Полнота выполнения текущего ремонта перед ТО	Отношение количества выполненных воздействий к обнаруженным при диагностировании	1
x_7	Количество операций, выполненных специалистами	Отношение количества операций, выполненных специалистами к общему количеству технологических операций по регламенту	0,6
x_8	Время, затраченное на выполнение ТО	Отношение времени, затраченного на выполнение ТО к нормативному	1
x_9	Количество операций, выполненных с использованием специнструмента	Количество операций, выполненных с использованием специнструмента к общему количеству технологических операций, предусматривающих его использование	0,9
x_{10}	Индикаторный уровень ТО	Целевая функция	

Перечень индикаторов, как и перечень факторов является результатом экспертного исследования, на основании которого формируется проблема, перечень факторов, причинно-следственные отношения между факторами, а также значения влияния факторов друг на друга и на целевую функцию.

В данном исследовании предполагается, что в динамическом состоянии может находиться только значение фактора, а сама структура и отношения причинности не изменяются в течение времени актуальности анализа и принятия решений.

На основании таблицы 3.4 и выявленных причинно-следственных связей составлена когнитивная карта, представленная на рисунке 3.7.

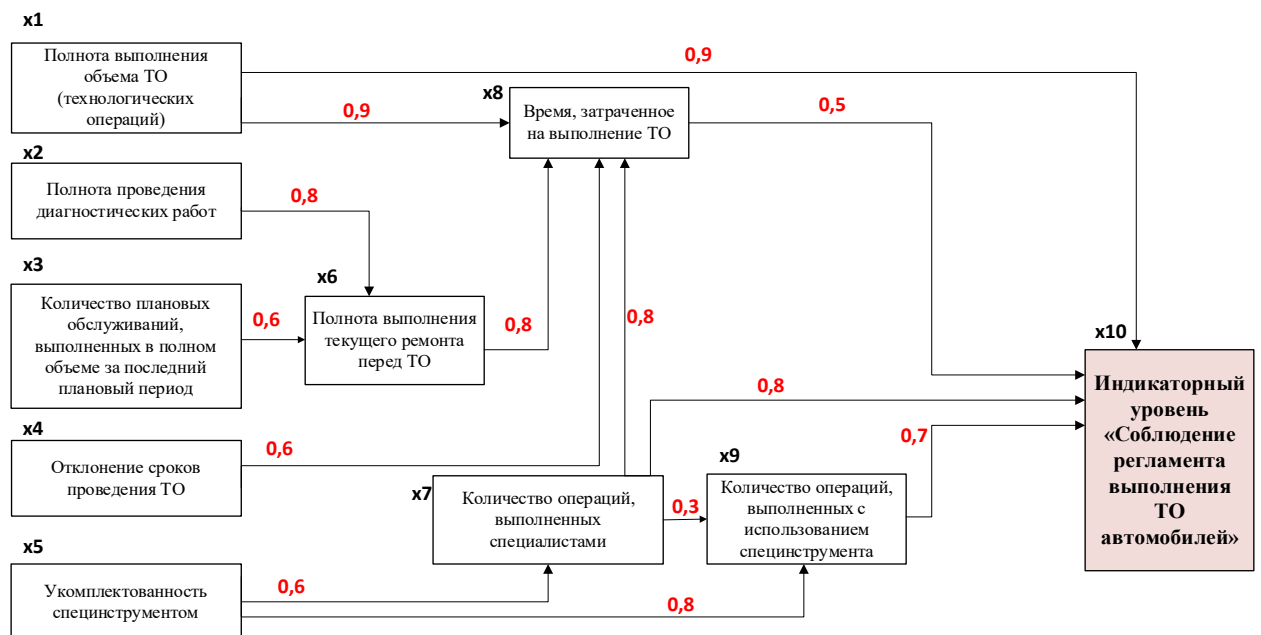


Рисунок 3.7 – Когнитивная карта определения индикаторного уровня «Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей»

Выполненные расчеты дают возможность получить интегральные показатели или вектор влияния индикаторов на фактор, представляющий собой систему ТО, представленные в таблице 3.5.

Для того чтобы индикаторный уровень принимал значения в диапазоне от 0 до 1, проводится нормировка коэффициентов влияния индикаторов на фактор (систему).

Составляя линейную комбинацию из значений индикаторов фактора и их влияния на фактор, получена относительная величина, которую можно назвать индикаторным уровнем j -го фактора и вычислить по формуле (3.1).

Таблица 3.5 – Интегральные показатели

Номер индикатора	Консонанс	Диссонанс	Влияние индикатора на систему (фактор), вектор k_i
x1	0,200	0,300	0,180
x2	0,300	0,200	0,176
x3	0,300	0,200	0,132
x4	0,200	0,300	0,090
x5	0,400	0,100	0,244
x6	0,200	0,300	0,120
x7	0,300	0,200	0,190
x8	0,100	0,400	0,050
x9	0,100	0,400	0,070
x10	0,000	0,500	0,000

Для практической оценки индикаторного уровня фактора необходимо решить несколько задач, связанных с использованием формулы 3.1.

Во-первых, значения факторов x_i должны удовлетворять следующим требованиям: однозначно характеризовать фактор, иметь положительное значение $0 \leq x_i \leq 1$ включительно, быть измеряемым (вычисляемым), быть стабильным на протяжении конечного времени Δt , соизмеримым с периодом измерений значений фактора.

Во-вторых, формула (3.1) дает возможность оценить индикаторный уровень фактора одного изделия, следовательно, на ее основе можно выполнить оценку для многих изделий.

Используя скалярное произведение двух векторов, выполняя нормировку, получено конечное значение фактора – соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей.

При моделировании можно убедиться в устойчивости системы к колебаниям факторов. Так, если значение индикатора k_9 увеличить на 10 %, то уровень изменится всего на 0,0056. Увеличение индикатора k_7 на 10 % дает чуть большее увеличение уровня за счет более высокого коэффициента влияния – на 0,0153, а k_5 увеличивает уровень на 0,0195 при тех же условиях. Какой индикатор подлежит увеличению в первую очередь зависит от затрат,

необходимых для увеличения индикатора и получаемого эффекта.

По значениям, указанным в последней строке (рисунок 3.8), можно оценить вклад каждого из индикаторов в общий индикаторный уровень фактора.

Оценка индикаторного уровня значения фактора										
Индикаторы фактора	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
Влияние фактора на систему P_j	0,180	0,176	0,132	0,090	0,244	0,120	0,190	0,050	0,070	0,0
Нормированное значение P_j	0,144	0,141	0,105	0,072	0,195	0,096	0,152	0,040	0,056	0,0
Значения индикаторов	1	0,8	0,9	0,93	0,7	1	0,6	1	0,9	
Индикаторный уровень значения фактора										
Вклад индикатора в значение фактора										
0,8315	0,144	0,112	0,095	0,067	0,136	0,096	0,091	0,04	0,05	0

Рисунок 3.8 – Расчет индикаторного уровня значения фактора в MS Excel

Следует отметить, что при вычислении интегральных показателей наибольшее влияние на фактор оказывал индикатор x_5 – «укомплектованность специнструментом», а затем x_1 – «полнота выполнения объема ТО (технологических операций)». При вычислении индикаторного уровня значения фактора наибольший вклад дает индикатор x_1 . На основе этого можно сделать важный вывод при формировании управленческих воздействий: индикатор x_5 имеет резерв для наиболее эффективного повышения качества ТО. Таким образом, на основании результатов, представленных на рисунке 3.6, могут быть приняты обоснованные решения, направленные на повышение качества технического обслуживания ГА.

Далее выполнено моделирование уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей в MS Excel и результат представлен на рисунке 3.9. При исходном уровне эксплуатационной надежности $Y=0,763$,

увеличение значения фактора k11 (Наличие и исправная работа элементов инфраструктуры СТОА) на величину 0,55 дает увеличение уровня на 0,031 единицы.

Аналогично смоделировано увеличение уровня при изменении фактора k14 (Уровень соответствия работоспособному состоянию на основании диагностики (% неисправностей в наличии по факту) и k13 (Наработка на отказ).

Следует отметить, что этот уровень моделирования основан на вычислении одного показателя, характеризующего уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Данная динамическая модель в большей степени применима для сравнительной оценки состояния эксплуатационной надежности ТС различных предприятий (или структурных подразделений предприятия) как в конкретный момент времени, так на протяжении какого-либо периода, учета изменения уровня эксплуатационной надежности ТС конкретного предприятия или его структурного подразделения за отчетный период времени.

Рассмотренную выше модель можно применять не только для анализа интегральных показателей и влияния значения факторов на целевую функцию, но и для анализа влияния структуры на целевую функцию, но и для анализа влияния структуры на целевую функцию. Когнитивная модель может отслеживать структуру системы, которая постоянно меняется.

Например, применение автономных (беспилотных) грузовых автомобилей приведет к тому, что влияние фактора k7 (Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации) на систему полностью отсутствует. Обнуление влияния этого фактора изменяет структуру системы, так как уменьшается количество факторов и изменяется совокупность причинно-следственных связей.

	Факторы																							Уровень эксплуатационной надежности
Факторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23	
Влияние фактора на систему k_j	0,067	0,246	0,125	0,031	0,047	0,031	0,031	0,186	0,160	0,096	0,081	0,021	0,039	0,009	0,070	0,033	0,038	0,020	0,039	0,022	0,007	0,022	0,000	
Нормированное значение k_j	0,047	0,173	0,088	0,022	0,033	0,022	0,022	0,131	0,113	0,067	0,057	0,015	0,028	0,006	0,049	0,023	0,027	0,014	0,028	0,015	0,005	0,015	0,000	
Значения факторов	1,00	0,50	0,80	0,90	0,70	0,80	0,60	0,75	0,80	0,90	1,00	0,75	0,30	0,75	0,95	0,95	0,90	0,80	0,90	0,80	1,00	0,62		
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,5	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,75	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
Произведение значений факторов и степени их влияния																								
Уровень ЗН исходный	0,047	0,087	0,071	0,020	0,023	0,018	0,013	0,098	0,090	0,061	0,057	0,011	0,008	0,005	0,047	0,022	0,024	0,011	0,025	0,012	0,005	0,009	0,000	0,763
Увеличение k11 на 0,55	0,047	0,130	0,071	0,017	0,033	0,018	0,021	0,092	0,113	0,067	0,031	0,010	0,017	0,003	0,049	0,017	0,023	0,010	0,019	0,014	0,005	0,013	0,000	0,818
Увеличение k14 на 0,1	0,047	0,130	0,071	0,017	0,033	0,018	0,021	0,092	0,113	0,067	0,031	0,010	0,017	0,004	0,049	0,017	0,023	0,010	0,019	0,014	0,005	0,013	0,000	0,819
Увеличение k13 на 0,15	0,047	0,130	0,071	0,017	0,033	0,018	0,021	0,092	0,113	0,067	0,031	0,010	0,021	0,004	0,049	0,017	0,023	0,010	0,019	0,014	0,005	0,013	0,000	0,823

Рисунок 3.9 – Моделирование уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

На рисунке 3.10 представлен результат моделирования при обнулении влияния независимого фактора $k1$ на систему и фактора $k12$ (Соблюдение регламента хранения автомобилей) на фактор $k13$ (Наработка на отказ).

Расчет системных показателей показывает, что суммарная величина нормированных коэффициентов влияния независимых факторов $k1-k12$ снизилась с 0,791 до 0,781 с одной стороны, а с другой - из системы удален фактор $k1$, значение которого равнялось 1. Это повлекло снижение среднего значения независимых факторов $k1-k12$ с 0,819 до 0,811. Таким образом, изменение связи $k1$ вызвало падение не только коэффициентов влияния независимых факторов, но и их значений, что и определило изменение уровня эксплуатационной надежности в целом.

Как итог – изменение структуры повлекло снижение уровня с 0,763 до 0,751 единицы (рисунок 3.10).

Ввиду перераспределения влияния на систему с независимых факторов на зависимые изменяется и величина прироста уровня при положительном воздействии на факторы, хотя эта величина достаточно незначительна (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Влияние структуры на изменение значения целевой функции

Изменение фактора	Значение уровня	Изменение уровня	Значение уровня	Изменение уровня
	0,763		0,751	
Увеличение независимого фактора $k11$ с 0 до 0,55	0,818	0,055	0,810	0,059
Увеличение зависимого фактора $k14$ с 0,5 до 0,6	0,819	0,001	0,811	0,001
Увеличение зависимого фактора $k13$ с 0,6 до 0,75	0,823	0,004	0,815	0,004

	Факторы																							Уровень эксплуатационной надежности
Факторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23	
Влияние фактора на систему k_j	0,000	0,246	0,125	0,031	0,047	0,031	0,031	0,186	0,160	0,096	0,081	0,021	0,039	0,009	0,070	0,033	0,038	0,020	0,039	0,022	0,007	0,022	0,000	
Нормированное значение k_j	0,000	0,182	0,093	0,023	0,035	0,023	0,023	0,138	0,118	0,071	0,060	0,015	0,029	0,006	0,051	0,024	0,028	0,014	0,029	0,016	0,005	0,016	0,000	
Значения факторов	1,00	0,50	0,80	0,90	0,70	0,80	0,60	0,75	0,80	0,90	1,00	0,75	0,30	0,75	0,95	0,95	0,90	0,80	0,90	0,80	1,00	0,62		
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,5	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,75	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6	
	Произведение значений факторов и степени их влияния																							
Уровень ЭН исходный	0,000	0,091	0,074	0,021	0,024	0,019	0,014	0,103	0,095	0,064	0,060	0,012	0,009	0,005	0,049	0,023	0,025	0,012	0,026	0,013	0,005	0,010	0,000	0,751
Увеличение k11 на 0,55	0,000	0,136	0,074	0,017	0,035	0,019	0,022	0,096	0,118	0,071	0,033	0,011	0,017	0,003	0,051	0,018	0,025	0,010	0,020	0,014	0,005	0,013	0,000	0,810
Увеличение k14 на 0,1	0,000	0,136	0,074	0,017	0,035	0,019	0,022	0,096	0,118	0,071	0,033	0,011	0,017	0,004	0,051	0,018	0,025	0,010	0,020	0,014	0,005	0,013	0,000	0,811
Увеличение k13 на 0,15	0,000	0,136	0,074	0,017	0,035	0,019	0,022	0,096	0,118	0,071	0,033	0,011	0,022	0,004	0,051	0,018	0,025	0,010	0,020	0,014	0,005	0,013	0,000	0,815

Рисунок 3.10 – Моделирование уровня эксплуатационной надежности ГА при изменении структуры

3.5 Методика оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Оценка уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей является тем методическим аппаратом, который создает основу управления технической эксплуатацией в рамках структурного подразделения, организации (предприятия), региона или отрасли. Используемые в настоящее время для оценки эксплуатационной надежности различные коэффициенты, такие как коэффициент готовности, коэффициент технической готовности, коэффициент технического использования и другие, просты в применении, но либо отражают прошлое, либо настоящее, а прогнозными качествами не обладают. Рассматривая эксплуатационную надежность ТС, используется понятие уровня. Подходы к его определению на основе когнитивного моделирования уже описаны в ряде работ, однако, проблема определения значений отдельных факторов не решена, а следовательно, система оценки не может считаться до конца решенной и использоваться эффективно.

Ниже представлена функциональная возможность применения методов когнитивного моделирования для выполнения структурного анализа организационно-технической системы, которая представляет собой система управления эксплуатационной надежностью.

В ряде случаев целесообразно значения факторов системы представлять не их декомпозицией, а выделением блока когнитивной карты с дополнительной целевой функцией. Роль этой целевой функции в данном случае выполняет рассматриваемый фактор. В таблице 3.3 роль такого фактора играет k_{22} (уровень системы управления и принятия решений). Этот фактор определяет уровень системы управления и принятия решений предприятия, определяющий эксплуатационную надежность грузовых автомобилей.

Его отличие от целевой функции заключается в том, что он не учитывает фактор k_7 (Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации), k_{13} (Наработка на отказ), k_{14} (Уровень соответствия

работоспособному состоянию на основании диагностики (% неисправностей в наличии по факту)), k_{15} (Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей), k_{19} (Снижение потерь от возникновения, критичности и последствия отказов), k_{20} (Коэффициент технической готовности).

Весь состав и структура факторов, влияющих на этот фактор k_{22} , учтен и представлен в исходной когнитивной карте и не требует введения дополнительных связей и факторов.

При решении данной задачи возможно два пути решения. Первый – на исходной модели величины (значения) причинно-следственных связей k_7 – k_{23} , k_{13} – k_{23} , k_{14} – k_{23} , k_{15} – k_{23} , k_{19} – k_{23} , k_{20} – k_{23} , k_{22} – k_{23} приравняются к нулю, т.е.:

$$\begin{aligned} w(k_7, k_{23}) &= 0 & w(k_{19}, k_{23}) &= 0 \\ w(k_{13}, k_{23}) &= 0 & w(k_{20}, k_{23}) &= 0. \\ w(k_{14}, k_{23}) &= 0 & w(k_{22}, k_{23}) &= 0 \\ w(k_{15}, k_{23}) &= 0 \end{aligned}$$

В этом случае произведение двух векторов даст скаляр, который будет представлять собой уровень системы управления и принятия решений. Это обеспечивает аддитивность свертки двух критериев.

Второй подход связан с выделением подмножества факторов на когнитивной карте, формирование целевой функции и расчет всех системных показателей. И тот и другой подходы правомерны. Если стоит задача расчета уровня системы управления и принятия решений, как индикаторного значения фактора, то достаточно применить первый подход. Если к этой задаче добавляются задачи оптимизации, исследование динамики поведения этой целевой функции, то удобнее подмножество преобразовать в отдельную когнитивную карту и провести отдельное исследование.

Ниже представлена модель, сформированная по первому типу. На рисунке 3.11 видно, что коэффициенты влияния k_7 , k_{13} , k_{14} , k_{15} , k_{19} , k_{20} , k_{22} на целевую функцию обнулены. Значение уровня показывает уровень системы управления и принятия решений.

																							Уровень системы управления и принятия решений
	Факторы																						
Факторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k22
Влияние фактора на систему k_j	0,067	0,246	0,125	0,031	0,047	0,031	0,000	0,186	0,160	0,096	0,081	0,021	0,000	0,000	0,000	0,033	0,038	0,020	0,000	0,000	0,007	0,000	
Нормированное значение k_j	0,057	0,207	0,105	0,026	0,040	0,026	0,000	0,157	0,135	0,080	0,068	0,018	0,000	0,000	0,000	0,027	0,032	0,016	0,000	0,000	0,005	0,000	
Значения факторов	1,00	0,50	0,80	0,90	0,70	0,80	0,60	0,75	0,80	0,90	1,00	0,75	0,30	0,75	0,95	0,95	0,90	0,80	0,90	0,80	1,00	0,62	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,5	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,6	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	
	0,98	0,75	0,8	0,75	1	0,8	0,95	0,7	1	1	0,55	0,7	0,75	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	
	Произведение значений факторов и степени их влияния																						
Уровень системы управления и принятия решений исходный	0,057	0,104	0,084	0,024	0,028	0,021	0,000	0,117	0,108	0,072	0,068	0,013	0,000	0,000	0,000	0,026	0,029	0,013	0,000	0,000	0,005	0,000	0,769
Увеличение k11 на 0,55	0,056	0,155	0,084	0,020	0,040	0,021	0,000	0,110	0,135	0,080	0,038	0,012	0,000	0,000	0,000	0,021	0,028	0,012	0,000	0,000	0,005	0,000	0,816
Увеличение k14 на 0,1	0,056	0,155	0,084	0,020	0,040	0,021	0,000	0,110	0,135	0,080	0,038	0,012	0,000	0,000	0,000	0,021	0,028	0,012	0,000	0,000	0,005	0,000	0,816
Увеличение k13 на 0,15	0,056	0,155	0,084	0,020	0,040	0,021	0,000	0,110	0,135	0,080	0,038	0,012	0,000	0,000	0,000	0,021	0,028	0,012	0,000	0,000	0,005	0,000	0,816

Рисунок 3.11 – Моделирование уровня системы управления и принятия решений эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Таким образом, в результате проведенного исследования показана возможность применения методов когнитивного моделирования для оценки уровня системы управления и принятия решений эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, обладающего рядом уникальных свойств, одним из которых является устойчивость системы к колебаниям факторов. Эта возможность показана на примере оценки значения фактора, не обладающего свойством прямого измерения.

Введены новые термины – «уровень эксплуатационной надежности» и «индикаторный уровень фактора». Показатель уровня позволяет прогнозировать эксплуатационную надежность грузовых автомобилей, что определяет практическую значимость.

Показано, что при невозможности вычисления значения отдельных факторов можно производить декомпозицию и опускаться на подуровень, где сам фактор является целевой функцией, находящейся в причинно-следственных связях с индикаторами фактора. Приведенный пример расчета показывает, что увеличение значения индикаторов на 10 % дает прирост индикаторного уровня не более 2 %.

Более полно и глубоко рассмотрена декомпозиция фактора k_7 - «Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации». Этот фактор преобразуется в целевую функцию «Уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации».

Процесс подготовки водителей в Российской Федерации регламентирован Приказом Министерства просвещения РФ от 8 ноября 2021 г. № 808 «Об утверждении примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий» (с изменениями и дополнениями), помимо этого для подготовки водителей карьерных самосвалов - Федеральный закон от 02.07.2021 г. № 297-ФЗ (ред. от 25.12.2023 г.) «О самоходных машинах и других видах техники» [21].

В процессе анализа укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации на начальном этапе отобраны 23 индикатора (таблица

3.7), оказывающих влияние на эксплуатационную надежность грузовых автомобилей в целом. В качестве примера использовался метод экспертных оценок [8,97,151]. Расчет минимального количества экспертов и согласованность их мнений представлены в Приложении Г.

В ходе экспертного опроса, проведенного в Автотракторном управлении АО Лебединский ГОК, в котором приняли участие 18 механиков по выпуску, количество индикаторов уменьшилось до 19, а индикатор «Состояние здоровья водителя» объединился с индикатором «Морально-психологическое состояние» и стал отражать «Морально-психофизиологическое состояние водителя». Не подтвердили свою актуальность индикаторы: «Уровень информированности», «Состояние техники», «Теоретическая подготовка водителя», «Мотивация водителя». Таким образом, система оценки анализа укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатации грузовых автомобилей насчитывает 18 индикаторов, представленных ниже с кратким обоснованием.

1. Индикатор «Наличие среднего профессионального технического образования» является независимым, основополагающим звеном в профессиях, связанных с работой на ТС, так как водителю необходимо знать принцип работы всех систем, агрегатов и механизмов, знать влияние условий эксплуатации и эксплуатационный режим на работоспособность ТС, уметь выполнять работы по ТО и Р в повседневных условиях и внештатной ситуации.

2. Наличие дополнительной категории в водительском удостоверении расширяет компетенции водителя, повышает его универсальность, создает новые возможности для руководства предприятия в части закрепления ТС, быстрого освоения водителями новых ТС.

3. Квалификация механика влияет на системный подход к поддержанию укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для выполнения транспортных задач.

Таблица 3.7 – Результаты проведения экспертного опроса

№ п/п	Факторы-концепты	Эксперты					Влия- ние факто- ра
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
1.	Уровень информированности	+	-	-	-	+	-
2.	Техническое образование	+	+	+	+	+	+
3.	Наличие дополнительной категории в водительском удостоверении	+	+	+	+	+	+
4.	Квалификация механика	+	+	+	+	+	+
5.	Состояние здоровья	-	-	-	+	+	-
6.	Состояние ТС	-	+	-	-	+	-
7.	Теоретическая подготовка водителя	-	-	+	+	-	-
8.	Знание устройства эксплуатируемых ТС	+	+	+	+	+	+
9.	Умение оказания первой медицинской помощи	+	+	+	+	+	+
10.	Знание правил дорожного движения	+	+	+	+	+	+
11.	Практическая подготовка водителя	+	+	+	+	+	+
12.	Стаж вождения, в том числе на других транспортных средствах	+	+	+	+	+	+
13.	Прохождение профессиональной должностной подготовки	+	+	+	+	+	+
14.	Проведение инструктажей	+	+	+	+	+	+
15.	Прохождение подготовки (переподготовки, повышения квалификации)	+	+	+	-	+	+
16.	Участие в проведении мероприятий культурно-массовой направленности	+	-	-	+	+	+
17.	Мотивация водителя	-	+	-	-	+	-
18.	Квалификация водителя	-	+	+	+	+	+
19.	Дисциплинированность водителя	+	+	-	-	+	+
20.	Формирования навыков управления транспортным средством	-	+	+	+	-	+
21.	Классность специалиста	+	+	+	+	+	+
22.	Способность анализировать дорожно-транспортную ситуацию	+	-	+	+	+	+
23.	Морально-психофизиологическое состояние водителя	+	+	+	+	+	+
24.	Уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей	Целевая функция					

4. Знание устройства эксплуатируемых ТС определяет способность водителя поддерживать закрепленные за ним ТС в работоспособном состоянии, в случае необходимости, своевременно выполнять операции ТО и текущего ремонта, выбирать правильные эксплуатационные режимы и выполнять комплекс мероприятий по диагностике.

5. Стаж вождения, в том числе на других транспортных средствах (транспортных средствах, требующих другую категорию в водительском удостоверении либо водительское удостоверение (для получения права на управление самоходными машинами) определяет опыт водителя, уровень его профессионализма и обеспечивает формирование навыков управления транспортным средством и квалификацию водителя.

6. Прохождение профессиональной должностной подготовки является одним из индикаторов, системно влияющих на квалификацию водителя. Качество ее организации, подготовки и проведения определяется в первую очередь механиками. Имеет цель – повысить навыки водителей, уровень профессионализма при обязанностях, согласно своим должностным инструкциям.

7. Плановое проведение инструктажей перед началом любых видов работ проводится и организуется механиками. Проводятся занятия, где обсуждаются требования безопасности при выполнении поставленных задач, особенности погодных условий на дорогах, взаимодействие с диспетчерами и др. Обеспечивает дисциплинированность водителей и их морально-психологическое состояние.

8. Прохождение подготовки, переподготовки, курсов повышения квалификации необходимо при переходе водителя к эксплуатации и закреплению нового вида ТС, получения дополнительной категории в водительском удостоверении, при переводе на различные должности с разной спецификой.

9. Участие в проведении мероприятий культурно-массовой направленности в первую очередь формирует морально-психологическую

устойчивость водителей, развивает отзывчивость, взаимопомощь, сплочение коллектива, способствует эффективному выполнению работы и повышению дисциплинированности водителя.

10. Квалификация водителя является интегральным показателем, определяет и предопределяет классность водителя, его способность к анализу дорожно-транспортной ситуации.

11. Формирование навыков управления транспортным средством определяет квалификацию водителя и, в большей степени, зависит от стажа вождения.

12. Дисциплинированность водителя определяет поведение водителя, соблюдение им требований безопасности, правил дорожного движения, распоряжений руководства предприятия, полноту выполнения поставленных задач, выполнение должностных инструкций.

13. Уровень профессионального мастерства определяет индикатор «Классность специалиста» и формируется в ходе получения водителем опыта по эксплуатации, обслуживанию и ремонту ТС. Также при обучении, переподготовке, повышении квалификации по дополнительным программам обучения.

14. Способность анализировать дорожно-транспортную ситуацию необходима для быстрой реакции при возникновении аварийной ситуации, а также для предотвращения со своей стороны действий, которые могут повлечь создание аварийной обстановки и нарушении безопасности во время движения.

15. Морально-психофизиологическое состояние определяет способность водителя в текущий момент времени выполнять профессиональные задачи, также определяет допуск к вождению транспортных средств водителя при прохождении медицинского освидетельствования у дежурного врача.

Целевой функцией системы является уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей. Это целевой, интегральный показатель,

характеризующий конкретного водителя. Его можно использовать для определения уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей в целом.

В зависимости от целей экспертного опроса и метода учета экспертных оценок при обработке данных возникают следующие основные задачи:

1. Построение обобщенной оценки понятий и объектов на основе индивидуальных оценок экспертов.
2. Построение обобщённой оценки на основе парного сравнения объектов каждым из экспертов.
3. Определение относительных весов взаимосвязи объектов.
4. Определения зависимостей между ранжировками.
5. Определение согласованности мнений экспертов.
6. Оценка надежности обработки результатов [8,97,151].

При решении многих задач недостаточно упорядочения индикаторов (концептов) по одному или группе показателей. Необходимо иметь числовые значения для каждого индикатора (концепта), определяющего его предпочтение (влияние, вес) перед другими индикаторами (концептами). Наличие таких оценок позволяет определить обобщенную оценку для всей группы экспертов.

Определение согласованности мнений экспертов производится путем вычисления числовой меры, характеризующей степень близости индивидуальных мнений. Анализ значения меры согласования способствует выработке правильного суждения об общем уровне знаний по решаемой проблеме и выявлению группировок мнений экспертов.

Обработка экспертных оценок позволяет вскрыть связанные показатели сравнения и осуществить группировку по степени связи. Так, например, если показатели сравнения – различные цели, а объекты сравнения – средства достижения этих целей, то установление взаимосвязи между ранжировками, упорядочивающими средства с точки зрения достижения целей, позволяет обоснованно ответить на вопрос: «в какой степени достижение одной цели при

данных средствах способствует достижению других целей» (т.е. установить причинно-следственную связь) [8,97,151].

Одной из важнейших задач процедуры обработки является определение их надежности.

В процессе обработки экспертных данных учитывалось положительное влияние индикаторов (концептов), определенное не менее чем тремя экспертами. В таблице 3.4 выделены факторы, которые исключены из системы в результате анализа.

Таким образом, дальнейшее исследование, по результатам обработки экспертного опроса, проводилось по 19 наиболее значимым индикаторам-концептам.

В результате проведенного на втором этапе экспертного опроса на основе статистических методов анализа экспертной информации определены и согласованы средние значения отношений причинности между каждой парой концептов когнитивной карты в пределах от 0 до 1, представленные в таблице 3.8.

Разработанная нечеткая когнитивная карта исследования индикаторов, определяющих систему укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации представлена на рисунке 3.12.

Таблица 3.8 - Средние значения отношений причинности между каждой парой концептов когнитивной карты

$w(k1, k4) = 0,64$	$w(k2, k5) = 0,7$	$w(k8, k14) = 0,8$	$w(k8, k13) = 0,74$
$w(k2, k6) = 0,8$	$w(k2, k7) = 0,8$	$w(k9, k14) = 0,78$	$w(k10, k15) = 0,72$
$w(k2, k8) = 0,1$	$w(k2, k19) = 0,4$	$w(k11, k16) = 0,92$	$w(k12, k15) = 0,76$
$w(k3, k9) = 0,68$	$w(k3, k10) = 0,64$	$w(k13, k16) = 0,7$	$w(k13, k17) = 0,82$
$w(k3, k11) = 0,74$	$w(k3, k12) = 0,54$	$w(k13, k18) = 0,74$	$w(k13, k14) = 0,92$
$w(k4, k14) = 0,76$	$w(k5, k14) = 0,76$	$w(k15, k18) = 0,7$	$w(k16, k19) = 0,6$
$w(k6, k14) = 0,9$	$w(k7, k14) = 0,82$	$w(k17, k19) = 0,84$	$w(k18, k19) = 0,82$

Для определения значений индикаторов, влияющих на уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, разработан подход, представленный в таблице 3.9, и средние значения индикаторов, полученные в ходе экспертного опроса.

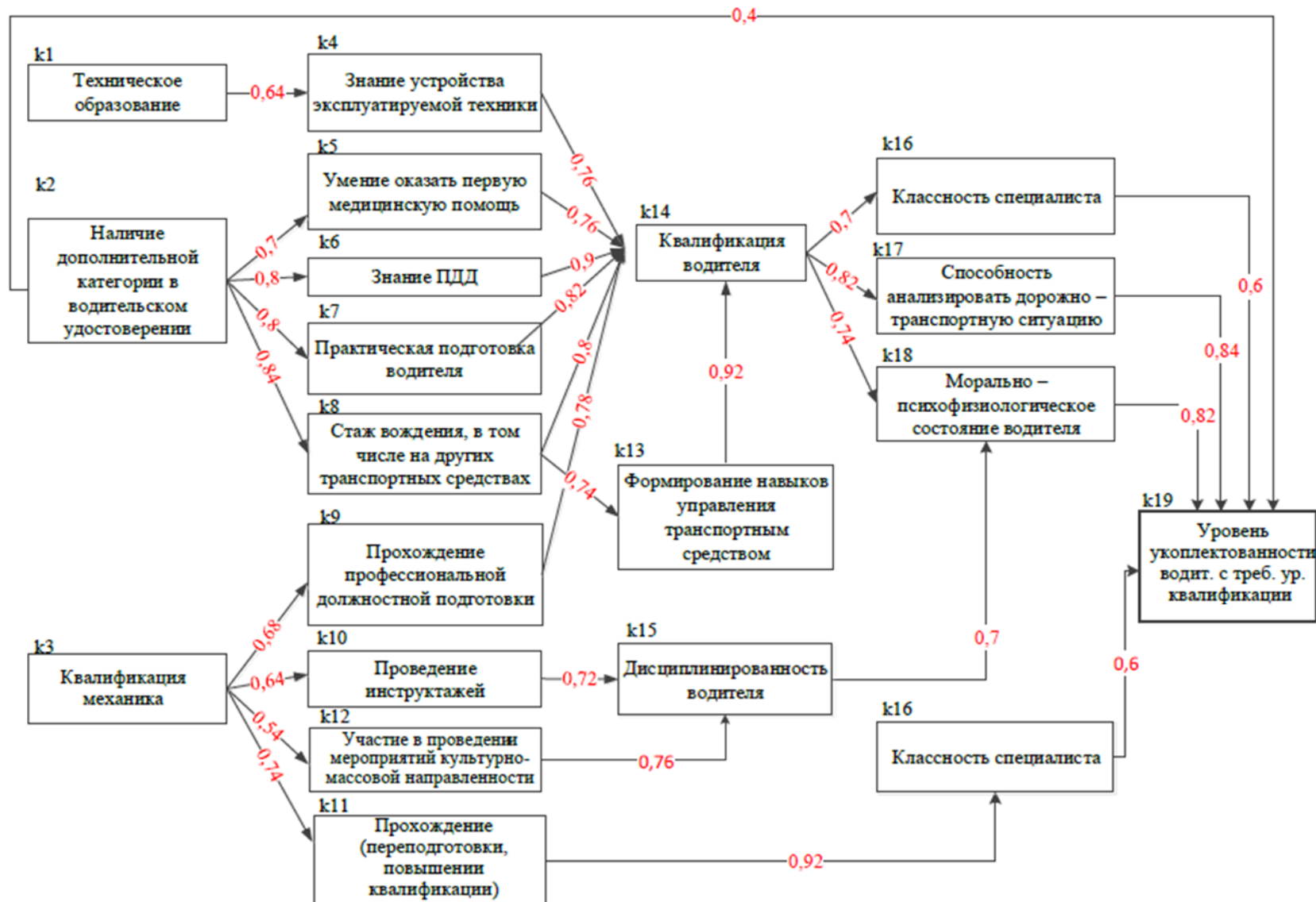


Рисунок 3.12 – Построение нечеткой когнитивной карты индикаторного уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Таблица 3.9 – Значения индикаторов, влияющих на укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Индикатор	Название индикатора	Определение значения индикатора от 0 до 1	Значение (пример)
1	2	3	4
k1	Техническое образование	Имеется высшее техническое образование - 1 среднее-профессиональное - 0,5 профессионально-техническое образование – 0,3 отсутствует техническое образование - 0	0,5
k2	Наличие дополнительной категории в водительском удостоверении	Категория В, С, Д, Е, А3 – 1 Категория В, С, Д, А3 – 0,7 Категория В, С, А3 – 0,5 Категория С, А3 – 0,3 Категория В – 0,1	0,3
k3	Квалификация механика	Оценивается экспертами вышестоящего руководства низкая – 0,1 средняя – 0,5 высокая - 1	0,5
k4	Знание устройства эксплуатируемых ТС	Проведение тестирования (опроса) на предмет знания устройства Оценка «отлично» - 1 Оценка «хорошо» - 0,6 Оценка «удовлетворительно» - 0,3 Оценка «неудовлетворительно» - 0	0,6
k5	Умение оказания первой медицинской помощи	Проведение тестирования (опроса), с проверкой практических навыков оказания первой медицинской помощи Оценка «отлично» - 1 Оценка «хорошо» - 0,6 Оценка «удовлетворительно» - 0,3 Оценка «неудовлетворительно» - 0	0,6
k6	Знание ПДД	Сдача экзаменационных билетов ПДД Нет ошибок – 1 Имеется одна ошибка – 0, 6 Имеется две ошибки – 0, 3 Имеется более двух ошибок – 0	0,6
k7	Практическая подготовка водителя	Выполнение элементов «Площадка» Безошибочное выполнение – 1 Выполнено с ошибками – 0	1
k8	Стаж вождения, в том числе на других транспортных средствах	Оценивается по количеству лет, в течение которых производится вождение автомобиля От 10 лет и более – 1 От 5 до 10 лет – 0,8 От 1 года до 5 лет – 0,5 Менее 1 года – 0,2	0,5

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4
k9	Прохождение профессиональной должностной подготовки	Пройдено своевременно – 1 Пройдено не своевременно - 0,5 Не пройдено – 0	1
k10	Проведение инструктажей	Проведен своевременно – 1 Не проведен - 0	1
k11	Прохождение подготовки, (переподготовки, курсов повышения квалификации)	Пройдено своевременно – 1 Пройдено не своевременно – 0,5 Не пройдено - 0	1
k12	Участие в проведении мероприятий культурно-массовой направленности	Участие в проведении мероприятий культурно-массовой направленности Пропуск мероприятий до 10% – 1 Пропуск мероприятий до 50% – 0,5 Пропуск мероприятий более 50 % – 0	0
k13	Формирование навыков управления транспортным средством	Безаварийное вождение – 1 Одно ДТП (без участия других ТС) – 0,7 Одно ДТП (с участием других ТС) – 0,5 Два и более ДТП (с участием других ТС) – 0,3 ДТП с причинением вреда пострадавшим лицам – 0,1	1
k14	Квалификация водителя	Субъективное мнение механика От 0,1 до 1	0,3
k15	Дисциплинированность водителя	Нарушения ПДД (за год), не предусматривающее лишение права управления ТС Без нарушений – 1 Одно нарушение – 0,7 Два нарушения - 0,5 Три нарушения- 0,2 Более трех (или нарушение ПДД, предусматривающее лишение права управления ТС) – 0	1
k16	Классность специалиста	Мастер – 1 1-й класс – 0,7 2-й класс – 0,5 3-й класс – 0,3 Нет классности – 0,1	0,1
k17	Способность анализировать дорожно-транспортную ситуацию	Безаварийное вождение – 1 Вождение с предпосылками к ДТП – 0,5 Вождение с ДТП – 0	0,5
k18	Морально-психофизиологическое состояние водителя	Проведение тестирования (в период прохождения допуска к управлению ТС медицинским работником) Состояние нормальное – 1 Состояние среднее – 0,5 Состояние ниже среднего – 0	1

Выбирая соответствующий тип отношений и, задавая уровень значений, получена бинарная матрица и, следовательно, выделены классы связанных индикаторов (концептов), характеризующих этим уровнем относительно соответствующего свойства (взаимного консонанса, диссонанса, положительного и отрицательного влияния). В дальнейшем эти расчеты проведены для конкретных моделей системы исследования индикаторов (концептов), определяющих укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

Выполнен расчет интегральных показателей влияния индикаторов на укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей. Для этого информация, представленная в когнитивной карте, сведена в исходную матрицу (рисунок 3.13). Остальные элементы приняты с нулевыми значениями. Для удобства представления информации столбцы с независимыми факторами в матрице не отображаются.

	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19
k1	0,64															
k2		0,70	0,80	0,80	0,84											0,40
k3						0,68	0,64	0,74	0,54							
k4											0,76					
k5											0,76					
k6											0,90					
k7											0,82					
k8										0,74	0,80					
k9											0,78					
k10												0,72				
k11													0,92			
k12												0,76				
k13											0,92					
k14													0,70	0,82	0,74	
k15															0,70	
k16																0,60
k17																0,84
k18																0,82
k19																

Рисунок 3.13 – Исходная когнитивная матрица

Таким же алгоритмом преобразовывалась положительно-отрицательная пара влияния, поставив вместо нулей на диагоналях определенные значения.

Выполнив расчет с помощью формул, представленных в п. 2.1, сформирована транзитивно-замкнутая когнитивная матрица взаимовлияний, представленная на рисунке 3.14.

	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	
k1	0,640	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,486	0,000	0,340	0,399	0,360	0,335	0,135
k2	0,000	0,700	0,800	0,800	0,840	0,000	0,000	0,000	0,000	0,622	0,720	0,000	0,504	0,590	0,533	0,400	0,343
k3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,680	0,640	0,740	0,540	0,000	0,530	0,461	0,681	0,435	0,392	0,408	0,290
k4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,760	0,000	0,532	0,623	0,562	0,523	0,158
k5		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,760	0,000	0,532	0,623	0,562	0,523	0,158
k6			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,630	0,738	0,666	0,620	0,187
k7				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,820	0,000	0,574	0,672	0,607	0,565	0,170
k8					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,740	0,800	0,000	0,560	0,656	0,592	0,551	0,205
k9						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,780	0,000	0,546	0,640	0,577	0,537	0,162
k10							0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,720	0,000	0,000	0,504	0,413	0,086
k11								0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,920	0,000	0,000	0,552	0,077
k12									0,000	0,000	0,000	0,760	0,000	0,000	0,532	0,436	0,091
k13										0,000	0,920	0,000	0,644	0,754	0,681	0,634	0,191
k14											0,000	0,000	0,700	0,820	0,740	0,689	0,155
k15												0,000	0,000	0,000	0,700	0,574	0,067
k16													0,000	0,000	0,000	0,600	0,032
k17														0,000	0,000	0,840	0,044
k18															0,000	0,820	0,043
k19																0,000	0,000
	0,034	0,037	0,042	0,042	0,044	0,036	0,034	0,039	0,028	0,072	0,394	0,102	0,377	0,366	0,422	0,527	

Рисунок 3.14 – Транзитивно-замкнутая когнитивная матрица взаимовлияний

Далее рассчитывались системные интегральные показатели нечеткой когнитивной карты. Результаты расчета представлены на рисунке 3.15.

Таким образом, наибольшее влияние на индикаторный уровень укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей оказывают индикаторы k_2 , k_3 , k_8 , k_{13} , k_6 :

k_2 – наличие дополнительной категории в водительском удостоверении – 0,343;

k_3 – квалификация механика – 0,290;

k_8 – стаж вождения, в том числе на других транспортных средствах – 0,205;

k_{13} – формирование навыков управления транспортным средством – 0,191;

k_6 – знание правил дорожного движения – 0,187.

Тем не менее, следует отметить, что, например, на индикатор k_{18} (Морально-психофизиологическое состояние водителя) система оказывает наибольшее влияние, что является логически правильным и оправданным.

Номер индикатора	Консонанс	Диссонанс	Влияние индикатора на систему	Номер концепта	Влияние системы на индикатора
k1	0,300	0,500	0,135	k19	0,527
k2	0,500	0,300	0,343	k18	0,422
k3	0,500	0,300	0,290	k17	0,366
k4	0,250	0,550	0,158	k16	0,377
k5	0,250	0,550	0,158	k15	0,102
k6	0,250	0,550	0,187	k14	0,394
k7	0,250	0,550	0,170	k13	0,072
k8	0,300	0,500	0,205	k12	0,028
k9	0,250	0,550	0,162	k11	0,039
k10	0,150	0,550	0,086	k10	0,034
k11	0,100	0,600	0,077	k9	0,036
k12	0,150	0,550	0,091	k8	0,044
k13	0,250	0,550	0,191	k7	0,042
k14	0,200	0,600	0,155	k6	0,042
k15	0,100	0,600	0,067	k5	0,037
k16	0,050	0,600	0,032	k4	0,034
k17	0,050	0,600	0,044		
k18	0,050	0,600	0,043		
k19	0,000	0,600	0,000		

Рисунок 3.15 – Интегральные показатели влияния индикаторов-концептов на систему и системы на индикаторы

Моделирование оценки индикаторного уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей представлено на рисунке 3.16.

