

На правах рукописи



ЗАГОРОДНИЙ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Орёл – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Научный консультант: **Новиков Александр Николаевич**
доктор технических наук, профессор

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

Добромиров Виктор Николаевич
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин

Терентьев Алексей Вячеславович
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», главный научный сотрудник Управления координации научных исследований

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»**

Защита состоится «16» октября 2025 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экземплярах направлять в диссертационный совет 99.2.032.03 по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д.77, тел.: +79606476660, e-mail: srmostu@mail.ru

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



В.В. Васильева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 год 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.

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 (ТС); мониторинг транспортных средств и предиктивное техническое обслуживание и ремонт. Однако наблюдается отставание от утвержденных сроков реализации этапов Стратегии.

Объем парка грузовых автомобилей в России достаточно большой, а результаты проведенных исследований и опыт технической эксплуатации грузовых автомобилей показывают, что существенное повышение эксплуатационной надежности (ЭН) 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 транспортных средств, 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 грузовых автомобилей, 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 транспортных средств, 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.

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. Марино, 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 работы 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 15.10.2024г.); 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 структурных 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-практическая конференция «Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки», 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.; Conference Series Сер. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Enterprise Information Systems" 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 «Информационные технологии и инновации на транспорте», ОГУ имени И.С. Тургенева, Орёл, 2016 - 2025 гг.; Международная конференция по транспортной доступности Арктики: сети и системы, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2021 г.; Международная научно-практическая конференция «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте», ЛГТУ, Липецк, 2022 г.; Научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ «Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта», МАДИ, Москва, 2023, 2025 гг., а также на ежегодных семинарах кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, 2016-2024 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, разработаны 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 свидетельств 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе **«Анализ существующих методов оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей»** рассмотрены вопросы системы контроля, ТО и Р, оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей в Российской Федерации. Выполнен анализ существующих методов прогнозирования и оценки уровня эксплуатационной надежности транспортных средств, а также системного подхода в управлении уровнем эксплуатационной надежности транспортных средств, методов и подходов повышения уровня эксплуатационной надежности транспортных средств. Проведенный анализ позволил установить: ежегодный рост среднего возраста грузового транспорта в РФ; объем транспортной работы и грузоперевозок ежегодно увеличивается; с 2020 г. в РФ отсутствует единая система ТО и Р автомобильного транспорта; недостаточное развитие инфраструктуры и оборудования для обслуживания грузового транспорта, особенно специализированного; ежегодное увеличение количества марок и моделей грузовых автомобилей в РФ.

Во второй главе **«Метод и модели управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей»** рассмотрены современные методы и технологии анализа сложных организационно-технических систем, разработаны алгоритм методики расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности и концептуальная информационная модель системы управления уровнем эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

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. Поэтому применение когнитивного моделирования является целесообразным и эффективным методом для повышения эффективности технической эксплуатации грузовых автомобилей.

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:

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

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

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

Консонанс влияния концепта κ_i на концепт κ_j

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}, \quad (1)$$

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

$$d_{ij} = 1 - c_{ij}. \quad (2)$$

Взаимный консонанс влияния концептов κ_i и κ_j

$$\vec{c}_{ij} = \frac{|(v_{ij} + v_{ji}) + (\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}{|v_{ij} + v_{ji}| + |\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji}|}. \quad (3)$$

Взаимный диссонанс влияния концептов κ_i и κ_j

$$\vec{d}_{ij} = 1 - \vec{c}_{ij}. \quad (4)$$

Воздействие (влияние) концепта κ_i на концепт κ_j

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|) \quad \text{для } v_{ij} \neq -\bar{v}_{ij}. \quad (5)$$

Взаимное положительное влияние концептов κ_i и κ_j

$$\vec{p}_{ij} = \vec{p}_{ji} = (v_{ij} S v_{ji}), \quad (6)$$

где S – соответствующая S -норма.

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

Консонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}. \quad (7)$$

Диссонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}. \quad (8)$$

Воздействие i -го концепта на систему

$$\vec{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}. \quad (9)$$

Консонанс влияния системы на j -й концепт

$$\vec{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}. \quad (10)$$

Диссонанс влияния системы j -й концепт

$$\vec{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}. \quad (11)$$

Воздействие системы на j -й концепт

$$\vec{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}. \quad (12)$$

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.

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 предприятия обеспечить ЭН грузовых автомобилей для выполнения поставленных задач и плановых показателей.

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

В настоящее время актуальной задачей является определение критерия оценки эффективности работы управленческого состояния предприятия, а также и всех сотрудников предприятия, занимающихся вопросами обеспечения эксплуатационной надежности автомобилей.