Далее выявлены уровни влияния системы и выделенных 18 концептов друг на друга. Определено, какие индикаторы имеют большее влияние, а какие меньшее, а также какие больше подвержены воздействию системы. С учетом полученных данных проведен анализ моделирования уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

	Факторы-концепты																	
Индикаторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18
Влияние индикатора на систему k_j	0,135	0,343	0,290	0,158	0,158	0,187	0,170	0,205	0,162	0,086	0,077	0,091	0,191	0,155	0,067	0,032	0,044	0,043
Нормированное значение k_j	0,052	0,132	0,112	0,061	0,061	0,072	0,066	0,079	0,062	0,033	0,030	0,035	0,074	0,060	0,026	0,012	0,017	0,017
Значения индикаторов	0,5	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1
Произведение значений индикаторов и степени их влияния	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,03	0	0,02	0,06	0,03	0	0,01	0,02
Уровень укомплектованности водителями	0,603																	
Значения индикаторов	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0,5	0,3	1	1	0,1	0,5	1
Произведение значений индикаторов и степени их влияния	0,03	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03	0	0,01	0,02
Уровень укомплектованности при увеличении индикатора k12	0,647																	

Рисунок 3.16 – Моделирование индикаторного уровня укомплектованности водителями с должным уровнем квалификации

Самое эффективное увеличение уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности ТС происходит тогда, когда увеличивается значение индикатора, имеющего высокий коэффициент влияния на систему. Так на рисунке 3.16 показано, что плановое посещение мероприятий (концепт k_{12}) приводит к увеличению уровня укомплектованности водителями на 0,045 единиц. Анализируя значения индикаторов и их коэффициенты влияния на систему, можно составить системный алгоритм эффективного повышения уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей на определенный период.

При расчетах индикаторного уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности

грузовых автомобилей, как качества ТО, значения индикаторов характеризуют отдельного водителя или отдельное транспортное средство. Однако при оценке уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатационной надежности грузовых автомобилей эти показатели должны быть агрегированы в сводный показатель за предприятие или структурное подразделение.

Для нахождения сводного значения фактора k_7 (Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации) для предприятия, возможно несколько решений.

1. Рассчитывается индикаторный уровень каждого водителя структурного подразделения (предприятия), а далее находится средняя величина, которая участвует в расчете уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации (3.2):

$$Y_{13} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i, \quad (3.2)$$

где Y_i – индикаторный уровень готовности i -го водителя;
 n – количество водителей (по списку).

Целью анализа является водительский состав как таковой, поэтому целесообразно полученную величину умножить на отношение списочного состава водителей, закрепленного за транспортными средствами, к списочному составу ГА предприятия. В данном случае уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации будет учитывать укомплектованность водителями (3.3):

$$Y_{сод.} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i, \quad (3.3)$$

где $Y_{сод.}$ – уровень укомплектованности водителями с должным уровнем квалификации структурного подразделения (предприятия);
 m – количество единиц грузовых автомобилей (по списку).

Если целью является уровень укомплектованности водителями с

требуемым уровнем квалификации, то значение фактора $k7$ рассчитывается как индикатор, и укомплектованность водителями, как и ТС, входит отдельным фактором в состав когнитивной модели (рисунок 3.9, факторы $k2$, $k1$).

2. При расчете значений индикаторов сразу находятся средневзвешенные значения для всех водителей предприятия, например, для фактора $k1$ получено выражение (3.4) и значения сведены в таблицу 3.10:

$$x_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^p \beta_i n_i, \quad (3.4)$$

где x_1 – средневзвешенное значение индикатора $k1$;

β_i – значение весомости показателя;

n_i – количество водителей, соответствующих β_i значению показателя;

n – общее количество водителей.

Таблица 3.10 - Средневзвешенное значение, соответствующее наличию технического образования у водителей предприятия

Перечень возможных состояний индикатора $k1$ «Техническое образование»	Значение индикатора β_i	Кол-во водителей n_i	Значение $\beta_i * n_i$
Имеется высшее техническое образование	1	1	1
Среднее-профессиональное	0,5	5	2,5
Профессионально-техническое образование	0,3	12	3,6
Отсутствует техническое образование	0	7	0
Средневзвешенное значение индикатора $k1$			0,284

Таким образом, средневзвешенное значение, соответствующее наличию технического образования, у 25 водителей предприятия равно 0,284.

Расчет по первому и второму варианту приводит к одному и тому же значению индикаторного уровня. Варьируя только фактором $k1$, получено выражение (3.5):

$$x_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^3 \beta_i n_i = \frac{1}{25} (0 \cdot 7 + 0,3 \cdot 12 + 0,5 \cdot 5 + 1 \cdot 1) = 0,284. \quad (3.5)$$

Присвоив индикатору k_1 данное значение, получен индикаторный уровень 0,591 (рисунок 3.17).

Моделирование уровня укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации																			
	Факторы-концепты																		Уровень укомплектова нности водителями с требуемым уровнем квалификаци и
Индикаторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19
Влияние индикатора на систему k_j	0,135	0,343	0,290	0,158	0,158	0,187	0,170	0,205	0,162	0,086	0,077	0,091	0,191	0,155	0,067	0,032	0,044	0,043	
Нормированное значение k_j	0,052	0,132	0,112	0,061	0,061	0,072	0,066	0,079	0,062	0,033	0,030	0,035	0,074	0,060	0,026	0,012	0,017	0,017	
Значения индикаторов	0	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1	
	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1	
	0,5	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1	
	1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1	
Средневзвешенное	0,284	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	1	0,5	1	1	1	0	0,3	1	1	0,1	0,5	1	
Кол-во водителей	Произведение значений индикаторов и степени их влияния																		
7	0,000	0,040	0,056	0,037	0,037	0,043	0,066	0,040	0,062	0,033	0,030	0,000	0,022	0,060	0,026	0,001	0,009	0,017	0,577
12	0,016	0,040	0,056	0,037	0,037	0,043	0,066	0,040	0,062	0,033	0,030	0,000	0,022	0,060	0,026	0,001	0,009	0,017	0,592
5	0,026	0,040	0,056	0,037	0,037	0,043	0,066	0,040	0,062	0,033	0,030	0,000	0,022	0,060	0,026	0,001	0,009	0,017	0,603
1	0,052	0,040	0,056	0,037	0,037	0,043	0,066	0,040	0,062	0,033	0,030	0,000	0,022	0,060	0,026	0,001	0,009	0,017	0,629
Средневзвешенное	0,015	0,040	0,056	0,037	0,037	0,043	0,066	0,040	0,062	0,033	0,030	0,000	0,022	0,060	0,026	0,001	0,009	0,017	0,591

Рисунок 3.17 – Расчет индикаторного уровня по средневзвешенному значению индикатора k_1

При этом, вычислив уровни укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для каждого транспортного средства, а затем определив средний, также получено значение 0,591 (таблица 3.11). Таким образом, индикаторный уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации в целом не зависит от того, вычисляется ли он как средний индикаторный уровень или как уровень средних (средневзвешенных) значений индикаторов.

Таким образом, в результате декомпозиции фактора k_{13} (укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации) определен индикаторный уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации, необходимый для оценки уровня эксплуатационной надежности ГА.

Таблица 3.11 – Расчет индикаторного уровня по среднему значению индикатора k_1

Квалификация группы, β_i	Кол-во водителей в группе	Индикаторный уровень отдельного водителя в группе	Суммарный индикаторный уровень группы водителей
1	1	0,629	0,629
0,5	5	0,603	3,013
0,3	12	0,592	7,106
0	7	0,577	4,036
Средний индикаторный уровень			0,591

В ходе проведения декомпозиции фактора определены индикаторы (концепты), оказывающие влияние на уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатации ГА.

Разработана нечеткая когнитивная карта влияния индикаторов на индикаторный уровень укомплектованности водителями с требуемым уровнем квалификации для эксплуатации ГА, которая сама по себе может стать предметом и целью анализа водителей.

Выполнен анализ интегральных показателей и определены способы расчета значений индикаторов.

3.6 Выводы по главе 3

1. Введен новый термин – «уровень эксплуатационной надежности», который представляет собой линейную свертку двух критериев: критерия влияния факторов на целевую функцию и критерия значений этих факторов. Зависимость значений факторов от времени позволяет рассматривать уровень ЭН как динамическую величину.

2. Разработана когнитивная модель управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, включающая целевую функцию и 22 фактора, имеющих причинно-следственные связи. Когнитивная модель позволяет анализировать влияние и взаимосвязи факторов, и их влияние на целевую функцию, влияние системы на отдельные факторы, причинно-следственные связи факторов, а также полноту состава системы.

3. На основе когнитивного моделирования определены средние значения отношений причинности между каждой парой концептов когнитивной карты. Наибольшее влияние на уровень эксплуатационной надежности ГА оказывают факторы k_2 «Система прогнозирования ТС», k_{13} «Наработка на отказ», k_{19} «Снижение потерь от возникновения, критичности и последствия отказов». Так, пары концептов когнитивной карты $w(k_2, k_{13})$, $w(k_2, k_{19})$ имеют средние значения отношений причинности равные 0,9. При этом фактором, который оказывает наибольшее влияние на систему, является «Система прогнозирования ТС». Определено, что прямое влияние на УЭН, оказывает только фактор k_7 «Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации» со значением 0,5.

4. Установлено, что от адекватности, точности и оперативности оценки степени реализации и качества проведения мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность грузовых автомобилей, зависит уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей для выполнения поставленных перед ней задач.

5. Разработанная динамическая модель управления эксплуатационной надежностью применима для сравнительной оценки состояния эксплуатационной надежности ГА различных предприятий (или структурных подразделений предприятия) как в конкретный момент времени, так и на протяжении какого-либо периода, учета изменения уровня эксплуатационной надежности конкретного предприятия или его структурного подразделения за отчетный период времени

6. Разработана методика оценки значений факторов, влияющих на управление эксплуатационной надежностью, т.е. выполнена оценка значений факторов, совокупность которых представляет собой независимый критерий, составляющие которого есть нормированные величины функции времени.

4 МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ

4.1 Многокритериальная оптимизация и построение вариационного ряда воздействий на факторы. Когнитивное моделирование при решении задач многокритериальной оптимизации

На третьем уровне моделирования решается задача первоочередного распределения средств и ресурсов для поддержания (обеспечения, повышения) значений факторов с целью получения наибольшего увеличения значений целевой функции (уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей). Строится вариационный ряд воздействий, который, в принципе, является динамическим. При решении задачи характерным является то, что понятие «средства» содержит не только ежегодное финансовое обеспечение, но и другие ресурсы.

Таким образом, на основании коэффициентов влияния факторов на систему эксплуатационной надежности и значений этих факторов необходимо определить последовательность воздействий на факторы с целью их улучшения для повышения целевой функции. С математической точки зрения увеличение целевой функции должно быть направлено вдоль вектора градиента.

В рассматриваемом случае имеется два критерия, на основании значений которых должен быть выбран один из факторов для воздействия. Первый критерий – это коэффициент влияния фактора на систему, второй – значения фактора. Прежде чем сформировать направление фронта Парето, определено в каком случае фактор для воздействия будет принят. Очевидно, что это должны быть те факторы, которые имеют наибольшие коэффициенты влияния и наименьшие значения. Повысить можно только значения фактора. Отсюда следует важное утверждение, что после каждого изменения значения фактора необходимо пересчитывать и находить факторы, составляющие фронт Парето.

Фронтон Парето будет являться юго-восточное направление. Коэффициент влияния должен быть как можно больше – это направление на восток, а значение фактора – как можно меньше – это на юг.

На рисунке 4.1 представлены системные показатели когнитивной модели – нормированные коэффициенты влияния факторов на систему и значения этих факторов.

Факторы-концепты	Нормированное значение влияния фактора на систему, k_j	Значения факторов, r_j	Произведение значений факторов и степени их влияния на целевую функцию
k1	0,047	1,00	0,047
k2	0,173	0,50	0,087
k3	0,088	0,80	0,071
k4	0,022	0,90	0,020
k5	0,033	0,70	0,023
k6	0,022	0,80	0,018
k7	0,022	0,60	0,013
k8	0,131	0,75	0,098
k9	0,113	0,80	0,090
k10	0,067	0,90	0,061
k11	0,057	1,00	0,057
k12	0,015	0,75	0,011
k13	0,028	0,30	0,008
k14	0,006	0,75	0,005
k15	0,049	0,95	0,047
k16	0,023	0,95	0,022
k17	0,027	0,90	0,024
k18	0,014	0,80	0,011
k19	0,028	0,90	0,025
k20	0,015	0,80	0,012
k21	0,005	1,00	0,005
k22	0,015	0,62	0,009
k23			
	1,000		
Уровень эксплуатационной надежности			0,763

Рисунок 4.1 – Значения коэффициентов влияния и факторов

В системе координат $(k_j; r_j)$ представлено множество точек (рисунок 4.2). Не улучшаемыми значениями по Парето являются точки $k2$ и $k13$. Не улучшаемые значения в критериальной системе координат – это факторы, в которых юго-восточный квадрант не содержит ни одной другой точки из данного множества. Юго-восточный квадрант формируется углом, образованном двумя лучами, берущими начало в данной точке: первый луч в положительном направлении оси абсцисс, второй – в отрицательном направлении оси ординат. Этот угол будем называть квадрантом. Так, например, если взять точку $k7$, из неё провести лучи в положительном направлении оси абсцисс и в отрицательном направлении оси ординат, то в полученный квадрант попадет точка $k13$ и $k2$, если лучи провести в точке $k8$, то в квадрант, образованный лучами, попадает точка $k2$, а если в точке $k9$, то квадрант будет содержать точки $k8$ и $k2$. Единственными точками, в квадранты которых не попадают точки, являются указанные выше точки $k2$ и $k13$. Линия, их соединяющая, образует фронт Парето. Направление оптимизации определено системой из двух ортогональных векторов в каждой из указанных точек (рисунок 4.2).

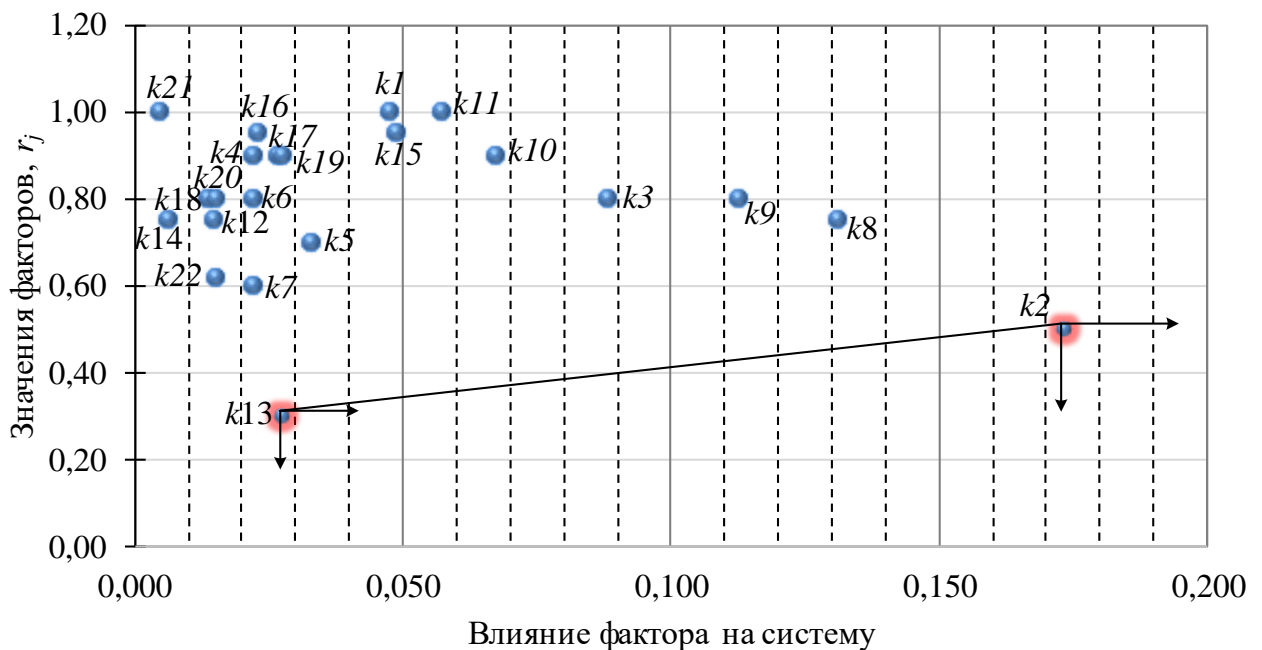


Рисунок 4.2 – Построение фронта Парето (первый шаг)

Анализ графика показал, что, какой из двух факторов даст наибольшее приращение целевой функции, с тем и необходимо работать. Решение задачи рассмотрено двумя методами: методом идеальной точки и методом контрольных показателей [136].

4.1.1 Применение метода идеальной точки для определения последовательности воздействий на факторы

Для выбора конкретной оптимальной на данном этапе точки использовался «Метод идеальной точки». В предлагаемой системе очевидно, что в идеальной точке значение фактора должно равняться нулю, а коэффициент влияния 1, т.е. ($k_u = 1; r_u = 0$). Идеальной точкой при решении данной задачи является точка первостепенного вложения средств с целью улучшения значения данного фактора.

Определить расстояние W_j до идеальной точки можно по формуле:

$$W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i(x_j) - f_i^{\max}}{f_i^{\max}} \right)^2} \rightarrow \min$$

Т.к. в данном случае значение одной из координат идеальной точки на критериальной плоскости равно нулю, то формула принимает вид:

$$W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{\max})^2} \rightarrow \min.$$

Это является оправданным, так как значение k_j – нормировано, а значение факторов определено в диапазоне от 0 до 1.

Также определено расстояние W_j до идеальной точки от каждой из точек критериальной плоскости и отсортировано по возрастанию (рисунок 4.3).

Из представленного материала видно, что ближайшим фактором к идеальной точке является фактор k_2 (0,173;0,5). Этот фактор характеризует систему диагностирования и прогнозирования технического состояния автомобилей. То есть он является первоочередным на воздействие (вложение

денежных средств, приобретение диагностического оборудования, строительство пункта диагностирования, развитие системы прогнозирования на базе цифровых технологий и др.).

Факторы-концепты	Нормированное значение влияния фактора на систему, k_j	Значения факторов, r_j	Произведение значений факторов и степени их влияния на целевую функцию	Метрика до идеальной точки (kj;rj)=(1;0) $W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{\max})^2} \rightarrow \min$
k2	0,173	0,50	0,087	0,966
k13	0,028	0,30	0,008	1,018
k7	0,022	0,60	0,013	1,147
k8	0,131	0,75	0,098	1,148
k22	0,015	0,62	0,009	1,164
k5	0,033	0,70	0,023	1,194
k9	0,113	0,80	0,090	1,195
k3	0,088	0,80	0,071	1,213
k12	0,015	0,75	0,011	1,238
k14	0,006	0,75	0,005	1,245
k6	0,022	0,80	0,018	1,263
k20	0,015	0,80	0,012	1,269
k18	0,014	0,80	0,011	1,270
k10	0,067	0,90	0,061	1,296
k19	0,028	0,90	0,025	1,325
k17	0,027	0,90	0,024	1,326
k4	0,022	0,90	0,020	1,329
k15	0,049	0,95	0,047	1,344
k16	0,023	0,95	0,022	1,363
k11	0,057	1,00	0,057	1,374
k1	0,047	1,00	0,047	1,381
k21	0,005	1,00	0,005	1,411
k23	0,000			
Уровень эксплуатационной надежности			0,763	

Рисунок 4.3 – Упорядоченное расстояние до идеальной точки

Выполняя моделирование системы и применив формулу (3.1), в качестве примера, введено допущение, что удалость, воздействуя на фактор $k2$, изменить его и довести значение до 0,78 (рисунок 4.4). Как отмечалось выше, необходимо

выполнить пересчёт фронта Парето и заново рассчитать все расстояния до идеальной точки. После этого, фронт Парето ограничивается точками $k_{13}, k_5, k_8, k_{2_1}$. Только эти точки являются не улучшаемыми, т.е. в своих ортогональных юго-восточных четвертях не содержат других точек.

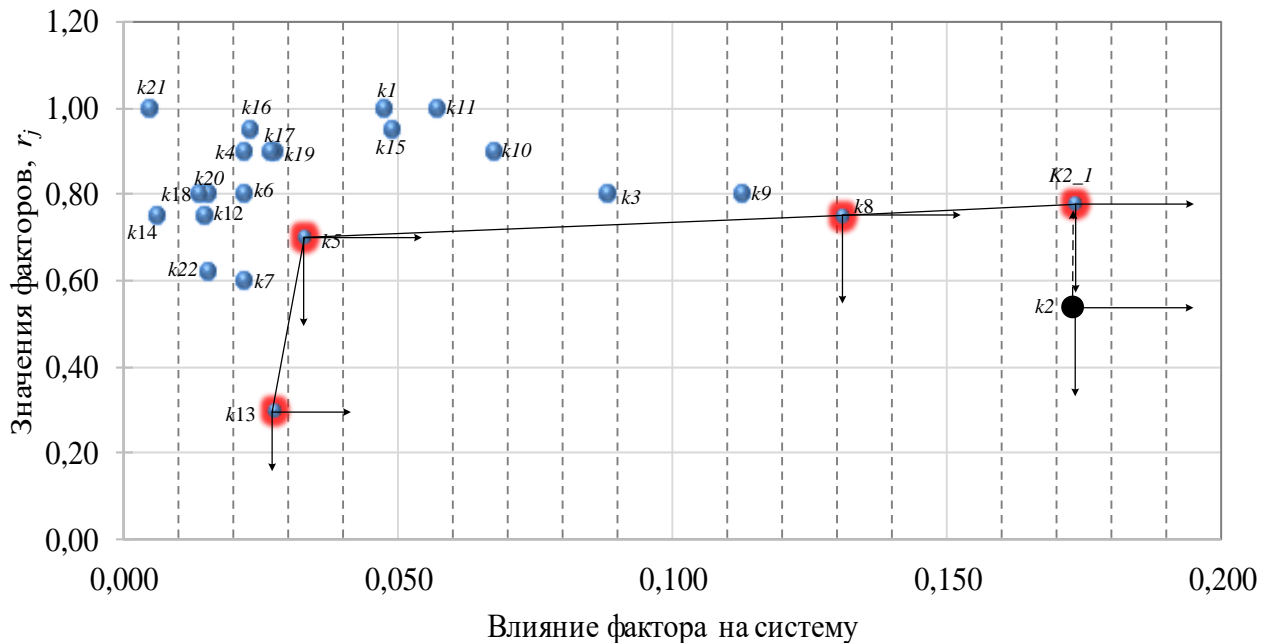


Рисунок 4.4 – Фронт Парето на втором шаге

Моделируя изменение значения фактора k_2 на 0,78, выполнен расчет расстояний, а результат отсортирован (рисунок 4.4). При этом уровень эксплуатационной надежности увеличился со значения 0,763 до значения 0,821.

На рисунке 4.4 наглядно показано, что увеличение значения фактора k_2 выше значения 0,75 позволило включить во фронт Парето еще два фактора: k_5 (Наличие запчастей всей номенклатуры) и k_8 (Квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей). Однако из четырех точек минимальным расстоянием обладает точка k_{13} (0,028;0,3) (Средняя наработка на отказ). Увеличение значения данного фактора является многогранным и характеризует не только качество автомобильного парка, но и качество восстановительных работ, запасных частей и материалов, квалификацию водителей и ремонтников и др.

Моделируя ориентировочное повышение значения k_{13} до 0,75 построены заново, таблица расстояний (рисунок 4.5) и новый фронт Парето (рисунок 4.6).

Факторы- концепты	Нормированное значение влияния фактора на систему k_j	Значения факторов r_j	Произведение значений факторов и степени их влияния на целевую функцию	Метрика до идеальной точки $W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{\max})^2} \rightarrow \min$ $(k_j; r_j) = (1; 0)$
k2	0,173	0,780	0,135	1,137
k7	0,022	0,600	0,013	1,147
k8	0,131	0,750	0,098	1,148
k13	0,028	0,620	0,017	1,153
k22	0,015	0,620	0,009	1,164
k5	0,033	0,700	0,023	1,194
k9	0,113	0,800	0,090	1,195
k3	0,088	0,800	0,071	1,213
k12	0,015	0,750	0,011	1,238
k14	0,006	0,750	0,005	1,245
k6	0,022	0,800	0,018	1,263
k20	0,015	0,800	0,012	1,269
k18	0,014	0,800	0,011	1,270
k10	0,067	0,900	0,061	1,296
k19	0,028	0,900	0,025	1,325
k17	0,027	0,900	0,024	1,326
k4	0,022	0,900	0,020	1,329
k15	0,049	0,950	0,047	1,344
k16	0,023	0,950	0,022	1,363
k11	0,057	1,000	0,057	1,374
k1	0,047	1,000	0,047	1,381
k21	0,005	1,000	0,005	1,411
k23	0,000	0,000	0,000	1,000
Уровень эксплуатационной надежности			0,821	

Рисунок 4.5 – Упорядоченное расстояние до идеальной точки на втором шаге

вышестоящих факторов. В ходе моделирования с помощью Фронта Парето при определении границ увеличения значений факторов, использовались относительные единицы.

На практике изменения факторов в большинстве случаев носят дискретный характер. Это связано с ограничениями ресурсов и особенностями самих факторов (нельзя построить половину отопляемого бокса, деньги будут израсходованы, а уровень готовности не увеличится или купить половину диагностического стенда). Поэтому, как незначительное превышение очередного фактора над стоящими ниже в вариационном ряду, так и доведение его до единицы является нецелесообразным. После определенного повышения значения фактора точка на плоскости, характеризующая этот фактор, исчезает из множества точек, оптимальных по Парето. Учет затрат при моделировании осуществлялся в относительных величинах, а границы увеличения значений факторов определяются с помощью фронта Парето.

4.1.2 Применение метода контрольных показателей для определения последовательности воздействий на факторы

Метод контрольных показателей является вторым способом определения последовательности воздействий на факторы (реструктуризации распределения ресурсов) при уже известном фронте Парето. Этот метод не совсем нагляден для двух критериев, а его реализация для рассматриваемой задачи потребует дополнительных преобразований.

Связано это с тем, что в данном случае один критерий подлежит максимизации, а другой минимизации. То есть фактор переходит в разряд кандидатов на воздействие, если его влияние на систему максимально, а значение этого фактора минимально. Это значит, что нижняя граница критерия $k=0$, а нижняя граница критерия $r=1$.

$$W = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \rightarrow \max, \quad (4.1)$$

где f_i^* – нижняя граница критерия $f_i(x)$,

n – количество критериев.

В этом случае формула (4.1) не работает, так как при значении одного из факторов равным нулю, приходится делить на 0 (рисунок 4.7).

Если один из критериев, например, влияние фактора на систему, представить в виде обратной величины самому себе (удельный показатель), то в данном случае необходимо решить задачу поиска уже минимального значения из максимальных отношений, используя удельный показатель, т.е. выражение можно представить в виде формулы (4.2):

$$W = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \rightarrow \min. \quad (4.2)$$

Факторы-концепты	Нормированное значение влияния фактора на систему, k_j	Величина обратная k_j	Величина обратная k_j , нормированная, \bar{k}_j	Значения факторов, r_j	Нормированное значение фактор, r_j	Значение критерия W, $W = \min\{k_j; r_j\}, j = 1...22$
1	2	3	4	5	6	7
k2	0,173	5,770	0,005	0,500	0,029	0,029
k13	0,028	36,289	0,034	0,300	0,017	0,034
k5	0,033	30,241	0,028	0,700	0,040	0,040
k7	0,022	45,361	0,042	0,600	0,034	0,042
k8	0,131	7,631	0,007	0,750	0,043	0,043
k3	0,088	11,340	0,011	0,800	0,046	0,046
k6	0,022	45,361	0,042	0,800	0,046	0,046
k9	0,113	8,875	0,008	0,800	0,046	0,046
k4	0,022	45,361	0,042	0,900	0,052	0,052
k10	0,067	14,845	0,014	0,900	0,052	0,052
k17	0,027	37,540	0,035	0,900	0,052	0,052
k19	0,028	36,289	0,034	0,900	0,052	0,052
k15	0,049	20,413	0,019	0,950	0,054	0,054
k16	0,023	43,547	0,040	0,950	0,054	0,054
k1	0,047	21,071	0,020	1,000	0,057	0,057
k11	0,057	17,465	0,016	1,000	0,057	0,057
k20	0,015	65,320	0,060	0,800	0,046	0,060
k22	0,015	65,320	0,060	0,620	0,035	0,060
k12	0,015	68,042	0,063	0,750	0,043	0,063
k18	0,014	72,578	0,067	0,800	0,046	0,067
k14	0,006	163,300	0,151	0,750	0,043	0,151
k21	0,005	217,733	0,202	1,000	0,057	0,202
k23	0,000					
		1079,692		17,47		

Рисунок 4.7 – Реализация метода контрольных показателей

Если критерии являются безразмерными нормированными величинами, то деление на нижнюю границу становится не актуальным. По сути, процедура сведена к поиску максимального значения из двух критериев: влияние фактора на систему и значение фактора для каждого из факторов. Оптимальным для воздействия будет фактор, имеющий наименьшее значение, выраженное формулой (4.3):

$$W = \max_{1 \leq i \leq n} \{f_i(x)\} \rightarrow \min. \quad (4.3)$$

Далее, найдена обратная величина коэффициента влияния $\bar{k}_j = \frac{1}{k_j}$ и разделено каждое из значений на $\sum_{j=1}^{22} \bar{k}_j$. По сути, теперь оба критерия имеют контрольные показатели равные 1, т.е. $\bar{k} = 1; r = 1$. Контрольные показатели имеют северную и восточную границы. Результат расчета с использованием формулы (4.3) представлен в столбце 7 (рисунок 4.7).

Таким образом получено минимальное расстояние от каждой точки по каждому критерию из всех максимальных до контрольного значения этого критерия.

Выполнив операцию $\max_{1 \leq i \leq n} \{f_i(x)\} \rightarrow \min$ по каждому из факторов (рисунок 4.7, столбец 7) и отсортировав все строки, можно сделать следующие выводы: наиболее удаленными от контрольных значений ($\bar{k} = 1; r = 1$) оказались факторы k_2, k_{13}, k_5 , как и в методе идеальной точки, за исключением точки k_5 , которая с шестого места переместилась на третье.

При наложении на когнитивную модель временного ряда значений факторов, построение вариационного ряда воздействий на факторы для повышения уровня эксплуатационной надежности решает важную и актуальную задачу реструктуризации распределения ресурсов. Математически получена двухкритериальная задача оптимизации, в которой одним критерием является влияние фактора на систему управления эксплуатационной надежностью, а другим – значение этого фактора.

Решение данной оптимизационной задачи выполнено с построением фронта Парето (выделением факторов, оптимальных по Парето). Для нахождения конкретного фактора, целесообразно использовать любой из методов: метод идеальной точки или метод контрольных показателей.

Учитывая, что оптимальными решениями по Парето будут факторы, у которых наибольшее влияние на систему и наименьшее значение этих факторов, целесообразно использовать юго-восточный квадрант.

При применении метода контрольных показателей необходимо перейти к обратной величине критерия – коэффициента влияния $\bar{k}_j = \frac{1}{k_j}$. Связано это с тем, что в нашем случае один критерий подлежит максимизации, а другой минимизации. То есть контрольный показатель критерия $k = 0$, а $r = 1$. Такой переход обеспечит значение контрольных показателей $\bar{k} = 1$; $r = 1$.

4.2 Моделирование реструктуризации воздействий при распределении ресурсов

Реструктуризация воздействий при управлении эксплуатационной надежностью – целенаправленное последовательное перераспределение ограниченных ресурсов между факторами, определяющими уровень эксплуатационной надежности с целью получения его наибольшего значения.

Формирование последовательности воздействий на факторы или реструктуризация воздействий на систему управления эксплуатационной надежностью происходит в направлении увеличения расстояния до идеальной точки. Проведена дуга из идеальной точки $P(1;0)$ радиусом W_0 , проходящей через ближайшую точку (рисунок 4.8). Тогда планирование воздействий на год определяется глубиной кольцевого сектора ΔW_i , соответствующего планируемыми ресурсам.

Точка, имеющая минимальное расстояние до идеальной точки, обозначена точкой A с координатами (k_1, r_1) . Далее поставлена задача: при

увеличении радиуса сектора на величину ΔW_0 , соответствующего планируемым вложениям средств, найти изменение значений факторов, попавших в этот сектор и вычислить новое значение целевой функции.

В качестве исходных данных приняты следующие координаты точек (рисунок 4.9): $A(k_1, r_1)$; $P(1, 0)$; $B(k_1, r_1 + \Delta r_1)$, где $A_i\{k_i\}$ – A обозначает начальные координаты i -го фактора ($1 < i < n$ – множество факторов), а B_i – координаты i -го фактора после воздействия.

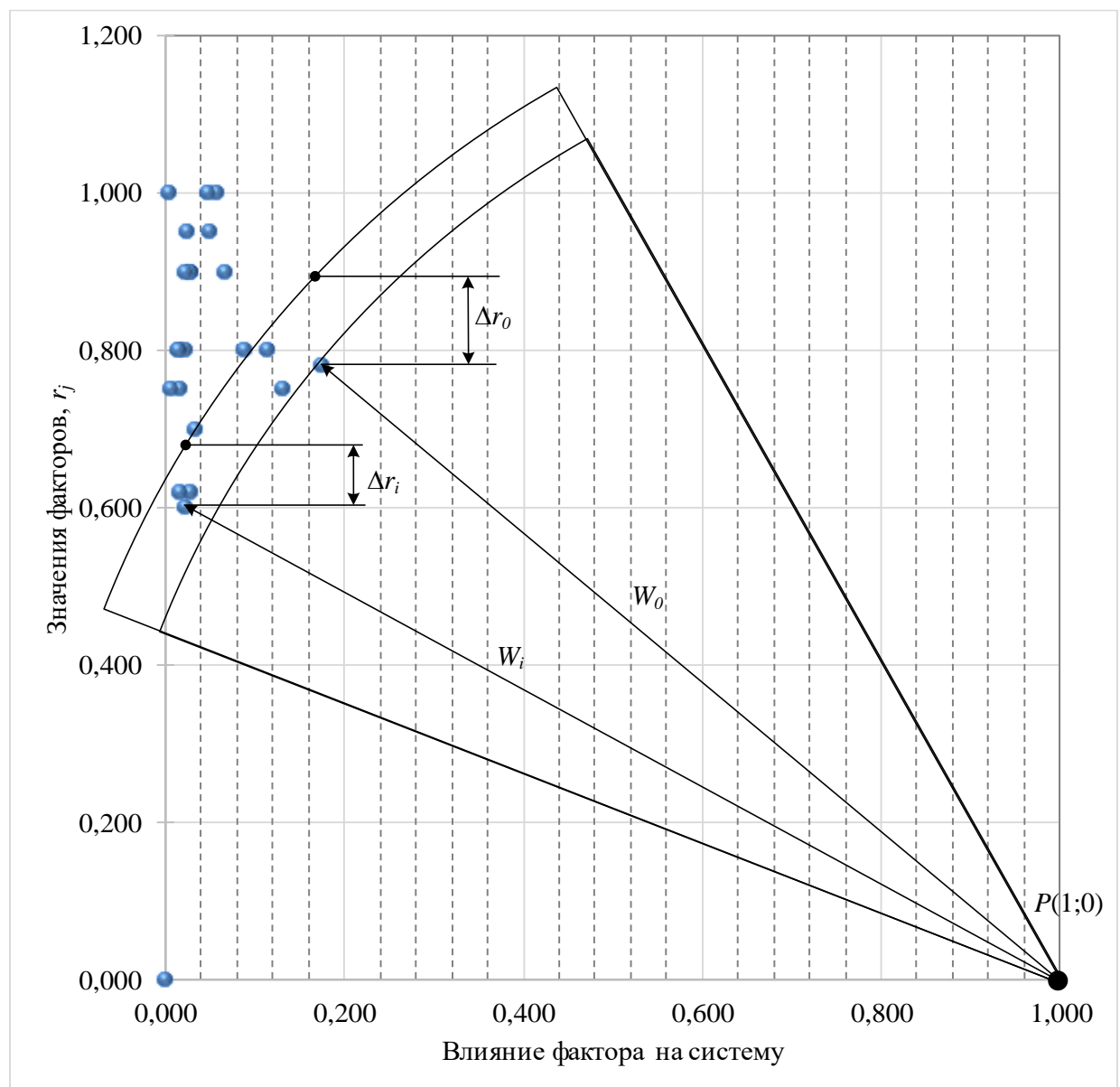


Рисунок 4.8 – Графическое представление формирования вариационного ряда воздействий

Координаты векторов принимают следующий вид:

$$\vec{PA} = (k_1 - 1, r_1), \vec{AB} = (0, \Delta r_1), \vec{PB} = (k_1 - 1, r_1 + \Delta r_1).$$

Так как $\vec{PA} + \vec{AB} = \vec{PB}$ и $\vec{PB} - \vec{PA}' = \vec{A'B}$, то переходя к длинам векторов получены следующие значения:

$$\left| \vec{PA}' \right| = W_0, \left| \vec{A'B} \right| = \Delta W_0,$$

$$\left| \vec{PB} \right| = \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1 + \Delta r_1)^2},$$

$$\left| \vec{PA}' \right| = \left| \vec{PA} \right| = \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1)^2},$$

а для точки A , с индексом 1:

$$\Delta W_1 = \left| \vec{PB} \right| - \left| \vec{PA}' \right| = \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1 + \Delta r_1)^2} - \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1)^2}.$$

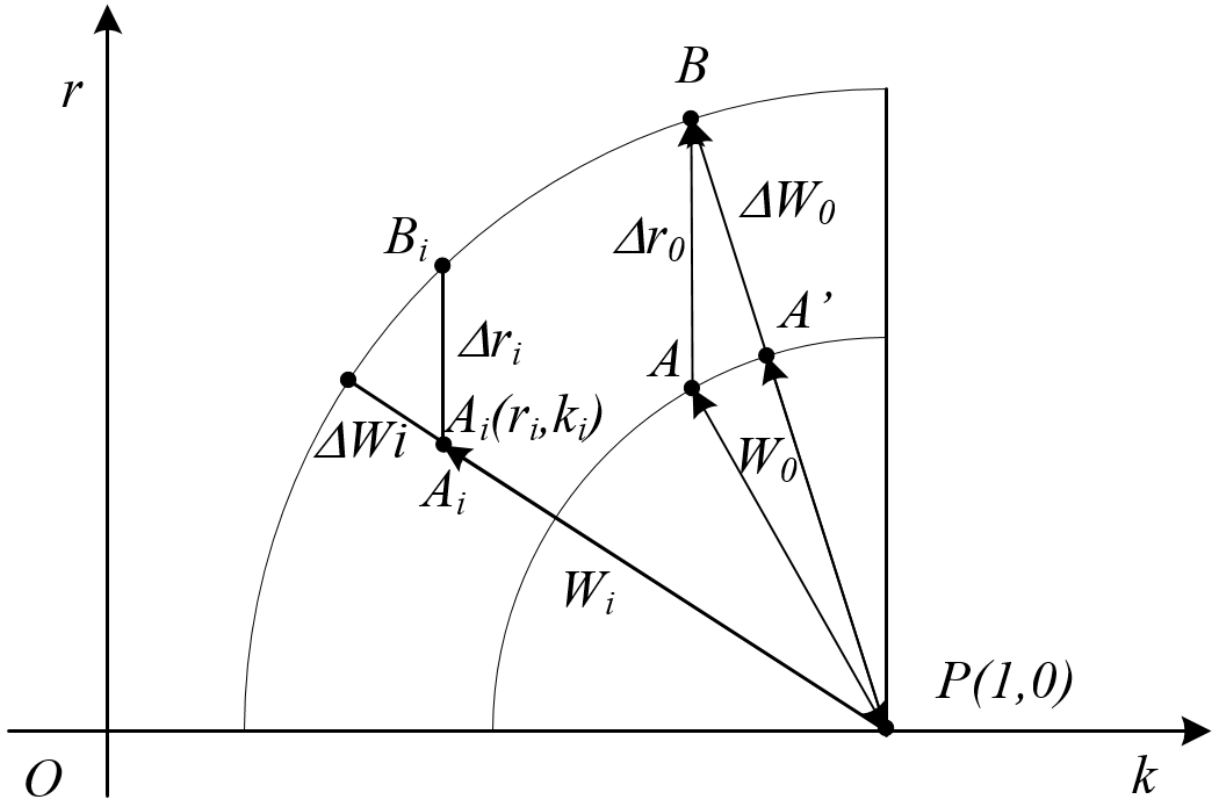


Рисунок 4.9 – Решение задачи распределения ресурсов

При этом для точки A $\Delta W_1 = \Delta W_0$, выразив Δr_1 , получена формула (4.4):

$$\Delta r_1 = \sqrt{\left(\Delta W_1 + \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1)^2}\right)^2 - (k_1 - 1)^2} - r_1. \quad (4.4)$$

Это выражение будет справедливо для любой точки, находящейся внутри сектора при условии, что значение $\Delta W_i = \Delta W_0 - (W_i - W_0)$. По логике задачи $0 \leq W_i - W_0 \leq \Delta W_i$.

Для любой точки сектора прирост значения фактора определяется следующим выражением (4.5):

$$\Delta r_i = \sqrt{\left(\Delta W_0 - (W_i - W_0) + \sqrt{(k_i - 1)^2 + (r_i)^2}\right)^2 - (k_i - 1)^2} - r_i \quad (4.5)$$

Для точек, лежащих за пределами сектора ΔW_0 , это выражение будет отрицательно, что говорит о том, что эти точки не рассматриваются, так как находятся за пределами планируемых средств вложений.

Сопоставив значение ΔW_0 размеру планируемых на расчетный период средств C . Обозначив долю средств, необходимых для повышения i -го фактора от 0 до 1 через c_i , получено выражение (4.6):

$$C(\Delta r_i) = \sum_{i=1}^m \Delta r_i \cdot c_i, \quad (4.6)$$

где m – количество факторов, вошедших в сектор ΔW_0 .

Подставляя значение для Δr_i в формулу (4.5) выражение принимает вид (4.7):

$$C(\Delta W_0) = \sum_{i=1}^m c_i \cdot \left(\sqrt{\left(\Delta W_0 - (W_i - W_0) + \sqrt{(k_i - 1)^2 + (r_i)^2}\right)^2 - (k_i - 1)^2} - r_i \right) \quad (4.7)$$

Если зависимость (4.6) позволяет получить увеличение значений факторов в зависимости от вложенных средств, то зависимость (4.7) дает возможность оценить глубину охватываемого сектора факторов в зависимости от финансирования.

Далее рассмотрен вопрос реализации этого подхода на примере: на планируемый период выделен объём средств, равный C . На основании данных рисунка 4.8, сделан вывод, что ближайшими кандидатами на воздействия являются факторы, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень факторов на планируемый период

Факторы-концепты	Название индикатора	Нормированное значение влияния фактора на систему k_j	Значения факторов r_j
k_2	Система диагностирования и прогнозирования технического состояния автомобилей	0,173	0,780
k_7	Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации	0,022	0,600
k_8	Квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей	0,131	0,750
k_{13}	Средняя наработка на отказ	0,028	0,620
k_{22}	Уровень системы управления и принятия решений	0,015	0,620
k_5	Наличие запчастей всей номенклатуры	0,033	0,700
k_9	Укомплектованность персоналом, выполняющим ТО и ТР автомобилей	0,113	0,800

Анализ показал, чтобы увеличить значение каждого фактора на 0,01 пункта необходимо затратить определенную долю общих затрат, для каждого фактора свою, эта доля принята в соответствии с таблицей 4.2.

Таблица 4.2 – Доля общих затрат для увеличения фактора на 0,01 пункта

Фактор	k_2	k_7	k_8	k_{13}	k_{22}	k_5	k_9
Доля от C , достаточная для увеличения фактора на 0,01 пункта	0,02	0,005	0,006	0,012	0,012	0,004	0,007

Фактор k_{22} (Уровень системы управления и принятия решений) является комплексным показателем и прямых затрат в данном виде не имеет. Однако при его декомпозиции можно также провести эту оценку по составляющим его индикаторам. В данном примере принята величина приблизительно равная 0,12 для фактора, зависящего от независимых переменных.