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

Управление уровнем ЭН грузовых автомобилей основано на предлагаемой методике расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности, алгоритм которой представлен на рисунке 1.

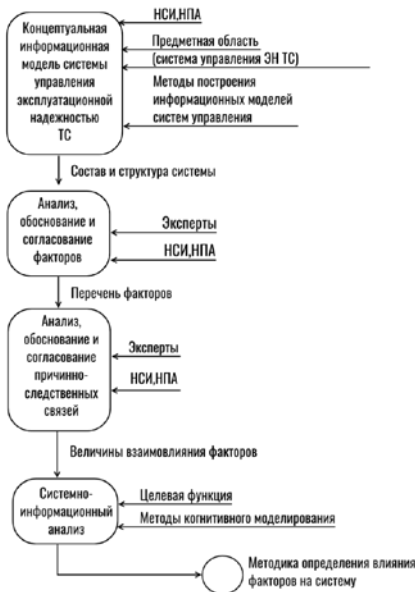


Рисунок 1 – Алгоритм разработки методики расчета влияния факторов на систему эксплуатационной надежности

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 грузовых автомобилей (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), планируемые мероприятия.

На втором этапе определены и описаны операторы системы и построена концептуальная информационная модель управления прогнозированием и УЭН ГА (рисунок 2).

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. 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.

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.

Основные результаты и их новизна заключаются в разработанном методе управления эксплуатационной надежностью автомобильного транспорта, 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.

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 расчете. 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 использование нейросети. На основе этой информации строится когнитивная карта (когнитивная модель системы) для наглядного представления системы (рисунок 3).

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). Для детального изучения влияния факторов и их индикаторов на уровень эксплуатационной надежности выполнен анализ каждого из них. 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).

Построение модели управления эксплуатационной надежностью 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.

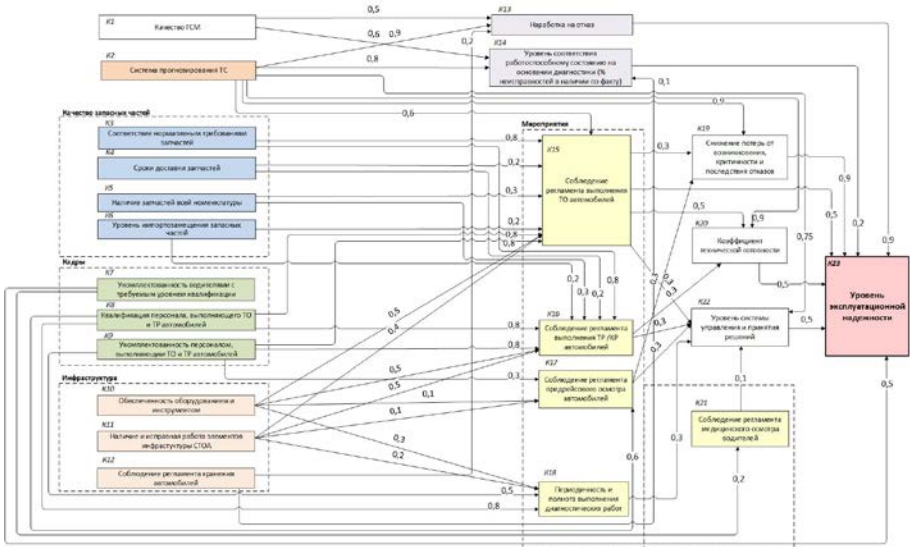


Рисунок 3 – Когнитивная модель системы управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей

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 – вектор значений факторов.

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. На основании когнитивной карты строится исходная матрица взаимовлияний.

Воздействие (влияние) концепта k_i на концепт k_j при расчете системных показателей определяется по формуле:

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|) \quad \text{для } v_{ij} \neq -\bar{v}_{ij}. \quad (13)$$

По формуле (3) строится транзитивно-замкнутая матрица и находятся максимальные значения влияний из всей цепочки влияний. При вычислении влияния выбирается максимальное из десяти произведений, некоторые из которых могут быть нулевыми.

Анализ интегральных показателей когнитивной модели (рисунок 4) предполагает формулирование следующих выводов: влияние каких факторов на эксплуатационной надежности 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.

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 4 – Интегральные показатели влияния факторов на систему и системы на фактор

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: *k8* (Квалификация персонала, выполняющего ТО и ТР автомобилей); *k9* (Укомплектован-

ность персоналом, выполняющим ТО и ТР автомобилей) и *k3* (Соответствие нормативным требованиям запасных частей).

Сама по себе система обеспечения эксплуатационной надежности в большей степени оказывает влияние на два фактора, составляющих в сумме 26,7%: *k15* (Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей) и *k16* (Соблюдение регламента выполнения ТР/КР автомобилей).