Моделирование показало следующее: при увеличении расстояния до идеальной точки от самой крайней на 0,15 (рисунок 4.10) общая величина затрат составила 0,797 от общих выделенных средств. Что является явно недостаточным. При этом все средства распределились между двумя факторами.

При увеличении расстояния до идеальной точки от самой крайней на 0,2 (рисунок 4.10), общая величина затрат составила 1,097 от общих выделенных средств, что превышает выделенные средства. При этом все средства распределились между пятью факторами.

Точное значение глубины сектора, при котором затраты равны выделенным средствам составляет 0,1867, распределение состоялось по четырем факторам. Общий уровень эксплуатационной надежности увеличился со значения 0,763 до 0,813.

Следует отметить, что при данном подходе предполагалось, что изменение значения фактора зависит линейно от выделенных средств. Этот подход является недостаточно достоверным. Чем выше значение фактора, тем больше средств требуется на его увеличение. Другими словами, с увеличением вложения средств в данный фактор он все более медленнее приближается к единице.

Поэтому при значениях фактора более 0,7–0,8 целесообразно использовать сигмоидальную (логистическую) функцию:

$$r_i(c_i) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha_i \cdot c_i}},$$

где α_i – индивидуальный коэффициент для каждого фактора.

Тогда при увеличении значения фактора на Δr_i необходимо воспользоваться операцией интегрирования, так как затраченные средства есть не что иное как произведение значения увеличения фактора на удельную стоимость единицы фактора, т.е.:

$$r_i(c_i) = \int_{r_n}^{r_s} \frac{1}{1 + e^{-\alpha_i \cdot c_i}} dc_i.$$

Факторы- концепты	Нормированн ое значение влияния фактора на систему, k_j	Значения факторов, r_j	Метрика до идеальной точки (kj;rj)=(1;0) $W_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{\max})^2} \rightarrow \min$	Доля от С достаточная для увеличе- ния фактора на 0.01 пункта	Глубина сектора ΔW и изменение значения факторов Δr_j и величина затрат c_j					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					$\Delta W=$	c_j	$\Delta W=$	c_j	$\Delta W=$	c_j
					0,15		0,2		0,1867	
					Δr_j		Δr_j		Δr_j	
k2	0,173	0,500	0,966	0,02	0,250	0,500	0,322	0,645	0,304	0,607
k13	0,028	0,300	1,018	0,012	0,248	0,297	0,344	0,412	0,319	0,383
k7	0,022	0,600	1,147	0,005	-0,062	0,000	0,035	0,018	0,010	0,005
k8	0,131	0,750	1,148	0,006	-0,050	0,000	0,028	0,017	0,008	0,005
k22	0,015	0,620	1,164	0,012	-0,094	0,000	0,005	0,006	-0,020	0,000
k5	0,033	0,700	1,194	0,04	-0,142	0,000	-0,048	0,000	-0,072	0,000
k9	0,113	0,800	1,195	0,07	-0,123	0,000	-0,043	0,000	-0,064	0,000
k3	0,088	0,800	1,213	0,034	-0,156	0,000	-0,073	0,000	-0,095	0,000
k12	0,015	0,750	1,238	0,04	-0,226	0,000	-0,126	0,000	-0,151	0,000
k14	0,006	0,750	1,245	0,014	-0,242	0,000	-0,140	0,000	-0,166	0,000
k6	0,022	0,800	1,263	0,01	-0,262	0,000	-0,165	0,000	-0,190	0,000
k20	0,015	0,800	1,269	0,022	-0,274	0,000	-0,175	0,000	-0,200	0,000
k18	0,014	0,800	1,270	0,035	-0,277	0,000	-0,178	0,000	-0,203	0,000
k10	0,067	0,900	1,296	0,011	-0,287	0,000	-0,200	0,000	-0,222	0,000
k19	0,028	0,900	1,325	0	-0,352	0,000	-0,256	0,000	-0,281	0,000
k17	0,027	0,900	1,326	0,017	-0,354	0,000	-0,258	0,000	-0,282	0,000
k4	0,022	0,900	1,329	0,019	-0,362	0,000	-0,265	0,000	-0,290	0,000
k15	0,049	0,950	1,344	0,04	-0,366	0,000	-0,275	0,000	-0,298	0,000
k16	0,023	0,950	1,363	0,013	-0,410	0,000	-0,313	0,000	-0,338	0,000
k11	0,057	1,000	1,374	0,01	-0,402	0,000	-0,314	0,000	-0,336	0,000
k1	0,047	1,000	1,381	0,03	-0,418	0,000	-0,327	0,000	-0,351	0,000
k21	0,005	1,000	1,411	0	-0,495	0,000	-0,393	0,000	-0,418	0,000
k23	0,000	0,000								
Уровень эксплуатационной надежности			0,813			0,797		1,097		1,000

Рисунок 4.10 – Моделирование распределения затрат между факторами

Используя модель, выполнен расчет изменения уровня эксплуатационной надежности, а также затрат и количества задействованных факторов от изменения глубины сектора (рисунки 4.11 и 4.12).

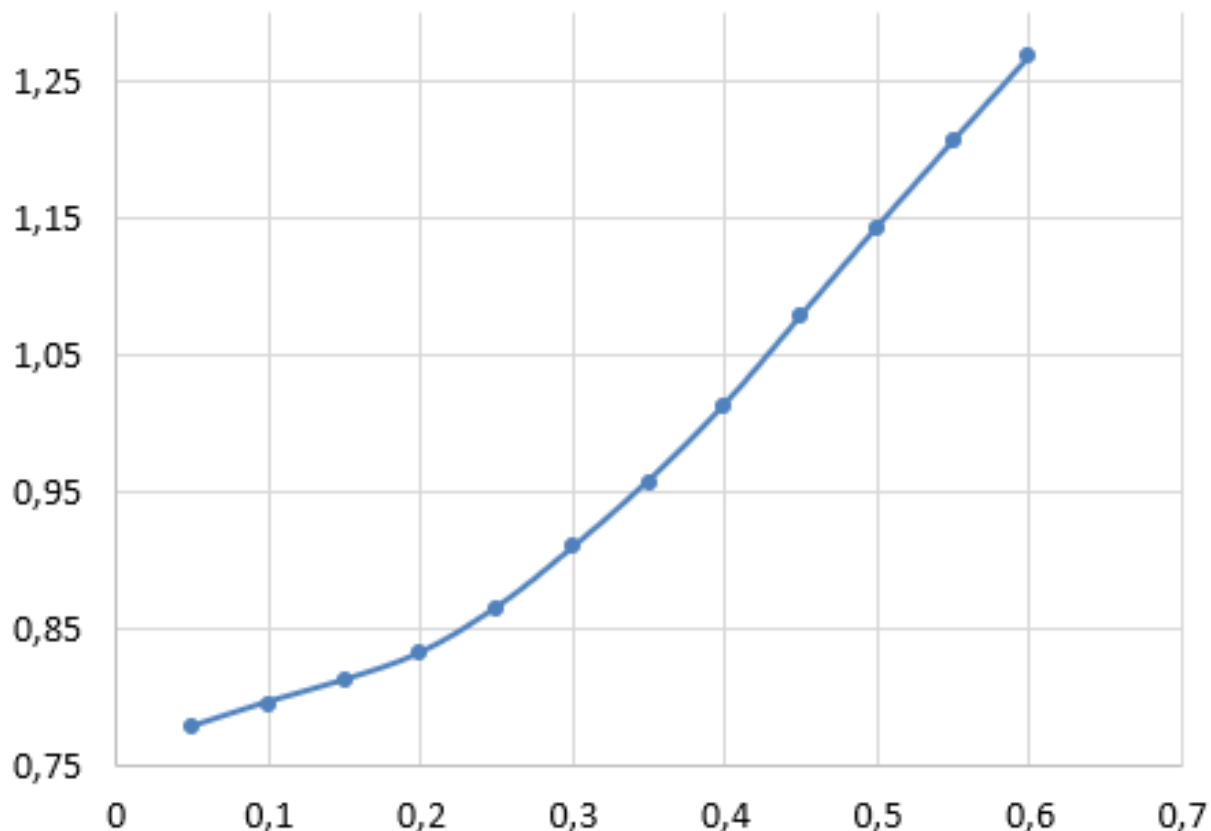


Рисунок 4.11 – Изменения уровня эксплуатационной надежности от глубины сектора (объема планируемых ассигнований)

Следует отметить, что при вложении затрат, равных величине C , уровень увеличивается со значения 0,763 до значения 0,813. При этом $\Delta W = 0,1867$. Для того, чтобы превысить уровень 0,95 необходимо увеличить величину C более чем в 20 раз. При этом значение $\Delta W = 0,6$.

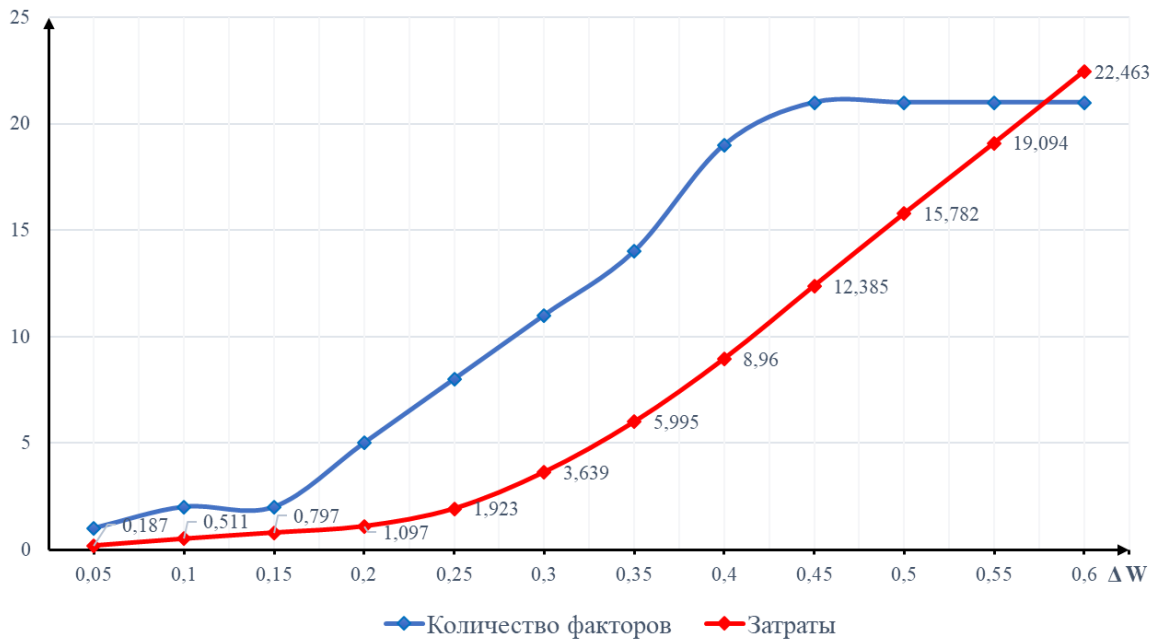


Рисунок 4.12 – Изменение затрат и количества задействованных факторов от изменения глубины сектора

Из этого анализа вытекает достаточно важный для практики вывод о том, что стремление уровня эксплуатационной надежности к значению близкому 1 является экономически не оправданным.

4.3 Концептуальная модель управления эксплуатационной надежностью прогнозированием технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов

В соответствии с когнитивной картой (рисунок 3.1) и таблицей 3.2, фактор k_{20} является одним из основных показателей, который характеризует эксплуатационную надежность грузовых автомобилей, является коэффициент технической готовности (КТГ), определяемый отношением количества работоспособных ГА к их списочному количеству:

$$КТГ = \frac{M_p}{M_{cn}}, \quad (4.8)$$

где M_p – количество работоспособной ГА в день проверки;

M_{cn} – списочное количество ГА в день проверки.

При определении КТГ к неисправным относят грузовые автомобили, числящиеся по учетным данным предприятия, структурного подразделения в капитальном (сверх 40 % запланированных на год), среднем (сверх 20 % запланированных на год) ремонте, ожидающие ремонта, а также неисправные, выявленные и оценённые «неудовлетворительно» в ходе проверки.

Коэффициент технической готовности ГА является основным показателем, характеризующим эксплуатационную надежность, и может исчисляться как на момент проверки, так и за какой-либо период (неделю, месяц, квартал, год или непрерывно). Его определяют простым делением количества работоспособных ГА на списочное количество.

$$КТГ(N) = \frac{\sum_{i=1}^N M_{pi}}{\sum_{i=1}^N M_{cni}},$$

где M_{pi} – количество работоспособных ГА в i -й день периода из N дней;

M_{cni} – списочное количество ГА в i -й день периода из N дней.

Коэффициент технической готовности ГА предприятия напрямую зависит от уровня организации, качества выполнения технического обслуживания и ремонта автомобилей. Поддержание работоспособного (исправного) состояния ТС, а следовательно, и повышение эксплуатационной надежности ГА в значительной мере зависит от обнаружения и своевременного устранения замеченных отклонений от нормальной работы ГА, а также соблюдения правил технической эксплуатации ГА.

Учитывая современное состояние информатизации, возможности осуществления интегрированной логистической поддержки (ИЛП) ГА, необходимо ориентироваться не на дискретные значения показателей технической готовности ГА, а на непрерывные. Дискретные значения КТГ парка как основного показателя технического состояния парка ГА предприятия актуальны полвека назад, когда технически невозможно организовать непрерывный мониторинг. На современном уровне это не только возможно, но и крайне необходимо.

Как показано выше, основными показателями для ГА должны стать функция эксплуатационной надежности по результатам мониторинга и коэффициент готовности как асимптотическая величина.

Для парка ГА в качестве основного критерия, характеризующего эксплуатационную надежность, необходимо использовать коэффициент технической готовности грузовых автомобилей парка как отношение суммарного числа работоспособного времени всех грузовых автомобилей к общему календарному времени всех ГА парка за рассматриваемый период времени. Неработоспособное время ГА парка по вине эксплуатирующего предприятия не учитывается.

Расчетная формула принимает вид:

$$КТГ_{ПК}^I = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_K} (T_{np2i}^u + T_{np1i})}{N_K \cdot T_K},$$

где T_K – календарное время рассматриваемого периода;

T_{np2i}^u – «внешне» неработоспособное состояние i -го ГА, обусловленное организационными причинами по вине эксплуатирующего предприятия;

T_{np1i} – «внутренне» неработоспособное состояние i -го ГА, обусловленное отказом или незавершенностью планового технического обслуживания (ремонта или другого воздействия).

На основе мониторинга должны представляться два показателя: $КТГ_{ПК}^I$ на текущий день, как отношение количества работоспособных ГА к их списочному количеству T_{np1i} ; $КТГ_{ПК}^I(t)$ – как функция за любой промежуток t для данного предприятия, структурного подразделения. В обоих случаях используется одна и та же формула, так как величина T_K в первом случае будет равна единице.

Рассматривая модель управления эксплуатационной надёжностью парка ГА, можно сделать следующие выводы (рисунок 4.13).

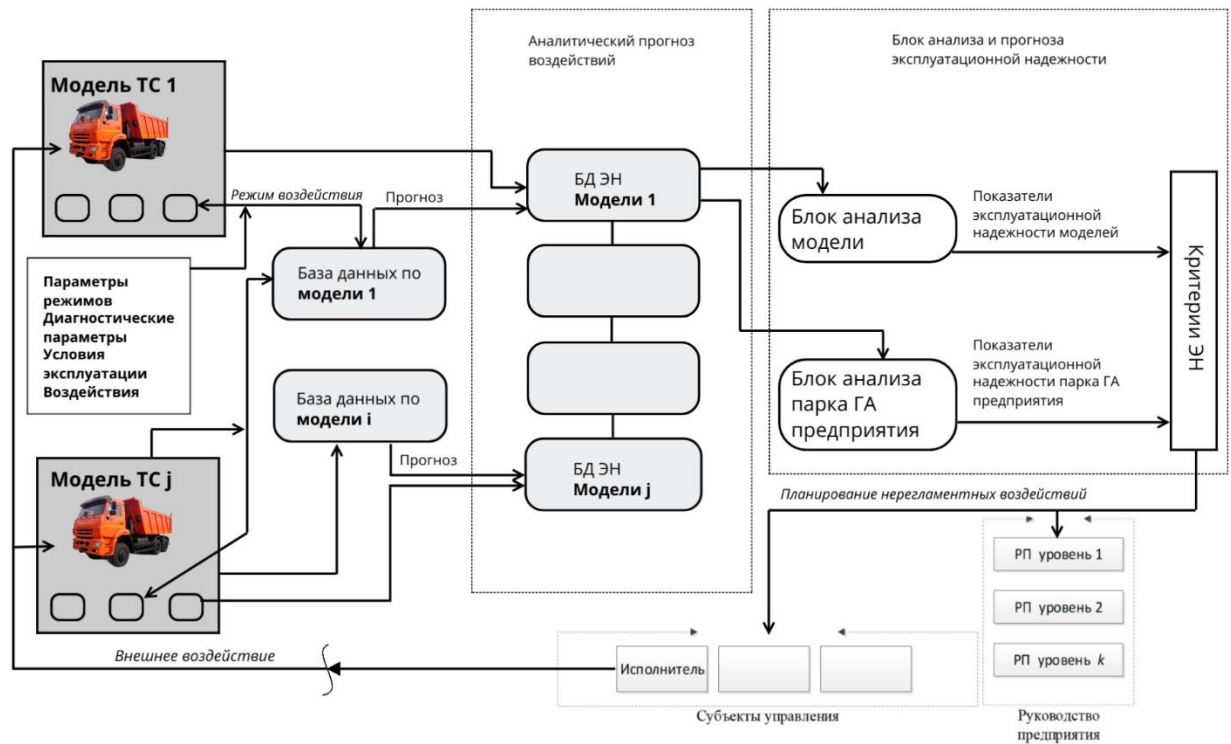


Рисунок 4.13 – Концептуальная модель управления эксплуатационной надежностью парка грузовых автомобилей

Концептуальная модель управления эксплуатационной надёжностью базируется на первичной информации о воздействиях на ГА и информации с бортовых датчиков при мониторинге.

Эта первичная информация поступает в бортовые системы, а затем дублируется в БД типовой конструкции и БД эксплуатационной надёжности ТС в off-line режиме. Если проведенные воздействия относятся к агрегату, то могут быть созданы БД типовой конструкции агрегатов. В указанных БД скапливается массив статистической информации о воздействиях с характерными им распределениями наработки по эксплуатационным режимам и условиям эксплуатации. Поток для входа такой информации в БД с каждого ГА открыт.

Получение прогнозируемых воздействий базируется на информации о эксплуатационных режимах, условиях эксплуатации, диагностических параметрах, воздействиях ГА и информации из БД типовой конструкции.

Обработка этой информации завершается аналитическим прогнозом воздействий. Для каждого ГА формируется свой объем информации.

Реализация концептуальной модели системы прогнозирования воздействий требует наличия программного обеспечения, реализующего методики обработки данных как на серверной, так и на клиентской (бортовой) части.

На основании аналитического прогноза остаточного ресурса до воздействий формируется вариационный ряд воздействий, упорядоченный по возрастанию остаточного ресурса до каждого из них. Следует отметить, что основу ряда воздействий и методики их прогнозирования составляет история эксплуатации конкретного ГА, выраженная в распределении наработки по эксплуатационным режимам и условиям эксплуатации, и сверенная с показаниями бортовой системы диагностики.

Прогнозируемый ряд воздействий может быть построен на любой период эксплуатации и определяется объемом статистической информации в БД типовой конструкции.

На основании этой информации в блоке анализа и прогноза эксплуатационной надежности (рисунок 4.13) формируются показатели каждого транспортного средства. Сравнение их значений с установленными позволяет осуществить планирование нерегламентированных воздействий и (или) определить сроки регламентированных.

Учитывая, что в вариационном ряду могут находиться как плановые, так и неплановые воздействия, исходя из требования значений показателей эксплуатационной надежности для эксплуатирующей организации и конкретных ГА, формируется график плановых воздействий с учетом прогноза нерегламентированных (неплановых) воздействий на планируемый период.

Исходя из того, что известно количество воздействий, их трудоемкость, необходимое обеспечение запасными частями и расходными материалами, последовательность воздействий, может быть сформирована затратная часть на поддержание заданного уровня эксплуатационной надежности [188].

По результатам прогнозирования воздействий выполняется анализ показателей эксплуатационной надежности, в частности, коэффициента

технической готовности ГА, коэффициента технической готовности всего парка ГА, по моделям ГА и другие показатели [189-191].

Все воздействия как плановые, так и неплановые, согласовываются между начальником структурного подразделения, эксплуатирующего ГА, и руководством предприятия.

При реализации сформированного графика плановых воздействий все фактические события фиксируются и заносятся в базу данных моделей ГА, увеличивая ее статистическую значимость. Модель замыкается.

Базы данных типовых конструкций агрегатов обеспечивают повышение достоверности прогнозирования воздействий и информационное резервирование процесса прогнозирования.

Для практической реализации данной концептуальной модели необходимо оснащение ГА системой объективного контроля технического состояния, а также разработка архитектуры баз данных и программного обеспечения. Кроме того, требуется разработка регламента внесения первичной информации в систему.

Практическое внедрение системы должно быть разделено на этапы. На первом этапе формируется наличие статистически значимой группы ГА (или групп), работающих в системе и образующих единое множество, определенное по конструктивному исполнению ГА в целом, и его элементов, описываемых идентичными параметрами. ГА данной группы относятся к одной типовой конструкции ГА (модели ГА).

На втором этапе формируется статистически значимый объем информации в БД типовой конструкции, что позволяет выполнить достоверное прогнозирование воздействий. До этого момента все прогнозирование будет основываться только на показаниях бортовой системы диагностирования.

На третьем этапе происходит отладка системы и ее масштабирование.

На рисунке 4.13 показано, что на основании результатов анализа эксплуатационной надежности моделей ГА и в целом парка, выполненного

системой прогнозирования воздействий, принимается решение о планировании нерегламентированных воздействий на следующий плановый период.

Таким образом, на основании представленной концепции каждый ГА из множества ТС, находящихся в эксплуатирующем предприятии, имеет накопитель с информацией о модели, который считывает и хранит информацию о параметрах эксплуатационных режимов ГА, условиях эксплуатации, информацию бортовых средств диагностирования (БСД), а также информацию о воздействиях на данное ТС.

К фиксируемым в процессе мониторинга параметрам эксплуатационных режимов относятся те параметры, которые оказывают существенное влияние на техническое состояние ТС. При накоплении статистики в ходе эксплуатации ГА целесообразно рассмотреть в первую очередь параметры тех полей, воздействие которых очевидно. К таким полям можно отнести: механическое, тепловое, электрическое.

Параметрами механических полей принимаются такие физические величины, как скорость, ускорение, частота вращения, крутящий момент, мощность и др. К ним также можно отнести и принципиальное наличие потока мощности – включение межосевой, межколесной блокировки, потоки мощности в раздаточной коробке, отбор мощности на привод дополнительного оборудования, включение газотурбинного наддува, включение стартера и другого оборудования.

Параметрами тепловых полей – температура, градиент температуры, относящиеся к элементу, системе, механизму, агрегату, рабочему телу.

Параметрами электрических полей служит величина силы тока и напряжения, мощность и др. Следует отметить, что контроль параметров режимов электрических полей с точки зрения мониторинга для набора статистики малоэффективен. Современная бортовая электроника имеет достаточную по своей эффективности встроенную систему диагностики, которую и нужно использовать для оценки необходимости воздействий на нее и те электронные системы, которые она контролирует.

Система бортовой диагностики в контексте предлагаемой модели, выполняет как самостоятельную функцию определения остаточного ресурса до воздействия или до предельного состояния или просто очередного нерегламентированного воздействия по предельному значению диагностического параметра, так и функцию отдельного канала в информационном резервировании системы прогнозирования воздействий [92,164,174].

Развитие информационных технологий, аппаратной базы, коммуникационного оборудования и средств связи, транспортной телематики в целом предопределяет развитие бортовой диагностики со своими массивами статистической информации, базами фактов и прочее. Взаимосвязь системы прогнозирования воздействий и БСД имеет большие перспективы по увеличению точности диагноза (прогноза) и одновременного снижения как ошибок первого, так и второго рода.

К системе прогнозирования воздействий относятся:

- воздействия, связанные с отказами;
- наступление предельного состояния;
- предотказное состояние;
- предотвращение отказов;
- воздействия, предупреждающие ухудшение технического состояния и упреждающие снижение остаточного ресурса;
- вызванные ухудшением технического состояния.

В данном контексте термин техническое состояние относится как к ТС в целом, так и к его составным частям: агрегатам, системам, механизмам, отдельным деталям.

Информация о выполненном воздействии с наработкой по эксплуатационным режимам и условиям эксплуатации, а также текущие значения БСД передаются в режиме on-line или по регламенту в соответствующую базу данных (хранилище) типовой конструкции. База данных, входящая в единую информационную систему прогнозирования воздействий

(СПВ), получает информацию со всех ТС, подключенных к системе и относящихся к данной модели.

Дополнительно информация может передаваться в базу данных (хранилище) типовой конструкции соответствующего агрегата (системы, механизма, ответственной детали). Эти хранилища аккумулируют большой объем статистической информации (рисунок 4.14). По сути, это система воздействий (отказов, повреждений и пр.) агрегата с поставленными ему в соответствие эксплуатационными режимами, условиями эксплуатации и параметрами БСД.

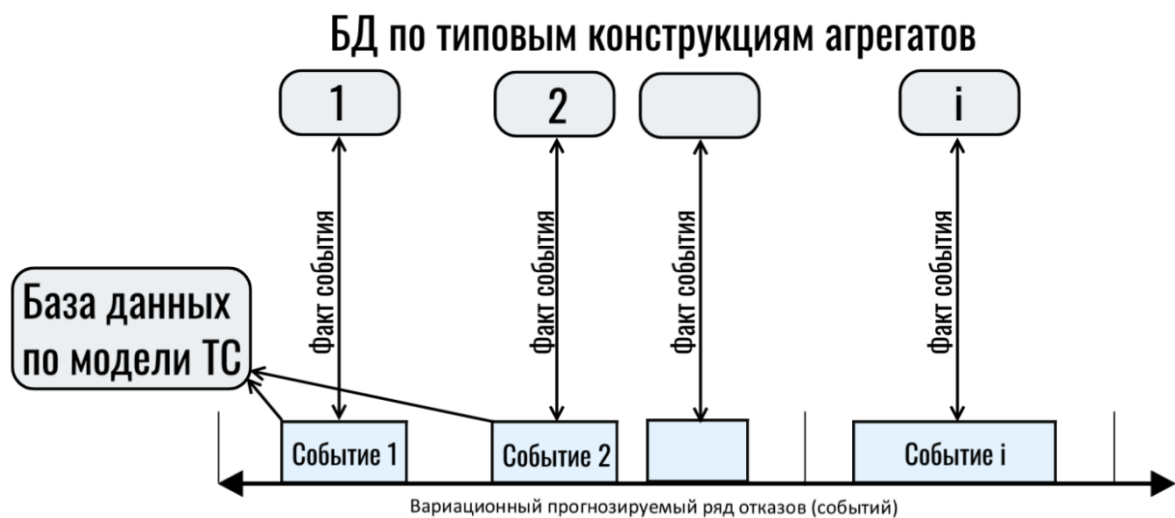


Рисунок 4.14 – Разделение информационных потоков при передаче от ТС

Такая структура информационных потоков позволяет выполнить информационное резервирование прогнозирования воздействия, что наиболее ценно при принятии решения.

На следующем этапе аналитической обработки информации в блоке аналитического прогноза воздействий с каждого ТС в реальном режиме или в соответствии с регламентом (в режиме off-line) происходит прогноз воздействий на основе информации, полученной из БД моделей и БД типовой конструкции агрегатов. Результаты прогноза на основе мажоритарного принципа принятия решения с указанием остаточного ресурса и трудоемкости фиксируются в базе данных эксплуатационной надежности ГА, принадлежащей предприятию.

Блок анализа и прогноза эксплуатационной надежности выполняет расчет коэффициента готовности конкретного ТС как функции на интервале $t - \Delta t_1$ и на интервале прогноза $t + \Delta t_2$. Решение задачи определения технической готовности на интервале $t - \Delta t_1$, где t – текущее время, а Δt_1 – прошедший период времени, за который определяются показатели, дает генезис эксплуатационной надежности парка. Решение задачи определения технической готовности на интервале $t + \Delta t_2$, где t – текущее время, а Δt_2 – будущий период времени, на который определяются показатели, дает прогноз эксплуатационной надежности парка. Интервалы фактического коэффициента готовности в момент времени t и прогнозируемого могут быть одинаковыми или различными. При этом при решении задач прогнозирования приняты следующие соотношения: $\Delta t_1 = 2\Delta t$ и $\Delta t_2 = \Delta t$, величина Δt – это период прогноза выбирается с учетом требуемых точности и достоверности прогноза.

Информация о эксплуатационной надежности конкретного ТС передается в соответствии со схемой взаимодействия субъектов управления. Если в какой-то момент времени прогнозируется событие τ_i , то по согласованию субъектов управления в момент времени $t'_j = t - \sum_{i=1}^{k=5} \tau_i$ (рисунок 4.15), когда ГА еще работоспособен, начинается подготовка к проведению восстановления – внешнее воздействие, которое и осуществляется за интервал времени τ_6 .

Рассматривая конкретное ТС, сумма времени $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{i-1}$ показывает суммарное время восстановления ТС по факту до момента t , наступления j -го отказа. Сумма этих времен после момента времени t – это прогноз времени восстановления (рисунок 4.15).

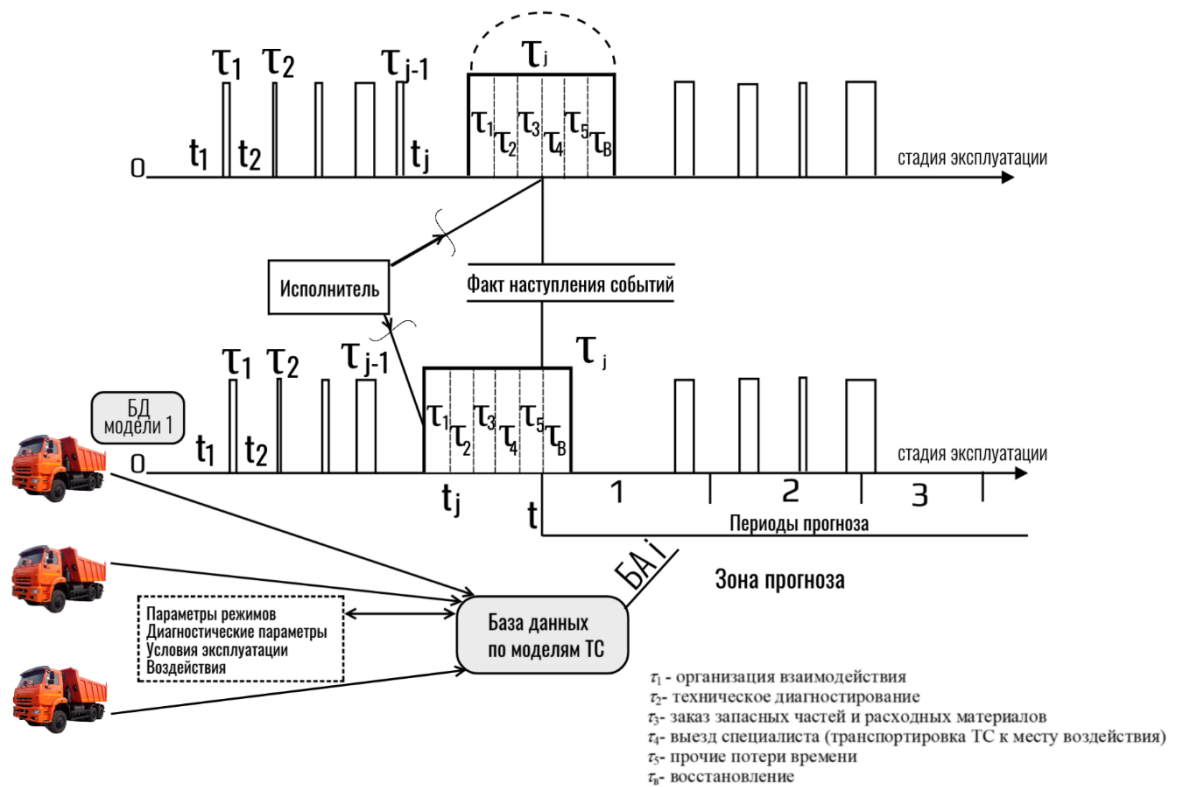


Рисунок 4.15 – Сравнение концепций управления эксплуатационной надежностью парка грузовых автомобилей

Тогда при отсутствии СПВ значение коэффициента готовности можно вычислить лишь постфактум (верхняя часть рисунка 4.15).

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^j t_i}{\sum_{i=1}^j t_i + \sum_{i=1}^{j-1} \tau_{\sigma i}}. \quad (4.9)$$

Смысл вычисления и использования данного коэффициента теряется.

При прогнозировании воздействий в любой момент времени вычисляется значение коэффициента готовности равное:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^{j+k} t_i}{\sum_{i=1}^{j+k} t_i + \sum_{i=1}^{j+k-1} \tau_{\sigma i}}. \quad (4.10)$$

Учитываются как фактические воздействия, так и прогнозируемые (нижняя часть рисунка 4.15). Изменяя величины i и k можно спрогнозировать

коэффициент готовности, и как следствие, эксплуатационную надежность, на любом интервале времени.

Одновременно происходит прогноз эксплуатационной надежности каждого ТС и парка в целом по двум указанным выше показателям. Определяются их фактические и прогнозные значения, моделируется значение КТГ при условии отложенного (отложенных) воздействия. При этом учитывается уникальность модели, возможность взаимозамены и перераспределения ресурса на другую модель ГА предприятия.

Таким образом, учитывая, что для исполнителя в части поддержания эксплуатационной надежности, а именно коэффициента готовности модели ТС K_T наиболее действенным направлением является снижение времени восстановления при отказах, а главное – прогнозирование и недопущение отказов каждой ТС, при которых происходит нарушение транспортно-технологического процесса. С этой позиции создание системы прогнозирования воздействий, представленной на рисунке 4.6, является очевидным и обладает неоспоримыми преимуществами перед нерегламентированными воздействиями по факту. В своей основе нерегламентированные воздействия при использовании информационной СПВ переходят в разряд регламентированных, прозрачных по остаточному ресурсу и трудоемкости для всех участников управления ЭН.

При проведении нерегламентированного воздействия разработанная модель системы управления ЭН позволяет обеспечить временное резервирование процесса восстановления (рисунок 4.15), благодаря чему время восстановления может быть существенно сокращено.

Кроме того, необходимо учитывать, что определение остаточного ресурса модели каждого ГА сопряжено с выполнением ряда условий:

- организация мониторинга эксплуатационных режимов и условий эксплуатации каждого ГА в соответствии с базовыми положениями, описанными в данном разделе;
- наличие установленных и подключенных к системе мониторинга

бортовых датчиков, определяющих с необходимой точностью параметры эксплуатационных режимов и условий эксплуатации каждого ГА;

- организация мониторинга технических воздействий на каждом ГА при ТО и Р;
- наличие административного и технического регламента мониторинга технических воздействий на каждом ГА при ТО и Р;
- наличие статистически значимой группы моделей (или групп), работающих в системе и образующих единое множество по конструктивному исполнению модели в целом и его элементов, описываемых идентичными параметрами. Модели данной группы относятся к одной типовой конструкции ГА;
- наличие программного обеспечения, реализующего методики обработки данных, как на серверной, так и на клиентской (бортовой) части.

Основополагающая функция, реализуемая системой – прогнозирование воздействий и определение остаточного ресурса до очередного воздействия, и может быть доступна после некоторого времени T_n с момента начала функционирования системы.

4.3.1 Мониторинг уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

Основные задачи, решаемые системой мониторинга:

- учет эксплуатационных режимов ГА и наработки на них;
- учет технического состояния ГА и фактов перехода из одного состояния в другое;
- учет характеристики каждого из технических воздействий на ГА, в том числе, трудоемкость, стоимость, затраты на запасные части и ГСМ, подготовительно-заключительное время и другие важные характеристики;
- прогнозирование воздействий;
- прогнозирование наработки до них;

- прогнозирование трудоемкости, стоимости, запасных частей и ГСМ для этих воздействий;
- прогнозирование подготовительно-заключительного времени при восстановлении работоспособности ГА.

Процедура мониторинга уровня ЭН ГА и парка в целом относится к процессам, которые реализуются с целью обеспечения ЭН ТС. Составной частью ЭН является техническая готовность грузовых автомобилей. В условиях СУ ЭН ГА мониторинг уровня технической готовности ГА и парка в целом приобретает дополнительно юридическую составляющую.

С другой стороны процесс мониторинга уровня эксплуатационной надежности ГА и парка в целом базируется на техническом диагностировании, одной из триединых задач которого является прогнозирование технического состояния.

Учитывая современное состояние и динамику развития нормативной базы, введение мониторинга уровня ЭН ГА и парка в целом на основе средств объективного контроля является обоснованным.

При мониторинге важно обеспечить регламент учета воздействий. Одним из важных вопросов является вопрос фиксации факта перехода ГА в неработоспособное состояние. Факт перехода из неработоспособного в работоспособное состояние фиксируется внесением в базу данных. Исполнитель указывает подробный перечень выполненных работ с указанием трудоемкости, потребных запасных частей и материалов, инструментов и оборудования и фиксирует это в информационной системе. Факт фиксации перехода ГА в работоспособное состояние дублируется в бортовом накопителе, БД ГА предприятия, БД марки (модели) ГА, БД типовой конструкции агрегата.

При расчете показателей ТГ учитывается только состояние ГА парка предприятия. Не может быть причиной неучета ГА при расчете показателей ТГ ее нахождение в неработоспособном состоянии:

- по причине ДТП;
- старения;

- конструкционных, производственных, эксплуатационных и любых других отказов;
- отсутствия производственных (материальных, сырьевых, трудовых) возможностей;
- отсутствия запасных частей и др.

Мониторинг показателей ЭН осуществляется с целью формирования управляющих воздействий. Цель управляющих воздействий состоит в поддержании показателей ЭН ГА парка предприятия не ниже нормативных показателей.

4.3.2 Технические решения для получения данных об эксплуатационных режимах грузовых автомобилей

В целях сбора данных, характеризующих текущие параметры работы различных систем автомобиля, был изготовлен электронный модуль считывания, обработки и запоминания цифровых данных, транслируемых по шине CAN, представленный на рисунке 4.16. Кроме того, данный модуль имеет аналоговые каналы связи для обеспечения возможностей подключения дополнительных внешних датчиков измерения таких параметров, которые не регистрируются штатными системами автомобиля, например, температура масла в агрегатах трансмиссии, давление воздуха в шинах и т.д.

Данное устройство позволяет производить подключение как непосредственно к диагностическому разъему, так и осуществлять подключение врезкой в шину CAN, причем второй способ более предпочтителен, ввиду сохранения возможности постоянной работы устройства, независимо от положения замка зажигания, а также освобождения диагностического разъема для возможности подключения диагностического оборудования во время проведения диагностических работ.

Алгоритм работы устройства позволяет программировать сценарии считывания и анализа данных, распределяя их по различным признакам

логическими методами, что позволяет в большинстве случаев снизить объем данных, сохраняемых в памяти устройства, так как количество этих данных можно ограничить лишь теми, которые удовлетворяют условиям заданной выборки, определяемой для решения конкретной задачи.



Рисунок 4.16 – Контроллер CAN-шины автомобиля

Таким образом, электронный модуль собирает небольшой массив данных, передаваемых по шине CAN, а также через аналоговые входы, фильтрует, отсеивает, обрабатывает и формирует готовый отчет о состоянии параметров в виде сокращенного по объему массива данных, который сохраняется в постоянной памяти устройства, может быть передан на внешнее устройство или скопирован на флэш накопитель (на модуле имеется разъем USB).

Работа модуля предполагает помощь в решении следующих задач:

- сравнение с наработкой на аналогичных режимах и выявление элементов, у которых приближается отказ (позволяет сравнивать БД по типовой конструкции как штатные, так и удаленные, обновляемые с определенной периодичностью);
- своевременная оценка текущего состояния автомобиля по его параметрам;

- определение критических состояний по значениям параметров и предупреждение аварийных отказов;
- прогнозирование технического состояния, остаточного ресурса;
- прогнозирование интервалов ТО и ТР и планирование работ по ТО и ТР;
- прогнозирование складского запаса и номенклатуры предварительного заказа.

Данное устройство разработано и изготовлено для данного диссертационного исследования под конкретные требования с большими функциональными возможностями, а также имеет низкую себестоимость изготовления, около 5500 руб.

В качестве альтернативы, при отсутствии возможности изготовить предприятию свое собственное устройство, возможно использовать более дорогое (более чем в 2,5 раза дороже разработанного устройства) и менее функциональное устройство - GPS/ГЛОНАСС терминал для мониторинга автотранспорта, представленный на рисунке 4.17.



Рисунок 4.17 – Устройство считывания и запоминания данных CAN-шины автомобиля GALILEOSKY 7.0

Данный модуль имеет возможность подключения через штатный диагностический разъем автомобиля к шине данных CAN, а также есть возможность подключения непосредственно в проводку автомобиля. Модуль позволяет осуществлять сбор и хранение данных о диагностических параметрах систем автомобиля, а также вести передачу данных на сервер посредством GSM модуля связи.

Обработка данных возможна при копировании данных с сервера и дальнейшей их обработками алгоритмами в соответствии с решаемой задачей. Сам по себе блок не имеет возможности обрабатывать поступающую в него информацию, группировать ее, и вести обработку по требуемым алгоритмам. Стоимость представленного устройства около 15 000 руб., установка около 3000 руб., не считая абонентской платы за Сим-карту.

4.3.3 Методы обеспечения непрерывности мониторинга эксплуатационной надежности

Реализация мониторинга основывается на снятии необходимого множества параметров с ГА, достаточного для функционирования системы прогнозирования воздействий и определения остаточного ресурса до очередных воздействий в расчетном периоде и хранении их на бортовом компьютере. Для функционирования самой системы необходима передача информации с бортового устройства в БД ТК, БД ТКА (агрегатов) и обработка на сервере с использованием ПО. Обработанная информация возвращается по назначению (по требованию) субъектам управления в виде вариационного ряда воздействий и остаточного ресурса до каждого из них. Кроме того, передается и характеристика планируемых воздействий.

Обоснование непрерывности процесса мониторинга ЭН базируется на главном аргументе, связанном с последствиями невыполнения этого требования. Прекращение мониторинга бортовой системой влечет за собой сокращение целого ряда эксплуатационных режимов и продолжительности работы на них, а значит, прогнозируемые воздействия и остаточные ресурсы

до них могут иметь существенные отклонения различной величины. Следовательно, прогнозируемые значения коэффициента технической готовности конкретного ГА и парка в целом могут иметь отклонения. При установке системы мониторинга на грузовые автомобили, находящиеся в эксплуатации и имеющие определенную наработку необходимо это учитывать и группировать в отдельную БД.

Наиболее целесообразно осуществлять считывание информации с бортового источника ежедневно при возвращении транспортного средства в парк (или при возвращении из рейса). Данная информация необходима для реализации функции прогнозирования, поэтому ежедневного учета достаточно для управления ЭН ТС.

Вторая составляющая часть информационного потока направлена на поддержание активности баз данных ТК и ТКА.

Функция мониторинга показателей ЭН транспортного средства и парка в целом определяется временными параметрами представления информации в БД ЭН ТС и возможностью выполнения прогноза. Текущее значение показателей ЭН и показатели за прошедшие периоды являются статическими величинами и могут быть получены субъектами управления в любое время. Прогнозируемые значения показателей ЭН рассчитываются по регламенту ежедневно и меняются в зависимости от наработки за прошедшие сутки.

В базе данных ЭН хранятся:

- текущее значение показателей эксплуатационной надежности;
- прогнозируемые значения на период, представляемые в виде зависимости или отдельных значений на конкретную дату;
- генезис показателей эксплуатационной надежности.

При анализе показателей ЭН выполняется анализ потребности воздействий с целью управления значениями показателей ЭН.

4.3.4 Состав и структура системы мониторинга эксплуатационной надежности

В состав системы мониторинга ЭН входят:

- объект мониторинга – грузовой автомобиль;
- бортовой компьютер;
- бортовая система хранения данных;
- набор штатных датчиков;
- система бортовой диагностики;
- персонал эксплуатирующей организации;
- эксплуатирующая организация;
- функциональная подсистема;
- информационная подсистема;
- коммуникационная подсистема;
- организационная подсистема;
- аналитический блок;
- нормативно-правовые документы, определяющие порядок

взаимодействия участников процесса и доступ к получаемым данным как первичным, так и полученным по результатам обработки.

Основные средства системы мониторинга ЭН ГА можно разделить:

- на технические средства (физические средства, аппаратные средства коммуникационной и информационной подсистем, датчики и т. д.);
- средства управления процессами (стратегии и алгоритмы управления процессами мониторинга, данными, информацией, программные средства коммуникационной и информационной подсистем и т. д.);
- средства организационной поддержки (организационная структура, управление процессом эксплуатации ГА и интеграция в этот процесс системы мониторинга, решающие полномочия, зона ответственности отдельных субъектов управления в части мониторинга ЭН, национальные стандарты и другие нормативно-правовые акты).

При мониторинге эксплуатационной надежности парка объектом мониторинга являются как конкретные ГА, так и сам парк предприятия [155].

Бортовой компьютер обеспечивает сбор сигналов с датчиков систем, агрегатов, устройств механизмов и т.д., преобразование этих сигналов в информацию, ее проверку, фильтрацию и последующую запись в бортовое постоянное запоминающее (система хранения данных) устройство.

Бортовая система хранения данных предназначена для хранения структурированной информации, получаемой после преобразования сигналов с бортовых датчиков.

Датчики обеспечивают преобразование измеряемой физической величины в электрический сигнал (или параметр электрической цепи, если датчики пассивного типа). Измеряемая физическая величина может иметь непрерывное или дискретное, аналоговое или цифровое значение.

В системе мониторинга ЭН ГА бортовые (встроенные) средства диагностирования предназначены для определения остаточного ресурса агрегатов устройств, механизмов, систем, элементов. Кроме того, перед БСД стоят задачи обеспечения контролепригодности машин, повышения их надежности и готовности к применению. Бортовая система диагностирования включает:

- бортовые контрольно-измерительные приборы;
- бортовую систему контроля, систему встроенных датчиков и контрольных точек.

Бортовые средства диагностирования должны обеспечивать возможность дистанционного контроля параметров в режиме мониторинга, характеризующих техническое состояние и надежность функционирования составных частей ГА, защиту основных агрегатов и узлов от разрушения при нарушении режимов эксплуатации. В состав БСД должны входить также периферийные микропроцессоры и центральный процессор, обеспечивающие по специальным программам контроль работоспособности и поиск места отказа с точностью до заменяемой сборочной единицы, и устройства сопряжения с внешними системами технического диагностирования.

Функциональная подсистема определяет отдельные функции элементов, модулей системы мониторинга, включая связи между ними, в результате чего она дает возможность развития и внедрения новых функций. Она определяет

отдельные компоненты мониторинга ЭН и его основные функции.

Информационная подсистема определяет основные принципы формирования структуры соответствующих информационных полей, включая требования к размещению, кодированию и передаче информации. Составной частью в информационную подсистему входит аналитический блок (рисунок 4.18), который состоит, в частности, из модуля, очистки и фильтрации первичной информации, модуля агрегирования эксплуатационных режимов и условий эксплуатации, модуля обработки сигналов и информации системы бортовой диагностики, модуля учета, анализа и прогнозирования воздействий, модуля расчета, анализа и прогнозирования УЭН. В целом в аналитический блок также входят базы и хранилища данных, программное обеспечение, достаточное для выполнения задач мониторинга ЭН ГА (рисунок 4.18).

Составной частью информационной подсистемы является точное описание информационных процессов на всех уровнях мониторинга, включая требования к входной и выходной информации. Информационная подсистема располагает отдельными функциями и макрофункциями в слоях системы мониторинга. Последнее означает, что на каждом уровне могут протекать частные процессы движения информации для получения достоверных сведений о ЭН конкретных ГА и парка в целом. Информационная подсистема обеспечивает обработку первичной информации, ее структурирование, хранение на всех уровнях от бортового хранилища до базы данных типовой конструкции.

Коммуникационная подсистема описывает передачу информации в рамках системы мониторинга ЭН. Коммуникационная среда между бортовыми датчиками и бортовым компьютером на 1-м уровне (рисунок 4.19) предъявляет самые жесткие требования к защите, надежности, достоверности и доступности передачи информации. Одновременно данная среда должна отвечать и другим специальным требованиям, которые присущи ГА.

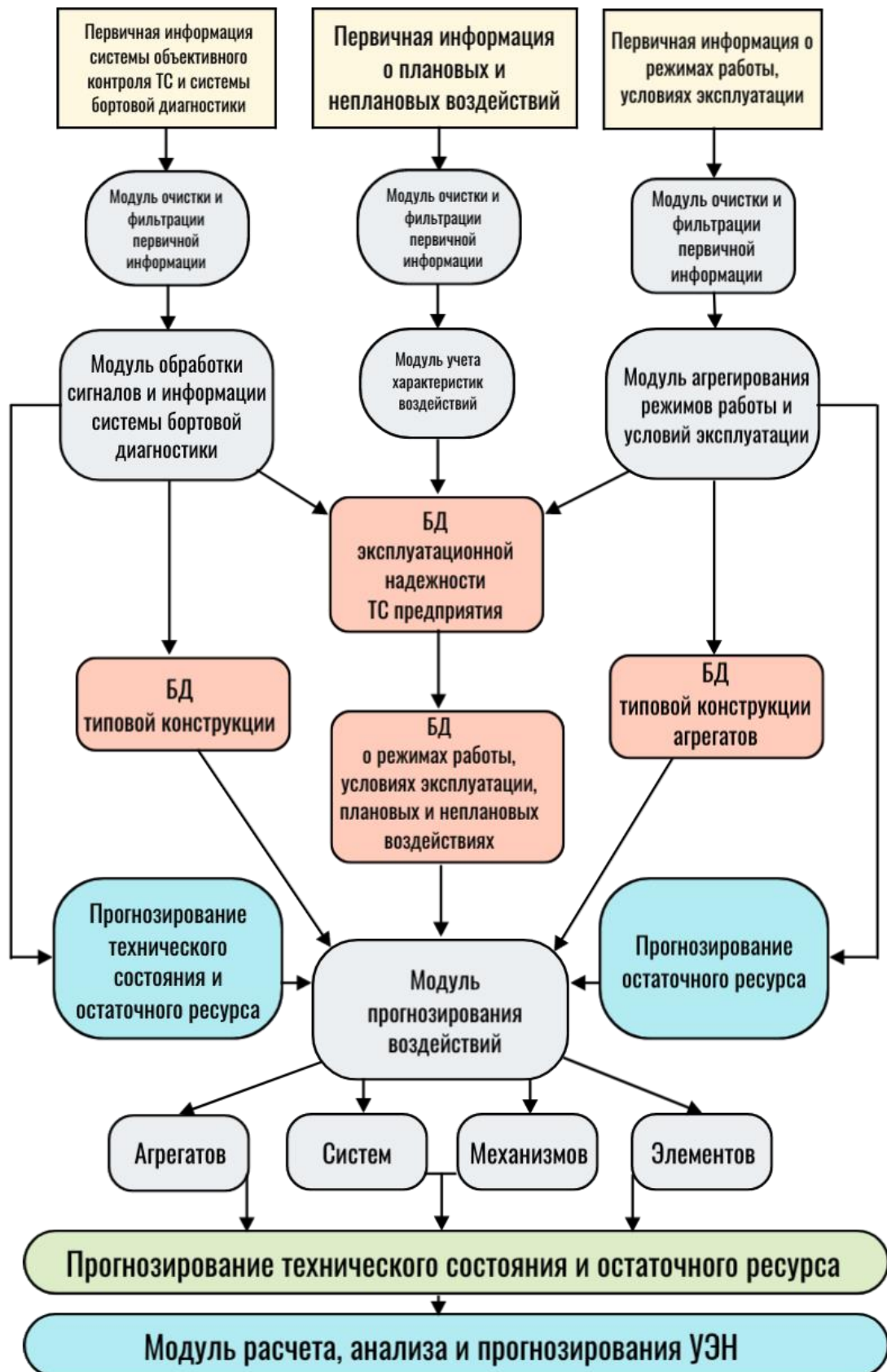


Рисунок 4.18 – Структура аналитического блока

На этом коммуникационном уровне передается наибольшее количество данных. На следующем, втором уровне (бортовой компьютер – БД предприятия) в парке предприятия может использоваться технология Bluetooth. На этапе эксплуатации могут применяться открытые каналы связи. Организационная подсистема устанавливает принципы создания структуры и присвоение функций отдельным компонентам и субъектам системы управления и мониторинга ЭН ГА (или уровням управления). Она обеспечивает взаимосвязь субъектов, их подчиненность, функционирование всей системы и принятие решений. Ее структура должна обеспечивать развитие системы мониторинга и получение достоверной информации для принятия решений.

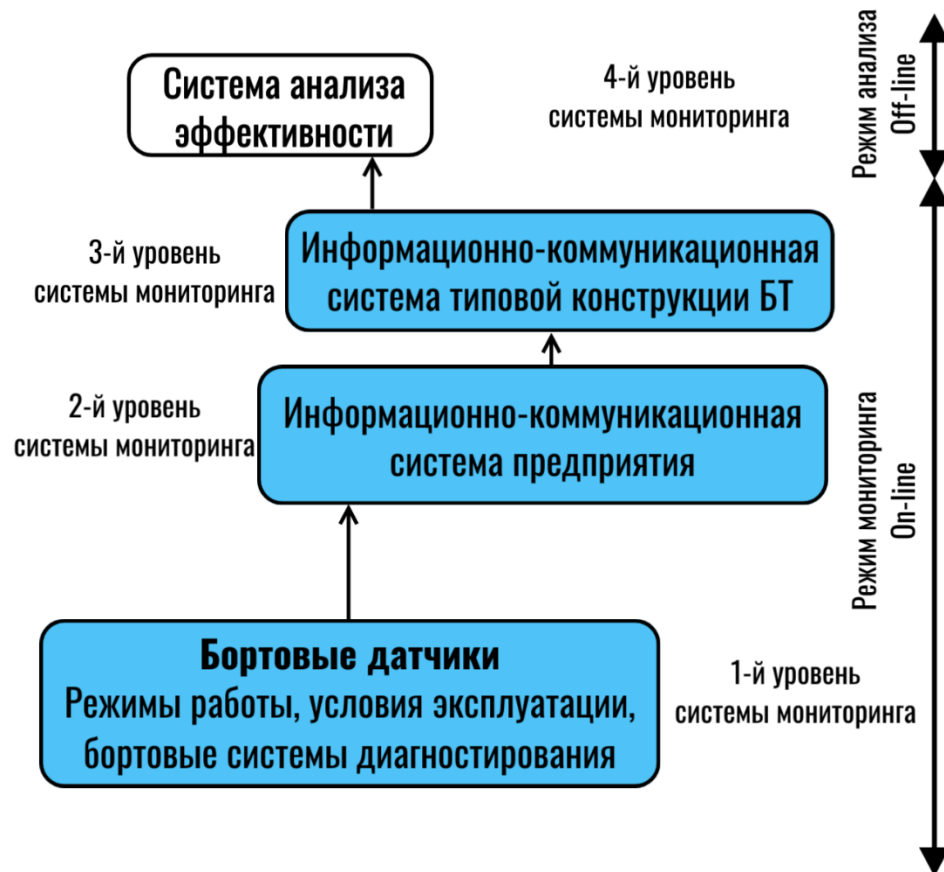


Рисунок 4.19 –Уровни взаимодействия при мониторинге УЭН ТС

Под мониторингом эксплуатационной надежности ГА понимается непрерывный учет и контроль показателей ЭН ТС на протяжении всей стадии эксплуатации. Фиксация факта неработоспособного состояния ГА происходит

на предприятии и в информационной системе. Все время от этого момента до времени перехода в работоспособное состояние относится к времени восстановления работоспособного состояния ГА. Время восстановления условно делится на подготовительно-заключительное, транспортировочное, организационное, время естественных процессов и т. д. При расчете коэффициента готовности образца ГА принимается общее время восстановления. При расчете ЭН ТС в этот период времени ГА относится к неработоспособным ГА.

В процессе эксплуатации информационная система мониторинга эксплуатационных режимов, условий эксплуатации и БСД при отсутствии факта фиксации неработоспособного состояния через интервалы времени Δt_n увеличивает на эту величину показатель наработки между отказами базы данных ЭН ГА по конкретному ГА.

При этом происходит перерасчет средней наработки на отказ и, соответственно, коэффициента готовности ГА.

При наступлении факта (события) неработоспособного состояния, зафиксированного установленным образом эксплуатирующей организацией, информация о эксплуатационных режимах, условиях эксплуатации и показания БСД с момента ввода в эксплуатацию передается с конкретного ГА в базу данных ГА предприятия, БД типовой конструкции и БД типовой конструкции агрегатов.

После получения уведомления, о факте неработоспособного состояния грузового автомобиля начинается подготовительный этап для реализации процесса воздействия, направленного на восстановление работоспособного состояния. После завершения процесса восстановления фиксируется факт восстановления как в журнале учета работоспособного состояния, так и в информационной системе. При этом указывается время восстановления Δt_v , трудоемкость воздействия (или воздействий, если их несколько), запасные части и материалы, использованные в ходе воздействия, оборудование и инструменты, ориентировочная стоимость воздействия. Эта информация

также фиксируется в БД ГА предприятия, БД ТК, БД ТКА.

Кроме того, фиксация факта перехода в работоспособное состояние через времена $\Delta t_{\text{в}}$ определяет увеличение времени восстановления ГА на эту величину и перерасчет среднего времени восстановления базы данных ЭН типовой конструкции ГА. При этом происходит перерасчет коэффициента готовности ГА, характеризующего эксплуатационную надежность, на текущую дату, а также формирование БД ТК по периодам: с начала эксплуатации, за последний год, месяц, неделю, день.

В случае если восстановление работоспособного состояния невозможно, экономически нецелесообразно или другие критерии перехода в другую стадию достигли своего предельного значения, завершается стадия «Эксплуатация» и формируется отчет о ЭН конкретном ГА по установленным показателям за весь срок службы.

4.4 Выводы по главе 4

1. Определено, что ряд факторов имеют наибольшие значения, но при этом оказывают минимальное влияние на систему. Так, например, фактор k_1 имеет значение $r_1=1,0$, а значение влияния фактора на систему составляет $k_1=0,047$, для фактора k_{21} $r_{21}=1,0$, а $k_{21}=0,005$. Установлено, что максимальное значение на систему оказывают факторы k_2 ($k_2=0,173$), k_8 ($k_8=0,131$), k_9 ($k_9=0,113$), при этом значения самих факторов, соответственно, $r_2=0,5$, $r_8=0,75$, $r_9=0,8$.

2. Разработан алгоритм управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, который отличается от существующих тем, что его основу составляет построение вариационного ряда последовательности воздействий на элементы системы с учетом количества имеющихся ресурсов, а распределение на каждом шаге минимального неделимого количества ресурсов на элемент системы дает максимальный прирост уровня качества эксплуатационной надежности при фиксированном значении имеющихся

ресурсов. Практическая значимость разработанного алгоритма заключается в повышении качества управления эксплуатационной надежностью за счет эффективного использования имеющихся или выделенных ресурсов для достижения заданного уровня эксплуатационной надежности.

3. Обосновано применение метода идеальной точки для определения последовательности воздействий на факторы. При этом изменения факторов в большинстве случаев носит дискретный характер, это связано с ограничениями ресурсов и особенностями самих факторов. Поэтому, как незначительное превышение очередного фактора над стоящими ниже в вариационном ряду, так и доведение его до единицы является не целесообразным. После определенного повышения значения фактора, точка на плоскости, характеризующая этот фактор, исчезает из множества точек, оптимальных по Парето.

При применении метода контрольных показателей необходимо перейти к обратной величине критерия – коэффициента влияния $\bar{k}_j = \frac{1}{k_j}$. Связано это с тем, что один критерий подлежит максимизации, а другой минимизации. То есть контрольный показатель критерия $k = 0$, а $r = 1$. Такой переход обеспечит значение контрольных показателей $\bar{k} = 1$; $r = 1$.

4. Разработана модель реструктуризации воздействий при распределении ресурсов, определяющая рациональный объем воздействий и перечень факторов при ограниченных ресурсах для наибольшего повышения уровня ЭН ТС. Определено, что при вложении затрат, равных величине C , уровень увеличивается со значения 0,763 до значения 0,813. При этом $\Delta W = 0,1867$. Для того, чтобы превысить уровень 0,95 необходимо увеличить величину C более чем в 20 раз. При этом значение $\Delta W = 0,6$. Однако стремление уровня эксплуатационной надежности к значению близкому 1 является экономически не оправданным.

5. Дано обоснование разработанной концептуальной модели управления эксплуатационной надежностью парка грузовых автомобилей.

Модель построена на адаптивных принципах учета наработки на эксплуатационных режимах и основывается на создании информационной системы прогнозирования воздействий. Прогнозирование планируемых и непланируемых воздействий является доступным и открытым всем субъектам управления. Внедрение системы позволит не констатировать факт достижения конкретного значения показателя эксплуатационной надежности, а эффективно управлять ею, снижая затраты на неплановые воздействия. Практическая реализация модели на предприятии очевидна и доступна, так как не требует дополнительных затрат на оснащение ГА дополнительными датчиками и приборами, при этом необходим модуль сбора, хранения и передачи информации.

6. Определено, что наличие нескольких информационных потоков позволяет выполнить информационное резервирование прогнозирования воздействия по мажоритарному принципу, что наиболее ценно при принятии решения. Прогнозирование воздействия позволяет осуществить временное резервирование процесса восстановления, благодаря чему время восстановления может быть сокращено, а эксплуатационная надежность останется на максимально высоком уровне. Обеспечение ежедневного считывания с каждого ГА бортовой информации, является достаточным для прогнозирования воздействий и поддержания активности баз данных ЭН. Позволяет вести учет по факту и фиксацию в системе неработоспособного состояния с последующим внесением дополнений о характеристиках воздействия и перехода ТС в работоспособное состояние. Учет по факту означает, что момент перехода в неработоспособное состояние и обратно учитывается с точностью до минуты.

5 МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ

5.1 Методика прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей

Математической базой определения коэффициентов влияния могут быть системы линейных алгебраических уравнений, теория множественной регрессии, теория математического линейного программирования (симплекс-метод), применение нейросетей.

Решение задачи прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей связано с нахождением уравнений регрессии, связывающих изменение целевых функций в зависимости от значений факторов. Отличительной особенностью метода является то, в качестве факторов берутся только те, которые определяют эксплуатационный режим агрегата. В частности, для основного агрегата – двигателя внутреннего сгорания, такими факторами являются:

- частота вращения коленчатого вала n , об/мин;
- температура охлаждающей жидкости T , °C;
- нагрузка двигателя (измеряемым параметром может быть также крутящий момент, положение рейки топливного насоса высокого давления для дизеля) N , кВт;
- температура окружающей среды T_o , °C.

В качестве целевых функций принимаются те структурные параметры, которые определяют надежность агрегата.

Решение задачи прогнозирования состояния моторного масла на основе эксплуатационных режимов возможно с использованием симплекс-метода. Это актуально для случаев, когда наработка на отдельных режимах незначительна или равна нулю, что влечет за собой избыток переменных по отношению к количеству уравнений [56].

Применение данного принципа формирования эксплуатационных режимов связано с противоречием: с одной стороны, желательно делить каждый из факторов на как можно большее число интервалов, с другой – это увеличивает количество эксплуатационных режимов, что затрудняет и делает невозможным поиск решения обычными методами. Так, при четырех факторах, каждый из которых разделен на три диапазона имеем $3^4 = 81$ режим, а следовательно, 81 уравнение, составление и поиск решений которых крайне затруднителен.

Поиск альтернативных методов прогнозирования на основе эксплуатационных режимов привел к необходимости анализа возможности решения этой задачи с использованием теории планирования эксперимента [5].

Процедура нахождения уравнения регрессии связана с построением плана эксперимента в соответствии с математической теорией планирования эксперимента, а следовательно, к факторам предъявляются требования независимости, управляемости и их сочетаемости для реализации всех необходимых опытов в процессе проведения испытаний.

Преимуществом такого подхода является возможность нахождения всех целевых функций, удовлетворяющих условию измеримости, в зависимости от параметров эксплуатационного режима.

Ниже рассмотрено решение первой задачи прогнозирования, в которой целевые функции измеряемы, а факторы удовлетворяют требованиям независимости, управляемости и сочетаемости.

В качестве объекта исследования выбран дизельный двигатель КамАЗ – 740.60 со следующими техническими характеристиками, применительно к исследованию:

- номинальная частота вращения коленчатого вала – 1800 об/мин;
- частота вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте – 1300 об/мин;
- рабочая температура охлаждающей жидкости – от 87 до 105 °С;
- номинальная мощность двигателя – 360 л.с.

Для проведения ресурсных испытаний в качестве метода исследований принята математическая теория планирования эксперимента и определены уровни и интервалы варьирования факторов (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни и интервалы	Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}$, °C	Нагрузка двигателя N , кВт	Температура окружающей среды T_o , °C
Основной уровень	1300	87	180	0
Интервал варьирования	500	15	90	20
Верхний уровень	1800	102	270	20
Нижний уровень	800	72	90	-20

При практическом формировании плана проведения эксперимента необходимо учитывать номинальные значения для конкретной модификации двигателя. Для частоты вращения коленчатого вала в качестве верхнего уровня целесообразно принять величину $n_v = 0,9 \cdot n_{ном}$, в качестве нижнего – с учетом минимально допустимой рабочей частоты вращения коленчатого вала $n_n = 1,1 \cdot n_{p.min}$. В противном случае обеспечить сочетаемость факторов и устойчивую работу двигателя при проведении эксперимента невозможно. Если в процессе проведения эксперимента и эти значения уровней окажутся невыполнимыми, то диапазон загружается еще.

Температура охлаждающей жидкости на верхнем уровне должна быть на 4–5 % ниже максимальной температуры, т. е. $T_{ож_v} = 0,96 \cdot T_{ож_max}$, а на нижнем должна быть ниже рекомендуемой нижней границы на 4–5 %, т. е. $T_{ож_n} = 0,95 \cdot T_{ож_min}$.

Нагрузку двигателя, как указано выше, можно измерить по ряду параметров, в том числе мощности, крутящему моменту, положению рейки ТНВД, по величине цикловой подачи для систем Common Rail. В любом случае для реализации сочетаний целесообразно использовать ряд: 0,25; 0,5; 0,75 от номинальной величины. Эти границы приняты из условий того, что

основное время функционирования двигателя происходит на 40 % его мощности.

Температуру окружающей среды целесообразно установить на нижнем уровне до нижнего предела работы электрофакельного устройства (минус 20°С), а за основной уровень принять значение 0 °С.

Таким образом, данную информацию можно в общем виде представить в виде таблицы 5.2.

Таблица 5.2 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни и интервалы	Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}$, °С	Нагрузка двигателя N , кВт	Температура окружающей среды T_o , °С
Основной уровень	$n_o = \frac{0,9 \cdot n_{ном} + 1,1 \cdot n_{p.min}}{2}$	$\frac{0,95 \cdot (T_{ож.min} + T_{ож.max})}{2}$	$0,5 \cdot N_{ном}$	0
Интервал варьирования	$n_n = \frac{0,9 \cdot n_{ном} - 1,1 \cdot n_{p.min}}{2}$	$\frac{0,95 \cdot (T_{ож.max} - T_{ож.min})}{2}$	$0,25 \cdot N_{ном}$	20
Верхний уровень	$n_g = 0,9 \cdot n_{ном}$	$T_{ож.g} = 0,96 \cdot T_{ож.max}$	$0,75 \cdot N_{ном}$	+20° С
Нижний уровень	$n_n = 1,1 \cdot n_{p.min}$	$T_{ож.n} = 0,95 \cdot T_{ож.min}$	$0,25 \cdot N_{ном}$	-20° С

Основным преимуществом данного подхода к прогнозированию является то, что возможно за одну серию испытаний провести измерение требуемого множества целевых функций (структурных параметров) и, впоследствии, после обработки получить функции отклика. Это обеспечивается самим принципом данного вида прогнозирования: изменения структурных параметров связаны с эксплуатационными режимами.

На данном этапе исследования сделано допущение о том, что разброс начальных значений структурных параметров, обеспечиваемый производством, не является столь значимым как эксплуатационные режимы. В таблице 5.3 приведены примеры целевых функций. Перед началом испытаний все начальные значения целевых функций (структурных параметров) должны быть измерены.

Таблица 5.3 – Примеры целевых функций

Технические воздействия / контроль (оцениваемые группы свойств)	Целевая функция
Качество масла двигателя	Измеряется характерный показатель (показатели), диэлектрическая проницаемость, обводненность и др.
Уровень масла в системе смазки	Уровень масла в системе
Загрязнённость фильтров грубой и тонкой очистки топлива	Показатель загрязнённости (от 0 до 1). Оценивается по перепаду давления
Центробежный масляный фильтр	Показатель загрязнённости (от 0 до 1)
Качество охлаждающей жидкости	Измеряется характерный показатель качества (показатели)
Уровень охлаждающей жидкости в системе охлаждения	Уровень охлаждающей жидкости в системе охлаждения
Масло турбокомпрессора, если система смазки независима от системы смазки двигателя	Измеряется характерный показатель (показатели)
Загрязнённость фильтра воздухоочистителя (с его элементами)	Загрязнённость фильтра воздухоочистителя (с его элементами) (от 0 до 1). Оценивается по перепаду давления
Приводные ремни агрегатов (при наличии)	Две целевые функции: измеряемая – прогиб наибольшей ветви ремня, не измеряемая (частично измеряемая) – наличие трещин, надрывов, надрезов, износ ручейков и др.
Момент затяжки крепежных элементов	Текущий момент затяжки (от 0 до 1). 0 – крепежный элемент не выполняет своей функции или его нет; 1 – момент затяжки соответствует НТД
Зазоры между клапанами и коромыслами	Изменение зазора к номинальному значению
Изменение геометрии цилиндров	Изменение геометрии цилиндров выполняется безразборными методами
Топливная аппаратура	Для топливной аппаратуры разделенного типа: максимальное давление топлива при $n = n_{ном}$; цикловая подача при $n = n_{ном}$; неравномерность подачи по цилиндрам
Другие	

Методы нахождения целевых функций при критических значениях эксплуатационных режимов, когда один или несколько факторов выходят за границы номинальных значений, является отдельной задачей, без решения которой невозможно качественное прогнозирование изменения структурных параметров.

Следует отметить, что для других агрегатов, например, раздаточных коробок, коробок переключения передач, главных передач, редукторов и пр. эксплуатационные режимы также определяются аналогичными факторами: частота вращения первичного вала, об/мин; температура масла, °С; нагрузка (измеряемый параметр – крутящий момент), температура окружающей среды, °С.

На первом этапе необходимо ограничиться линейной моделью и определить уравнения моделей в зависимости от четырех факторов. Учитывая, что при четырех факторах должно быть 16 опытов, составляется матрица планирования, которая содержит по графам факторы и целевую функцию, а по строкам – порядковые номера опытов.

В общем виде регрессионная модель представляется в виде полинома

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (5.1)$$

где b_0, b_i – оценки теоретических коэффициентов уравнения регрессии;

Y – целевая функция;

x_i – факторы: частота вращения коленчатого вала, нагрузка, температура охлаждающей жидкости и окружающей среды.

Коэффициенты полинома первой степени, не учитывающего взаимовлияния факторов, показывают степень влияния фактора на целевую функцию, что является существенным преимуществом линейных моделей.

Описывать всю процедуру проведения эксперимента не имеет смысла. Она достаточно хорошо представлена в литературе и разработана теоретически. Однако следует обратить внимание на два вопроса. Первый – это длительность испытаний при проведении одного опыта, второй – количество повторных наблюдений.

Длительность испытаний при проведении каждого опыта должна быть одинаковой и обеспечивать измеримость отклонения всех целевых функций от своего первоначального значения. В настоящее время ресурс для транспортных машин устанавливается в километрах пробега, однако, установленного нормативного коэффициента пересчета в моточасы нет, поэтому норму пробега до капитального ремонта необходимо разделить на 16

опытов и разделить на среднюю скорость движения. Её при испытаниях можно принять на уровне 30–35 км/ч. Так при ресурсе до капитального ремонта 400 000 км и принятой средней скорости движения 30 км/ч объем одного опыта составит около 830 ч. Это соответствует 25 000 км пробега. Если измеримость целевых функций обеспечивается и при меньших ресурсах, то объем одного испытания можно уменьшить. Последовательность проведения опытов должна быть распределена случайным образом.

В связи с тем, что испытания являются ресурсными и проводятся в соответствии с построенным планом, изменение целевой функции, отнесенное к объему испытаний на заданном режиме, дает скорость изменения структурного параметра в единицу времени.

Таким образом, зная скорость изменения структурного параметра во времени и измеряя в процессе эксплуатации через равные промежутки времени значения факторов, определяющих эксплуатационный режим и влияющих на целевую функцию, получено изменение структурного параметра (целевой функции) за этот период. Накопление изменений k -й целевой функции показывает изменение структурного параметра.

Количество повторных наблюдений предполагает проведение эксперимента с несколькими двигателями. Это является важным моментом с точки зрения первоначальных затрат.

Количество параллельных опытов, необходимых для того, чтобы действительное среднее целевых функций находилось в интервале $y \pm d$ с вероятностью γ :

$$N_0 = t_\gamma^2 \cdot \frac{s_y}{\delta^2}, \quad (5.2)$$

где t_γ – аргумент нормированной функции Лапласа $\Phi_0(t)$,

при $\gamma = 0,95$, $t_\gamma = 1,96$;

δ – доверительный интервал величины математического ожидания измеряемого структурного параметра: $\delta = t_{(\gamma, \tau)} \cdot \sqrt{\frac{s_k}{N}}$, где $t_{(\gamma, \tau)}$ – квантиль распределения Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности γ и числа

степеней свободы $\tau = N - 1$ при $\gamma = 0,95$ ($\alpha=0,05$), $\tau = N - 1 = 1$ значение $t(\gamma, \tau) = 12,7$;

S_y – дисперсия реализации.

В связи с тем, что дисперсия к началу эксперимента неизвестна, значение N_0 на первом этапе принимается равным двум. Значение выборочной дисперсии вычисляется с помощью выражения $S_k = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2$. По формуле $\delta = t_{(\gamma, \tau)} \cdot \sqrt{\frac{S_k}{N}}$ определяется доверительный интервал и, приравняв $S_y = S_k$, полученное значение подставляется в формулу (5.2). Если полученное значение оказалось более 2, то увеличивается количество параллельных опытов.

В связи с тем, что дисперсия к началу эксперимента неизвестна на первом этапе принимается количество параллельных опытов равное двум с дальнейшим их уточнением.

5.2 Методика прогнозирования изменений структурных параметров, вызывающих отказ агрегата, системы или элемента автомобиля на основе эксплуатационных режимов

С момента внедрения на государственном уровне планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) транспортных средств учеными не прекращаются исследования по поиску более совершенной системы, направленной на повышение эксплуатационной надежности. Анализ существующих стратегий технического обслуживания и ремонта транспортных средств, в том числе планово-предупредительной системы обслуживания, проводится авторами в основном с использованием методов технической диагностики.

Большинство моделей прогнозирования построено на основе либо вероятно-статистической парадигмы, либо на основе связи диагностических параметров с изменениями структурных. При этом любая вероятностно-

статистическая парадигма не учитывает работу конкретного автомобиля. Современные тенденции в эксплуатации автомобильного транспорта в основном базируются на отличающихся от вероятностно-статистических парадигм, это связано с тем, что данные методы не позволяют прогнозировать с заданной точностью остаточный ресурс и техническое состояние именно конкретного ТС, что особенно актуально, если предприятие занимается разнородной деятельностью и имеет различный парк ТС, выполняющих разные задачи в неодинаковых условиях. Поэтому для комплексного решения задач предлагается диагностическая модель изменения технического состояния типового элемента сложной системы, построенная с использованием математического аппарата теории множеств.

На стадии эксплуатации изменение технического состояния транспортных средств в большей степени зависит от условий эксплуатации и квалификации водителя. Поэтому поиск адаптивных методов ТО и Р, формирующих систему ТО и Р является актуальным.

Как в первой, так и во второй задачах прогнозирования, целевые функции представляют собой известный измеряемый структурный параметр, который предопределяет техническое состояние детали, системы или агрегата.

Идея базируется на определении значений изменения структурного параметра, характеризующего остаточный ресурс агрегата, в зависимости от эксплуатационных режимов и продолжительности эксплуатации на них. Каждый режим характеризуется отдельной независимой переменной, измеряемой в часах наработки. Эта переменная может включать в себя множество факторов, влияющих на изменение структурного параметра. Для каждого агрегата, системы, элемента формируется свой ограниченный набор факторов, характеризующий эксплуатационный режим, а также свой перечень структурных параметров (целевых функций), определяющий остаточный ресурс и надежность в целом.

Информация поступает от штатных бортовых датчиков, в том числе с использованием системы бортовой диагностики. Основной и самой

трудоемкой задачей является задача определения влияния каждого эксплуатационного режима на расход ресурса.

Особенностью решения второй задачи прогнозирования является то, что в перечне факторов, определяющих режимы эксплуатации какого-либо агрегата или системы, имеются как независимые и управляемые факторы, так и зависимые и неуправляемые, а их сочетания могут быть реализованы не в полной мере, однако, целевая функция, характеризующая отказ, – известна и измеряема на протяжении всего эксперимента или в течение практической эксплуатации. Практически, автомобиль эксплуатируется, при этом фиксируются значения всех возможных целевых функций, характеризующих отказы. Примеры целевых функций представлены в таблице 5.4.

Эта группа целевых функций постоянно пополняется значениями новых структурных параметров, определяемых при проведении различных воздействий, связанных с разборкой агрегата для его обслуживания или ремонта. В обязательном порядке фиксируется наработка на эксплуатационных режимах на текущий момент времени.

Для получения исходных материалов для анализа проведены экспериментальные исследования диэлектрической проницаемости моторного масла дизельного двигателя КАМАЗ 740.60 в течение наработки равной 315 ч. Продолжительность опыта сильно зависит от типа транспортного средства и условий эксплуатации, поэтому выбор продолжительности одного испытания устанавливается исходя из условия измеримости изменения структурного параметра за эту наработку.

В результате проведения эксперимента получена 21 реализация опыта. То есть через промежутки времени, равные 15 ч. работы дизеля измерена диэлектрическая проницаемость моторного масла с общей наработкой 315 ч. При каждом из замеров считывалось время работы дизеля на каждом эксплуатационном режиме. Следует отметить, что для целого ряда машин это обеспечивается возможностями бортовых средств диагностики (БСД) с небольшими доработками.

Таблица 5.4 – Примеры целевых функций при решении второй задачи прогнозирования

Технические воздействия / контроль (оцениваемые группы свойств)	Целевая функция (структурный параметр)
Качество масла двигателя	Измеряется характерный показатель (показатели), диэлектрическая проницаемость, обводненность и др.
Масло насоса рулевого гидроусилителя	Характерный показатель (показатели): диэлектрическая проницаемость, обводненность и др.
Уровень масла в бачке насоса рулевого гидроусилителя	Уровень масла в бачке насоса рулевого гидроусилителя
Загрязнённость фильтра насоса рулевого гидроусилителя	Показатель загрязнённости (от 0 до 1)
Контроль крепления коробки передач и её внешних деталей	Текущая затяжка от 0 до 1. 0 – крепежный элемент не выполняет своей функции или его нет; 1 – момент затяжки соответствует НТД
Контроль крепления картера редуктора, фланцев полуосей и крышек колёсных передач	Текущая затяжка от 0 до 1. 0 – крепежный элемент не выполняет своей функции или его нет; 1 – момент затяжки соответствует НТД
Контроль уровня жидкости в бачке главного цилиндра сцепления (при наличии)	Уровень жидкости в бачке главного цилиндра сцепления (при наличии)
Контроль зазора в шарнирах карданных валов	Зазор в шарнирах карданных валов, град
Контроль крепления фланцев карданных валов	Текущая затяжка от 0 до 1. 0 – крепежный элемент не выполняет своей функции или его нет; 1 – момент затяжки соответствует НТД
Контроль зазора в шарнирах рулевых тяг	Зазор в шарнирах рулевых тяг, мм
Контроль зазора в шарнирах карданного вала руля	Зазор в шарнирах карданного вала руля, град
Контроль свободного хода рулевого колеса	Свободный ход рулевого колеса, град
Контроль крепления генератора и состояние его контактных соединений	Текущая затяжка от 0 до 1. 0 – крепежный элемент не выполняет своей функции или его нет; 1 – момент затяжки соответствует НТД
	Другие структурные параметры, характеризующие остаточный ресурс агрегата
...	...
<i>При разборке агрегатов</i>	
Состояние цилиндропоршневой группы	Износ цилиндра, мм
	Износ поршня, мм
	Износ поршневого пальца, мм
	...
	Другие структурные параметры, характеризующие остаточный ресурс агрегата

При этом использовались следующие показатели: частота вращения коленчатого вала, температура охлаждающей жидкости и мощность (таблица 5.5). Каждый из показателей представлен тремя диапазонами. Таким образом, количество режимов получилось равным 27.

Таблица 5.5 – Интервалы диапазонов функциональных параметров, определяющих эксплуатационные режимы работы дизеля

Наименование параметра	Обозначение, единиц измерения	Интервал		
		№1	№2	№3
Температура моторного масла	$T_m, ^\circ\text{C}$	до 55	от 55 до 100	от 100 до 120
Частота вращения коленчатого вала	$n, \text{об/мин}$	до 1800	от 1800 до 2400	от 2400 до 2900
Мощность, развиваемая дизелем	$N, \text{кВт}$	до 250	от 250 до 320	от 320 до 330

Таким образом, установим соответствие режимов обозначениям:

$T1n1N1$: $T1$ – до 55°C , $n1$ – до 1800 об/мин, $N1$ – до 257 кВт;

$T1n1N2$: $T1$ – до 55°C , $n1$ – до 1800 об/мин, $N2$ – от 257 до 320 кВт;

$T1n1N3$: $T1$ – до 55°C , $n1$ – до 1800 об/мин, $N3$ – от 320 до 330 кВт;

...

$T3n2N1$: $T3$ – от 100 до 120°C , $n2$ – от 1800 до 2400 об/мин, $N1$ – до 257 кВт;

...

$T3n3N3$: $T3$ – от 100 до 120°C , $n3$ – от 2400 до 2900 об/мин, $N3$ – от 320 до 330 кВт.

Для решения этой задачи применена модель линейной множественной регрессии.

На этапе подготовки данных выполнена их очистка и нормировка. На этапе предобработки выполнен отбор признаков. При этом исключены из рассмотрения режимы, наработка на которых равна нулю или близка к этому значению. Таких эксплуатационных режимов набралось 11. При этом близкие к нулю режимы объединялись с соседними. Кроме того, в результате расчета парных коэффициентов корреляции, при значениях выше 0,7 независимые переменные не исключались, а объединялись с другими независимыми переменными, влияние которых на целевую функцию на данном этапе расчета

являлось более близким. Такой подход обусловлен физическим смыслом решаемой задачи: наработку на режиме нельзя исключать, так как в противном случае возможна ситуация снижения качества масла при нулевой наработке дизеля.

По своей физической природе независимые переменные, являющиеся наработкой на эксплуатационных режимах, независимы, поэтому их исключение методом объединения должно выполняться поочередно, с последующим анализом влияния на зависимую переменную. После нескольких итераций количество независимых переменных снижено до 12 (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Исходные данные после предварительной обработки

Y	T1n1n2+ T2n1N2	T1n1N2	T1n2N1	T1n2N2	T2n1N1+ T2n2N1	T2n1N2+ T2n2N2	T2n2N1	T3n1N1	T3n1N2	T3n1N3+ T3n2N2	T3n2N1	T3n3N1
ϵ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3,51209E-08	6,82E-02	4,32E-04	1,35E-04	2,78E-03	3,49E-02	7,16E-01	4,73E-02	3,51E-04	9,18E-02	3,72E-02	1,03E-03	1,08E-04
2,87215E-08	6,26E-02	1,07E-03	1,00E-02	4,99E-02	1,03E-02	6,54E-01	1,48E-01	3,20E-03	3,65E-02	2,16E-02	2,67E-03	1,23E-04
6,58026E-08	3,71E-01	6,81E-03	6,58E-04	4,35E-03	7,61E-03	5,57E-01	5,06E-03	2,86E-05	1,42E-02	3,30E-02	0,00E+00	0,00E+00
5,7132E-08	1,09E-01	1,17E-03	1,77E-03	1,04E-02	4,06E-02	6,76E-01	4,94E-02	1,52E-03	3,95E-02	6,99E-02	0,00E+00	0,00E+00
9,90852E-08	9,68E-02	1,38E-04	3,30E-03	3,56E-02	6,15E-03	4,68E-01	7,01E-03	5,32E-03	1,40E-01	2,28E-01	8,18E-03	1,22E-03
6,3012E-08	7,64E-02	4,90E-04	1,17E-04	1,24E-02	3,08E-03	6,30E-01	3,64E-03	2,85E-03	5,96E-02	2,02E-01	4,64E-03	4,32E-03
8,40507E-08	6,03E-02	1,40E-03	9,42E-04	3,56E-02	9,47E-03	5,59E-01	1,90E-02	6,37E-04	3,51E-02	2,72E-01	3,13E-03	3,46E-03
3,09511E-08	1,54E-01	9,29E-05	1,08E-03	1,39E-02	1,37E-02	6,18E-01	6,39E-02	8,36E-04	5,21E-02	7,41E-02	5,29E-03	3,19E-03
9,5511E-08	4,06E-02	5,84E-04	1,41E-03	5,52E-03	1,36E-02	3,08E-01	8,81E-03	2,25E-03	2,92E-01	3,21E-01	4,49E-03	1,82E-03
1,00489E-07	9,74E-02	1,35E-03	1,59E-03	1,66E-02	4,67E-02	6,24E-01	3,90E-02	2,67E-03	8,43E-02	8,22E-02	3,78E-03	0,00E+00
5,57342E-08	7,40E-02	5,57E-04	4,50E-04	2,84E-02	1,78E-03	6,86E-01	3,34E-03	1,93E-03	4,15E-02	1,54E-01	4,76E-03	2,74E-03
1,01574E-07	6,54E-02	0,00E+00	3,39E-05	1,52E-02	8,36E-03	3,72E-01	1,04E-02	5,82E-03	2,69E-01	2,39E-01	1,16E-02	2,40E-03
1,1708E-07	1,15E-01	5,17E-04	2,45E-03	2,15E-02	3,28E-02	4,97E-01	1,59E-02	4,11E-03	1,40E-01	1,61E-01	7,68E-03	1,28E-03
8,14976E-08	1,09E-01	8,63E-04	2,40E-05	6,71E-04	1,69E-02	2,84E-01	6,64E-03	0,00E+00	2,54E-01	3,27E-01	9,59E-05	1,68E-04
3,10347E-08	7,94E-02	5,90E-04	3,72E-04	1,33E-02	4,53E-03	7,07E-01	7,14E-03	2,58E-03	4,95E-02	1,30E-01	4,66E-03	2,48E-04
6,18596E-08	6,59E-02	4,57E-04	1,13E-03	2,68E-02	2,83E-02	6,23E-01	8,10E-02	1,21E-03	7,93E-02	8,70E-02	4,79E-03	1,05E-03
9,82496E-08	9,33E-02	2,33E-04	2,28E-03	2,15E-02	7,81E-03	4,30E-01	4,16E-03	4,91E-03	1,55E-01	2,68E-01	7,45E-03	5,79E-03
8,12234E-08	6,55E-02	1,37E-03	6,16E-04	1,86E-02	2,94E-03	5,04E-01	3,61E-03	8,68E-04	1,46E-01	2,51E-01	2,58E-03	3,30E-03
6,25156E-08	4,33E-02	3,00E-04	5,00E-05	5,35E-03	2,34E-02	5,84E-01	1,25E-02	1,30E-03	7,99E-02	2,42E-01	4,70E-03	3,25E-03
8,34429E-08	2,16E-01	1,24E-03	0,00E+00	1,95E-03	3,29E-03	4,42E-01	4,59E-02	4,53E-03	1,12E-01	1,65E-01	3,49E-03	4,53E-03
9,8798E-08	9,53E-02	2,31E-04	3,59E-03	3,19E-02	2,06E-02	5,98E-01	3,22E-02	2,14E-03	8,69E-02	1,26E-01	1,94E-03	2,96E-04

Решение второй задачи прогнозирования возможно различными способами. Эти способы зависят от количества исходных данных (количества реализаций, измерений, опытов), характера известной целевой функции (измеряемого структурного параметра), вычислительных возможностей системы, в которой решается задача. Рассмотрено решение задачи на основе модели множественной линейной регрессии. Следует отметить, что в некоторых случаях задача многокритериального построения модели парно-

множественной линейной регрессии может быть формализована в виде задачи нелинейного программирования [181,182].