Группа факторов (*k13–k14* и *k17–k22*) 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.

На основании значений факторов и их коэффициентов влияния построена проблемно-целевая модель оценки уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей.

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

$$Y = \sum_{i=1}^{22} k_i x_i = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_{22} x_{22}, \quad (14)$$

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

k_i – коэффициенты влияния факторов на целевую функцию,

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

Модель выполнена в MS Excel и результаты представлены на рисунке 5. 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).

Моделирование уровня эксплуатационной надежности транспортных средств																							Уровень эксплуатационной надежности
Факторы-компоненты																							
Индикаторы	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23
Влияние индикатора на систему β_j	0,067	0,240	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	0,038	0,022	0,007	0,022	0,000
Нормированное значение β_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	0,99	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	0,75	0,6	1	0,75	0,88	0,7	0,7	0,9	1	0,83	0,6
Произведение значений индикаторов и степени их влияния																							
Уровень ЭИ 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
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
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
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	0,012	0,000
																							0,823

Рисунок 5 – Моделирование уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей

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 различных предприятий (или структурных подразделений предприятия) как в конкретный момент времени, так на протяжении какого-либо периода, учета изменения уровня эксплуатационной надежности 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.

Например, на каком-то этапе принято решение, что влияние фактора *kI* (Качество ГСМ) на фактор *kI5* (Соблюдение регламента выполнения ТО автомобилей) принято не обосновано, и это влияние полностью отсутствует. Обнуление влияния этого фактора изменяет структуру системы, так как уменьшается количество факторов и изменяется совокупность причинно-следственных связей.

На рисунке 6 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 k_1 – k_{12} снизилась с 0,791 до 0,781 с одной стороны, а с другой из системы удален фактор k_1 , значение которого 1. Это повлекло снижение среднего значения независимых факторов k_1 – k_{12} с 0,819 до 0,811. Таким образом, изменение связи k_1 вызвало падение не только коэффициентов влияния независимых факторов, но и их значений, что и определило изменение уровня эксплуатационной надежности в целом.

Моделирование уровня эксплуатационной надежности транспортных средств																								Уровень эксплуатационной надежности
Индикаторы влияния индикатора на систему АУ	Факторы-элементы																							
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23	
Индикаторное значение k_i	0,000	0,246	0,125	0,031	0,047	0,031	0,031	0,186	0,160	0,096	0,061	0,021	0,039	0,009	0,070	0,033	0,038	0,020	0,039	0,022	0,007	0,022	0,000	
	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	
Значение факторов	1,00	0,50	0,80	0,90	0,70	0,80	0,50	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	0,75	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 индикаторов и степеней их влияния																								
Уровень ЭИ 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	0,095	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 6 – Моделирование уровня эксплуатационной надежности ГА при изменении структуры

Как итог – изменение структуры повлекло снижение уровня с 0,763 до 0,751 единицы (рисунок 6).

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 1).

Также показана возможность применения методов когнитивного моделирования для оценки уровня системы управления и принятия решений, обладающих 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.

Таблица 1 – Влияние структуры на изменение значения целевой функции

Параметр	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

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 %.

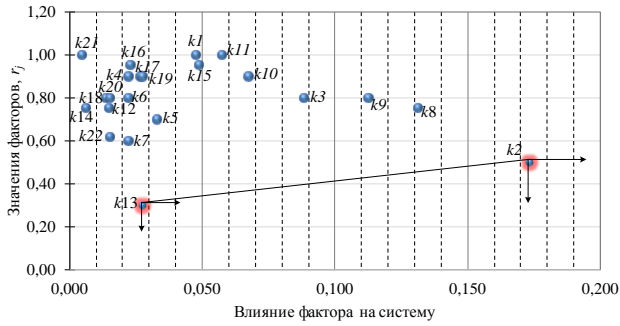
В четвертой главе «**Методы прогнозирования технического состояния агрегатов на основе эксплуатационных режимов**» выполнены: многокритериальная оптимизация и построение вариационного ряда воздействий на факторы; разработана модель реструктуризации воздействий при распределении ресурсов; построение концептуальной модели управления эксплуатационной надежностью прогнозированием технического состояния агрегатов на основе мониторинга эксплуатационных режимов.

При решении задачи 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 является динамическим.

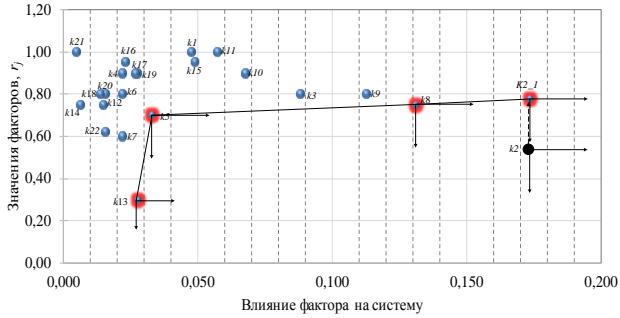
Таким образом, на основании коэффициентов влияния факторов на систему эксплуатационной надежности и значений этих факторов необходимо определить последовательность воздействий на факторы с целью их повышения. При этом целевая функция должна как можно быстрее увеличиваться. С математической точки зрения 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 (3 этапа) необходимо пересчитывать и находить факторы, составляющие фронт Парето (рисунок 7). Фронт Парето будет являться юго-восточным направлением.

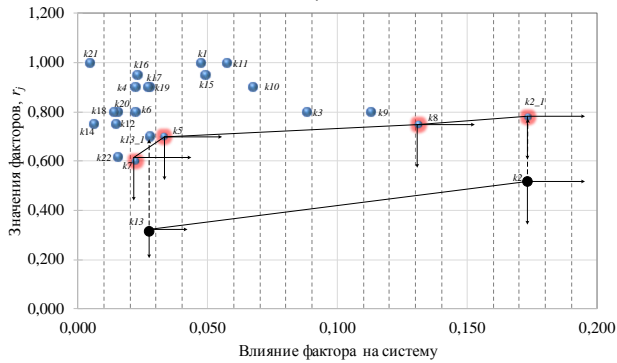
Коэффициент влияния должен быть как можно больше – это направление на восток, а значение фактора – как можно меньше – это на юг.



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Фронт Парето:

а) первый этап; б) второй этап; в) третий этап

Анализ графика (рисунок 7, а) показал, что, какой из двух факторов даст наибольшее приращение целевой функции, с тем и необходимо работать.

Решение задачи рассмотрено двумя методами: методом идеальной точки (рисунок 7, б, в) и методом контрольных показателей.

Идеальной точкой при решении данной задачи является точка первостепенного вложения средств с целью улучшения значения данного фактора, и рассчитана по формуле:

$$W_j = \min \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i(x_j) - f_i^{max})^2}. \quad (15)$$

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 $r=1$:

$$W = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \rightarrow \max, \quad (16)$$

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

n – количество критериев.

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

$$W = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{f_i(x)}{f_i^*} \right\} \rightarrow \min. \quad (17)$$

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 $\bar{k} = 1$; $r = 1$.

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 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 планируемыми вложениям средств, найти изменение значений факторов, попавших в этот сектор и вычислить новое значение целевой функции.

В качестве исходных данных следующие координаты точек (рисунок 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.

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:

$$\begin{aligned} |\vec{PA}'| &= W_0, |\vec{A'B}| = \Delta W_0, \\ |\vec{PB}| &= \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1 + \Delta r_1)^2}, \\ |\vec{PA}'| &= |\vec{PA}| = \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1)^2}, \end{aligned}$$

а для точки A , с индексом 1:

$$\Delta W_1 = |\vec{PB}| - |\vec{PA}'| = \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1 + \Delta r_1)^2} - \sqrt{(k_1 - 1)^2 + (r_1)^2}.$$

Обозначив долю средств, необходимых для повышения i -го фактора от 0 до 1 через c_i , получено выражение:

$$C(\Delta W_0) = \sum_{i=1}^m c_i \cdot \left(\sqrt{(\Delta W_0 - (W_i - W_0) + \sqrt{(k_i - 1)^2 + (r_i)^2})^2 - (k_i - 1)^2 - r_i^2} \right). \quad (18)$$

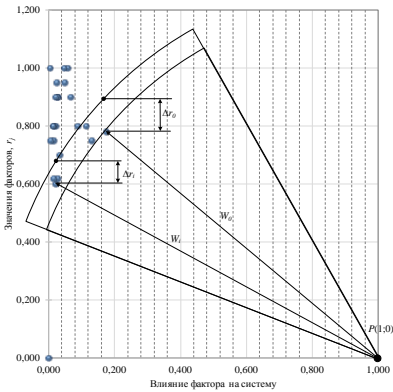


Рисунок 8 – Графическое представление формирования вариационного ряда воздействий

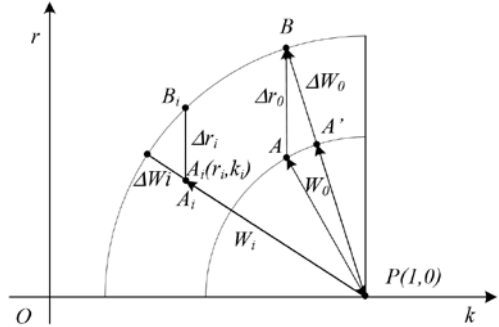


Рисунок 9 – Решение задачи распределения ресурсов

Реализация такого подхода рассмотрена на примере: на планируемый период выделен объём средств, равный C , откуда сделан вывод, что 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.