При создании модели множественной линейной регрессии ставится задача нахождения зависимости переменной Y от нескольких независимых переменных (факторов) X_1, X_2, X_n .

В рассматриваемом случае роль целевой функции Y выполняет физическая величина – диэлектрическая проницаемость среды. Количество наблюдений i равно 21. Каждое i -е наблюдение представляет собой зависимость переменной Y от нескольких независимых переменных $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$. В этом случае модель множественной линейной регрессии имеет вид

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i. \quad (5.3)$$

Основные предпосылки регрессионной модели состоят в следующем.

1. Возмущения ε_i (или зависимая переменная y_i) есть величина случайная, независимый фактор (независимая переменная) x_i – неслучайная величина.

2. Математическое ожидание возмущения ε_i равно нулю: $M(\varepsilon_i) = 0$. В этом случае, $M(y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip}$.

3. Дисперсия возмущения ε_i постоянна: $D(\varepsilon_i) = \sigma^2$ ($D(y_i) = \sigma^2$). Это есть условие гомоскедастичности возмущения.

4. Возмущения ε_i и ε_j (переменные y_i и y_j) не коррелированы: $M(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0$ ($i \neq j$).

5. Возмущение ε_i (зависимая переменная y_i) есть нормально распределенная случайная величина.

Для дальнейшего рассмотрения введены следующие обозначения:
 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ – вектор-столбец значений зависимой переменной;
 $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$ – вектор-столбец параметров;
 $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)^T$ – вектор-столбец возмущений.

В матрицу значений независимых факторов (независимых переменных) введен дополнительно единичный первый столбец

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2p} \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & & \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{np} \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

Тогда в матричной форме модель представляется в виде:

$$Y = X \cdot \beta + \varepsilon. \quad (5.5)$$

Матрица X – неслучайная и предполагается справедливой еще одна предпосылка.

6. Ранг матрицы X ($r(X)$) равен $p+1$ ($p+1 < n$).

Модель (5.5), удовлетворяющая предпосылкам 1–6, называется классической нормальной линейной моделью множественной регрессии. Если среди предпосылок не выполняется лишь предпосылка о нормальном законе распределения вектора возмущения ε (предпосылка 5), то модель (5.5) называется классической линейной моделью множественной регрессии.

Для оценки вектора неизвестных параметров β (вектор b) применяется метод наименьших квадратов. В результате вектор b принимает вид

$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (5.6)$$

При выполнении предпосылок 1–6, исключая предпосылку 5 о нормальности закона распределения вектора возмущений, модель (5.6) является наиболее эффективной, т.е. обладает наименьшей дисперсией в классе линейных несмещенных оценок согласно теореме Гаусса-Маркова.

Зная вектор b , выборочное уравнение множественной регрессии представимо в виде:

$$\hat{y} = X_0^T b,$$

где \hat{y} – групповая (условная) средняя переменной Y при заданном векторе значений независимых факторов (независимой переменной)

$$X_0^T = (1, x_{10}, x_{20}, \dots, x_{p0}).$$

На основании представленных данных, с использованием пакета анализа Excel, получены результаты регрессионного анализа (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Коэффициенты уравнения множественной линейной регрессии

Наименование	Коэффициенты уравнения регрессии
1	2
b_0	-3,71328E-06
b_1	3,84152E-06
b_2	6,66247E-06
b_3	5,02829E-07
b_4	5,47265E-06
b_5	5,12774E-06
b_6	3,67746E-06
b_7	3,40281E-06
b_8	1,10023E-05
b_9	3,8855E-06
b_{10}	3,75724E-06
b_{11}	5,02829E-07
b_{12}	7,98564E-06

Расчет коэффициентов уравнения множественной линейной регрессии показал, что полученное уравнение регрессии описывает процесс изменения диэлектрической проницаемости моторного масла со средней ошибкой чуть более 7 % (таблица 5.8).

Сумма остатков (абсолютная погрешность модели) близка к нулю ($\Sigma = -5,83659E-21$), что говорит об отсутствии смещения модели, а также о том, что за наработку равную 315 ч. изменение диэлектрической проницаемости масла, измеренное в результате эксперимента и рассчитанное по модели, практически совпадает. Однако следует отметить наличие «выбросов»: в первой реализации ошибка составила 15,6 %, в четвертой – 19,18 %. Остальные реализации имеют относительную ошибку значительно меньше, чем 14 %, что является хорошим результатом.

В результате расчета получены также значения коэффициента детерминации R^2 . Он составил 0,94, что говорит о хорошем качестве модели и значительно превышает рекомендуемые нижние границы 0,7–0,8.

Таким образом, модель вида (5.7) отражает изменение диэлектрической проницаемости масла с погрешностью около 7 %.

$$\hat{y} = \Delta\varepsilon = (-3,7 + 3,84 \cdot x_1 + 6,66 \cdot x_2 + 0,050 \cdot x_3 + 5,47 \cdot x_4 + 5,13 \cdot x_5 + 3,68 \cdot x_6 + 3,40 \cdot x_7 + 11,0 \cdot x_8 + 3,89 \cdot x_9 + 3,76 \cdot x_{10} + 0,503 \cdot x_{11} + 7,99 \cdot x_{12}) \cdot 10^{-6}, \quad (5.7)$$

где $x_1 \dots x_{12}$ – наработка дизеля на эксплуатационных режимах.

Таблица 5.8 – Анализ качества модели по отклонениям

Наблюдение	Эксперимент Y	Предсказанное Y	Остатки	%
1	2	3	4	5
1	3,51209E-08	4,0592E-08	-5,47112E-09	15,58
2	2,87215E-08	2,95349E-08	-8,13429E-10	2,83
3	6,58026E-08	6,62444E-08	-4,41794E-10	0,67
4	5,7132E-08	6,80911E-08	-1,09591E-08	19,18
5	9,90852E-08	1,048E-07	-5,7144E-09	5,77
6	6,3012E-08	5,67622E-08	6,24976E-09	9,92
7	8,40507E-08	8,58103E-08	-1,75958E-09	2,09
8	3,09511E-08	3,27326E-08	-1,78148E-09	5,76
9	9,5511E-08	9,10348E-08	4,47618E-09	4,69
10	1,00489E-07	9,68101E-08	3,67915E-09	3,66
11	5,57342E-08	6,07191E-08	-4,98493E-09	8,94
12	1,01574E-07	1,02515E-07	-9,40358E-10	0,93
13	1,1708E-07	1,10745E-07	6,3355E-09	5,41
14	8,14976E-08	8,78956E-08	-6,39793E-09	7,85
15	3,10347E-08	3,18635E-08	-8,28802E-10	2,67
16	6,18596E-08	6,07924E-08	1,06714E-09	1,73
17	9,82496E-08	1,11542E-07	-1,32926E-08	13,53
18	8,12234E-08	7,62132E-08	5,01015E-09	6,17
19	6,25156E-08	5,6634E-08	5,88161E-09	9,41
20	8,34429E-08	7,69477E-08	6,49518E-09	7,78
21	9,8798E-08	8,4607E-08	1,41909E-08	14,36
	$\Sigma=1,53289E-06$	$\Sigma=1,53289E-06$	$\Sigma= -5,83659E-21$	$\delta_{cp}=7,09 \%$

Следует отметить, что сумма коэффициентов регрессионной модели величина положительная. То есть дизель, отработав на всех режимах по секунде, уменьшит диэлектрическую проницаемость масла на $\Delta\varepsilon = 5,1 \cdot 10^{-5}$. Тем не менее, свободный член модели является отрицательной величиной и при работе только на режимах x_3 (T1n1N2: T1 – до 55 °C, n2 – от 1800 до 2400

об/мин, N_3 – от 320 до 330 кВт) и x_{11} ($T_3 n_2 N_1$: T_3 – от 100 до 120 °C, n_2 – от 1800 до 2400 об/мин, N_1 – до 257 кВт) модель не является работоспособной. Это не является недостатком модели, так как доля работы на режиме x_3 составляет 0,1 %, а на режиме x_{11} – 0,4 %. Чтобы убедиться в правильности вывода достаточно проанализировать режимы. Режим x_3 соответствует номинальной мощности на холодном двигателе, а режим x_{11} – невысокой мощности на перегретом двигателе при повышенных частотах вращения (нужно отметить, что это правильное сочетание параметров для эффективного и безопасного охлаждения двигателя).

Самая неприятная ситуация для масла – на режиме x_8 ($T_3 n_1 N_1$: T_3 – от 100 до 120 °C, n_1 – до 1800 об/мин, N_1 – до 257 кВт). Низкая частота вращения на перегретом двигателе усугубляет ситуацию для масла как с точки зрения прорыва газов в картер, так и износа трущихся поверхностей типа гильза цилиндра – поршень с компрессионными и маслосъемными кольцами.

Таким образом, на основании проведенного исследования обоснован подход к решению второй задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса в зависимости от эксплуатационных режимов применением модели линейной множественной регрессии.

Частный случай решения второй задачи прогнозирования остаточного ресурса и воздействий для диэлектрической проницаемости моторного масла позволяет выявить негативные эксплуатационные режимы, а по их совокупности определять квалификацию водителя и/или условия эксплуатации.

Представленная модель зависимости изменения диэлектрической проницаемости моторного масла от эксплуатационных режимов имеет хорошую адекватность на уровне значимости 0,05. Коэффициент детерминации равен 0,94.

Для применения модели множественной линейной регрессии необходима тщательная подготовка и предобработка данных, основанная на анализе исследуемого структурного параметра.

Следует отметить, что преимуществом решения второй задачи прогнозирования с помощью модели множественной линейной регрессии является возможность построения прогнозной модели без этапа планирования полнофакторного эксперимента и дорогостоящего этапа его выполнения, опираясь только на данные, полученные в результате эксплуатации.

Реализация данного подхода к прогнозированию технических воздействий и остаточного ресурса позволяет реализовать адаптивную систему технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию, опираясь на условия эксплуатации и квалификацию водителя, выходной функцией которых являются эксплуатационные режимы.

Применение модели прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода на ООО «Белдорстрой», позволило сократить расходы на замену масла у 46 % автомобилей, что в денежном выражении для автопредприятия составило более 2,1 млн руб. Анализ эксплуатационных режимов этой группы автомобилей показал, что доля «тяжёлых» для масла режимов в 4,6 раза меньше, чем у группы автомобилей, для которых сроки замены сокращены по сравнению с рекомендуемыми заводом-изготовителем. Доля таких автомобилей составила 12 %. Для остальных 42 % автомобилей периодичность замены масла коррелирует с периодичностью завода-изготовителя.

5.3 Методика определения изменения структурного параметра на пусковых режимах агрегата при прогнозировании

Отличительной особенностью решения первой задачи прогнозирования технического состояния грузовых автомобилей является то, что целевые функции, в качестве которых выступают структурные параметры, измеряемы, а факторы удовлетворяют требованиям независимости, управляемости и сочетаемости. В качестве факторов берутся только те, которые определяют

эксплуатационный режим агрегата. В частности, для основного агрегата – двигателя внутреннего сгорания, такими факторами являются:

- частота вращения коленчатого вала n , об/мин;
- температура охлаждающей жидкости T , °C;
- нагрузка двигателя (измеряемым параметром может быть также крутящий момент, положение рейки топливного насоса высокого давления для дизеля) N , кВт;
- температура окружающей среды T_o , °C.

В качестве целевых функций принимаются те структурные параметры, которые определяют надежность агрегата.

Однако при такой постановке вопроса остается открытым вопрос о влиянии пусковых режимов и экстремальных значений факторов, определяющих эксплуатационный режим, на изменение отдельных структурных параметров. Ниже рассмотрена методика определения влияния пусковых режимов на изменение структурных параметров.

Испытания проводятся по плану полнофакторного эксперимента при четырех факторах, т.е. 16 опытов. В качестве эксплуатационных режимов приняты сочетания уровней факторов, определённых в таблице 5.9.

Таблица 5.9 - Сочетания уровней факторов, представленных в качестве эксплуатационных режимов

Параметр	Диапазоны изменения параметров		
	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень
Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	900	1400	1900
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}$, °C	80	90	100
Нагрузка двигателя N , %	25	50	75
Температура окружающей среды $T_{окр}$, °C	-20	0	20

На каждом из 16 режимов устанавливается одинаковая продолжительность работы, исходя из условия измеримости изменения структурного параметра. Общую продолжительность испытаний целесообразно принимать равной ресурсу до капитального ремонта. Так, пробег в 300 тыс. км можно принять эквивалентным 9500 тыс. ч. При этом продолжительность одного опыта будет равна 600 ч. Это значение сильно зависит от типа транспортного средства и условий эксплуатации, поэтому выбор продолжительности одного испытания устанавливается исходя из условия измеримости изменения структурного параметра за эту наработку.

На следующем этапе установлено количество пусков для каждого испытания. Продолжительность испытания разбита на 4 этапа. В таблице 5.10 в качестве примера приведено распределение пусков.

Таблица 5.10 - Распределение пусков

От 0 до 150 ч	От 150 до 300 ч	От 300 до 450 ч	От 450 до 600 ч
Количество пусков			
1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
10	1	10	1

Исследование пускового режима и его переход к непрерывному режиму работы двигателя является трудоемкой и технически сложной задачей. В связи с этим, опираясь на общепринятые данные, принято, что для двигателей внутреннего сгорания различных классов, износ цилиндропоршневой группы при пуске эквивалентен непрерывной работе двигателя от 2 до 8 ч. Поэтому предполагаемое увеличение износа при 10 пусках будет выше приблизительно на 30% (10 пусков по 5 ч – 50 ч. От 150 — это составляет 33%).

Таким образом, на каждом из 16 опытов проведено по 4 измерения структурного параметра.

Введены следующие обозначения:

k_0 – коэффициент влияния пускового режима на структурный параметр;

k_1 – коэффициент влияния эксплуатационного режима на структурный параметр;

x – общая продолжительность работы двигателя в процессе опыта;

x_0 – продолжительность работы двигателя на пусковом режиме;

x_1 – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с одним пуском;

x_{10} – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с десятью пусками;

Δy_1 – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при одном пуске (на этапах 2 и 4, таблица 5.10);

Δy_{10} – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при десяти пусках (на этапах 1 и 3, таблица 5.10);

$n_{п1}$ – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с одним пуском ($n_{п1}=2$);

$n_{п10}$ – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с десятью пусками ($n_{п10}=20$).

Тогда, можно составить систему линейных алгебраических уравнений.

$$\begin{cases} k_0 \cdot n_{п1} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_1 = \Delta y_1 \\ k_0 \cdot n_{п10} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_{10} = \Delta y_{10} \end{cases} \quad (5.8)$$

Особенностью данной системы с неизвестными k_0 и k_1 является то, что величина x_0 является малой по сравнению с величиной x_1 , а равенство $x_1 = x_{10}$, определяет решение данной системы в виде:

$$k_0 \cdot x_0 = \frac{\Delta y_{10} - \Delta y_1}{n_{п10} - n_{п1}}$$

$$k_1 = \frac{\Delta y_1 \cdot n_{п10} - \Delta y_{10} \cdot n_{п1}}{x_1(n_{п10} - n_{п1})}.$$

Таким образом, величина k_1 не зависит от величины x_0 , а величина $k_0 \cdot x_0$ показывает сразу величину изменения структурного параметра при пуске, что является более удобным при использовании уравнения регрессии.

Сформировав матрицу планирования полнофакторного эксперимента с целевой функцией $k_0 \cdot x_0$, можно получить уравнение регрессии влияния факторов пускового режима на изменение структурного параметра.

Следует отметить, что условия пускового режима в каждом из четырех этапов одного опыта должны быть одинаковы. Естественно предположить, что

сами факторы и их уровни могут и должны отличаться от основного эксперимента. Важным с точки зрения изменения структурного параметра (износа) при пуске являются температура охлаждающей жидкости, температура масла в системе смазки. Если остановиться на этих двух факторах, то для получения более точной регрессионной модели можно принять 4 уровня вместо двух. Тогда количество опытов будет равно 16 (таблица 5.11).

Таблица 5.11 - Условия пусковых режимов с учетом температуры охлаждающей жидкости и температуры масла в системе смазки

Параметр	Диапазоны изменения параметров, уровни				
	1-й	2-й	нулевой	3-й	4-й
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ C$	-30	-15	0	15	30
Температура масла в системе смазки $T_m, ^\circ C$	-30	-15	0	15	30

При увеличении факторов до четырех таблицу целесообразно построить с учетом факторов температуры окружающей среды и пусковой частоты вращения коленчатого вала (таблица 5.12).

При выборе трех факторов проводятся восемь опытов для получения уравнения регрессии. При этом оставшиеся опыты можно задействовать для получения влияния экстремальных режимов на изменение структурного параметра.

Таблица 5.12 - Условия пусковых режимов с учетом температуры охлаждающей жидкости, температуры масла в системе смазки и пусковой частоты вращения коленчатого вала

Параметр	Диапазоны изменения параметров, уровни		
	нижний	нулевой	верхний
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ C$	-20	0	20
Температура масла в системе смазки $T_m, ^\circ C$	-20	0	20
Температура окружающей среды $T_{окр}, ^\circ C$	-20	0	20
Пусковая частота вращения коленчатого вала $n_p, \text{об/мин}$	400	500	600

Таким образом, предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Учитывая высокую стоимость проведения полнофакторного эксперимента для определения надежности двигателя, показана принципиальная возможность комплексного подхода определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя. Кроме того, показана возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

5.4 Выводы по главе 5

1. На основании разработанных алгоритмов мониторинга эксплуатационной надежности ТС и мониторинга ЭН парка ГА создана методика прогнозирования технического состояния, которая связана с определением целевых функций, характеризующих изменение структурного параметра (в последствии отказ) в зависимости от эксплуатационных режимов агрегата, системы или элемента автомобиля.

2. Обосновано прогнозирование воздействий и остаточного ресурса в зависимости от эксплуатационных режимов при соблюдении требований независимости, управляемости, сочетаемости к факторам и измеримости целевой функции на основе теории планирования эксперимента. Обоснованы факторы, определяющие эксплуатационные режимы для основного агрегата автомобиля – двигателя, определены интервалы варьирования факторов и обоснован полнофакторный эксперимент из 16 опытов. Суммарная

продолжительность 16 опытов должна быть равна ресурсу до капитального ремонта.

3. Установлено, что представленная модель зависимости изменения диэлектрической проницаемости моторного масла от эксплуатационных режимов имеет хорошую адекватность на уровне значимости 0,05. Коэффициент детерминации равен 0,94. Для применения модели множественной линейной регрессии необходима тщательная подготовка и предобработка данных, основанная на анализе исследуемого структурного параметра. Преимуществом прогнозирования с помощью модели множественной линейной регрессии является возможность построения прогнозной модели без этапа планирования полнофакторного эксперимента и дорогостоящего этапа его выполнения, опираясь только на данные, полученные в результате эксплуатации. Реализация данного подхода к прогнозированию технических воздействий и остаточного ресурса позволяет реализовать АСТОР по техническому состоянию, опираясь на условия эксплуатации и квалификацию водителя, выходной функцией которых являются эксплуатационные режимы.

4. Предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Учитывая высокую стоимость проведения полнофакторного эксперимента для определения надежности двигателя, показана принципиальная возможность комплексного подхода для определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя. Кроме того, показана возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

5. Применение модели прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода на ООО «Белдорстрой», позволило сократить расходы на замену масла у 46 % автомобилей, что в денежном выражении для автопредприятия составило более 2,1 млн руб. Анализ эксплуатационных режимов этой группы автомобилей показал, что доля «тяжёлых» для масла режимов в 4,6 раза меньше, чем у группы автомобилей, для которых сроки замены сокращены по сравнению с рекомендуемыми заводом-изготовителем. Доля таких автомобилей составила 12 %. Для остальных 42 % автомобилей периодичность замены масла коррелирует с периодичностью завода-изготовителя.

6 ПРЕДЛОЖЕНИЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ

6.1 Разработка предложений, характеризующих эксплуатационные режимы транспортного средства, необходимых для объективной оценки его фактического и прогнозируемого состояний

Одним из важных вопросов обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности является вопрос об организации технических воздействий, в основу которых положены принципы обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности ГА и оптимальных затрат на поддержание этого уровня.

Основным критерием является целесообразность эксплуатации ГА в течение срока службы и за пределами оптимального срока службы. Вместе с тем может наступить ситуация, при которой дальнейшая эксплуатация ГА нецелесообразна, экономически неэффективна или опасна [183].

Возможен перерасход средств при постоянном чрезмерном обновлении парка, поскольку, по мере снижения остаточного ресурса ГА, затраты на поддержание её эксплуатационной надежности и парка в целом будут увеличиваться.

При наличии противоречий на проведение СР или КР необходимо опираться на систему учета режимов эксплуатации и прогнозирования воздействий.

Принятие решений по порядку и критериям принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия должно основываться на данных системы мониторинга эксплуатационной надежности [184]. Основу мониторинга составляет система прогнозирования воздействий [187]. Концептуальная модель системы прогнозирования воздействий базируется на первичной информации о воздействиях на ГА, информации с датчиков о эксплуатационных режимах и условиях эксплуатации при мониторинге, а также данных бортовой системы диагностирования. Обеспечение достоверности

информации требует наличие административного и технического регламента мониторинга технических воздействий на ГА при ТО и Р.

В качестве исходной информации используется БД эксплуатационной надежности ГА структурного подразделения и БД ГА предприятия. На первом этапе выполняется расчет текущего значения КТГ парка ГА (рисунок 6.1) по формуле (4.8).

На втором этапе выполняется процесс прогнозирования коэффициента технической готовности парка на плановый период (например, 30 дней). К мониторинговой информации на данном этапе добавляется информация о прогнозируемых воздействиях на каждый ГА, полученная на основе анализа месячного плана эксплуатации и ремонта ГА предприятия. Если плановый период прогнозирования превышает месяц, система прогнозирования воздействий использует план эксплуатации и ремонта ГА на год. Расчет КТГ парка ГА на плановый период позволяет определить временные интервалы (или дни), на протяжении которых этот показатель ниже нормативного.

При наличии таких временных интервалов формируется массив ГА, которая является неработоспособной в текущий момент времени или ее переход в неработоспособное состояние прогнозируется на планируемом интервале времени.

Принятие решения о планировании воздействий возможно на основе различных стратегий. В стратегии *А* в качестве учетной единицы рассматривается отказ и следующее за ним воздействие (рисунок 6.1). В стратегии *Б* рассматривается и восстанавливается ГА независимо от того, сколько он имеет прогнозируемых отказов за расчетный период. При рассмотрении стратегии *А*, в соответствии с которой массив ГА, требующий воздействий, сортируется по убыванию времени восстановления [54,55].

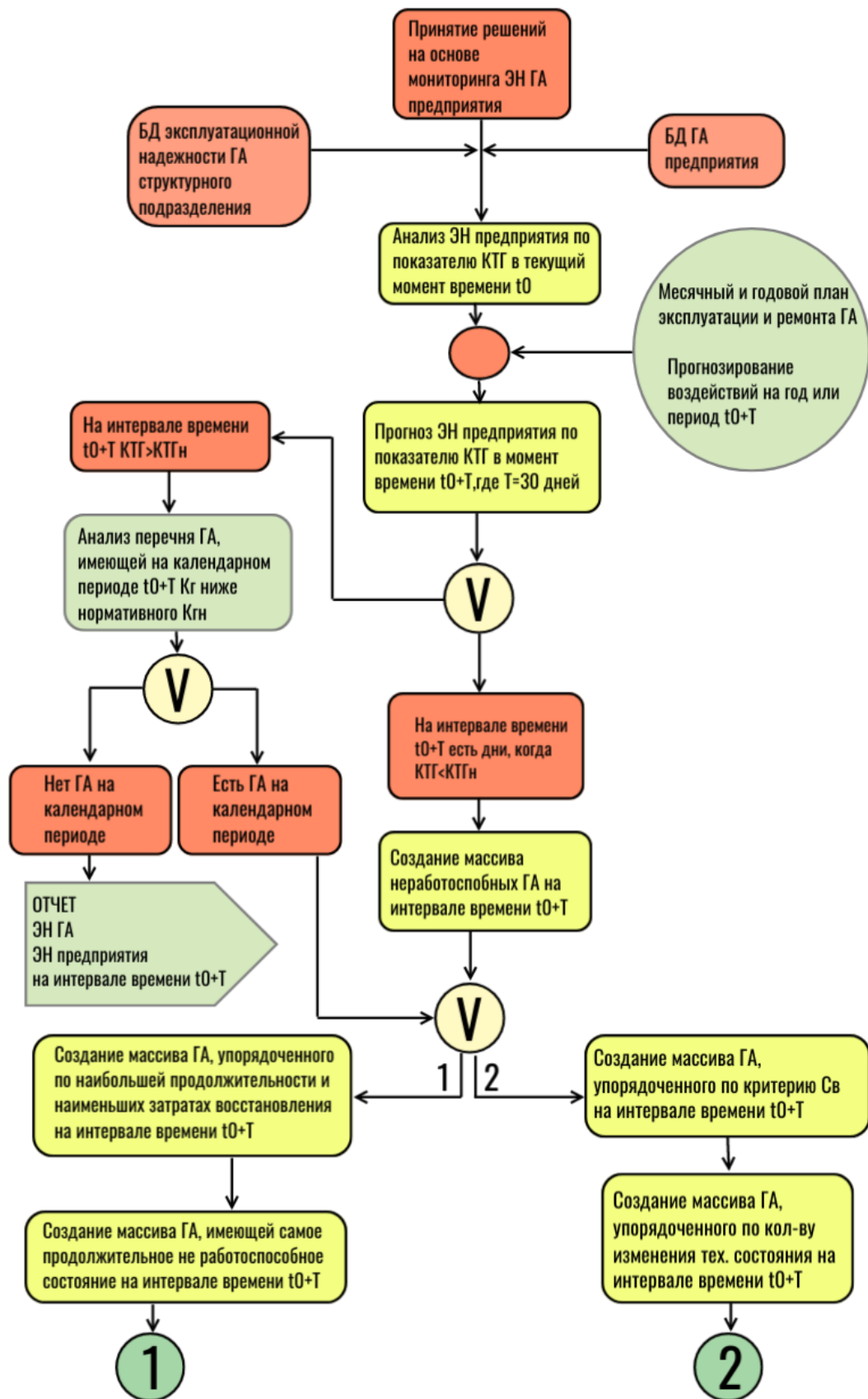


Рисунок 6.1 – Алгоритм принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия (начало)

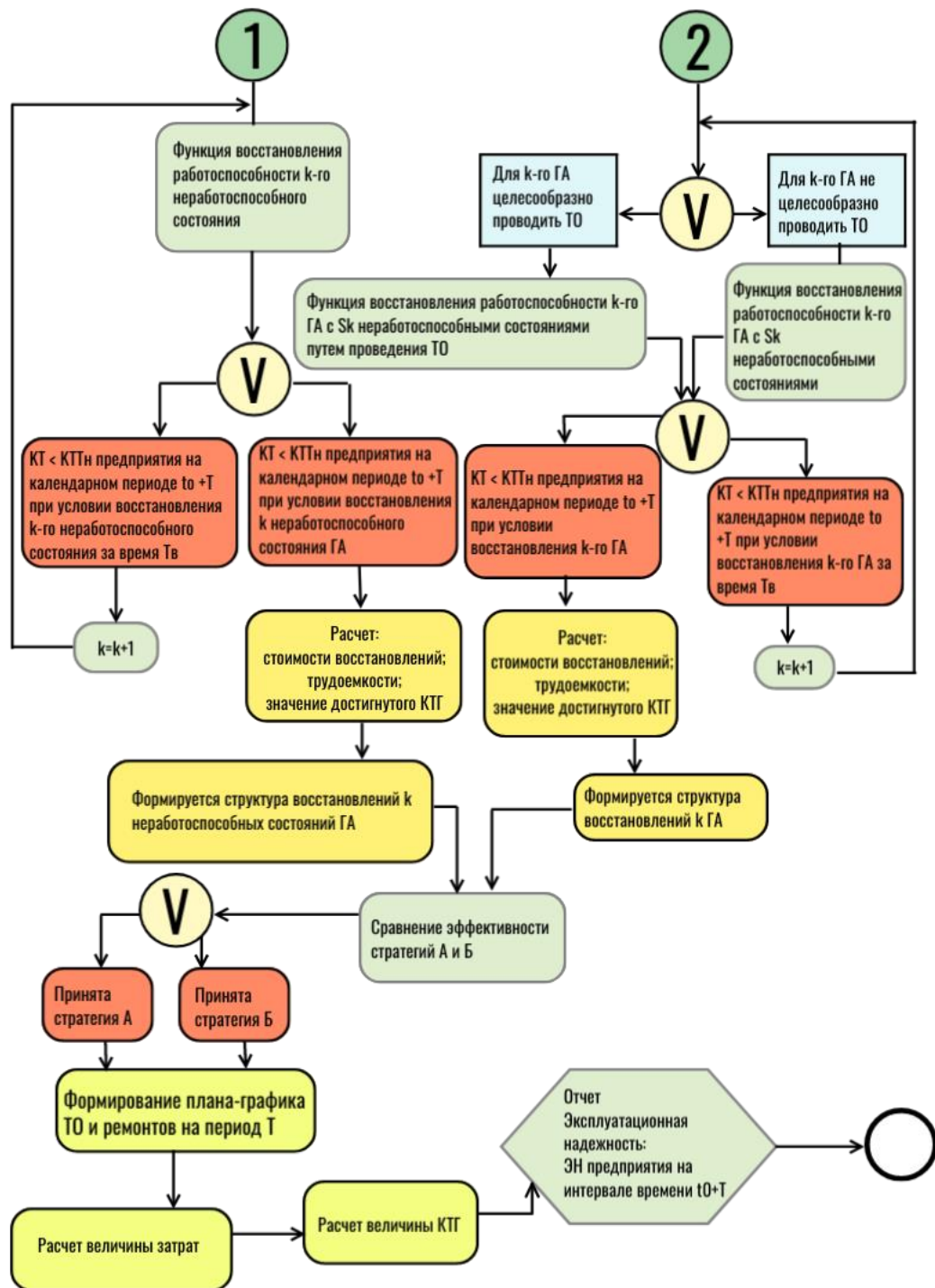


Рисунок 6.1 – Алгоритм принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия (продолжение)

Далее выполняется анализ сформированного вариационного ряда, из которого исключается ГА, восстановление которого отложено по каким-то причинам.

Оставшиеся ГА сортируются по критерию отношения стоимости восстановления к времени восстановления.

$$C_{\varepsilon} = \frac{c_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon}}, \quad (6.1)$$

где c_{ε} – суммарная стоимость воздействия (совокупные затраты);

T_{ε} – время восстановления.

Таким образом, в первую очередь планируются воздействия на ГА, вносящие наибольший вклад в снижение ЭН и имеющие наименьшую стоимость.

Стратегия реализуется на тех временных интервалах, на которых значение ЭН парка ниже нормированного. После определения воздействия, имеющего наименьшее значение критерия C_{ε} , он исключается из рассмотрения и выполняется моделирование прогнозируемого значения КТГ при условии восстановления исключенного ГА с этим воздействием. Таким образом, применяя описанный выше процесс итерационным способом, определяется минимальное количество воздействий, восстанавливающих КТГ до нормированного значения. Восстановление этих ГА является обязательным, и они включаются в планирующие документы. Планирование восстановления оставшихся ГА производится по указанному алгоритму за исключением того, что их восстановление может быть отложено (исходя из потребностей в конкретных ТС) [54,55].

Кроме того, очередность воздействий может быть изменена:

- по наименьшему значению коэффициента готовности;
- наименьшему значению коэффициента технической готовности ГА;
- наименьшему значению критерия C_{ε} – стоимости единицы времени

восстановления.

После принятия принципиальных решений о планировании воздействий по стратегии A производится расчет трудоемкости, запасных частей и материалов, транспортных операций, совокупной стоимости восстановлений с учетом возможностей и мощностей.

На основании выполненного расчета формируется структура восстановлений всех неработоспособных состояний (текущих и прогнозируемых) ГА.

Как сказано выше в стратегии *Б* рассматривается и восстанавливается ГА независимо от того, сколько он имеет прогнозируемых отказов за прогнозируемый период. Исходя из этого, на этапе формирования массива ГА упорядочиваются по самому продолжительному совокупному неработоспособному состоянию. Это является оправданным способом увеличить среднюю наработку на отказ при снижении времени восстановления за счет сокращения времени подготовительно-заключительных и организационных работ. Этот метод планирования воздействий приводит к увеличению ЭН ГА и парка в целом.

Для принятия решения целесообразно дополнительно ввести экономический критерий

$$C_{\epsilon} = \frac{\sum_i c_{\epsilon i}}{\sum_i T_{\epsilon i}}, \quad (6.2)$$

где $C_{\epsilon i}$ – суммарная стоимость i -го воздействия на образец АТ (совокупные затраты);

$T_{\epsilon i}$ – время i -го воздействия при восстановлении образца.

Анализ возможности проведения планового ТО для k -го ГА, имеющего s_k неработоспособных состояний, обуславливается тем, что при прогнозировании за планируемый период более одного воздействия у данного транспортного средства велика вероятность наличия скрытых отказов или предотказных состояний, которые могут быть выявлены при контроле технического состояния или техническом диагностировании при проведении планового ТО.

Стратегия *Б* реализуется на тех временных интервалах, на которых значение ЭН парка ниже нормированного. Как и в стратегии *А* после определения образца, имеющего наименьшее значение критерия C_{ϵ} , он исключается из рассмотрения и выполняется моделирование прогнозируемого значения ЭН при условии восстановления исключенного ГА. Применяя описанный выше процесс несколько раз, определяется минимальное

количество ГА, восстанавливающих КТГ до нормированного значения. Восстановление этих ГА является обязательным, и они включаются в планирующие документы. Планирование восстановления оставшихся ГА производится по указанному алгоритму за исключением того, что их восстановление может быть отложено, что согласовывается с эксплуатирующей организацией. Кроме того, очередность, как и в предыдущем случае может быть изменена.

После расчета полных затрат, необходимых для достижения нормированного значения ЭН парка становится возможным выполнить процедуру сравнения эффективности стратегий *A* и *B*. Критерием может выступить величина

$$K_{эс} = \frac{C_э}{\Delta Y}, \quad (6.3)$$

где $C_э$ – суммарные затраты на реализацию стратегии;

ΔY – Δ уровня эксплуатационной надежности ТС предприятия.

Состав и порядок проведения работ по восстановлению ГА целесообразно формировать по:

- наименьшему значению коэффициента готовности ГА;
- наименьшему значению коэффициента технической готовности ГА;
- наименьшему значению критерия $C_э$ – стоимости единицы времени восстановления.

6.2 Кластерный подход к техническому обслуживанию и ремонту грузовых автомобилей

Помимо предложений, характеризующих эксплуатационные режимы транспортного средства и необходимых для объективной оценки его фактического и прогнозируемого состояний, предложен новый подход к техническому обслуживанию и ремонту. Новый вид стратегии ТО и Р заключается в создании адаптивной системы технического обслуживания и ремонта по наработке на эксплуатационных режимах.

В главе 4 описан состав системы мониторинга уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей, внедрение которой позволит повысить эффективность эксплуатации грузовых автомобилей. Однако для полноценного результата необходимо определить вектор изменений системы технического обслуживания, что является важной задачей исследования. Вопросы, связанные с организацией и проведением текущих ремонтов, могут быть решены на уровне прогнозирования, при этом вопросы комплексного изменения системы ТО, нуждаются в дополнительном анализе.

Ранее подробно рассмотрены виды воздействий на автомобиль, в зависимости от их связности с техническим состоянием ТС. На рисунке 6.2 представлена их классификация.



Рисунок 6.2 – Классификация видов воздействия на автомобиль

Очевидно, что все рассмотренные воздействия могут быть зафиксированы системой прогнозирования с указанием конкретного значения ресурса до воздействия. В рамках технического обслуживания целесообразно рассматривать воздействия 2-6 рисунок 6.2. Воздействие 1 связано с фактом наступления отказа и относится к текущему ремонту. Воздействие 2 может иметь место, а может быть также выполнено в рамках текущего ремонта.

Пусть в транспортном средстве имеется N систем, A агрегатов, M механизмов, P элементов, которые могут потребовать любое из воздействий 1–6. При этом множества $\{N\}$, $\{A\}$, $\{M\}$, $\{P\}$ являются исчерпывающими с точки зрения обеспечения безотказности транспортного средства. Допустим, в

текущий момент времени t и до момента $t + \Delta t$ информационная система отображает из множества N ограниченное количество n необходимых воздействий для систем транспортного средства; из множества A ограниченное количество 1 необходимых воздействий для агрегатов транспортного средства; из множества M ограниченное количество m необходимых воздействий для механизмов транспортного средства; из множества P ограниченное количество p необходимых воздействий для элементов транспортного средства.

Тогда, рассматривая величину $t + \Delta t$ в единицах используемого ресурса (километры, часы, циклы и др.) и обозначив условно нижнюю границу ресурса $t \sim \inf R = r$, а верхнюю $t + \Delta t \sim \sup R = R$ можно записать общее количество воздействий 2–6 для одного транспортного средства:

$$K_{\epsilon} = \sum_i^n N_i + \sum_i^a A_i + \sum_i^m M_i + \sum_i^p P_i. \quad (6.4)$$

Величина K_{ϵ} является конечной и может принимать различные значения и является функцией $\Delta R = R - r$ – глубины предупреждающих воздействий.

В свою очередь, ΔR можно назвать кластером, характерными признаками которого являются:

- срок службы с момента ввода в эксплуатацию;
- расход ресурса с момента ввода в эксплуатацию;
- марка, тип транспортного средства;
- производственные возможности пункта технического обслуживания и ремонта;
- максимальный расход ресурса в автономной эксплуатации (параметр влияет только на $\inf R$).

Кроме того, на величину кластера могут влиять также и такие ограничения, как требование максимального ежедневного выхода машин на линию, унификации технологических операций при ограниченном штате ремонтников и др. Как правило, в этом случае объем воздействий в кластере будет снижаться.

Под кластером следует понимать глубину прогнозной информации в единицах ресурса, на которую планируется техническое обслуживание с перечнем работ, определяемым этой прогнозной информацией. Объем кластера зависит также и от учета (полноты) видов воздействий.

Так в условиях ограниченных ресурсов воздействия 5-6 можно не учитывать при определении объема кластера, а ожидать момента входа в кластер событий 3-4. Однако такой подход будет более затратным, так как ухудшение технического состояния одного из элементов может повлечь возникновение зависимых отказов и дополнительные издержки.

При определении объема кластера следует учитывать факт наличия в окрестности верхней границы кластера $\delta(\sup R)$ воздействий типа 1-4. В этом случае они должны войти в кластер, либо, если ΔR достаточно велико (например, $\Delta R + \delta(\sup R) > 2000 \div 3000 \text{ км}$), должно быть запланировано единичное воздействие по восстановлению технического состояния.

Если в процессе эксплуатации допущен выход за пределы $\inf R$ кластера событий 1-2, то они должны быть выполнены в первую очередь.

Таким образом кластерный подход к ТО характерен следующим. Для достаточно устойчивых, рентабельных предприятий, дорожащих своей репутацией, для которых высока цена отказа транспортного средства в процессе выполнения транспортно-технологических операций, размер кластера целесообразно увеличивать. Для небольших транспортных компаний, работающих на внутригородских сообщениях, размер кластера может быть небольшим. При этом частота проведения воздействий увеличивается.

Принципиальное отличие кластерного подхода к ТО и Р от планово-предупредительной системы представлено в таблице 6.1.

Под неординарным потоком воздействий на кластерном поле понимается поток, при котором наработка на эксплуатационном режиме прогнозирует отказ, от которого в качестве зависимых могут иметь место (а могут и не иметь место) другие отказы, визуально не наблюдаемые. При

реализации таких воздействий рекомендуется проводить техническое диагностирование по поиску таких зависимых отказов.

Таблица 6.1 – Сопоставление кластерного подхода к ТО и традиционной планово-предупредительной системы ТО

Кластерный подход к ТО	Планово-предупредительная система ТО
Система ТО – плановая	Система ТО – плановая
Система ТО – предупредительная	Система ТО – предупредительная
Сроки ТО зависят от появления прогнозируемых воздействий (типа 1–6)	Сроки ТО зависят от наработки
Объем ТО зависит от многих факторов и не является постоянной величиной даже для одномарочных транспортных средств с одинаковым расходом ресурса	Объем ТО определяется маркой автомобиля (типом) и номером ТО. Иногда учитываются условия эксплуатации
Планирование сроков и объема ТО осуществляется в зависимости от наличия воздействий в кластере	Планирование сроков и объема ТО осуществляется в зависимости от наработки
Элементы технологических операций, связанных с сезонным ТО, будут появляться в системе прогнозирования воздействий и могут быть планово распределены и включены в кластер или выполнены при выполнении одиночного воздействия	Требуется сезонное обслуживание
Техническое диагностирование не актуально, выполняется только в крайних случаях, например при неординарном потоке воздействий на кластерном поле	Техническому диагностированию предшествует ТО. Обязательный элемент

Таким образом, предлагаемая адаптивная система ТОиР, основанная на кластерном подходе к определению сроков и объема ТО, сохраняет свою плановость, предупредительность, но является подстраивающейся в автоматическом режиме к увеличивающейся надежности, условиям эксплуатации, находящем отражение в эксплуатационных режимах, инфраструктуре автотранспортного предприятия, его назначении и характеристике решаемых транспортно-технологических задач. Практическая

реализация модели на предприятии для группы автомобилей, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечила снижение отказов на 93%, сведя их практически к нулю. Время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 18 %.

6.3 Формирование диапазонов параметров, определяющих эксплуатационные режимы для отдельных агрегатов

Для большинства технических систем и, в частности транспортных машин, характерны три вида зависимостей интенсивности отказов от времени, которые соответствуют трем этапам стадии жизненного цикла.

Как уже отмечалось, априорный (вероятностный) анализ надежности транспортного средства заключается, в основном, в определении конкретных значений структурных параметров.

При этом распределение вероятностей безотказной работы объекта от момента включения до момента отказа, которое называется обычно математической моделью безотказности, у различных объектов различно. Другими словами, время между соседними отказами для элементов, узлов, блоков, подсистем и систем является непрерывной случайной величиной, которая характеризуется определенным законом распределения, зависящим и от этапов стадии жизненного цикла ГА, и от его отдельных агрегатов, блоков, и от типа самого объекта в целом.

Для высоконадежных агрегатов и систем период приработки и нормальной эксплуатации может характеризоваться отсутствием отказов и только с наступлением периода старения появляются деградационные отказы.

Принимая во внимание, что как ГА в целом, так и его составные части – агрегаты, системы, механизмы имеют указанные выше закономерности изменения интенсивности отказов во времени, необходимо в первую очередь определить начало зоны старения и далее принимать решение о направлении (или не направлении) образца в СР, КР или списание.

Таким образом, возможным критерием выбора момента проведения средних и капитальных ремонтов ГА, принятия решения о списании (или утилизации) может стать изменение закона распределения интенсивности отказов из-за наличия деградиационных отказов [27]. При этом интенсивность отказов должна сопровождаться анализом режимов работы и условий эксплуатации образца.

Под средним ремонтом понимается ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса изделий с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей, выполняемом в объеме, установленном в НТД.

В данном определении важным является то, что восстанавливается исправность ГА с заменой составных частей ограниченной номенклатуры.

Исходя из этого, необходимо решить задачу по определению параметров закона распределения при появлении деградиационных отказов. Как только распределение параметров закона распределения интенсивности отказов ГА на заданном уровне значимости будет соответствовать статистическим, необходимо принимать решение о направлении его в один из видов ремонта или списание.