Из этого анализа вытекает достаточно важный для практики вывод о том, что стремление уровня эксплуатационной надежности к значению близкому 1 является экономически не оправданным.

Разработана концептуальная модель прогнозирования технического состояния ГА, построенная на адаптивных принципах учета наработки на эксплуатационных режимах, и методика прогнозирования уровня эксплуатационной надежности как результат системно-информационного анализа с применением когнитивного моделирования, представленная на рисунке 10.

Концептуальная модель управления эксплуатационной надёжностью базируется на первичной информации о воздействиях на ГА и информации с бортовых датчиков при мониторинге.

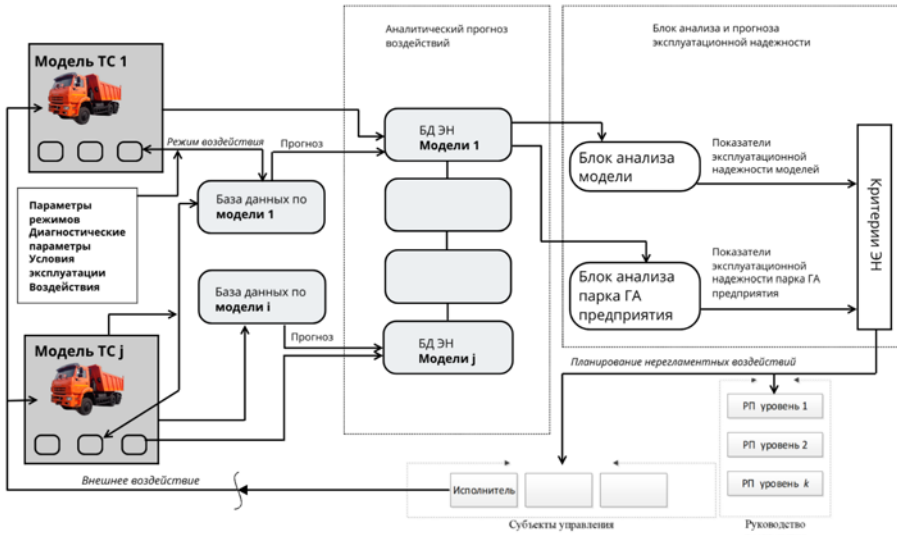


Рисунок 10 – Концептуальная модель управления эксплуатационной надежностью парка грузовых автомобилей

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 связь 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 11), который состоит, в частности, из модуля, очистки и фильтрации первичной информации, модуля агрегирования режимов работы 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.

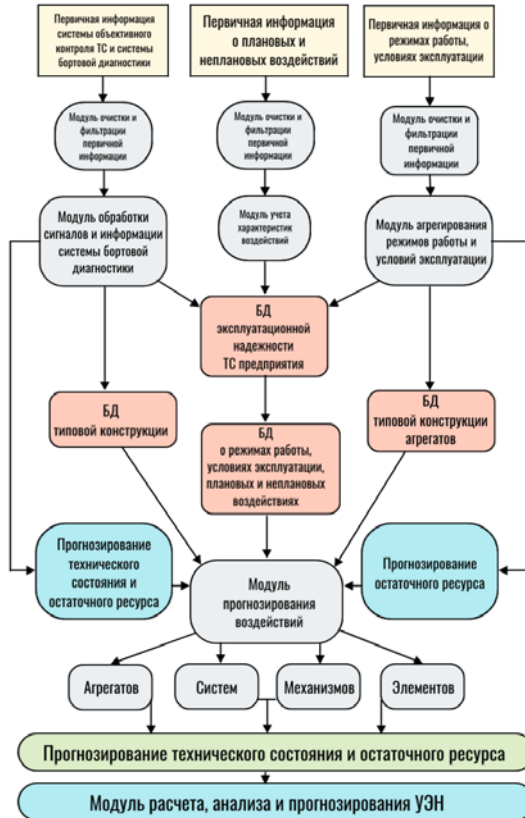


Рисунок 11 – Структура аналитического блока

На основании разработанных алгоритмов мониторинга эксплуатационной надежности ГА и мониторинга ЭН парка ГА предприятия 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.

В пятой главе «**Методики прогнозирования изменения структурных параметров на основе коэффициентов влияния эксплуатационных режимов**» разработаны методика прогнозирования остаточного ресурса грузовых автомобилей; методика прогнозирования воздействий для определения остаточного ресурса грузовых автомобилей; методика определения изменения структурного параметра на пусковых режимах агрегата при прогнозировании.