Но такой подход связан с наличием большой ошибки, так как разброс параметров закона распределения будет велик из-за различных условий эксплуатации ГА.

Для решения этой задачи необходимо использовать возможности системы мониторинга эксплуатационных режимов и условий эксплуатации ГА с системой бортовой диагностики. Алгоритм решения этой задачи представлен на рисунке 6.3.

При принятии решений по конкретным ГА при направлении в средний или капитальный ремонт используется информация из локальной базы данных ГА предприятия, БД о эксплуатационных режимах ГА, отказах и воздействиях, а также из глобальных БД типовой конструкции и БД типовой

конструкции агрегатов. Кроме того, при прогнозировании используется информация о планируемом расходе ресурса (пробега) на планируемый период (год).

Работа по анализу всех видов отказов ГА с начала эксплуатации осуществляется параллельно как в целом по данному ГА, так и по его агрегатам (системам, механизмам). Кроме отказов учитываются все виды воздействий, связанные с устранением предотказных состояний данного ГА.

На следующем этапе происходит выделение из БД типовой конструкции множества ТС K_i , имеющих близкие распределения наработки по эксплуатационным режимам и условиям эксплуатации с текущим ГА. Выполняется определение параметров закона распределения интенсивности отказов и технических воздействий этой группы образцов. Для увеличения достоверности определения параметров закона распределения интенсивности отказов и технических воздействий текущего ГА выполняется анализ всех видов прогнозируемых воздействий на планируемый год, и определяются остаточные ресурсы до этих воздействий. Основу для определения прогнозируемых остаточных ресурсов составляет план эксплуатации и ремонта на год и БД типовой конструкции.

После определения параметров закона распределения интенсивности отказов и технических воздействий текущего ГА происходит их сравнение с параметрами закона распределения ТС и множества K_i на уровне значимости α . Если параметры не совпадают на уровне значимости α , то воздействий, связанных с выводом в средний или капитальный ремонт, а также списанием ГА планировать нецелесообразно [201].

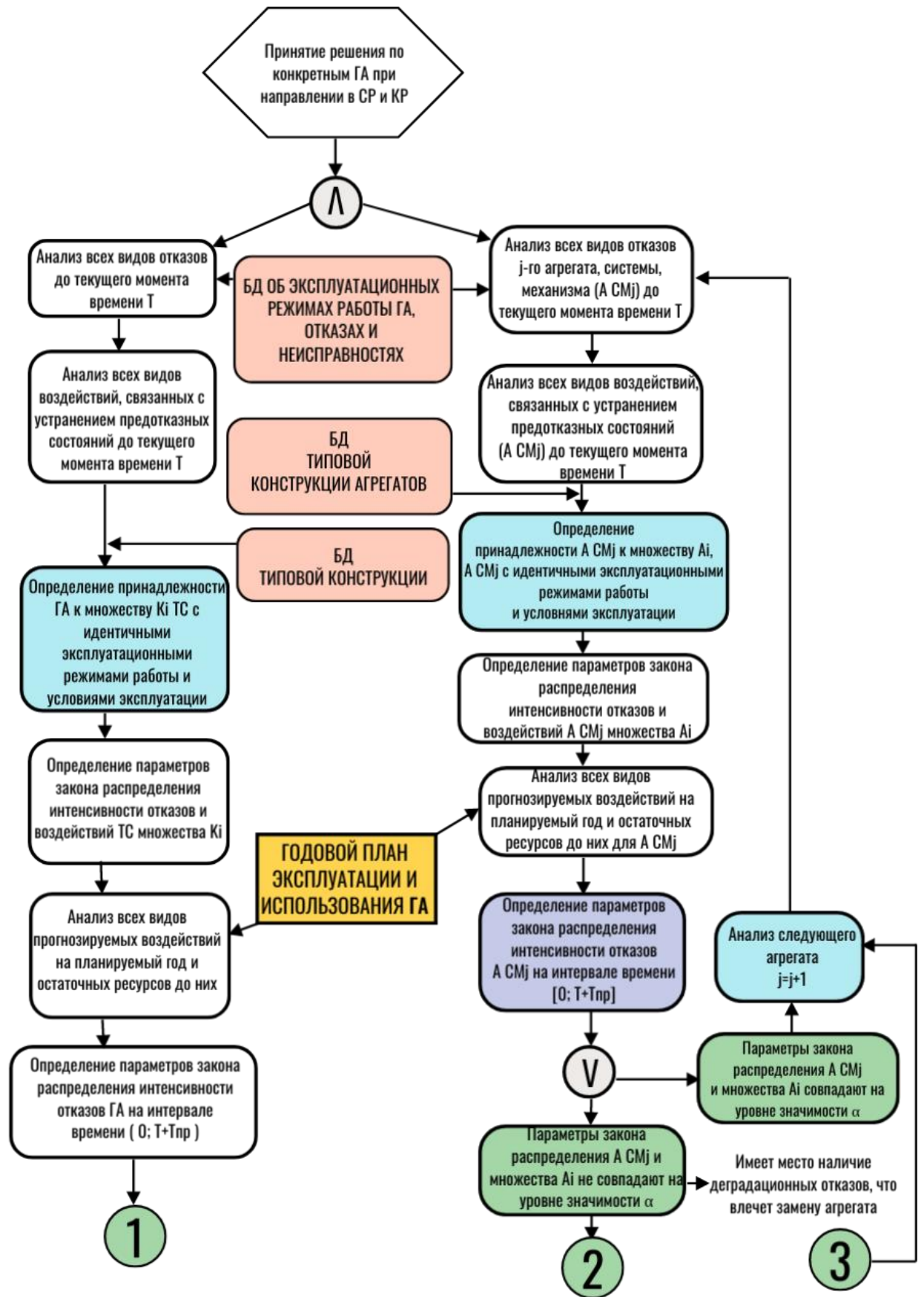


Рисунок 6.3 – Алгоритм принятия решения по конкретным ГА при направлении в СР, КР, списание (начало)

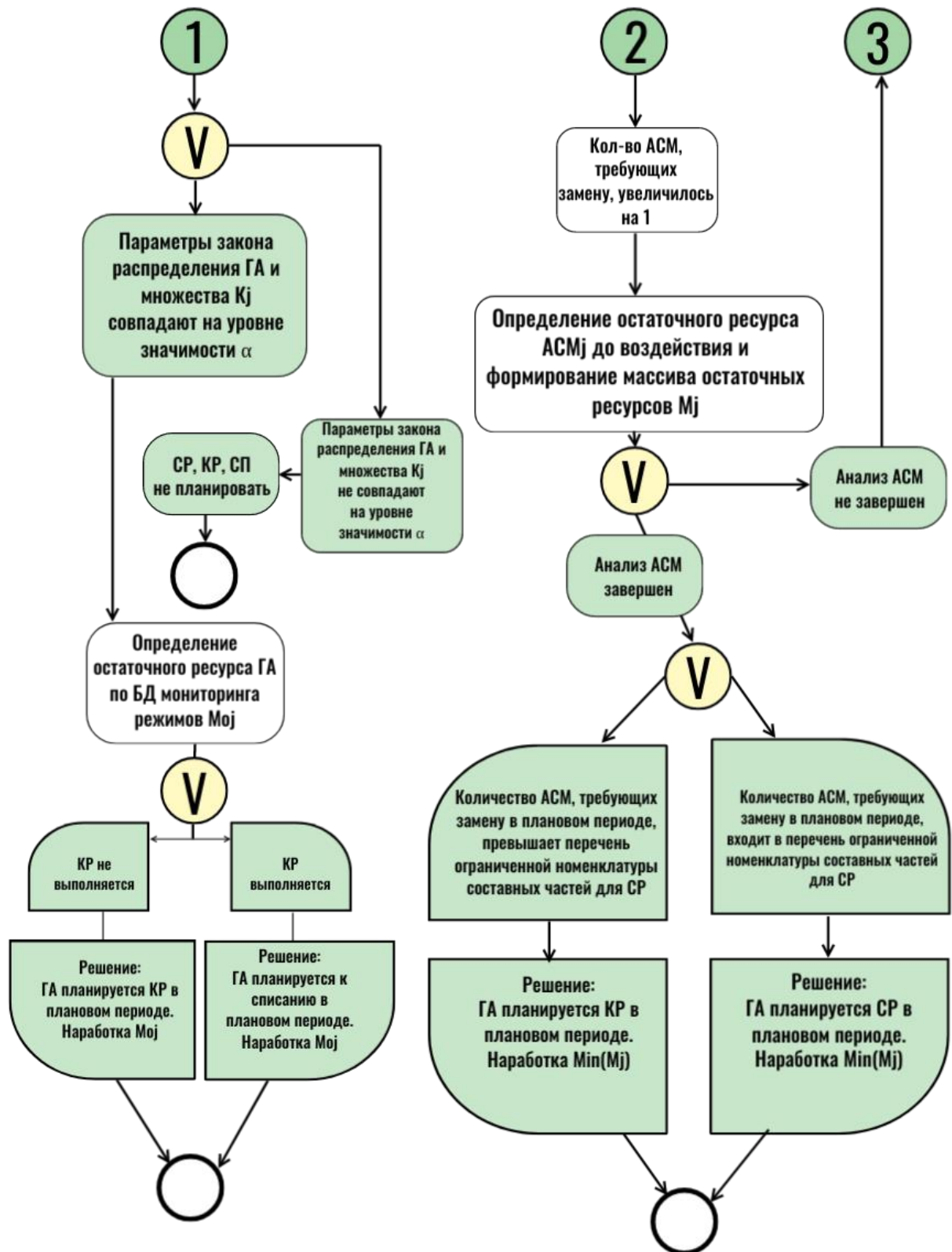


Рисунок 6.3 – Алгоритм принятия решения по конкретным ГА при направлении в CP, KP, списание (продолжение)

В противном случае имеют место деградационные отказы, определяется остаточный ресурс до прогнозируемого воздействия. Если его величина превышает установленную техническую характеристику среднюю наработку

на отказ, то в расчет берется следующее прогнозируемое воздействие. На планируемый период планируется наработка равная суммарному остаточному ресурсу до прогнозируемых воздействий, не включая то, до которого наработка составит менее величины средней наработки на отказ, установленной технической характеристики (рисунок 6.4). Принимается решение о выводе ГА в капитальный ремонт.

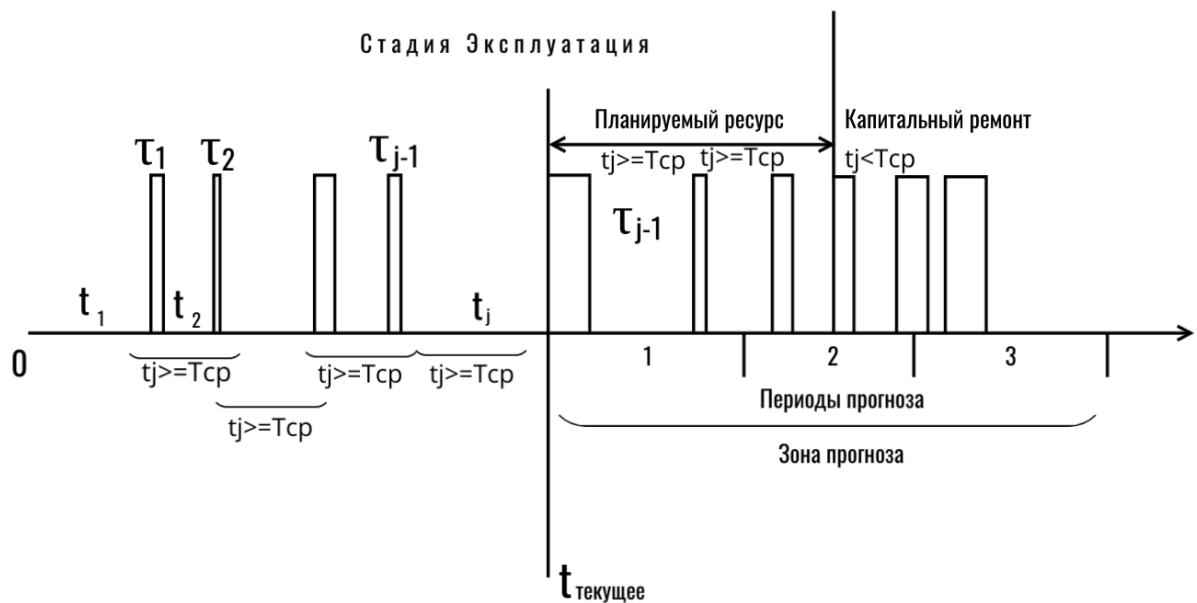


Рисунок 6.4 – Определение остаточного ресурса на планируемый период при выводе ТС в КР

Параллельно выполняется аналогичный анализ по каждому агрегату системы, механизму (АСМ), имеющемуся в БД ТКА (типовой конструкции агрегатов).

По каждому агрегату выполняется анализ отказов и воздействий на текущий момент времени и на планируемый период в качестве прогнозируемых воздействий. Определяется принадлежность текущего АСМ_j к множеству A_i агрегатов, имеющихся в БД типовой конструкции. Определяются параметры закона распределения интенсивности отказов АСМ_j множества A_i , а также текущего ГА. Параметры закона распределения интенсивности отказов АСМ_j текущего ГА определяются с учетом

прогнозируемых воздействий на плановый период и планируемого расхода ресурса (пробега).

Если имеет место совпадение параметров закона распределения интенсивности отказов $АСМ_j$ множества A_i , и текущего ГА на уровне значимости α , то для данного агрегата, системы, механизма отказы носят деградационный характер и необходима замена этого агрегата. Остаточный ресурс АСМ определяется по алгоритму, представленному на рисунке 6.3. Если совпадения параметров закона распределения нет, то АСМ замены не требует.

Если после анализа всех агрегатов количество агрегатов, требующих замены, превышает ограниченную номенклатуру составных частей для направления в средний ремонт, то делается вывод и принимается решение о планировании капитального ремонта ГА. Если количество агрегатов, требующих замены, не превышает ограниченную номенклатуру составных частей для направления в средний ремонт, то делается вывод и принимается решение о планировании среднего ремонта ГА.

Если количество агрегатов, требующих замены равно нулю, то ГА не планируются воздействия в виде СР, КР или списания.

Выше описан один из случаев, когда принимается решение о списании ГА. Решение о списании ГА является достаточно ответственным при использовании информационной системы. Необходимы критерии, которые могли бы однозначно сделать вывод о списании.

Одним из основных критериев является возрастание интенсивности отказов по форме близкой к линейной и соответствие закона распределения интенсивности отказов нормальному закону распределения. При этом капитальный ремонт данного ГА уже проводился. Последнее является значимым фактом, так как при невыполнении данного условия ГА планируется капитальный ремонт в течение периода планирования.

Вторым признаком является величина наработки ГА по эксплуатационным режимам и условиям эксплуатации. Этот признак может

быть использован только в том случае, если в БД типовой конструкции имеется статистически значимая выборка списанных ГА с идентичными эксплуатационными режимами и условиями эксплуатации.

Третьим критерием является стоимость поддержания работоспособного состояния в планируемом периоде. Если эти затраты, приведенные к удельным по наработке на прогнозируемый период, значительно превышают средние удельные затраты с начала эксплуатации, то это говорит о необходимости списания ГА. При этом выполняется прогноз остаточной стоимости составляющих частей.

Наработка между отказами выступает дополнительным критерием. При приближении к предельному состоянию наработка между отказами уменьшается и становится меньше, чем средняя наработка на отказ с начала эксплуатации и меньше установленной (средняя наработка на отказ с начала эксплуатации и меньше средней наработки на отказ с учетом коэффициента восстановления). При этом время восстановления возрастает. В данной ситуации коэффициент готовности ГА и коэффициент технической готовности ГА также может снизиться ниже нормативного. Критерием может выступить снижение функции готовности ниже нормативного значения.

Разработанная модель принятия решения по ТС при направлении в СР, КР, списание, базируется на системе прогнозирования воздействий, функционирование которой предполагает наличие статистически значимой базы данных отказов (воздействий) по образцам, типовой конструкции и типовым конструкциям агрегатов механизмов и систем [203].

Разработаны критерии принятия решения по ТС при направлении в СР, КР, списание. В качестве основного критерия предлагается использовать изменение закона распределения интенсивности отказов ТС, агрегатов, механизмов и систем на основе данных системы мониторинга. Данный критерий указывает на принципиальную потребность в СР (ТР), КР или списании. Выбор одного из этих воздействий осуществляется:

- списание – если ГА имел КР и СР;

- КР – если у ГА не проводился КР, а количество агрегатов, требующих воздействий, не соответствует определению «ограниченная номенклатура», а наработка на эксплуатационных режимах соответствует выходу в КР;

- СР (ТР) – если у ГА количество агрегатов, требующих воздействий, соответствует определению «ограниченная номенклатура», а наработка на эксплуатационных режимах соответствует выходу в СР1 или СР2.

Мониторинг ЭН парка ГА имеет принципиальные отличия от мониторинга ЭН отдельного ГА (рисунки 6.5 и 6.6). По концепции работы предполагается, что ЭН парка по соответствующим показателям рассчитывается на основании данных о текущем состоянии ТС и состоянии в прошедшие периоды. Кроме того, выполняется прогнозирование ЭН парка на какой-то период времени.

На вход в систему мониторинга ЭН парка поступает информация из БД ЭН предприятия, а также из БД ТК, БД ТКА и БД ГА предприятия. Прогнозирование ЭН парка возможно в том случае, если имеется статистически значимая информация в БД ТК и БД ТКА.

Если такой статистически значимой информации нет, то на основании БД «Эксплуатационная надежность ГА предприятия» выполняется расчет показателей ЭН на текущую дату и за указанный период с формированием отчета по указанию пользователя.

При наличии статистически значимой информации в указанных выше БД выполняется расчет прогнозирования воздействий по каждому ГА на год. Входной информацией кроме указанных БД является годовой план эксплуатации и ремонта предприятия. Прогнозирование на какой-либо период T выполняется на основе месячного плана эксплуатации и ремонта предприятия.

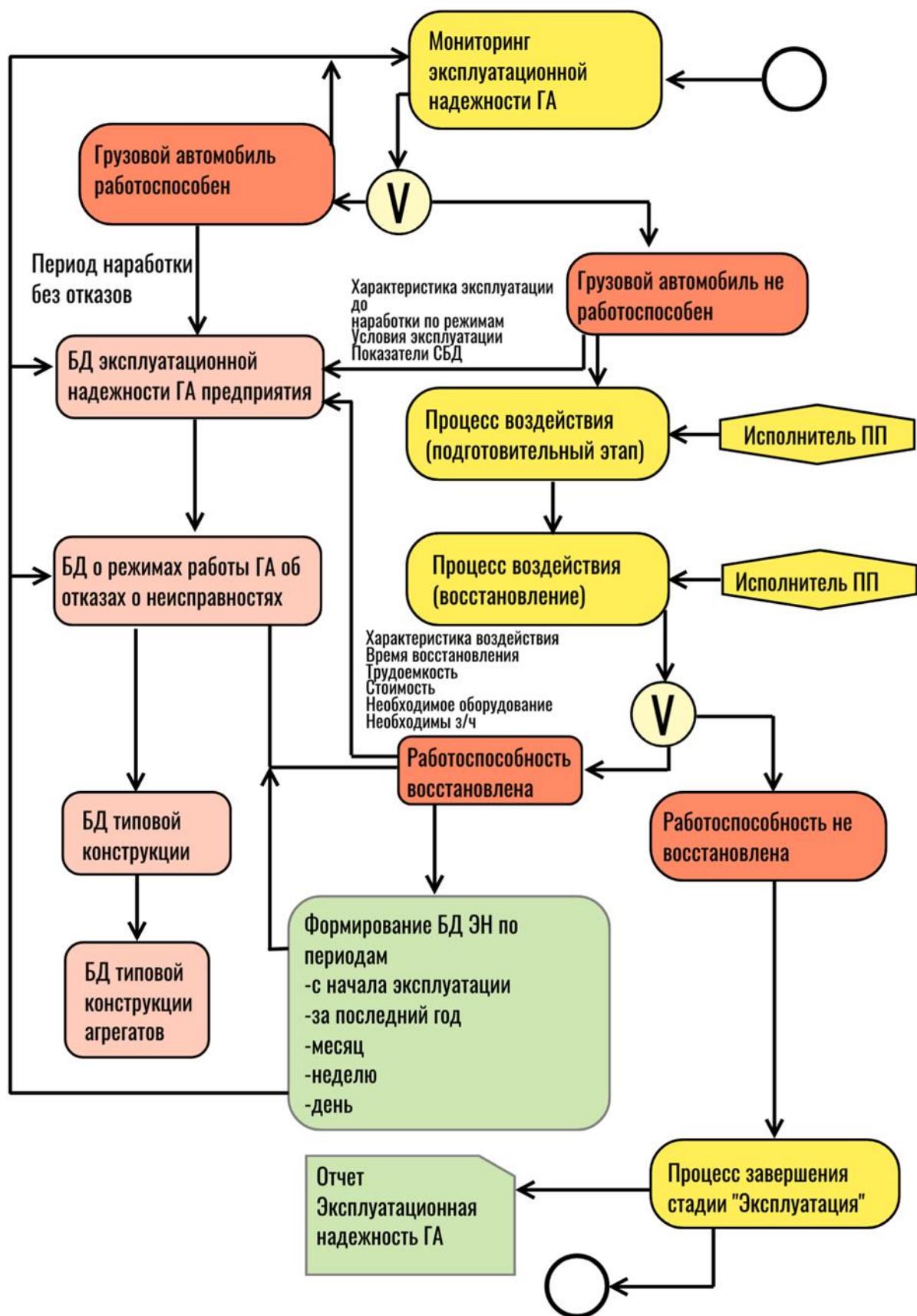


Рисунок 6.5 – Мониторинг эксплуатационной надежности ГА

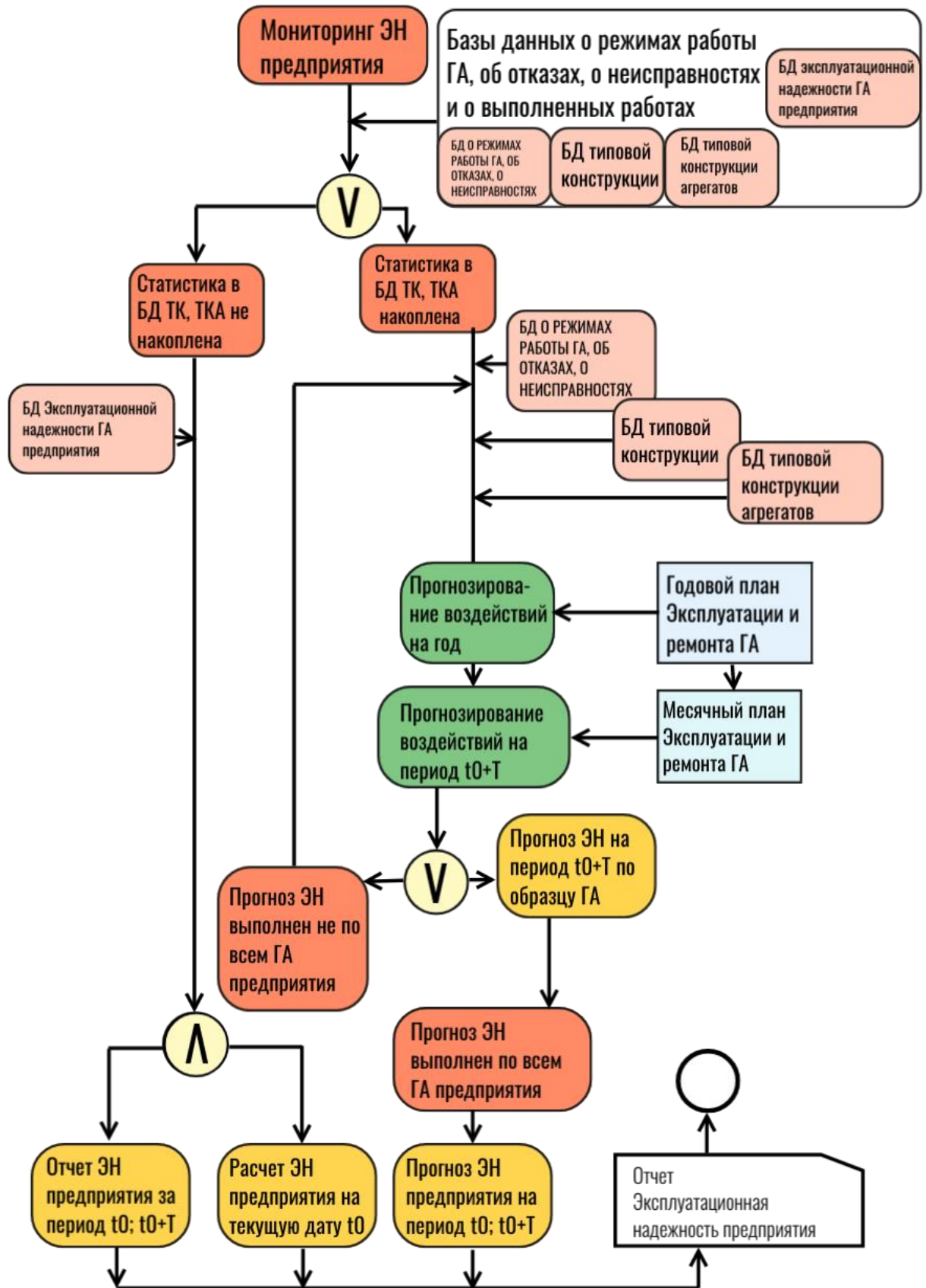


Рисунок 6.6 – Мониторинг эксплуатационной надежности предприятия

Особенностью процедуры прогнозирования является то, что показатели эксплуатационной надежности парка ТС рассчитываются в календарном периоде, т.е. по датам на какой-то период. А прогнозирование воздействий на ГА построено во временном ряду наработки, как правило, в километрах пробега. Для решения этой задачи при прогнозировании на месяц в расчет принимается величина расхода ресурса (пробега), указанная в месячном плане, в предположении равномерного распределения предполагаемой наработки по дням.

При прогнозировании на год или его оставшуюся часть предполагается, что остаток ресурса (пробега) на год равномерно распределен по месяцам и равномерно по дням в месяце. Если лицо, выполняющее прогноз ЭН парка, знает распределение по месяцам, то информационная система предоставляет возможность такого учета и расчет ведется исходя из указанного распределения ресурса.

Информационная система прогнозирования воздействий имеет в качестве задачи решение оптимизационной задачи распределения расхода ресурса (пробега) по месяцам в течение года по таким критериям, как достижение требуемых значений показателей ЭН при известной продолжительности прогнозируемых воздействий; планирование воздействий из расчета не превышения производственной мощности предприятия; обеспечение наименьшей стоимости воздействий при условии сохранения показателей ЭН не ниже нормативных величин и др. [202].

После выполнения такого прогноза по всем образцам ГА определяется прогноз показателей ЭН парка ГА предприятия на указанные периоды с формированием отчета по указанию пользователя.

Применение алгоритмов принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия (рисунок 6.1), мониторинга эксплуатационной надежности ГА (рисунки 6.5 и 6.6) позволило повысить эксплуатационную надежность агрегата на 45 %, автомобиля на 27%, предприятия на 16% соответственно на рассматриваемом предприятии.

6.4 Техничко-экономическая оценка результатов исследования

Рассматриваемые в данном исследовании подходы предполагают оптимизацию процесса принятия решения по периодичности тех или иных операций ТО и Р автомобилей, формирование складских запасов запасных частей и расходных материалов и создание системы компромиссов, объединяющих положительные стороны как планово-предупредительной системы, так и заводских регламентов, при этом существенным отличием будет адаптивная периодичность операций ТО и номенклатура запасных частей и материалов, определяемая как динамическая система с постоянно корректируемыми параметрами, зависящими от факторов, влияющих на эксплуатацию автомобилей, и рассчитываемые под каждый конкретный автомобиль индивидуально в процессе его эксплуатации в режиме реального времени.

В основе расчетов оптимальной периодичности ТО и ремонтных воздействий – статистика отказов, оценка стоимости эксплуатации автомобиля на основе расчета комплексного параметра затрат, учитывающего техническую, экономическую и экологическую составляющие удельных расходов, а также прогнозная модель развития сценариев отказов, на основе которой с учетом рисков наступления отказов и убытков прогнозируются соответствующие меры их предупреждения (время проведения мероприятий и их объем) по Парето-оптимальному сценарию на протяжении всего периода эксплуатации автомобиля.

Оценка эффективности мероприятий по внедрению адаптивной системы прогнозирования отказов проводилась на примере парка автомобилей ООО «Белдорстрой» в период с 2022 по 2024 гг. Исходные данные для расчетов представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Исходные показатели рассматриваемого парка грузовых автомобилей ООО «Белдорстрой»

Показатель	Значение
Количество грузовых автомобилей в парке, шт	209
Средний возраст парка, лет	20,46
Средний пробег на один автомобиль за год, км/год	27801,74
Структура парка по маркам, отечественные/импортные, шт	190/19
Класс автомобилей по грузоподъемности в среднем, т	15
Показатели соотношения расходов по статьям ТО/ТР (до внедрения предлагаемых решений)	0,44/0,56
Средняя наработка, моточасов в год	1125,58
Издержки от простоя автомобиля в среднем, руб/ч	3982
Издержки от простоя по ФОТ, руб/ч	462,5

Структура расходов по статьям при эксплуатации парка грузовых автомобилей предприятия представлена в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Структура расходов на эксплуатацию и ремонт парка грузовых автомобилей предприятия

Статья расходов	Доля в суммарных расходах, %
1. Затраты на ТО и ТР	22
2. Амортизация основных фондов	4
3. Затраты на топливо и ГСМ	26
4. Фонд ЗП	28
5. Износ и ремонт шин	2
6. Простои	4
7. Накладные расходы	14

Анализ таблицы 6.3, показал, что экономический эффект сокращения расходов от внедрения АСТОР возможен в следующих статьях расходов: «Затраты на ТО и ТР», «Износ и ремонт шин», «Простои». Косвенно при динамической оценке предельного срока эксплуатации конкретного автомобиля (при продлении срока эксплуатации до списания) экономический эффект также можно получить в статье расходов «Амортизация основных фондов». Для анализа резервов влияния на экономические показатели по каждой категории расходов требуется дальнейшее детальное рассмотрение их составляющих.

Статью расходов «Затраты на ТО и ТР» можно объединить со статьей

расходов «Износ и ремонт шин», поскольку так или иначе шины и работы по их ремонту и замене входят в перечень работ по ТО или по ТР, при этом можно разделить затраты на две основные категории именно как перечень работ и материалов как по ТО, так и по ТР. Первая – затраты на проведение ТО, вторая – затраты на проведение ТР. Затраты на каждую составляющую находятся в тесной зависимости друг от друга. От степени соответствия требуемому уровню выполнения ТО зависит дальнейший уровень надежности ГА при эксплуатации, и сокращение расходов на ТР. И наоборот от качества проведения ТР зависят последующие расходы на ТО, в связи с этим рассмотрено распределение отказов по системам грузовых автомобилей (рисунок 6.7).

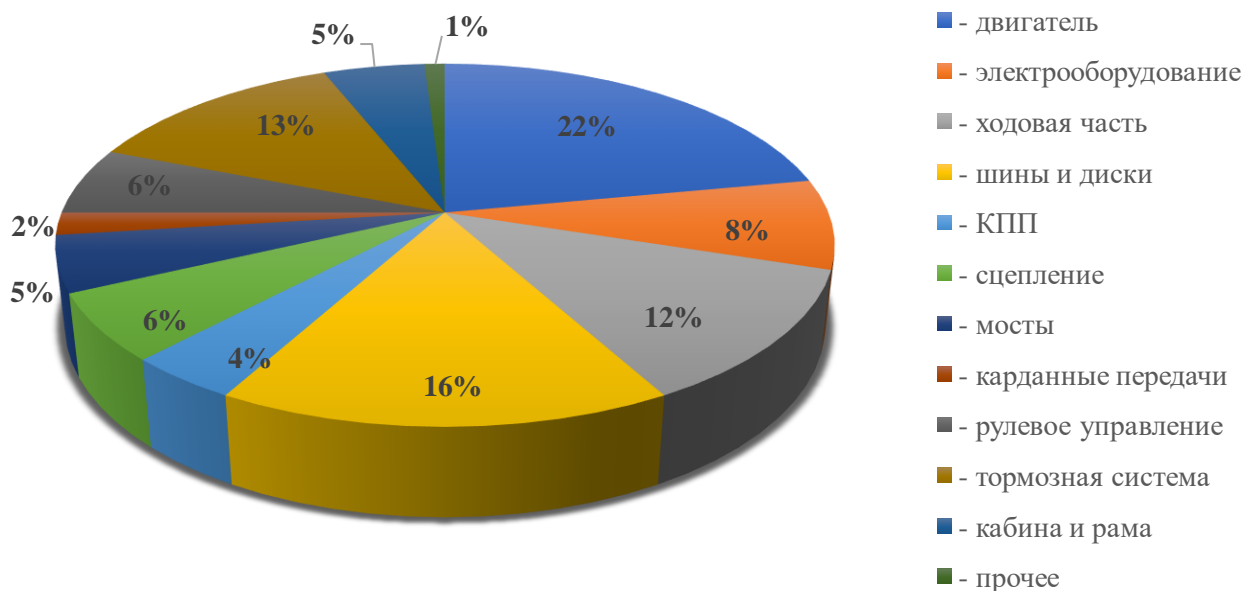


Рисунок 6.7 – Распределение причин отказов грузовых автомобилей

При определении суммарного экономического эффекта по статье расходов «Затраты на ТО и ТР» после внедрения АСТОР, необходимо учитывать долю предотвращенных отказов по всем системам, и суммарную экономию за счет сокращения затрат на ТО и ТР. Для этого выполнен сравнительный анализ статистики видов ремонтов по различным системам и совокупных затрат на них в случаях до и после внедрения АСТОР (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Относительные показатели количества отказов и сокращения расходов на ремонт по системам автомобилей после внедрения АСТОР

Вид системы	Относительное количество прогнозируемых отказов по каждой системе отдельно, %	Относительное количество отказов, которые удастся предупредить, %	Удельное сокращение расходов на ремонт после внедрения, %
Двигатель	74	68	21
Электрооборудование	58	52	7
Ходовая часть	76	73	16
Колеса	82	76	38
КПП	68	60	12
Сцепление	86	83	15
Мосты	79	75	9
Карданные передачи	82	78	18
Рулевое управление	95	93	5
Тормозная система	92	90	7
Кабина и рама	75	69	25
Прочее	-	-	-

На рисунке 6.8 представлено статистическое распределение по видам отказов для парка ТС предприятия.

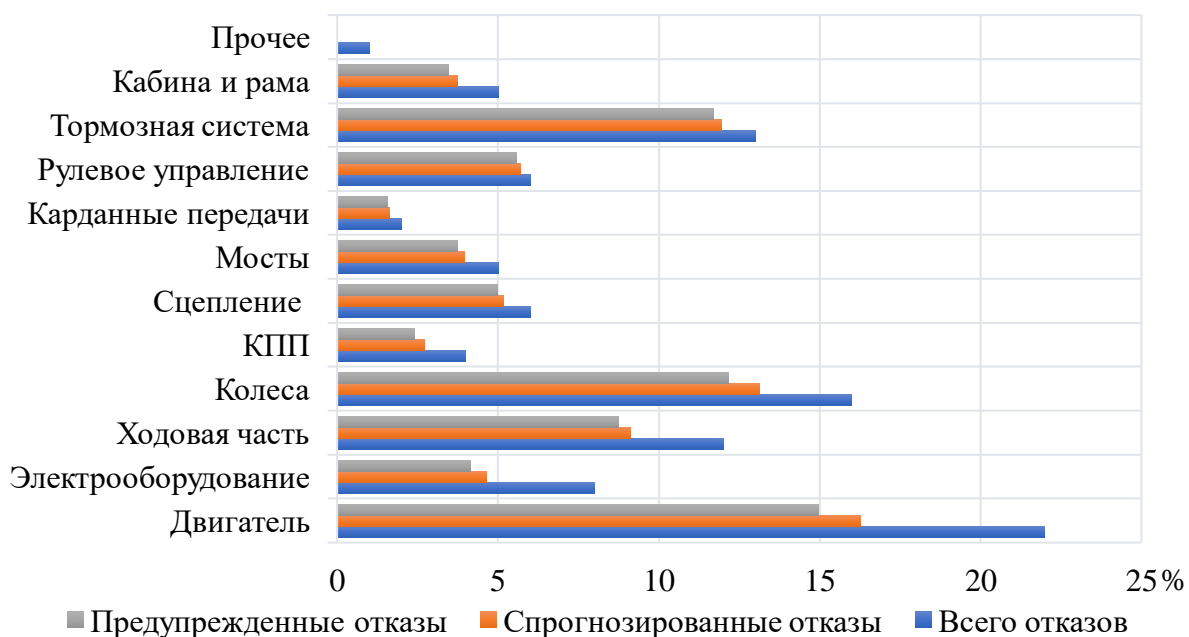


Рисунок 6.8 – Предупреждение отказов по системам автомобилей

Выполнен расчет соотношения доли затрат на проведение ТО к затратам на ТР (таблица 6.5) для парка ТС предприятия.

Таблица 6.5 – Статистика соотношение затрат на ТО и ТР парка ГА

Парк автомобилей	Соотношение затрат		
	на ТО/ТР минимум	на ТО/ТР максимум	на ТО/ТР, в среднем по парку
Смешанный (несколько различных марок и моделей ГА)	0,39/0,61	0,52/0,48	0,44/0,56

Ввиду внедрения мероприятий по предупреждению отказов и своевременности ремонтных воздействий, произошло сокращение затрат на проведение работ по ТО. Для рассматриваемого парка ТС данный показатель составил 12%.

Суммарное относительное сокращение затрат по ТО и ТР рассчитывается по формуле:

$$\Delta S = \sum(\Delta TP + \Delta TO) = k_{TP} \cdot (\Delta C_1 \cdot x_1 + \Delta C_2 \cdot x_2 + \dots + \Delta C_i \cdot x_i) + k_{TO} \cdot \Delta C_{TO} \quad (6.5)$$

где ΔS – значение суммарного относительного сокращения затрат по ТР и ТО;

ΔTP – значение суммарного относительного сокращения затрат по ТР;

ΔTO – значение суммарного относительного сокращения затрат по ТО;

k_{TP} – коэффициент, характеризующий долю затрат на ТР по отношению к сумме затрат на ТО и ТР;

k_{TO} – коэффициент, характеризующий долю затрат на ТО по отношению к сумме затрат на ТО и ТР;

ΔC_i – значение удельного сокращения затрат при ТР в i -й системе автомобиля (значение определяется статистически по фактическому сокращению затрат);

x_i – значение доли отказов, приходящееся на i -ю систему автомобиля по отношению ко всему количеству отказов.

ΔC_{TO} – значение доли сокращения затрат по ТО.

$$\begin{aligned}\Delta S &= \sum(\Delta TP + \Delta TO) = \\ &= 0,56 \cdot 0,22 \cdot 0,21 + 0,08 \cdot 0,07 + 0,12 \cdot 0,16 + 0,16 \cdot 0,38 + 0,04 \times \\ &\times 0,12 + 0,06 \cdot 0,15 + 0,05 \cdot 0,09 + 0,02 \cdot 0,18 + 0,06 \cdot 0,05 + 0,13 \times \\ &\times 0,07 + 0,05 \cdot 0,25 + 0,44 \cdot 0,12 = 0,17684 = 17,7\%\end{aligned}$$

До внедрения АСТОР на предприятии годовые затраты на проведение ТО и ТР в расчете на одно ТС парка предприятия составляло 88 035,2 руб. и 112 044,8 руб. соответственно. После внедрения АСТОР общее снижение затрат на ТО и Р (формула (6.5)) составило 17,7% или 35 414,16 руб. на одно ТС, из них 10 604,24 руб. (5,3%) - сокращение затрат на ТО, а 24 809,92 р. (12,4%) - сокращения расходов на ТР.

По парку автомобилей совокупное снижение затрат издержек на ТО/ТР составляет 7 401 559,44 руб/год.

Для оценки экономического эффекта от снижения времени простоев, рассматривается сравнение продолжительности времени проведения работ по ТО и ТР, при аналогичных причинах остановки автомобилей на ремонт, а также учет упущенной выгоды от неиспользования автомобиля по своему назначению за это время и фонда оплаты труда (полная сумма со всеми налогами и отчислениями) лиц, задействованных в технологической цепи обеспечения выполнения автомобилем работы по назначению. Расчет суммарных потерь от простоев производится по формуле (6.6).

$$\begin{aligned}\sum S_{ПР} &= T_{П1} \cdot (N_{ПР1} + N_{ЗП1}) + T_{П2} \cdot (N_{ПР2} + N_{ЗП2}) + \\ &+ T_{Пi} \cdot (N_{ПРi} + N_{ЗПi}) = T_{Пср} \cdot (N_{ПРср} + N_{ЗПср})\end{aligned}\quad (6.6)$$

где $\sum S_{П}$ – суммарные потери от простоев, руб;

$T_{Пi}$ – время простоя на время проведения ТО/ТР i-го автомобиля, ч/год;

$N_{ПРi}$ – величина потерь при простое на время проведения ТО/ТР i-го автомобиля, руб/ч;

$N_{ЗПi}$ – величина потерь при выплатах зарплат лиц, задействованных в технологической цепи обеспечения выполнения i-м автомобилем работы по назначению, руб/ч.

Данные для расчета потерь от простоев исследуемого парка машин усреднены и составили на один автомобиль:

$T_{Пср}$ – время простоя i -го автомобиля. Принимаем $T_{Пср}=95,27$ ч/год;

$N_{Пср}$ – величина потерь при простое i -го автомобиля. Принимаем $N_{Пср}=3982$ руб/ч;

$N_{ЗПср}$ – величина потерь при выплатах зарплат лиц, задействованных в технологической цепи обеспечения выполнения i -м автомобилем работы по назначению. Принимаем $N_{ЗПср}=462,5$ руб/ч (полная сумма со всеми налогами и отчислениями).

$$\sum S_{ПР} = 95,27 \text{ ч/год} \cdot (3982 \text{ руб/ч} + 462,5 \text{ руб/ч}) = 423\,427,5 \text{ руб/год.}$$

Относительная величина сокращения потерь от простоев рассчитывается по формуле (6.7).

$$\Delta S_{ПР} = \frac{S_{ПР1} - S_{ПР2}}{S_{ПР1}} \cdot 100\%, \quad (6.7)$$

где $\Delta S_{ПР}$ – показатель удельного сокращения затрат от простоев;

$S_{ПР1}$ – потери от простоев до внедрения предлагаемой методики, руб;

$S_{ПР2}$ – потери от простоев после внедрения предлагаемой методики, руб.

$$\Delta S_{ПР} = \frac{423427,5 - 351021,4}{423427,5} \cdot 100\% = 17,1\%.$$

В рассматриваемом парке автомобилей описанный выше показатель удельного сокращения затрат от простоев после внедрения предлагаемой методики, определенный при анализе статистики статей расходов, составил 17,1%. Из них 1,78% пришлось на сокращение затрат по фонду заработной платы и 15,32% – на сокращение затрат от недополученной выгоды в результате выбывания автомобилей из производственного цикла на время простоев.

При этом абсолютное сокращения затрат на простои в год на 1 автомобиль составило:

$$S_{ПР1} - S_{ПР2} = 423427,5 - 351021,4 = 72\,406,1 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

Сокращение затрат на простои во время проведения ТО/ТР в год по

парку автомобилей составило 15 132 875 руб.

Рассмотрим расчет издержек на простои от внезапных отказов в группе автомобилей парка с возрастом 16 лет и более:

- В среднем по парку (в группе группы парка от 15 лет) на 10 000 км пробега приходится 0,507 отказа на 1 автомобиль, в результате которого он нуждается в принудительной буксировке до места ремонта.

- Среднее плечо буксировки 108 км.

- Среднее время буксировки (от момента проявления отказа до прибытия на ремонт составляет 6,5 ч. Сюда входят такие операции, как сообщение диспетчеру, поиск тягача, вызов водителя тягача или снятие с линии, заправка тягача при необходимости, оформление путевого листа, выдача инвентаря (трос, жесткая сцепка, др.), поездка в сторону начала буксировки автомобиля, подготовка к буксировке (растормаживание, крепление буксировочных приспособлений), буксировка.