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 (таблица 2).

Таблица 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, $T_{в}$, °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	$n_v = 0,9 \cdot n_{ном}$	$T_{ож.в} = 0,96 \cdot T_{ож.max}$	$0,75 \cdot N_{ном}$	+20° С
Нижний уровень	$n_n = 1,1 \cdot n_{p.min}$	$T_{ож.н} = 0,95 \cdot T_{ож.min}$	$0,25 \cdot N_{ном}$	-20° С

Суммарная продолжительность 16 опытов должна быть равна ресурсу до капитального ремонта.

Разработанная 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.

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 оценки надежности двигателя, показана

принципиальная возможность применения комплексного подхода влияния на структурные параметры, как эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя, производимых в одной серии опытов. Кроме того, показана возможность определения как коэффициентов влияния, так и экстремальных значений факторов на надежность.

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.

В шестой главе **«Предложения, технико-экономическая оценка и рекомендации по управлению эксплуатационной надежностью»** разработаны предложения, характеризующие режимы работы транспортного средства, необходимые для объективной оценки его фактического и прогнозируемого состояний; кластерный подход к техническому обслуживанию и ремонту; сформированы диапазоны параметров, определяющих эксплуатационные режимы для отдельных агрегатов; выполнена технико-экономическая оценка результатов исследования.

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 ГА 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.

Предложена адаптивная система ТО и Р 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.

Принципиальное отличие кластерного подхода к ТО и Р от планово-предупредительной системы представлено в таблице 3.

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 3 – 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 осуществлении 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

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 ГА.

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 %.

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 (рисунок 12): 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.).



Рисунок 12 – Составляющие экономического эффекта от внедрения системы прогнозирования и предотвращения отказов

Применение алгоритмов принятия решений в части управления ЭН ГА при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности ГА и предприятия 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 научно 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 - уровнем 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 $k1$ на систему и $k12$ на $k13$ 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.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций (ВАК)

1. Загородний, Н.А. Повышение эффективности эксплуатации транспортного комплекса горно-обогатительных комбинатов / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С. 134-139.
2. Загородний, Н.А. Совершенствование системы автосервисного обслуживания для повышения безопасности дорожного движения / А. Н. Новиков, Н. А. Загородний, Е. В. Дуганова, И. А. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - № 1(76). - С. 86-94. DOI: 10.33979/2073-7432-2022-76-1-86-94.
3. Загородний, Н.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерного автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-4(78). – С. 35-41. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41.
4. 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.
5. Загородний, Н.А. Теоретические подходы к оценке уровня технической готовности автомобильного транспорта / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц, Н. А. Загородний, А. В. Шабанов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-4(78). – С. 27-34. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-27-34.
6. Загородний, Н.А. Использование цифровых и информационных технологий для повышения эффективности деятельности автосервисных предприятий / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев, Н. А. Щетинин // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-2(80). – С. 89-97. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-89-97.
7. Загородний, Н.А. Решение первой задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса транспортных средств / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц, Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2(82). – С. 25-31. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-25-31.
8. Загородний, Н.А. Повышение эффективности технической эксплуатации карьерного автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-5(82). – С. 26-33. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-26-33.
9. Загородний, Н.А. Загородний, Н. А. Исследование перспективных направлений развития информационных транспортных систем / Н. А. Загородний, М. В. Головкин, А. С. Бондарь // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-1(84). – С. 39-47. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-39-47.

10. 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.

11. Загородний, Н.А. Определение рационального периода эксплуатации карьерных транспортных средств и оценка эффективности их использования / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, Д. Ф. Коверженко // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-1(86). – С. 67-74. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-67-74.

12. Загородний, Н.А. Определение рационального периода эксплуатации карьерного автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 89-98. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-89-98.

13. Загородний, Н.А. Решение второй задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса транспортных средств / Ю. А. Заяц, Н. А. Загородний, Т.М. Заяц // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-3(86). – С. 93-101. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-93-101.

14. Загородний, Н.А. Определение уровня эксплуатационной надежности транспортных средств / Н. А. Загородний // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 1(37). – С. 40-48. – DOI 10.30987/2782-5957-2025-1-40-48.

15. Загородний, Н.А. Построение концептуальной информационной модели системы оценки, прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью автомобилей / Н. А. Загородний // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 2(38). – С. 16-24. – DOI 10.30987/2782-5957-2025-2-16-24.

16. Загородний, Н.А. Эксплуатационная надёжность автомобилей в процессе их эксплуатации / Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-2(88). – С. 101-107. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-101-107.

17. Загородний, Н.А. Формирование диапазонов параметров, определяющих эксплуатационные режимы для отдельных агрегатов автомобилей / Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-3 (88). – С. 110-119. – DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-110-119.

18. Загородний, Н.А. Управление эксплуатационной надежностью автомобилей / Н.А. Загородний, Ю.А. Заяц, А.Н. Новиков, А.С. Семькина // Транспортное машиностроение. - 2025. - №4 (40). - С. 39-46. DOI: 10.30987/2782-5957-2025-4-39-46.

19. Загородний, Н.А. Кластерный подход для организации адаптивной системы технического обслуживания и ремонта автомобилей / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, А. Н. Новиков, А. С. Семькина // Транспортное машиностроение. – 2025. – №5 (41). – С. 39-45. DOI: 10.30987/2782-5957-2025-5-39-45.

Патенты

20. Патент на полезную модель № 184276 U1 Российская Федерация, МПК F01M 11/12. устройство для контроля моторного масла в двигателе внутреннего сгорания : № 2018119027 : заявл. 23.05.2018 : опубл. 22.10.2018 / Д. И. Толмачев,

Н. А. Загородний, Н. В. Голубенко, А. С. Семькина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

Программы для ЭВМ и базы данных, имеющие государственную регистрацию

21. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620283 Российская Федерация. Автосервисные предприятия города Белгорода : № 2017620036 : заявл. 11.01.2017 : опубл. 07.03.2017 / А. А. Конев, И. А. Новиков, Н. А. Загородний ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

22. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620800 Российская Федерация. Автообслуживающие предприятия г. Белгород 2021 : № 2021620669 : заявл. 12.04.2021 : опубл. 21.04.2021 / А. А. Конев, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, А. С. Седов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

23. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620999 Российская Федерация. Автообслуживающие предприятия г. Симферополь : № 2021620910 : заявл. 30.04.2021 : опубл. 19.05.2021 / А. А. Конев, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, А. С. Седов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

24. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623037 Российская Федерация. Автообслуживающие предприятия г. Губкин : № 2022622736 : заявл. 28.10.2022 : опубл. 22.11.2022 / А. А. Конев, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, А. С. Семькина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

25. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623570 Российская Федерация. Автообслуживающие предприятия г. Строитель : № 2022623512 : заявл. 07.12.2022 : опубл. 20.12.2022 / А. А. Конев, Н. А. Загородний, Е. В. Дуганова, А. С. Семькина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686347 Российская Федерация. Программа определения оптимального варианта периодичности ремонта агрегатов автомобиля : № 2023686095 : заявл. 01.12.2023 : опубл. 05.12.2023 / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, Н. А. Щетинин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688099 Российская Федерация. Программа для определения и прогнозирования периодичности ремонтов агрегатов автомобиля : № 2023686098 : заявл. 01.12.2023 : опублик. 20.12.2023 / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, Н. А. Щетинин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689464 Российская Федерация. Программа принятия решения для управления эксплуатационной надежностью грузового автотранспорта : № 2024687856 : заявл. 20.11.2024 : опублик. 06.12.2024 / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

29. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024688975 Российская Федерация. Программа получения параметров для расчёта эксплуатационной надёжности грузового автотранспорта : № 2024687814 : заявл. 20.11.2024 : опублик. 03.12.2024 / Н. А. Загородний, Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

Публикации в изданиях, входящих в базы Scopus и Web of Science

30. Zagorodnii, N. Aspects of transport system management within mining complex using information and telecommunication systems / A. S. Semykina, N. A. Zagorodnii, 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.

31. Zagorodnii, N. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North / A. Semykina, N. Zagorodnii, I. Novikov, A. Novikov // Transportation Research Procedia, St. Petersburg, 02–04 июня 2021 года. – St. Petersburg, 2021. – P. 611-616. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.090.

32. Zagorodnii, 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. Zagorodnii // 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.

33. Zagorodnii, N. Problems of introduction of digital technologies in the transport industry / E. Duganova, I. Novikov, A. Novikov, N. Zagorodnii // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1033. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.102.

34. Zagorodnii, 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.

Монографии

35. Загородний, Н.А. Повышение эффективности деятельности автосервисных предприятий посредством использования цифровых и информационных технологий: монография / А.С. Семыкина, Н.А. Загородний, А.Н. Новиков. - Белгород; Орёл: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова; Орёл: Орловский гос. ун-т (ОГУ) им. И. С. Тургенева, 2023. – 139 с. - ISBN 978-5-361-01242-8.