- Простои от внеочередного ожидания очереди на ремонтный пост в среднем составляют 2,6 дней или 20,8 ч.

- Простои от диагностических мероприятий (разборка дефектовка) в среднем составляет 3,2 дня или 25,6 ч.

- Простои от ожидания запчастей в среднем составляют 5 дней или 40 ч.

- Слесарные работы 1,2 дня или 9,6 ч.

Расчет суммы издержек от простоя рассчитывается по формуле (6.9).

$$\sum S_{\text{ПРОТК}} = K_{\text{ПР10000}} \cdot (\sum T_i \cdot (N_{\text{ПРi}} + N_{\text{ЗПi}})) + C_{\text{ТОПЛ}}, \quad (6.9)$$

где $\sum S_{\text{ПРОТК}}$ – сумма издержек от простоя по причине внезапного отказа, руб;

$K_{\text{ПР10000}}$ – количество внезапных отказов, требующих буксировки;

$\sum T_i$ – суммарное время простоя, ч;

$N_{\text{ПРi}}$ – величина потерь при простое при внезапном отказе i-го автомобиля, руб/ч;

$N_{\text{ЗПi}}$ – величина потерь при выплатах зарплат лиц, задействованных в технологической цепи обеспечения выполнения i-м автомобилем работы по назначению, руб/ч;

$C_{\text{топл}}$ – величина издержек на топливо при буксировке, руб.

В результате проведенных расчетов среднее время простоев автомобиля в группе возраста автомобилей старше 16 лет, приходящееся на 10 000 км пробега составило 51,97 ч или 6,5 дней при 8-часовой рабочей смене. Издержки от простоя составили 271 180 руб./10 000км или 27 118 руб./1000км.

Также определены показатели для других возрастных групп автомобилей парка. Обобщенный результат отображен в таблицах 6.6 и 6.7.

Таблица 6.6 - Удельные издержки от простоев по причине внезапных отказов

Возрастная группа автомобилей	Удельные издержки от простоев при внезапных отказах		Величина снижения издержек от простоя, %
	до внедрения, руб/1000км	после внедрения, руб/1000км	
0-3	8309 руб/1000км	3675 руб/1000км	55,8%
4-6	10008 руб/1000км	4040 руб/1000км	59,6%
7-10	14004 руб/1000км	5280 руб/1000км	62,3%
11-15	19069 руб/1000км	6294 руб/1000км	67%
от 16	27118 руб/1000км	7930 руб/1000км	70,8%

Таблица 6.7 - Издержки от простоев по причине внезапных отказов в зависимости от группы возраста автомобилей парка

Параметр	Группа					Итого
	0-3	4-6	7-10	11-15	старше 15	
Количество автомобилей, шт.	54	26	52	48	29	209
Пробег в год, средний, км	19548,2	37016	30775,5	19543,37	7676,8	22866,29
Издержки от простоев (от внезапных отказов) до внедрения, руб.	8771004	9631859	22410965	17888281	6037204	64739313
Издержки от простоев (от внезапных отказов) после внедрения, руб.	3879340	3888160	8449721	5904286	1765434	23886941
Сокращение издержек от простоев от внезапных отказов, %	55,8	59,6	62,3	67	70,8	63,1

На рисунке 6.9 показаны величины издержек за счет простоев автомобилей от внезапных отказов в зависимости от их возраста, из которого видно, что новые автомобили и находящиеся в эксплуатации до 3-х лет имеют самый низкий показатель простоев. В основном здесь преобладает доля работ

по ТО в соответствии с заводскими регламентами, а текущие ремонты и внезапные отказы случаются редко, кроме того, статистики по отказам новых автомобилей немного, что в свою очередь является препятствующим фактором для реализации всей полноты возможностей снижения издержек от простоев (в пределах 55,8%) в основном за счет предупреждения и своевременной подготовки расходных материалов, запчастей и планирования работы поста обслуживания.

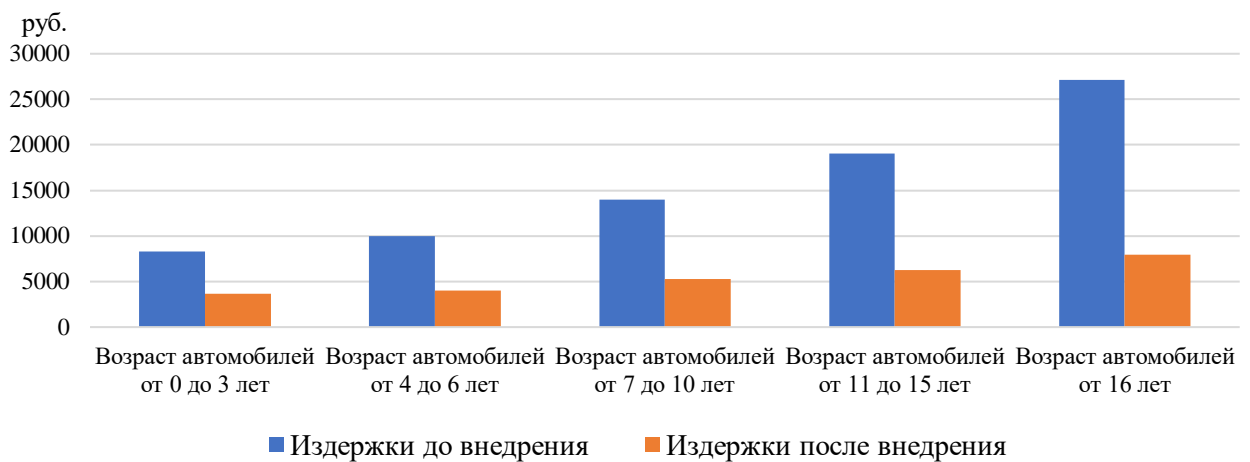


Рисунок 6.9 – Величина издержек от простоев в результате внезапных отказов, приведенная к пробегу 1000 км в соответствии с группой возраста автомобилей

В парке автомобилей с более высоким возрастом величина простоев возрастает и достигает 6 037 204 руб. в группе автомобилей с возрастом равным или более 16 лет. Для этих автомобилей возможностей сокращения простоев за счет внедрения предлагаемой методики становится больше, и величина сокращения простоев растет по мере перехода от групп автомобилей с меньшим возрастом к группам с большим возрастом, достигая максимального значения 70,8% в группе автомобилей с возрастом 16 лет и старше. Достижение данного показателя становится возможным за счет наличия большой статистической базы отказов автомобилей этой группы, что дает возможность более точного прогнозирования отказов с большей достоверностью, в связи с чем появляется больше возможностей по

предотвращению отказа, уменьшения объема работ ввиду отсутствия дополнительных отказов, вызванных первичным предотвращенным; заранее формируется запрос на запчасти, их заказ, а также осуществляется планирование ремонта с выделением поста ремонта и осуществляется заблаговременная подготовка или приобретение необходимого инструмента.

Сокращение затрат на простои от внезапных отказов в год по парку автомобилей составило 40 741 245 руб/год.

В настоящее время не сформированы единые подходы к определению экологического вклада от тех или иных мероприятий, внедряемых на автотранспорте, также довольно сложно найти подходы в определении экономического эффекта, выраженного через экологический аспект, однако имеются пока что достаточно приблизительные методики, основывающиеся на расчете вклада в снижение выбросов оксида углерода. При внедрении предлагаемой методики целесообразно рассматривать сокращение негативного воздействия на окружающую среду в размере пропорциональном доле от продления срока эксплуатации автомобиля за вычетом негативного воздействия от производства запчастей и материалов, необходимых для поддержания в исправном состоянии автомобиля на продленном сроке эксплуатации, так как пока нет необходимости приобретения нового автомобиля, нет необходимости в его производстве и, соответственно, в негативном воздействии на окружающую среду от производственных факторов. В частности, речь идет о снижении количества необходимой добычи металлов, нефти, воды, производства полимеров, резины, стекла и многих других разновидностей сырья. На основании показателей эффективного ожидаемого продления сроков эксплуатации автомобилей парка, который составил 28% ожидается также снижение негативного воздействия на окружающую среду на всем цикле эксплуатации автомобилей на 28%.

Экономический эффект от импортозамещения при внедрении предлагаемых решений складывается из следующих составляющих:

1. Сокращение расходов от простоев автомобилей, вызванных долгим

ожиданием оригинальных запасных частей за счет: а) заблаговременного резервирования, б) за счет использования импортозамещающих аналогов запасных частей, приобретаемых по более низким ценам. Расчет производится по формуле (6.10).

$$\sum C_{\text{ИМП}} = (N_{\text{ПРi}} + N_{\text{ЗРi}}) \cdot (T_{\text{ОЖ1}} - T_{\text{ОЖ2}}) + K_1 \cdot (P_{\text{ориг.1}} - P_{\text{имп.зам1}}) + \dots + K_n \cdot (P_{\text{ориг.n}} - P_{\text{имп.зам.n}}), \quad (6.10)$$

где $\sum C_{\text{ИМП}}$ - сумма сокращения издержек при импортозамещении, руб.;

$N_{\text{ПРi}}$ - величина потерь при простое i-го автомобиля, руб./ч;

$N_{\text{ЗРi}}$ - величина потерь при выплатах зарплат лиц, задействованных в технологической цепи обеспечения выполнения i-м автомобилем работы по назначению, руб./ч;

$T_{\text{ОЖ1}}$ - время ожидания запасных частей до внедрения предлагаемой методики, ч;

$T_{\text{ОЖ2}}$ - время ожидания запасных частей после внедрения предлагаемой методики, ч;

K_n - количество n заменяемых запасных частей/материалов, шт.;

$P_{\text{ориг.n}}$ - цена n-й оригинальной запасной части/материала, руб.;

$P_{\text{имп.зам.n}}$ - цена n-й импортозамещенной запасной части/материала, руб.

В результате вычислений определено, что после внедрения предлагаемой методики показатель импортозамещения достиг 32% в парке импортных автомобилей и составил величину 636 582 руб./год.

Расчет суммарного экономического эффекта осуществляется сложением экономических эффектов от всех составляющих по формуле (6.11).

$$C_{\text{ОБЩ}} = C_{\text{ТО/ТР}} + C_{\text{Простои ТО/ТР}} + C_{\text{Простои внез отк.}} + C_{\text{Имп.замещ}}, \quad (6.11)$$

где $C_{\text{ОБЩ}}$ - суммарный общий экономический эффект, руб.;

$C_{\text{ТО/ТР}}$ - экономический эффект от сокращения расходов по ТО/ТР, руб.;

$C_{\text{Простои ТО/ТР}}$ - экономический эффект от сокращения расходов на простои во время ТО/ТР, руб.;

$C_{\text{Простои внез отк.}}$ - экономический эффект от сокращения расходов на простои в результате внезапных отказов, руб.;

$C_{\text{Имп.замещ}}$ – экономический эффект от сокращения расходов, связанный с импортозамещением, руб.

$$C_{\text{ОБЩ}} = 7\,638\,983 + 14\,641\,385 + 40\,741\,245 + 636\,582 = 63\,658\,196 \text{ (руб/год)}.$$

В результате расчета суммарный экономический эффект составил 63 658 196 руб. по всему парку автомобилей или 304 585 руб. на 1 автомобиль в среднем за год, что составляет сокращение издержек на 32,64% по всем статьям расходов по отношению к периоду эксплуатации парка до внедрения предлагаемой методики. Распределение экономического эффекта по статьям затрат представлено на рисунке 6.10.

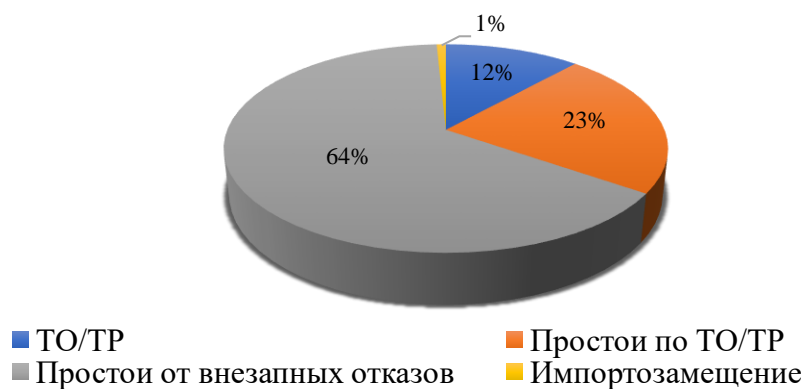


Рисунок 6.10 - Составляющие экономического эффекта от внедрения системы прогнозирования и предотвращения отказов

Анализ рисунка 6.10 показал, что экономический эффект в результате внедрения предлагаемых решений будет достигнут за счет снижения простоев ГА по причинам наступления внезапных отказов (64% или 40 741 245 руб.) и простоев при проведении ТО/ТР (23% или 14 641 385 руб.), а также снижения затрат на проведение ТО/ТР (12% или 7 638 983 руб.) и импортозамещения (1% или 636 582 руб.).

6.5 Выводы по главе 6

1. Разработана методика прогнозирования изменения структурных параметров, описана структура базы данных эксплуатационных режимов агрегатов, систем и деталей автомобилей, разработаны модели прогнозирования остаточного ресурса и воздействий. Методологическая база для объективной оценки и управления ЭН, представляет собой алгоритм

принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия. Основу принятия решений, в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия, обеспечивает система мониторинга и система прогнозирования воздействий.

2. Предложена адаптивная система ТОиР для определению сроков и объема ТО, основанная на кластерном подходе, которая является плановой, предупредительной, но подстраивающейся в автоматическом режиме к увеличивающейся надежности, условиям эксплуатации, находящим отражение в эксплуатационных режимах, инфраструктуре предприятия, его назначении и характеристике решаемых транспортно-технологических задач.

3. Определено, что для принятия решения о проведении воздействий (СР, КР) и включении их в планирующие документы целесообразно рассмотреть две стратегии, отличающиеся тем, что принимается в качестве учетной единицы – прогнозируемый отказ с последующим воздействием или ГА, имеющий несколько прогнозируемых отказов. Сравнение стратегий осуществляется по критерию стоимости единицы изменения (повышения) ЭН парка ТС.

4. Внедрение разработанной концептуальной математической модели прогнозирования технического состояния ГА на предприятии для группы автомобилей, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечило снижение отказов на 93%, сведя их практически к нулю. Время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 18 %.

5. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемых решений, которое показало, что основной экономический эффект на рассматриваемом предприятии в результате внедрения предлагаемых решений составил 63 658 196 руб. и достигнут в виду снижения: простоев ГА по причинам наступления внезапных отказов на 64% (40 741 245 руб.); простоев при проведении ТО/ТР - 23% (14 641 385 руб.); затраты на ТО/ТР – на 12% (7 638 983 руб.); за счет импортозамещения - 1% (636 582 руб.). Применение алгоритмов принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности ГА позволило повысить эксплуатационную надежность агрегата на 45 %, автомобиля на 27%, предприятия на 16%, соответственно, на рассматриваемом предприятии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований, разработанных научных методов, реализованных в математических моделях, экспериментальных исследований, изложены научно обоснованные организационно-технические предложения и технологические решения инновационной направленности, решена крупная научная проблема – разработаны методы повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей за счет управления эксплуатационной надежностью. Внедрение результатов исследования вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение качества эксплуатации грузовых автомобилей вследствие применения системного подхода в управлении эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации и реструктуризации их технических воздействий и распределении ограниченных ресурсов, что подтверждает значимость полученных результатов для народного хозяйства РФ.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ существующих методов оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей. Исследование структуры парка коммерческих автомобилей в РФ показало, что количество грузовых автомобилей составляет более 3,6 млн шт. или 44,3% от общего количества, причем 77,5% грузовых автомобилей - в возрасте старше 10 лет. Увеличение возраста грузовых автомобилей значительно влияет на показатели технической эксплуатации и эффективности их работы, снижение надежности, а также приводит к росту издержек, связанных с эксплуатацией парка грузовых автомобилей. Исходя из этого, введен и обоснован новый термин – «уровень эксплуатационной надежности». Обеспечить необходимый уровень эксплуатационной надежности возможно за счет прогнозирования, в том числе на основе интеллектуального анализа данных и событий. В настоящее время в РФ разрабатываются стандарты и программное обеспечение для предиктивной аналитики и принятия решений о проведении технического обслуживания и ремонта на основании сбора и анализа данных в реальном времени.

2. На базе обоснованного состава факторов, влияющих на эксплуатационную надежность, и установленных связей между ними и целевой функцией сформирована когнитивная модель управления эксплуатационной надежностью ГА, представляющая собой современный метод и технологию анализа сложных организационно-технических систем. Разработанная модель включает 22 фактора с целевой функцией «уровень эксплуатационной надежности». Установлено, что наибольшее влияние на уровень эксплуатационной надежности ГА оказывают факторы k_2 (Система прогнозирования ТС), k_{13} (Наработка на отказ), k_{19} (Снижение потерь от возникновения, критичности и последствия отказов). Так, пары концептов когнитивной карты $w(k_2, k_{13})$, $w(k_2, k_{19})$ имеют средние значения отношений причинности равные 0,9. Определено, что прямое влияние на УЭН оказывает только фактор k_7 (Укомплектованность водителями с требуемым уровнем квалификации) со значением 0,5.

3. Разработана методика оценки значений факторов, определяющих эксплуатационную надежность, т.е. выполнена оценка значений факторов, совокупность которых представляет собой независимый критерий, составляющие которого есть нормированные величины функции времени. Определено, что ряд факторов имеет максимальные значения, но при этом оказывают минимальное влияние на систему. Так, например, фактор k_1 имеет значение $r_1=1,0$, а значение влияния фактора на систему составляет $k_1=0,047$, для фактора k_{21} $r_{21}=1,0$, а $k_{21}=0,005$. Установлено, что максимальное значение на систему оказывают факторы k_2 ($k_2=0,173$), k_8 ($k_8=0,131$), k_9 ($k_9=0,113$), при этом значения самих факторов, соответственно, $r_2=0,5$, $r_8=0,75$, $r_9=0,8$.

4. Разработана методика динамической оценки уровня эксплуатационной надежности ГА, основанная на линейной свертке двух критериев: критерия влияния факторов на целевую функцию и критерия значений этих факторов. Модель применима для сравнительной оценки состояния и учета изменения уровня эксплуатационной надежности ГА различных предприятий или структурных подразделений предприятия как в конкретный момент времени, так и на протяжении какого-либо отчетного периода. По итогу моделирования определения УЭН ГА получены значения по каждому фактору и рассчитан УЭН

равный 0,763. Дальнейшее моделирование факторов позволило установить: увеличение значения фактора k_{11} на 0,55, k_{14} на 0,1, k_{13} на 0,15 дает увеличение УЭН, соответственно, на 0,031, 0,004 и 0,004; исключение влияния фактора на целевую функцию или взаимовлияния факторов, т.е. изменение структуры системы, например, обнуление влияния фактора k_1 на систему и k_{12} на k_{13} привело к снижению УЭН с 0,763 до 0,751.

5. Разработана методика формирования множества факторов, основанная на многокритериальной оптимизации по Парето, позволяющая решить задачу реструктуризации распределения ресурсов для повышения УЭН ГА. Для построения вариационного ряда предложено использовать методы «идеальной точки» и «контрольных показателей». Помимо фактических значений факторов определяются сценарии действий по увеличению значения целевой функции, а также функция значений выделенных средств на планируемый период, учитывающая дискретность значений факторов и затрат, связанных с их поддержанием и увеличением. Взаимосвязь традиционных когнитивных карт с временным рядом значений факторов выводит на новый уровень анализ системы управления ЭН ГА с позиции ее оценки по величине значения целевой функции.

6. Разработана концептуальная модель управления эксплуатационной надежностью прогнозированием технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов, основанная на создании информационной системы прогнозирования воздействий, как результат системно-информационного анализа с применением когнитивного моделирования. Методологической основой служит индивидуальный учет эксплуатационных режимов и нахождение коэффициентов влияния этих режимов на структурный параметр. В качестве математической базы определения коэффициентов влияния, для анализа и прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла, в работе применена теория множественной регрессии. Внедрение системы прогнозирования позволяет не констатировать факт достижения конкретного значения показателя эксплуатационной надежности, а эффективно управлять ею, снижая затраты на неплановые воздействия.

7. Разработан метод прогнозирования: разработана методика прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса грузовых автомобилей, связанная с нахождением уравнений регрессии, связывающих изменение целевых функций в зависимости от значений факторов (в качестве факторов берутся только те, которые определяют эксплуатационный режим агрегата); разработана методика прогнозирования технического состояния грузовых автомобилей, основанная на определении целевых функций, характеризующих изменение структурного параметра (впоследствии отказ) в зависимости от эксплуатационных режимов агрегата, системы или элементов автомобиля; разработана методика определения влияния пусковых режимов на изменение структурных параметров, которая заключается в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Проведен эксперимент, подтверждающий методику прогнозирования изменения структурных параметров, как наиболее наглядный элемент.

8. Разработан научно-методический подход принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия: разработан алгоритм принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия; предложена АСТОР для определения сроков и объема ТО, основанная на кластерном подходе, которая является плановой, предупредительной, но подстраивающейся в автоматическом режиме к увеличивающейся надежности, условиям эксплуатации, находящим отражение в эксплуатационных режимах, инфраструктуре предприятия, его назначении и характеристике решаемых транспортно-технологических задач; разработан алгоритм принятия решения по конкретным ГА при направлении в СР, КР, списание; разработан алгоритм мониторинга эксплуатационной надежности ГА.

9. Применение модели прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода позволяет сократить расходы на замену масла у 46 % автомобилей, что в денежном выражении для автопредприятия составило более 2,1 млн руб. Анализ

эксплуатационных режимов этой группы автомобилей показал, что доля «тяжёлых» для масла режимов в 4,6 раза меньше, чем у группы автомобилей, для которых сроки замены сокращены по сравнению с рекомендуемыми заводом-изготовителем. Доля таких автомобилей составила 12 %. Для остальных 42 % автомобилей периодичность замены масла коррелирует с периодичностью завода-изготовителя. Практическая реализация на предприятии для группы автомобилей, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечивает снижение отказов, связанных с остановкой транспортно-технологического процесса на 93 %. Время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 18 %. Применение алгоритмов принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности ГА позволило повысить эксплуатационную надежность агрегата на 45 %, автомобиля на 27 %, предприятия на 16 %, соответственно на рассматриваемом предприятии.

10. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемых решений, которое показало, что основной экономический эффект на рассматриваемом предприятии в результате внедрения предлагаемых решений составил 63 658 196 руб. И достигнут ввиду снижения: простоев ГА по причинам наступления внезапных отказов на 64 % (40 741 245 руб.); простоев при проведении ТО/ТР – 23 % (14 641 385 руб.); затраты на ТО/ТР – на 12 % (7 638 983 руб.); за счет импортозамещения – 1 % (636 582 руб.).

Перспективы дальнейшего развития темы: полученные результаты исследований могут служить основой для совершенствования системы технической эксплуатации, а именно: прогнозирования, резервирования, адаптивных ТО и ремонта для всех типов транспортных средств. С целью повышения эффективности использования потенциала транспортных средств рекомендуется применять методы повышения эффективности технической эксплуатации транспортных средств за счет управления эксплуатационной надежностью.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АРЗ	– авторемонтный завод
АСМ	– агрегат, система, механизм
АСТОР	– адаптивная системы технического обслуживания и ремонта
БД	– база данных
БСД	– бортовые средства диагностики
ГА	– грузовые автомобили
ГСМ	– горюче-смазочные материалы
Д	– диагностирование
ДТП	– дорожно-транспортное происшествие
ИЛП	– интегрированная логистическая поддержка
КР	– капитальный ремонт
КТГ	– коэффициент технической готовности
НПА	– нормативно-правовые акты
НТД	– нормативно-техническая документация
НСИ	– нормативно-справочная информация
СО	– сезонное обслуживание
СПВ	– система прогнозирования воздействий
СР	– средний ремонт
СТОА	– станция технического обслуживания автомобилей
СУ	– система управления
ТК	– типовая конструкция
ТКА	– типовая конструкция агрегата
ТО	– техническое обслуживание
ТОиР	– техническое обслуживание и ремонт
ТР	– текущий ремонт
ТЭА	– техническая эксплуатация автомобилей
УЭН	– уровень эксплуатационной надежности
ЭН	– эксплуатационная надежность

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, В. Н. Обеспечение сохраняемости и долговечности шин и резинотехнических изделий автомобильного транспорта : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Абрамов Вячеслав Николаевич. – Москва, 2006. – 671 с.
2. Авдонькин, Ф. Н. Методика определения оптимальной наработки двигателя до предупредительного ремонта / Ф. Н. Авдонькин [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1997. – № 1. – С. 7–8.
3. Агеев, Е. В. Проблемы и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей : монография / Е. В. Агеев, А. Л. Севостьянов, Ю. В. Родионов. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. – 200 с. – ISBN 978-5-9282-1043-4.
4. Агеев, Е. В. Техническая эндоскопия двигателей автомобилей : монография / Е. В. Агеев, А. В. Щербаков, А. В. Агеев, А. Л. Кудрявцев. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. – 130 с. – ISBN 978-5-9908594-3-2.
5. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1976. – 280 с.
6. Алтунин, А. А. Теоретическое и практическое применение методов принятия решений в условиях неопределенности Теоретическое и практическое применение методов принятия решений в условиях неопределенности. Том 1. Общие принципы принятия решений в условиях различных видов неопределенности / А. А. Алтунин. – М. : Издательские решения, 2019. – 484 с.

7. Аметов, В. А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Аметов Винура Абдурафиевич. – Тюмень, 2006. – 382 с.

8. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – Москва : Издательство "Финансы и статистика", 2000. – 368 с. – ISBN 5-279-02188-1.

9. Асоян, А. Р. Научные основы повышения долговечности автомобильных двигателей совершенствованием методов оценки технического состояния и технологий восстановления их основных элементов : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Асоян Артур Рафикович. – Волгоград, 2012. – 384 с.

10. Бардышев, О. А. О некоторых проблемах организации ремонта транспортно-технологических машин / О. А. Бардышев, С. В. Репин, А. Н. Филин [и др.] // Грузовик. – 2022. – № 5. – С. 28-34.

11. Басков, В. Н. Повышение безопасности эксплуатации автотранспортных средств с учетом показателей надежности водителя / В. Н. Басков, А. В. Игнатов, А. А. Неволин // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-4(82). – С. 83-89. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-83-89.

12. Басков, В. Н. Повышение надежности автомобиля использованием рационального измерителя процесса эксплуатации : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Басков Владимир Николаевич. – Саратов, 2004. – 375 с.

13. Баурова, Н. И. Информационная модель состояния технической системы / Н. И. Баурова, В. А. Зорин, В. М. Приходько // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – № 6. – С. 11-16.

14. Бобряков, А. В. Моделирование и проектирование информационно-аналитических производственных процессов на основе нейронечетких темпоральных сетей Петри / А. В. Бобряков, В. В. Борисов, А. Е. Мисник, С. А. Прокопенко // Прикладная информатика. – 2022. – Т. 17, № 2(98). – С. 65-78. – DOI 10.37791/2687-0649-2022-17-2-65-78.

15. Бодров, В. А. Повышение эффективности использования автомобилей путем регламентирования текущих ремонтов : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бодров Вячеслав Александрович. – Ярославль, 2002. – 449 с.

16. Борисов, В. В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В. В. Борисов. – М. : Горячая линия - Телеком, 2002. – 154 с.

17. Борисов, В. В. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей / В. В. Борисов, В. С. Луферов // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 2. – С. 1-23. – DOI 10.24411/2410-9916-2020-10201.

18. Борисов, В. В. Модели поддержки принятия решений на основе риск-ситуаций / В. В. Борисов, А. В. Сеньков // Нечеткие системы и мягкие вычисления. – 2014. – Т. 9, № 1. – С. 19-38.

19. Борисов, В. В. Нечеткая модель оценки сложных организационно-технических систем / В. В. Борисов, Я. А. Федулов // Естественные и технические науки. – 2014. – № 5(73). – С. 134-145.

20. Булакина, Е. Н. Повышение эксплуатационной надежности гидрофицированных машин на основе оперативного управления процессами их обслуживания : специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Булакина Елена Николаевна. – Красноярск, 2005. – 350 с.

21. Васильева, А. В. Перспективы использования карьерного транспорта в горной промышленности / А. В. Васильева, Е. С. Старостин // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики : Сборник научных материалов

Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова, Архангельск, 02–05 ноября 2020 года / Ответственные редакторы: А.О. Глико, А.А. Барях, К.В. Лобанов, И.Н. Болотов. – Архангельск: Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П.Лаверова Российской академии наук, 2020. – С. 640-644.

22. Габитов, И. И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Габитов Ильдар Исмагилович. – Санкт-Петербург, 2001. – 320 с.

23. Гайдар, С. М. Методы когнитивного моделирования при оценке технического уровня транспортных машин / С. М. Гайдар, Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц // Грузовик. – 2013. – № 8. – С. 23-26.

24. Герцбах, И. Б. Модели отказов / И. Б. Герцбах, Х. Б. Кордонский. – Москва : Советское радио, 1966. – 166 с.

25. Горбань, М. В. Методы оценки и способы повышения эксплуатационной надёжности датчиков массового расхода воздуха двигателем / М. В. Горбань, Е. А. Павленко // Надежность. – 2017. – Т. 17, № 4(63). – С. 44-48.

26. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения / Н. И. Воропай, Г. Ф. Ковалев, Г. А. Федотова, И. А. Шер. – Москва : Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия, 2017. – 16 с.

27. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – Введ. 2002-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 16 с.

28. ГОСТ 4.396-88. Система показателей качества продукции. Автомобили легковые. Номенклатура показателей. – Введ. 1989-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 13 с.
29. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. – Введ. 2022-01-01. – М. : Стандартинформ, 2021. – 46 с.
30. ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016. Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство. – Введ. 2017-12-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 18 с.
31. ГОСТ Р ИСО 14040-2022. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – Введ. 2022-12-12. – М. : Стандартинформ, 2022. – 18 с.
32. Грабауров, В. А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта / В. А. Грабауров // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 63-69-69.
33. Грабовский, А. А. Анализ существующих и перспективных технических решений по двигателям внутреннего сгорания / А. А. Грабовский, А. А. Семенов, А. В. Швецов // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 4(12). – С. 158-168.
34. Григорьев, М. А. Обеспечение надежности двигателей / М. А. Григорьев, В. А. Долецкий. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 324 с.
35. Григорьев, М. В. Применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта автомобилей как способ повышения их эксплуатационной надежности / М. В. Григорьев, В. В. Демидов // Инженерные решения. – 2020. – № 6(16). – С. 9-14. – DOI 10.32743/2658-6479.2020.6.16.317.
36. Гринчар, Н. Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов дорожных и строительных машин : специальность 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гринчар Николай Григорьевич. – Москва, 2007. – 369 с.

37. Гриценко, А. В. Исследование параметров работы газораспределительного механизма при виброакустическом контроле в режиме тестового диагностирования / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, А. С. Балясников // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3(47). – С. 65-73. – DOI 10.20291/2079-0392-2020-3-65-73.

38. Гурьянов, Ю. А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гурьянов Юрий Анатольевич. – Челябинск, 2007. – 371 с.

39. Дажин, В. Г. Методика расчета потребности в запасных частях / В. Г. Дажин // Автомобильная промышленность. – 1979. – № 10. – С. 9–12.

40. Данилов, И. К. Повышение эффективности использования ресурса автотракторных двигателей систематизацией эксплуатационно-ремонтного цикла на основе диагностирования : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Данилов Игорь Кеворкович. – Саратов, 2005. – 366 с.

41. Дегтярев, М. Г. Повышение надежности трансмиссии тракторов с шарнирной рамой : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Дегтярев Михаил Григорьевич. – Орел, 2004. – 280 с.

42. Демьянов, А. А. Особенности проектирования систем работающих в экстремальных условиях / А. А. Демьянов, А. А. Демьянов // Транспорт-2015 : труды международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 21–24 апреля 2015 года / Ростовский государственный университет путей сообщения. Том Часть 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 191-192.

43. Демьянчук, С. В. Разработка модели автоматизированного контроля технического состояния грузовых автомобилей / С. В. Демьянчук // Грузовик. – 2024. – № 7. – С. 38-41. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-7-38-41.
44. Денисов, А. С. Аналитическое исследование и обоснование комплексной оценки технического состояния ДВС / А. С. Денисов, Ю. И. Данилов // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 1(44). – С. 11-14.
45. Денисов, А. С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Денисов Александр Сергеевич. – Саратов, 1999. – 428 с.
46. Дехтеринский, Л. В. К вопросу повышения качества капитального ремонта машин / Л. В. Дехтеринский // Труды МАДИ. – 1966. – С. 72.
47. Дехтеринский, Л. В. Технология ремонта автомобилей / под ред. Л. В. Дехтеринского. – М. : Транспорт, 1979. – 342 с.
48. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано ; Джозеф Джарратано, Гари Райли; [пер. с англ. и ред. К. А. Птицына]. – 4-е изд.. – Москва [и др.] : Вильямс, 2007. – ISBN 978-5-8459-1156-8.
49. Дрыгин, М. Ю. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах / М. Ю. Дрыгин, Н. П. Курышкин // Динамика систем, механизмов и машин. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 115-122. – DOI 10.25206/2310-9793-2017-5-2-115-122.
50. Дубовик, Е. А. Ремонт блока цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей / Е. А. Дубовик // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2020. – № 3. – С. 130-135.
51. Дюмин, И. Е. Повышение эффективности ремонта автомобильных двигателей / И. Е. Дюмин. – М. : Транспорт, 1987. – 175 с.

52. Дюмин, И. Е. Совершенствование и повышение эффективности ремонта автомобилей и их агрегатов / И. Е. Дюмин // Автомобильный транспорт. – 1979. – № 4. – С. 29–31.

53. Ждановский, Н. С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей / Н. С. Ждановский, А. В. Николаенко. – Л. : Колос, 1982. – 295 с.

54. Загородний, Н. А. Влияние индикаторов технического состояния грузового автомобильного транспорта на основные эксплуатационные показатели его работы / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, А. С. Семькина, А. Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4-2(79). – С. 16-23. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-16-23.

55. Загородний, Н. А. Методика определения влияния пусковых режимов ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, А. С. Семькина // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 1(95). – С. 88-97. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97.

56. Зазуля, А. Н. Изменение свойств моторного масла во время эксплуатации в дизельном двигателе / А. Н. Зазуля, С. А. Белов // Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов. – 2020. – № 1. – С. 5-8.

57. Захаров, Ю. А. Анализ оборудования, применяемого для диагностики, испытания и проверки форсунок дизельных ДВС автомобилей / Ю. А. Захаров, Е. А. Кульков // Молодой ученый. – 2015. – № 2(82). – С. 154-157.

58. Подходы к определению технического состояния транспортных средств / С. М. Гайдар, Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц, А. О. Власов // Грузовик. – 2015. – № 5. – С. 27-30.

59. Заяц, Ю. А. Концептуальная модель управления технической готовностью транспортных средств с использованием современных информационно-коммуникационных технологий / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-4(25-4). – С. 255-259.

60. Заяц, Ю. А. Обеспечение работоспособности сельскохозяйственной техники применением технологий резервирования в системе топливоподачи дизелей : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Заяц Юрий Александрович. – Москва, 2013. – 370 с.

61. Зиганшин, Б. Т. Контроль технического состояния автотранспортных средств / Б. Т. Зиганшин // Современные УСЛОВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ науки и ТЕХНИКИ : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 21 мая 2019 года. Том Часть 2. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2019. – С. 42-44.

62. Зорин, В. А. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов : учебник / В. А. Зорин. – М. : Академия, 2018. – 304 с.

63. Зырянов, И. В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Зырянов Игорь Владимирович. – Санкт-Петербург, 2006. – 378 с.

64. Индикт, Е. А. Определение оптимального ресурса автомобилей / Е. А. Индикт, В. Любимов // Автомобильный транспорт. – 1972. – № 3. – С. 33–36.

65. Индикт, Е. А. Определение ресурса двигателя по техническим и экономическим критериям / Е. А. Индикт, А. М. Шейнин // Автомобильный транспорт. – 1971. – № 2. – С. 5–7.

66. Иншаков, А. П. Информационно-измерительный комплекс для диагностики турбокомпрессоров тракторных дизелей / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы : Материалы 65-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 20–21 мая 2014 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени

П.А. Костычева". Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2014. – С. 114-116.

67. Исаева, П. Н. Повышение эксплуатационной надежности автомобилей / П. Н. Исаева, Н. Р. Максимов, Т. А. Фаталиев // Вестник научных конференций. – 2021. – № 3-3(67). – С. 59-60.

68. Кабикенов, С. Ж. Методика сбора и обработки информации по эксплуатационной надежности деталей и узлов карьерных самосвалов / С. Ж. Кабикенов, Т. С. Интыков, Э. Ж. Кызылбаева, Н. Б. Жаркенов // Горный журнал. – 2015. – № 9. – С. 69–71.

69. Карабач, А. Е. Системы интеграции информации на основе семантических технологий / А. Е. Карабач // Наука, техника и образование. – 2014. – № 2(2). – С. 58-62.

70. Карагодин, В. И. Организация и технология централизованного ремонта автомобильных двигателей по техническому состоянию / В. И. Карагодин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2020. – 108 с. – ISBN 978-5-4365-6307-7.

71. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей : учебник / В. И. Карагодин. – М. : Академия, 2017. – 94 с.

72. Карагодин, В. И. Формирование и теоретическое обоснование основных направлений эффективного развития системы фирменного ремонта автомобилей: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Карагодин Виктор Иванович. – Москва, 1997. – 547 с.

73. Карагодин, В. И. Формирование структуры ремонтного цикла автомобилей и их составных частей / В. И. Карагодин, Д. В. Карагодин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2020. – 128 с. – ISBN 978-5-4365-6306-0.

74. Кокорев, Г. Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода : специальность 05.22.00 "Транспорт" :

диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кокорев Геннадий Дмитриевич. – Саранск, 2014. – 483 с.

75. Кокс, Д. Р. Статистический анализ последовательностей событий / Д. Р. Кокс, П. Льюис ; пер. с англ. И. А. Маховой, В. В. Рыкова ; под ред. Н. П. Бусленко. – Москва : Мир, 1969. – 312 с.

76. Колегаев, Р. Н. Определение наивыгоднейших сроков службы машин / Р. Н. Колегаев. – М. : Экономика, 1963. – 227 с.

77. Кондрашова, Е. В. Повышение эффективности технической эксплуатации автотранспортных средств по результатам исследования их эксплуатационных показателей / Е. В. Кондрашова, В. Г. Козлов, К. А. Яковлев [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4(47). – С. 80-86.

78. Коньков, А. Ю. Диагностирование технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстро-протекающих рабочих процессов : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Коньков Алексей Юрьевич. – Хабаровск, 2010. – 414 с.

79. Копылова, О. А. Кластеризация сбора транспортно-логистических систем / О. А. Копылова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – № 4 (4). – С. 73–81.

80. Кордонский, Х. Б. Вероятностный анализ процесса изнашивания / Х. Б. Кордонский ; АН СССР. Науч. совет по трению и смазкам. – Москва : Наука, 1968. – 56 с.

81. Корнеев, С. В. Методология совершенствования системы технического обслуживания дорожных, строительных и подъемно-транспортных машин : специальность 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Корнеев Сергей Васильевич. – Омск, 2003. – 299 с.

82. Королев, А. Е. Влияние параметров конструкции дизельных двигателей на технические показатели их работы / А. Е. Королев // Грузовик. – 2023. – № 9. – С. 3-5. – DOI 10.36652/1684-1298-2023-9-3-5.
83. Корчагин, В. А. Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н / В. А. Корчагин, В. С. Шатерников, М. В. Шатерников // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 10. – С. 35-39.
84. Косенко, Е. Е. Методы оценки эксплуатационной надежности автомобилей / Е. Е. Косенко, А. В. Черпаков, В. В. Косенко, А. И. Недолужко // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3(46). – С. 33.
85. Кошелев, А. В. Очистка системы смазки двигателей тракторов / А. В. Кошелев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 142-147. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-142-147.
86. Крамаренко, Г. В. К вопросу о наивыгоднейшем режиме технического обслуживания автомобилей / Г. В. Крамаренко // Техно-экономические вопросы использования подвижного состава автомобильного транспорта : сб. – М. : Автотрансиздат, 1956. – С. 142.
87. Крамаренко, Г. В. Техническая эксплуатация автомобилей / под ред. Г. В. Крамаренко. – М. : Транспорт, 1983. – 488 с.
88. Кретов, М. А. Регулирование автомобилизации и автомобилепользования как элемент стратегического управления городской транспортной системой / М. А. Кретов // Экономика, управление, финансы : Материалы IV Международной научной конференции, Пермь, 20–23 апреля 2015 года. – Пермь: Зебра, 2015. – С. 210-213.
89. Кузнецов, А. Е. Влияние эксплуатационных показателей конструкционных материалов в вопросе обеспечения надежности автомобилей / А. Е. Кузнецов // Будущее машиностроения России : Девятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов, Москва, 05–08 октября 2016 года. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. – С. 225-227.

90. Кузнецов, Е. С. Методы определения периодичности технического обслуживания и целесообразности принудительного ремонта / Е. С. Кузнецов // Автомобильная промышленность. – 1995. – № 6. – С. 10–14.

91. Кузнецов, Е. С. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учеб. пособие / Е. С. Кузнецов. – Москва : МАДИ, 1979 (вып. дан. 1980). – 111 с.

92. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хоз-во" направления подготовки дипломированных специалистов "Эксплуатация наземного транспорта" / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов [и др.]. – 4. изд., перераб. и доп.. – Москва : Наука, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2004. – 535 с. – ISBN 5-02-006307-X.

93. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей в США / Е. С. Кузнецов. – Москва : Транспорт, 1992. – 350 с.

94. Кузьмин, Н. А. Разработка научных основ обеспечения работоспособности теплонагруженных деталей автомобильных двигателей : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кузьмин Николай Александрович. – Нижний Новгород, 2006. – 335 с.

95. Кулаков, А. Т. Повышение надежности автотракторных дизелей путем совершенствования процессов смазки, очистки и технологии ремонта основных элементов : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кулаков Александр Тихонович. – Саратов, 2007. – 564 с.

96. Курбаков, И. И. Теоретическое обоснование предельного значения давления наддува для диагностирования турбокомпрессоров автотракторных двигателей / И. И. Курбаков // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы :

Материалы 65-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 20–21 мая 2014 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2014. – С. 137-141.

97. Литвак, Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – Москва : Патент, 1996. – 298 с.

98. Луйк, И. А. Определение ресурса автомобильного двигателя в зависимости от сроков службы его деталей / И. А. Луйк [и др.] // Техника. – 1996. – Вып. 13. – С. 50–56.

99. Лялинов, А. Н. О потенциале повышения эффективности использования природного газа в качестве топлива для транспортных двигателей / А. Н. Лялинов, А. Л. Пенкин, А. А. Капустин // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3(38). – С. 135-139.

100. Лянденбургский, В. В. Алгоритм поиска неисправностей дизелей / В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, В. В. Судьев // Молодой ученый. – 2015. – № 4(84).

101. Лянденбургский, В. В. Программа поиска неисправностей в системе зажигания двигателей / В. В. Лянденбургский, М. В. Нефедов, Д. В. Коротков, Д. А. Посыпкин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 2. – С. 199-203.

102. Максимов, В. А. Расчет и прогнозирование возрастной структуры автомобильного парка / В. А. Максимов. – М. : МАДИ, 1995. – 24 с.

103. Максимов, В. И. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2001) : Материалы I Междунар. конф. : в 3 т. – М. : ИПУ РАН, 2001. – Т. 2. – С. 10–21.

104. Малютин, А. И. Изменение кинематической вязкости моторного масла при эксплуатации двигателей / А. И. Малютин // Естественные и технические науки. – 2018. – № 4(118). – С. 157-160.

105. Марголин, М. С. Анализ существующих способов и средств моделирования бизнес-процессов / М. С. Марголин, Е. В. Сорокин // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2016. – Т. 1, № 2(2). – С. 22-38.

106. Маркелов, В. М. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления / В. М. Маркелов, И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Государственный советник. – 2014. – № 3(7). – С. 42-49.