36. Загородний, Н.А. Повышение эффективности технической эксплуатации карьерных самосвалов в условиях автотранспортных предприятий ГОКов: монография / А.С. Семыкина, Н.А. Загородний, А.А. Конев. - Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2023. - 87 с. - ISBN 978-5-361-01208-4.

37. Загородний, Н.А. Организация эффективного управления транспортными услугами коммерческого предприятия / А.С. Семыкина, Н.А. Загородний, А.А. Конев. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – 58 с. – ISBN 978-5-361-01508-5.

Публикации в других изданиях

38. Загородний, Н.А. Экспериментальные исследования режимов и эффективности бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н / В. С. Шатерников, Н. А. Загородний, М. В. Шатерников // *Автотранспортное предприятие*. – 2013. – № 11. – С. 32-34.

39. Загородний, Н.А. Исследование количества обращений владельцев транспортных средств в гарантийный период к официальным дилерским центрам г. Белгорода / А. С. Семыкина, Н. А. Загородний // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. – 2016. – Т. 3, № 1(4). – С. 127-131. – DOI 10.12737/17765.

40. Загородний, Н.А. Направления развития рынка запасных частей / А. Г. Голуцкий, А. С. Семыкина, Н. А. Загородний // *Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта*. – 2019. – № 1. – С. 19-25.

41. Загородний, Н.А. Определение технического состояния ходовой части легковых автомобилей / А. С. Семыкина, А. В. Голубева, Н. А. Загородний // *Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта*. – 2019. – № 2. – С. 75-82.

42. Загородний, Н.А. Развитие регионального автосервиса / Д. Т. Омелянюк, А. С. Семыкина, Н. А. Загородний // *Автомобильная промышленность*. – 2020. – № 1. – С. 26-29.

43. Загородний, Н.А. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина // *Вестник*

Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 6(76). – С. 690-703. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703.

44. Загородний, Н.А. Повышение эффективности технического обслуживания двигателей большегрузной техники / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, В. В. Васильева // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Орел, 18–19 мая 2021 года. Том 2. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2021. – С. 30-40.

45. Загородний, Н.А. Управление технической эксплуатацией транспортных средств на основе системно-информационного анализа / Ю. А. Заяц, А. В. Шабанов, Н. А. Загородний // XIV Всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2021 : Материалы XIV мультikonференции в 4 томах, Дивноморское, Геленджик, 27 сентября – 02 2021 года. Том 4. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 73-75.

46. Загородний, Н.А. Определение рациональной системы технического обслуживания и ремонта карьерных автомобилей / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 6. – С. 33-36.

47. Загородний, Н.А. Обкатка двигателей карьерных АТС / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 12. – С. 34-36.

48. Загородний, Н.А. К вопросу применения централизованного восстановления деталей двигателей карьерного автомобильного транспорта в условиях горно-обогатительных комбинатов / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 20–21 апреля 2022 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 103-106.

49. Загородний, Н.А. Необходимость развития технического сервиса автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Орел, 02–03 ноября 2022 года. Том 2. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2022. – С. 22-28.

50. Загородний, Н.А. О целесообразности применения рационального режима ремонта двигателей карьерных автомобилей / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев // Автомобильная промышленность. – 2023. – № 12. – С. 26-30.

51. Загородний, Н.А. Повышение эффективности деятельности автосервисных предприятий посредством применения цифровых и информационных технологий / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев // Автомобильная промышленность. – 2023. – № 6. – С. 16-24.

52. Загородний, Н.А. Направления развития искусственного интеллекта в автомобильной отрасли / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, Д. Ф. Коверженко // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года.

– Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 1076-1079.

53. Загородний, Н.А. Роль то и р карьерных автомобилей для экономики страны / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 1080-1083.

54. Загородний, Н.А. Направления развития ремонта двигателей карьерного автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, А. А. Конев // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 31 января – 02 2023 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – С. 151-155.

55. Загородний, Н.А. Автоматизация сервисной деятельности предприятий за счет применения цифровых технологий / С. О. Андреева, Н. А. Загородний, А. С. Семькина // Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков : Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 февраля 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 34-38.

56. Загородний, Н.А. Построение плана эксперимента для решения первой задачи прогнозирования остаточного ресурса транспортных средств / Ю. А. Заяц, Н. А. Загородний // Научный резерв. – 2023. – № 3(23). – С. 34-39.

57. Загородний, Н.А. Основные направления развития автосервисных услуг / А. С. Семькина, Н. А. Загородний, С. О. Андреева // Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2023. – Т. 3, № 4(12). – С. 29-33. – DOI 10.51639/2713-0576_2023_3_4_29.

Загородний Николай Александрович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Подписано в печать _____.____.2025 г.

Усл. печ. л. 2,0.

Тираж 120

Формат 60×84/16

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.