107. Масино, М. А. Повышение долговечности автомобильных деталей при ремонте / М. А. Масино. – М. : Транспорт, 1972.

108. Масино, М. А. Пути снижения расхода и повышение долговечности автомобильных двигателей // Автомобильный транспорт. – 1968. – № 7.

109. Масуев, М. А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / М. А. Масуев ; М. А. Масуев. – Москва : Академия, 2007. – (Учебное пособие). – ISBN 978-5-7695-2871-2.

110. Матвиенко, И. В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств / И. В. Матвиенко // Новости науки и технологий. – 2022. – № 2(61). – С. 11-18.

111. Меновщиков, В. А. Повышение работоспособности игольчатых шарниров карданных передач приводов транспортно-технологических машин : специальность 05.02.02 "Машиноведение, системы приводов и детали машин" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Меновщиков Владимир Александрович. – Красноярск, 2006. – 329 с.

112. Методика определения основных показателей использования автомобильной техники в народном хозяйстве. – М. : НАМИ, 1978. – 48 с.

113. Мисник, А. Е. Композиционное нейросетевое моделирование сложных технических систем / А. Е. Мисник, В. В. Борисов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 7. – С. 39-46.

114. Мороз, С. М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств : Учебное пособие / С. М. Мороз. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2015. – 204 с. – ISBN 978-5-7962-0156-5.

115. Морозов, В. А. Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания / В. А. Морозов, О. Н. Морозова // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1(40). – С. 5.

116. Насковец, А. М. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО "БЕЛАЗ" / А. М. Насковец, П. А. Пархомчик, А. Н. Егоров [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Т. 7. – С. 8-11.

117. Неговора, А. В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных дизелей совершенствованием конструкции и технологии диагностирования топливopодающей системы : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Неговора Андрей Владимирович. – Санкт-Петербург, 2004. – 343 с.

118. Нестеренко, А. В. Ремонтная служба комбината / А. В. Нестеренко, С. А. Разгулов, Е. Ю. Берестнев, А. А. Никулин // Горный журнал. – 2017. – № 5. – С. 42-45. – DOI 10.17580/gzh.2017.05.09.

119. Никишин, В. Н. Формирование и обеспечение показателей качества автомобильных дизелей на стадии их проектирования и доводки : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели", 01.02.06 "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Никишин Вячеслав Николаевич. – Набережные Челны, 2006. – 377 с.

120. Ногин, В. Д. Основы теории оптимизации / В. Д. Ногин, И. О. Протодяконов, И. И. Евлампиев. – М. : Высшая школа, 1986. – 383 с.

121. Озорнин, С. П. Логика формирования модели управления процессами ситуационно-комбинированного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин / С. П. Озорнин // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XXIII Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Чита, 27 ноября – 01 2023 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2023. – С. 42-46.

122. Озорнин, С. П. Оценка эксплуатационной надежности горных транспортно-технологических машин на этапе анализа статистических данных об отказах / С. П. Озорнин // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 21–30.

123. Озорнин, С. П. Синергетический подход к обеспечению эксплуатационной безопасности колесных транспортных средств / С. П. Озорнин // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации : Материалы 116-й Международной научно-технической конференции, Улан-Удэ, 12–13 сентября 2023 года. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. – С. 27-32. – DOI 10.53980/9785907746091_27.

124. Орлов, Д. С. Расчет осевых нагрузок наземных транспортно-технологических машин / Д. С. Орлов // Грузовик. – 2024. – № 2. – С. 39-42. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-2-39-42.

125. Павлов, А. И. Повышение надежности гидроприводов лесных машин : специальность 05.21.01 "Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Павлов Александр Иванович. – Йошкар-Ола, 2004. – 408 с.

126. Панкратов, Н. Управление использованием ресурса автомобилей в рядовых условиях эксплуатации / Н. Панкратов, А. М. Шейнин // Автомобильный транспорт. – 1999. – № 10. – С. 18–20.

127. Пасечник, Е. Д. Повышение эффективности функционирования станций технического обслуживания с помощью современных компьютерных технологий в управлении рабочими процессами / Е. Д. Пасечник, Д. П. Кононов // Современные технологии, применяемые при обслуживании и ремонте автомобилей : Материалы национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 27 мая 2018 года. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. – С. 98-101.

128. Пастухов, А. Г. Повышение надежности карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пастухов Александр Геннадиевич. – Москва, 2008. – 487 с.

129. Пастухов, А. Г. Реализация технологии контроля узлов механических трансмиссий на основе цифровой термодиагностики / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 24-29. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-1-24-29.

130. Патент № 2612951 С Российская Федерация, МПК G01N 3/00. Способ определения остаточного ресурса узла транспортного средства : № 2015148937 : заявл. 16.11.2015 : опубл. 14.03.2017 / Ю. Г. Кабалдин, И. Л. Лаптев, Д. А. Шатагин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева" (НГТУ).

131. Пашукевич, С. В. Классификация загрязнителей моторных масел для дизельных двигателей / С. В. Пашукевич // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19, № 1(83). – С. 84-100. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-84-84-100.

132. Перечень основной действующей законодательной, нормативной, технической и методической документации по организации транспортного

процесса на автомобильном транспорте. – СПб. : ООО «ЦЭС Автотранс», 2008. – 17 с.

133. Петров, Р. Л. Рециклирование, как составная часть проектирования АТС. Опыт «АВТОВАЗа» / Р. Л. Петров // Рециклинг отходов. – 2008. – № 5. – С. 2–11.

134. Петров, Р. Л. Системы утилизации легковых автомобилей / Р. Л. Петров // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 7. – С. 3-5.

135. Плиев, И. А. Методика оценки технического уровня АТС многоцелевого назначения / И. А. Плиев, А. Н. Вержбицкий // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 11. – С. 34–36.

136. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – Москва : Физматлит, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6

137. Подопригора, Н. В. Алгоритмы диагностирования конструктивных систем высокоавтоматизированных транспортных средств / Н. В. Подопригора // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-1(83). – С. 3-8. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-3-18.

138. Подопригора, Н. В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств / Н. В. Подопригора, Я. В. Васильев // Грузовик. – 2023. – № 8. – С. 20-24. – DOI 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24.

139. Подопригора, Н. В. Перспективные модели оценки технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств / Н. В. Подопригора, С. А. Евтюков // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Т. 2, № 2(44). – С. 65-70. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-65-70.

140. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта : утв. М-вом автомобильного транспорта РСФСР 20.09.1984 : утратило силу 31.08.2020. – М., 1986. – 54 с.

141. Польшин, А. А. Современные методы при ремонте и восстановлении деталей машин для повышения эффективности транспортно-дорожного комплекса / А. А. Польшин, Н. С. Любимый, И. В. Семенов,

А. К. Мальцев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-4(82). – С. 26-39. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-26-39.

142. Прудовский, Б. Д. Векторная оптимизация / Б. Д. Прудовский, А. В. Терентьев // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении : сб. тр. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2014. – Т. 1. – С. 64–66.

143. Прудовский, Б. Д. Выбор типа автотранспортных средств для перевозки грузов и пассажиров / Б. Д. Прудовский, А. В. Терентьев // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении : материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2014. – С. 67–70.

144. Прудовский, Б. Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б. Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 2(49). – С. 154-159.

145. Рахманов, А. А. Влияние эксплуатационных условий изменения свойств моторных масел и рабочих жидкостей / А. А. Рахманов // Вестник науки. – 2023. – Т. 2, № 4 (61). – С. 199–203.

146. Репин, С. В. Метод оценки уровня работоспособности строительных транспортно-технологических машин на основании анализа времени простоев в ремонтах / С. В. Репин, А. В. Зазыкин, Н. А. Масленников // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2023. – № 4(143). – С. 111-120. – DOI 10.46960/1816-210X_2023_4_111.

147. Репин, С. В. Метод планирования ремонтов транспортно-технологических машин строительства с учетом уровня надежности / С. В. Репин, А. В. Зазыкин, С. А. Евтюков [и др.] // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 22. – С. 25-33. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-22-25-33.

148. Репин, С. В. Методика повышения эксплуатационной надежности сложного технического объекта посредством анализа его структурной надежности / С. В. Репин, А. А. Шиманова, Д. А. Лутов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1(64). – С. 23-30.

149. Репин, С. В. Методология совершенствования системы технической эксплуатации строительных машин : специальность 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Репин Сергей Васильевич. – Санкт-Петербург, 2008. – 450 с.

150. Родичев, А. Ю. Роль больших данных в цифровизации автомобильной отрасли: новые возможности для удаленной диагностики автомобилей / А. Ю. Родичев, О. А. Иванов, И. В. Родичева, К. В. Васильев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-2(83). – С. 14-21. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-14-21.

151. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.

152. Сандан, Н. Т. Вопросы по организации и технологии технического обслуживания и ремонта транспортных средств в Республике Тыва / Н. Т. Сандан // Грузовик. – 2024. – № 7. – С. 42-44. – DOI 10.36652/1684-1298-2024-7-42-44.

153. Сафиуллин, Р. Н. Метод построения автоматизированной системы контроля движения и технического состояния грузовых транспортных средств / Р. Н. Сафиуллин, В. А. Ефремова, А. Э. Пеплер // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2023. – № 3(65). – С. 16-22.

154. Селиванов, А. И. Теоретические основы системы технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.00.00 / А. И. Селиванов. – Перово, 1959. – 674 с.

155. Семыкина, А. С. Определение эффективного способа обкатки двигателей карьерных АТС / А. С. Семыкина // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 4, № 4(42). – С. 120-131. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-120-131.

156. Солодкий, А. И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап / А. И. Солодкий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 6. – С. 10-19. – DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.

157. Спицын, И. А. Технологические методы повышения долговечности агрегатов трансмиссий сельскохозяйственной техники при ремонте и эксплуатации : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Спицын Иван Алексеевич. – Москва, 2002. – 407 с.

158. Степанов, А. Г. Технология и средства повышения долговечности коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания оптимальным использованием ремонтного припуска : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Степанов Александр Григорьевич. – Москва, 2003. – 608 с.

159. Сулов, И. Е. Метрологическое обеспечение прогнозирования технического состояния автотранспортных средств / И. Е. Сулов, А. Г. Сергеев, А. К. Сущев // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 10. – С. 46–49.

160. Сухарникова, А. И. Применение современных it технологий в автодорожной индустрии / А. С. Охота, С. Н. Мироненко, А. И. Сухарникова // Бизнес технологии в России: теория и практика : материалы IV международной научно-практической конференции, Саратов, 27 сентября 2016 года / ответственный редактор Зарайский А.А.. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Центр профессионального менеджмента "Академия Бизнеса", 2016. – С. 28-30.

161. Сысков, В. В. Подход к построению системы интеллектуального процессного управления для обеспечения эффективной коллективной деятельности / В. В. Сысков, В. В. Борисов // Управление экономическими системами. – 2015. – № 11 (83). – С. 3.

162. Сысков, В. В. Постановка задачи процессного управления в сложных организационно-технических системах / В. В. Борисов, В. В. Сысков // Известия Смоленского государственного университета. – 2015. – № 2-1(30). – С. 301-311.

163. Танкович, В. С. Разработка методики и программного обеспечения оценки конкурентоспособности продукции машиностроительного профиля /

В. С. Танкович, А. А. Кухарев, С. В. Хитриков // Труды НАМИ. – 2015. – № 263. – С. 105-114.

164. Телематика на автомобильном транспорте / В. М. Власов [и др.] ; под ред. В. М. Приходько. – М. : МАДИ, 2003. – 173 с.

165. Терентьев, А. В. Алгоритм управления жизненным циклом автомобиля на стадии его эксплуатации / А. В. Терентьев // Инновации на транспорте и в машиностроении : сборник трудов III международной научно-практической конференции: в 5 томах, Санкт-Петербург, 14–15 апреля 2015 года / Под редакцией В.В. Максарова. Том I. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", 2015. – С. 117-120.

166. Терентьев, А. В. Метод оперативного анализа технического состояния автомобиля / А. В. Терентьев, Б. Д. Прудовский // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 197-199.

167. Терентьев, А. В. Методика расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава, регламенты которого не предусматривают капитальный ремонт / А. В. Терентьев, Н. А. Ртищев, Р. Р. Амирханов // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 3, № 4. – С. 43-48.

168. Терентьев, А. В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования / Б. Д. Прудовский, А. В. Терентьев // Записки Горного института. – 2015. – Т. 211. – С. 86-90.

169. Терентьев, А. В. Многокритериальный показатель качества автомобиля / А. В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1(48). – С. 201-204.

170. Терентьев, А. В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Терентьев Алексей Вячеславович, 2019. – 303 с.

171. Терентьев, А. В. Управление жизненным циклом автомобиля на стадии эксплуатации / А. В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 3 (50). – С. 228–231.

172. Терентьев, В. Ф. Оптимизация трибопараметров подшипниковых узлов и зубчатых передач путем создания новых смазочных материалов, модифицированных ультрадисперсными добавками : специальность 05.02.02 "Машиноведение, системы приводов и детали машин" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Терентьев Валерий Федорович. – Красноярск, 2004. – 401 с.

173. Технология технической диагностики автомобилей / Всесоюз. объединение «Союзсельхозтехника». – М., 1972. – 135 с.

174. Тимашов, Е. П. Разработка технологии контроля механических трансмиссий транспортных и технологических машин на основе цифровой термодиагностики : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Тимашов Евгений Петрович. – Москва, 2022. – 333 с.

175. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 20.10.2024).

176. Турсунов, Ш. С. Ремонт автомобилей после ремонта автомобилей / Ш. С. Турсунов, Э. Б. Шоназаров // Международный академический вестник. – 2020. – № 2 (46). – С. 118–121.

177. Федеральный закон от 01.07.2011 № 170-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «О техническом осмотре транспортных средств и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=478632> (дата обращения: 15.11.2024).

178. Федулов, А. С. Анализ нечетких реляционных когнитивных карт / А. С. Федулов, В. В. Борисов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 7. – С. 7–14.

179. Фокин, Ю. И. Альтернативные методы ремонта деталей двигателей внутреннего сгорания / Ю. И. Фокин, С. А. Киселев // Совершенствование

транспортных машин : сборник научных трудов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 132-135.

180. Хасанов, Р. Х. Основы технической эксплуатации автомобилей : учеб. пособие / Р. Х. Хасанов. – Оренбург : ОГУ, 2004. – 193 с.

181. Хедли, Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли ; пер. с англ. – М. : Мир, 1997. – 507 с.

182. Ховард, Р. Динамическое программирование и марковские процессы / Р. Ховард ; пер. с англ. – М. : Советское радио, 1994. – 192 с.

183. Шатерников, М. В. Повышение надежности и долговечности двигателя ЯМЗ-240Н / М. В. Шатерников, В. А. Корчагин, В. С. Шатерников // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 7. – С. 41–45.

184. Шатерников, В. С. Оптимизация структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателя ЯМЗ-240Н / В. С. Шатерников, М. В. Шатерников // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 2. – С. 33–36.

185. Шейнин, А. М. Методы определения и поддержания надежности автомобилей в эксплуатации / А. М. Шейнин. – М. : Транспорт, 1968. – 98 с.

186. Шейнин, А. М. Некоторые системы замены деталей машин / А. М. Шейнин // Надежность и контроль качества. – 1970. – № 4. – С. 29–31.

187. Шмелев, М. В. Анализ средств диагностирования дизельных двигателей / М. В. Шмелев, Д. А. Коптев, В. В. Лянденбургский // Проблемы научной мысли. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 81–83.

188. Шмелев, М. В. Совершенствование методов оценки технического состояния автомобилей / М. В. Шмелев, Д. А. Коптев, В. В. Лянденбургский // Приднепровский научный вестник. – 2024. – Т. 7, № 2. – С. 89–91.

189. Штурманов, С. С. Бортовой регистратор параметров работы дизеля УТД-29 БМД-4М / С. С. Штурманов, Д. С. Голубев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 223-231.

190. Штурманов, С. С. Контроль технического состояния дизеля УТД-29 БМД-4М по данным бортовой информационно-управляющей системы / С. С. Штурманов // Научный резерв. – 2018. – № 3 (3). – С. 39–48.

191. Штурманов, С. С. Оценка влияния эксплуатационных факторов на процесс старения моторного масла / Д. С. Голубев, М. Ю. Костенко, О. В. Ушаков,

С. С. Штурманов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. – № 3(35). – С. 91-97.

192. Шумилин, А. Д. Экспертная система контроля технического состояния автомобилей / А. Д. Шумилин, В. В. Лянденбургский, М. К. Капунова [и др.] // Научное обозрение. – 2016. – № 4. – С. 85-89.

193. Щепин, В. Г. Методика планирования мероприятий технической эксплуатации путевой техники по уровню надежности / В. Г. Щепин, С. В. Репин, А. А. Кобзарь [и др.] // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте рельсового подвижного состава : электронный сборник трудов VIII Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 29 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. – С. 89-94.

194. Якубович, А. Н. Применение цифрового виртуального анализатора звуковых сигналов в целях диагностики неисправностей агрегатов АТС / А. Н. Якубович // Грузовик. – 2015. – № 1. – С. 22–23.

195. Якунин, Н. Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Якунин Николай Николаевич. – Оренбург, 2004. – 297 с.

196. Balbiani, P. Intuitionistic linear temporal logics / P. Balbiani, J. Boudou, M. Diéguez, D. Fernández-Duque // ACM Transactions on Computational Logic. – 2019. – Vol. 21, No. 2. – P. 14. – DOI 10.1145/3365833.

197. Bobryakov, A. Management of industrial and technological processes of complex systems based on modified neuro-fuzzy Petri nets / A. Bobryakov, A. Misnik, S. Prakapenka // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 2965. – Article 37.

198. Bobryakov, A. V. Modeling of industrial and technological processes in complex systems based on neuro-fuzzy Petri nets / A. V. Bobryakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2096. – Article 012173. – DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012173

199. Makarova, A. N. Correction of engineering servicing regularity of transport technological machines in operational process / A. N. Makarova, E. I. Makarov, N. S. Zakharov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment, Tomsk, 04–06 декабря 2017 года. Vol. 327, 4. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042067. – DOI 10.1088/1757-899X/327/4/042067.

200. Prudovskiy, B. D. Investigation methods for "current repairs labour-intensiveness" factor for a vehicle / B. D. Prudovskiy, A. V. Terentiev // Life Science Journal. – 2014. – Vol. 11, No. 10s. – P. 307-310.

201. Zagorodniy, N. A. Aspects of transport system management within mining complex using information and telecommunication systems / A. S. Semykina, N. A. Zagorodniy, A. A. Konev, E. V. Duganova // Journal of Physics: Conference Series : International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Enterprise Information Systems, Tomsk, 17–20 января 2018 года. Vol. 1015, 4. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042064. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/4/042064.

202. Zagorodniy, N. A. Novikov, A. N. Reducing Production and Transportation Costs for the Transportation of Iron Ore Raw Materials from Mining and Processing Plants on the Basis of the Use of an Integer Model / A. N. Novikov, I. A. Novikov, N. A. Zagorodnij // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTCEarthScience 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 052038. – DOI 10.1088/1755-1315/666/5/052038.

203. Zagorodniy, N. Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants / A. Semykina, N. Zagorodnii, A. Novikov // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 983-989. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.097.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Объекты интеллектуальной собственности



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023688099

**Программа для определения и прогнозирования
периодичности ремонтов агрегатов автомобиля**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Загородний Николай Александрович (RU), Заяц Юрий
Александрович (RU), Щетинин Николай Анатольевич (RU),
Конев Алексей Александрович (RU), Лозовая Мария
Александровна (RU), Семькина Алла Сергеевна (RU)*

Заявка № 2023686098

Дата поступления 01 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 декабря 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023686347

**Программа определения оптимального варианта
периодичности ремонта агрегатов автомобиля**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Загородний Николай Александрович (RU), Заяц Юрий
Александрович (RU), Щетинин Николай Анатольевич (RU),
Конев Алексей Александрович (RU), Лозовая Мария
Александровна (RU), Семькина Алла Сергеевна (RU)*

Заявка № 2023686095

Дата поступления 01 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 декабря 2023 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2021620800

«Автообслуживающие предприятия г. Белгород 2021»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Конев Алексей Александрович (RU), Новиков Иван Алексеевич (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Седов Александр Сергеевич (RU)*

Заявка № 2021620669

Дата поступления 12 апреля 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 21 апреля 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2021620999

«Автообслуживающие предприятия г. Симферополь»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Конев Алексей Александрович (RU), Новиков Иван Алексеевич (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Седов Александр Сергеевич (RU)*



Заявка № 2021620910

Дата поступления 30 апреля 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 19 мая 2021 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Илизин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022623037

«Автообслуживающие предприятия г. Губкин»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Конев Алексей Александрович (RU), Новиков Иван Алексеевич (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Семькина Алла Сергеевна (RU)*

Заявка № 2022622736

Дата поступления 28 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 22 ноября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022623570

«Автообслуживающие предприятия г. Строитель»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) (RU)*

Авторы: *Конев Алексей Александрович (RU), Загородний Николай Александрович (RU), Дуганова Елена Викторовна (RU), Семькина Алла Сергеевна (RU)*

Заявка № 2022623512

Дата поступления 07 декабря 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 20 декабря 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения

ООО «БЕЛМАГ»

308017, Белгородская Область, г. Белгород, ул. Корочанская, д. 150, офис 1

ИНН 3102009713 КПП 312301001

тел./ факс: +74722213143

www.belmag31.ru, E-mail: belmag31@yandex.ru



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Загороднего Николая Александровича
«Повышение эффективности технической эксплуатации
грузовых автомобилей»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Комиссией в составе: О.Н. Речанский – главный инженер; В.А. Кузенко – главный механик; М.В. Шарпило – механик составлен настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Загороднего Николая Александровича на тему: «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» используются в нашей организации.

Предложенные и разработанные автором теоретические положения, описывающие процессы адаптивного изменения последовательности воздействий при управлении эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей, относящиеся как к инфраструктуре, персоналу, так и к процессам обслуживания и ремонта грузовых автомобилей применяются: для оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей и планирования затрат на приобретение и эксплуатацию автомобилей организации.

Использование адаптивной системы технического обслуживания и ремонта позволило повысить уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей КАМАЗ на 26 %.

Председатель комиссии:

О.Н. Речанский

Члены комиссии:

В.А. Кузенко

М.В. Шарпило



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Костюкова ул., д.46, Белгород, 308012, тел.(4722)54-20-87, факс (4722)55-71-39
 E-mail: rector@intbel.ru, <http://www.bstu.ru>



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

Евтушенко Е.И.

«24» октября 2024 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
 в учебный процесс

Комиссия в составе: Поляков В.М. - к.т.н., доцент, проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности, Дороганов Е.А. – к.т.н., доцент, директор департамента образовательной политики, Гавриловская С.П. – к.э.н., доцент, заместитель директора департамента образовательной политики, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационного исследования на тему «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей», автор – Загородний Н.А., в учебный процесс кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта».

В рамках преподавания дисциплины «Техника транспорта, обслуживание и ремонт» у студентов направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», дисциплин «Техническая эксплуатация и ремонт силовых агрегатов и трансмиссий», «Силовые агрегаты», «Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» у студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», дисциплины «Электроника и интеллектуальные бортовые системы транспортных средств», «Телематические системы транспортных средств» у магистрантов направления подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» используются разработанные базовые принципы системы прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей и адаптивной системы технического обслуживания и ремонта.

Председатель комиссии:

Поляков В.М.

Члены комиссии:

Дороганов Е.А.

Гавриловская С.П.

Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
«Дорожное эксплуатационное предприятие №96»
ООО «ДЭП №96»

308511, Белгородская область, Белгородский район, с. Стрелецкое, ул. Строительная 17.
 тел. (4722) 38-85-10, факс (4722) 38-75-00. E-mail dep96@yandex.ru
 Р/с 407 028 100 070 000 090 37 в Отделение №8592 Сбербанка России г. Белгород
 БИК 041 403 633, К/с 301 018 101 000 000 006 33
 ИНН 310 204 99 95, КПП 310 201 001, ОГРН 12 131 0000 72 95, ОКВЭД 522 122 ОКПО 60090430



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
 ООО «Дорожное эксплуатационное
 предприятие № 96»
 Барышев Д.Э.
 «15» октября 2024 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования «Повышение
 эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» соискателя
 Загороднего Н.А.

Комиссия в составе: Гладков С.П. - главный инженер, Чайкин В.Ю. – главный механик, Марков Г.В. – заведующий ремонтно-механической мастерской, подтверждает настоящим актом использование результатов диссертационного исследования Загороднего Н.А. на тему «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» при разработке мероприятий, направленных для повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей предприятия.

Предложенные и разработанные автором:

- принципы системы прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей;
- кластерный подход к техническому обслуживанию и ремонту транспортных средств;

применяются при составлении графиков ТО и ремонта, планировании материальных затрат на техническую эксплуатацию грузовых автомобилей предприятия, определении остаточного ресурса грузового автомобиля предприятия при его списании.

Использование результатов диссертационного исследования, разработанных Загородним Н.А., позволило снизить временные и материальные затраты на техническую эксплуатацию грузовых автомобилей, а именно: внедрение адаптивной системы технического обслуживания и ремонта позволило повысить уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей на 29 %; время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 17 %; применение модели прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода, позволило сократить расходы на замену масла у 42 % автомобилей; применение прогнозирования технического состояния ГА по наработке на эксплуатационных режимах для группы автомобилей на предприятии, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечило снижение отказов на 91 %.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Гладков С.П.

 Чайкин В.Ю.

 Марков Г.В.



БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ТРАНСПОРТА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель министра
автомобильных дорог и транспорта
Белгородской области

Рогов А.А.

«21» октября 2024 г.

Акт внедрения результатов диссертационной работы

Загороднего Николая Александровича на тему:
«Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Комиссия в составе: Звягинцев А.Н. - начальник отдела развития дорожной инфраструктуры, Михеенко А.А. - консультант отдела развития дорожной инфраструктуры, Дик М.Ю. - консультант отдела развития дорожной инфраструктуры составила настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Загороднего Николая Александровича использованы при реализации программ по управлению возрастной структурой парка подведомственных структур.

Предложенные и разработанные автором:

1. научно-методический подход принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия;

2. методологический подход к прогнозированию технического состояния грузовых автомобилей, построенный на адаптивных принципах реализации воздействий с учетом наработки на эксплуатационных режимах;

применяются для определения оптимального значения уровня эксплуатационной надежности грузового автомобиля при его списании, как показателя, обеспечивающего минимум затрат на техническую эксплуатацию.

Применение данных подходов обеспечило оперативный анализ информации и выработку значений параметров сроков использования автомобилей, снижающих удельные затраты на эксплуатацию парка подвижного состава подведомственных структур.

Председатель комиссии:

Звягинцев А.Н.

Члены комиссии:

Михеенко А.А.

Дик М.Ю.

Продолжение приложения Б



УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер
ООО «Белдорстрой»

Унгуриян А.А.

«14» января 2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Загороднего Николая Александровича
«Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Комиссия в составе: Омельянюк Д.Т. главный механик ООО «Белдорстрой», Воронин А.Е. ведущий инженер ООО «Белдорстрой», Головин О.В. оператор по мониторингу транспорта ООО «Белдорстрой» составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Загороднего Николая Александровича на тему «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» используются в ООО «Белдорстрой».

Предложенные и разработанные автором научно-методический подход принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия, а также методологический подход к прогнозированию технического состояния грузовых автомобилей, построенный на адаптивных принципах реализации воздействий с учетом наработки на эксплуатационных режимах позволили достичь следующих результатов:

- внедрение адаптивной системы технического обслуживания и ремонта позволило повысить уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей на 26 %;
- применение модели прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода, позволило сократить расходы на замену масла у 46 % автомобилей. Анализ эксплуатационных режимов этой группы автомобилей показал, что доля «тяжёлых» для масла режимов в 4,6 раза меньше, чем у группы автомобилей, для которых сроки замены сокращены по сравнению с рекомендуемыми заводом-изготовителем. Доля таких автомобилей составила 12 %. Для остальных 42 % автомобилей периодичность замены масла коррелирует с периодичностью завода-изготовителя.
- практическая реализация модели для группы автомобилей, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечила снижение отказов, связанных с остановкой транспортно-технологического процессов на 93%, сведя их практически к нулю. Время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 18 %.
- применение алгоритмов принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности грузовых автомобилей позволило повысить эксплуатационную надежность агрегата на 45 %, автомобиля на 27%, предприятия на 16%.
- ввиду внедрения мероприятий по предупреждению отказов и своевременности ремонтных воздействий, произошло сокращение затрат на проведение работ по ТО. Для рассматриваемого парка автомобилей данный показатель составил 12%.

Председатель комиссии:

Омельянюк Д.Т.

Члены комиссии:

Воронин А.Е.

Головин О.В.



УТВЕРЖДАЮ

Главный специалист ГТК

АО «Лебединский ГОК»

В.И. Соколов

« 10 » 10.05.2018 2024 г.

АКТ

о практическом внедрении результатов диссертационной работы
Загороднего Н.А. «Повышение эффективности технической эксплуатации
грузовых автомобилей»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: Зубков А.В. - начальник службы эксплуатации АТУ АО «Лебединский ГОК», Лящев В.С. - начальник технического отдела АТУ АО «Лебединский ГОК», Лопатин И.В. - ведущий специалист технического отдела АТУ АО «Лебединский ГОК» составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Загороднего Н.А. на тему «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» успешно применяются АО «Лебединский ГОК» для повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей за счет управления эксплуатационной надежностью.

Для повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей были реализованы следующие мероприятия: внедрены технические (контроллер CAN-шины автомобиля) и организационно - технологические решения: внедрена адаптивная система технического обслуживания и ремонта; внедрено прогнозирование технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов.

По итогу реализации данных мероприятий и организационно - технологические решения были получены следующие результаты:

- внедрение адаптивной системы технического обслуживания и ремонта позволило повысить уровень эксплуатационной надежности грузовых автомобилей на 29 %, а время планового простоя автомобиля по причине проведения ТО и Р снизилось на 19 %;
- применение предлагаемой системы прогнозирования диэлектрической проницаемости моторного масла в рамках кластерного подхода, позволило сократить расходы на замену масла у 44 % автомобилей;
- применение прогнозирования технического состояния ГА по наработке на эксплуатационных режимах для группы автомобилей на предприятии, находящихся на подконтрольной эксплуатации, обеспечило снижение отказов на 94 %.

Председатель комиссии:

 Зубков А.В.

Члены комиссии:

 Лящев В.С.

 Лопатин И.В.



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА
(ОАО «НИИАТ»)

125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев д. 24
Тел.: (495) 496-55-23, факс: (495) 496-61-36
www.niiat.ru

26.05.2025 № 0132-04/784

на № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «НИИАТ»
Машков В.В.
26.05.2025 г.

АКТ

использования результатов диссертационной работы Загороднего Н.А.
«Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых
автомобилей» в деятельность Научно-исследовательского института
автомобильного транспорта (НИИАТ)

Настоящий акт составлен в том, что в соответствии с перспективным планом работ НИИАТ планируются к использованию результаты диссертационного исследования на тему: «Повышение эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей» выполненного Загородним Николаем Александровичем, к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта БГТУ им. В.Г. Шухова.

В деятельности НИИАТ планируется использование следующих научных и практических разработок, полученных в ходе диссертационного исследования:

– методика прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса грузовых автомобилей;

алгоритмы принятия решений: в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия.

Результаты исследования применяются в следующих направлениях деятельности НИИАТ:

- совершенствование методов диагностики и ремонта автотранспорта;
- обучение и повышение квалификации специалистов отрасли.

Применение данных разработок позволит повысить точность диагностических работ и оптимизировать систему технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Первый заместитель генерального
директора ОАО «НИИАТ» по научной работе,
кандидат технических наук, доцент

В.В. Комаров

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ЭКСПЕРТОВ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОГО ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА И СОГЛАСОВАННОСТИ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ

Минимальное количество экспертов N предлагается определять по формуле:

$$N = 0,5 (3/\alpha + 5),$$

где α – параметр, задающий минимальный уровень ошибки экспертизы ($0 < \alpha \leq 1$).

Исходя из этого условия, минимальное количество экспертов равно 4 (при $\alpha = 1$).

Как правило, для группового оценивания необходимо привлечение не менее 7–9 экспертов.

Далее для каждой причинности присвоены соответствующие обозначения латинскими буквами от A Z и далее от A1 до V1, именуемые в последующих расчетах, как объекты оценки или объекты. Данные сведены в таблицу 1.

Ввиду большой сложности расчета согласованности мнений экспертов при объединении результатов экспертной оценки в единую матрицу, когда 18 экспертов оценивают 48 объектов, а также большей актуальности расчета оценочного параметра (коэффициент конкордации Кендалла), в случаях оценки отдельных групп объектов, дающих большее представление о разбросе значений коэффициента конкордации Кендалла по группам, принято решение о расчете согласованности мнений 18 экспертов по группам объектов, общим количеством до 5.

Для расчета согласованности экспертных оценок используется коэффициент конкордации Кендалла (W). Ниже приведены ключевые шаги и результаты, на примере расчетов для объектов (A, B, C, D, E).

1. Преобразование оценок в ранги:

Таблица 1 Данные для проведения расчетов согласованности экспертных оценок

№	Значение причинности между концептами	Объект	Экспертные оценки																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	$w(k1,k13) = 0,5$	A	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
2	$w(k1,k14) = 0,6$	B	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6
3	$w(k2,k13) = 0,9$	C	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9
4	$w(k2,k14) = 0,8$	D	1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	1	0,7
5	$w(k2,k19) = 0,9$	E	1	0,9	0,9	1	1	0,8	0,9	0,9	0,7	0,8	1	0,9	0,9	1	0,9	1	0,9	0,8
6	$w(k2,k20) = 0,9$	F	1	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	1	1	0,8	0,7	0,9	0,7	1	1	0,7	0,9	0,8	0,9
7	$w(k2,k15) = 0,6$	G	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,8	0,6
8	$w(k3,k15) = 0,8$	H	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	1	0,8	1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	1	0,8
9	$w(k3,k16) = 0,8$	I	0,7	0,8	1	0,8	0,6	0,9	1	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	1	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8
10	$w(k4,k15) = 0,2$	J	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3
11	$w(k4,k16) = 0,2$	K	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
12	$w(k5,k15) = 0,3$	L	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,1	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2
13	$w(k5,k16) = 0,3$	M	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
14	$w(k6,k15) = 0,2$	N	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1
15	$w(k7,k23) = 0,5$	O	0,4	0,5	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5
16	$w(k7,k21) = 0,2$	P	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2
17	$w(k8,k17) = 0,6$	Q	0,4	0,6	0,5	0,8	0,7	0,5	0,7	0,5	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,7	0,4	0,5	0,8	0,8
18	$w(k8,k18) = 0,8$	R	0,8	0,9	0,8	0,8	1	1	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	1	0,7	0,7	0,9	0,7
19	$w(k8,k16) = 0,8$	S	1	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9
20	$w(k8,k15) = 0,8$	T	0,8	0,9	0,7	0,8	1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,9	0,8
21	$w(k9,k18) = 0,5$	U	0,3	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,8	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5	0,5
22	$w(k9,k15) = 0,8$	V	0,9	0,8	0,6	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,7	0,9
23	$w(k9,k16) = 0,8$	W	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
24	$w(k10,k15) = 0,5$	X	0,5	0,5	0,8	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,5
25	$w(k10,k16) = 0,5$	Y	0,5	0,4	0,7	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
26	$w(k10,k17) = 0,1$	Z	0	0,1	0,1	0	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
27	$w(k10,k18) = 0,3$	A1	0,3	0,3	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3

Продолжение приложения В

Продолжение таблицы 1

№	Значение причинности между концептами	Объ ект	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
28	w (k11,k15) = 0,4	B1	0,4	0,3	0,4	0,7	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3
29	w (k11,k16) = 0,5	C1	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7
30	w (k11,k17) = 0,1	D1	0,1	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1
31	w (k11,k18) = 0,2	E1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1
32	w (k12,k13) = 0,2	F1	0,4	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1
33	w (k12,k14) = 0,1	G1	0,3	0,2	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,1	0,1	0,1
34	w (k13,k23) = 0,9	H1	0,9	1	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
35	w (k14,k23) = 0,2	I1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3
36	w (k15,k19) = 0,3	J1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,3	0,6	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
37	w (k15,k23) = 0,5	K1	0,3	0,4	0,6	0,4	0,7	0,5	0,5	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
38	w (k15,k20) = 0,5	L1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6
39	w (k15,k22) = 0,3	M1	0,3	0,3	0,5	0,6	0,3	0,2	0,3	0,4	0,6	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
40	w (k16,k20) = 0,3	N1	0,6	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
41	w (k16,k22) = 0,3	O1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
42	w (k17,k19) = 0,3	P1	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,1	0,3	0,3	0,1
43	w (k17,k22) = 0,3	Q1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
44	w (k18,k22) = 0,3	R1	0,2	0,6	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2
45	w (k19,k23) = 0,9	S1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	0,7	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7
46	w (k20,k23) = 0,5	T1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,5
47	w (k21,k22) = 0,1	U1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0,3	0,1	0,1	0,1	0	0,1
48	w (k22,k23) = 0,5	V1	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,6	0,6

Для каждого эксперта оценки объектов преобразуются в ранги с учетом связанных значений. Например, если два объекта получили одинаковую оценку, им присваивается средний ранг.

2. Суммирование рангов по объектам:

Для каждого объекта (А, В, С, D, E) вычисляется сумма рангов, данных всеми экспертами.

3. Расчет среднего суммарного ранга:

$$R_{avg} = \frac{R_A + R_B + R_C + R_D + R_E}{5}.$$

4. Вычисление суммы квадратов отклонений (S):

$$S = \sum_{i=A}^E (R_i - R_{avg})^2.$$

5. Поправка на связанные ранги (ΣT):

Для каждого эксперта определяется вклад связанных рангов по формуле:

$$T_j = \sum (t^3 - t),$$

где (t) — размер группы связанных рангов.

Затем все (T_j) суммируются.

6. Расчет коэффициента конкордации:

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

где $m = 18$ - количество экспертов, $n = 5$ – количество объектов.

7. Проверка значимости:

Используется критерий χ -квадрат:

$$\chi^2 = m(n - 1)W,$$

где ($n-1 = 4$) степенями свободы.

После выполнения всех расчетов (пропущены из-за объема) коэффициент конкордации Кендалла для каждой группы оцениваемых объектов, а также результаты проверки значимости составили соответственно:

Для группы (А, В, С, D, E) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,86$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,86 = 61,92.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $61,92 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности экспертных оценок ($W=0,86$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (F, G, H, I, J) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,776$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,776 = 55,87.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $55,87 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,776$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (K, L, M, N, O) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,559$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,559 = 40,248.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $40,248 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,559$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (P, Q, R, S, T) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,735$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,735 = 52,92.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $52,92 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов

($W=0,735$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (U, V, W, X, Y) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,6$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,6 = 43,2.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $43,2 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,6$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (Z, A1, B1, C1, D1) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,783$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,783 = 56,376.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $56,376 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,783$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (E1, F1, G1, H1, I1) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,63$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,63 = 45,36.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $45,36 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,63$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (J1, K1, L1, M1, N1) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,523$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,523 = 37,66.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $37,66 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,523$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (O1, P1, Q1, R1, S1) коэффициент конкордации Кендалла $W=0,585$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 4 \cdot 0,585 = 42,12.$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 9,49. Поскольку $42,12 > 9,49$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,585$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы (T1, U1, V1) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,67$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 2 \cdot 0,67 = 24,12.$$

Критическое значение χ -квадрат для 2 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 5,991. Поскольку $24,12 > 5,991$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,67$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Согласованность экспертных оценок по всем оцениваемым объектам (причинности между концептами) находится на уровне от умеренной до очень высокой, что подтверждается значениями коэффициента конкордации Кендалла W для групп объектов, находящихся в пределах от 0,523 до 0,86. Также важно, что для всех групп объектов подтверждено условие статистической значимости, рассчитанной на основе критерия хи-квадрат.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Определение достаточного количества экспертов для объективного экспертного опроса и согласованности мнений экспертов

Минимальное количество экспертов N предлагается определять по формуле:

$$N = 0,5 (3/\alpha + 5),$$

где α – параметр, задающий минимальный уровень ошибки экспертизы ($0 < \alpha \leq 1$).

Исходя из этого условия, минимальное количество экспертов равно 4 (при $\alpha = 1$).

Как правило, для группового оценивания необходимо привлечение не менее 7–9 экспертов.

Оценка согласованности мнений экспертов при оценке причинностей между концептами (далее объекты) проводилась на основе матрицы, когда 18 экспертов оценивают 28 объектов. В данном случае, принято решение о расчете согласованности мнений 18 экспертов по 4-м группам объектов, общим количеством по 7 в каждой. Данные сведены в таблицу 1.

Для группы объектов (А, В, С, D, Е, F, G) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,664$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 6 \cdot 0,664 = 71,71$$

Критическое значение χ -квадрат для 4 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 12,59. Поскольку $71,71 > 12,59$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,664$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы объектов (Н, I, J, K, L, М, N) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,675$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 6 \cdot 0,675 = 72,9.$$

Таблица №1 Данные для проведения расчетов согласованности экспертных оценок

№	Причинность между концептами	Объект	Экспертные оценки																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	w (k1,k4) = 0,64	A	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6
2	w (k2,k6) = 0,8	B	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7
3	w (k2,k8) = 0,1	C	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0,1
4	w (k3,k9) = 0,68	D	0,5	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,5
5	w (k3,k11) = 0,74	E	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
6	w (k4,k14) = 0,76	F	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,6	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7
7	w (k6,k14) = 0,9	G	0,9	1	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	0,9	1	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	1	0,9	0,9
8	w (k2,k5) = 0,7	H	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6
9	w (k2,k7) = 0,8	I	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
10	w (k2,k19) = 0,4	J	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,2	0,3	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5
11	w (k3,k10) = 0,64	K	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5
12	w (k3,k12) = 0,54	L	0,4	0,7	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,7	0,6
13	w (k5,k14) = 0,76	M	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7
14	w (k7,k14) = 0,82	N	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6
15	w (k8,k14) = 0,8	O	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8
16	w (k9,k14) = 0,78	P	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,6	0,8
17	w (k11,k16) = 0,92	Q	0,8	1	0,9	0,9	0,9	0,8	1	1	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	0,8
18	w (k13,k16) = 0,7	R	0,9	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6
19	w (k13,k18) = 0,74	S	0,8	0,6	0,9	0,9	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7
20	w (k15,k18) = 0,7	T	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	0,7
21	w (k17,k19) = 0,84	U	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9
22	w (k8,k13) = 0,74	V	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
23	w (k10,k15) = 0,72	W	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6
24	w (k12,k15) = 0,76	X	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8
25	w (k13,k17) = 0,82	Y	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	0,9
26	w (k13,k14) = 0,92	Z	0,9	0,9	0,8	0,8	1	0,9	1	0,9	0,9	1	1	0,8	0,9	0,9	1	1	1	0,9
27	w (k16,k19) = 0,6	A1	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
28	w (k18,k19) = 0,82	B1	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9

Критическое значение χ -квадрат для 6 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 12,592.

Поскольку $72,9 > 12,592$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,675$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы объектов (O, P, Q, R, S, T, U) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,85$.

Значение χ -квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 6 \cdot 0,85 = 91,8$$

Критическое значение χ -квадрат для 6 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 12,592. Поскольку $91,8 > 12,592$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,85$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Для группы объектов (V, W, X, Y, Z, A1, B1) коэффициент конкордации Кендалла $W = 0,767$.

Значение хи-квадрат:

$$\chi^2 = 18 \cdot 6 \cdot 0,767 = 82,84$$

Критическое значение χ -квадрат для 6 степеней свободы при уровне значимости 0,05 равно 12,592. Поскольку $82,84 > 12,592$, согласованность экспертов является статистически значимой.

Статистическая гипотеза о согласованности мнений экспертов ($W=0,767$) на уровне значимости 0,05 принимается.

Согласованность экспертных оценок по всем оцениваемым объектам (причинности между концептами) находится на уровне от умеренно высокой до высокой, что подтверждается значениями коэффициента конкордации Кендалла W для групп объектов, находящимся в пределах от 0,664 до 0,85. Также важно, что для всех групп объектов подтверждено условие статистической значимости, рассчитанной на основе критерия χ -квадрат.