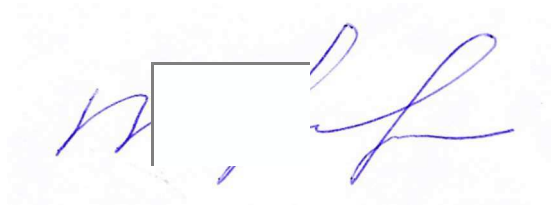


На правах рукописи



ТЕРЕНТЬЕВ АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЯ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Ефименко Дмитрий Борисович

Официальные оппоненты: **Ларин Олег Николаевич**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», г. Москва, кафедра «Логистические транспортные системы и технологии», профессор;

Ризаева Юлия Николаевна

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра «Управления автотранспортом», профессор;

Грязнов Михаил Владимирович

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра «Логистика и управление транспортными системами», доцент.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Защита диссертации состоится «23» апреля 2019 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте:

<http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/terentev-aleksey-vyacheslavovich>

Автореферат разослан 12 марта 2019 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Олещенко Елена Михайловна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Высокие темпы автомобилизации России в последние десятилетия приносят как неоспоримые экономические выгоды, так и необратимые негативные последствия. Тяжесть необратимых последствий, а это неоправданно высокое количество гибнущих ежегодно на дорогах людей и экологический ущерб окружающей среде, определяется интенсивным характером развития автомобильной отрасли. Поэтому для предотвращения возможности эксплуатации небезопасных автомобилей государственные органы РФ и в различных странах выпускают специальные нормативные документы:

1. Европейская комиссия приняла постановление определяющее, что все автомобили, произведённые с ноября 2014 года должны иметь систему электронного контроля устойчивости (ESC). В российском ГОСТ Р 53480–2009 введён термин, трактуемый предельное состояние изделия как фактор не допускающий его дальнейшую эксплуатацию по причине экологической или конструктивной опасности.

2. Повышение требований экологической безопасности автомобиля происходит постоянно. Очередное ужесточение экологических требований в ЕС произошло 01.09.2015 года: закрыто производство и продажи автомобилей, не отвечающих нормам Евро-6.

Автомобиль, являясь объектом повышенной опасности, не допускает нарушений регламентов его эксплуатации, приводящих к снижению уровня его технической, экологической и конструктивной безопасности. Узлы, агрегаты и системы всесторонне повышающие безопасность автомобиля одновременно усложняют его конструкцию и повышают стоимость поддержания его в исправном техническом состоянии, в частности, значительно повышается стоимость запасных частей и комплектующих. При этом обслуживание данных агрегатов снижает значение такого показателя как ремонтпригодность. Вместе с этим в РФ увеличивается производство автомобилей и возрастает их поток из других стран. Задачи, которые необходимо решать по мере роста количества автомобилей в стране и которые возникают из-за несоответствия автомобилей требованиям экологической и конструктивной безопасности и должны выводиться из эксплуатации, множатся в геометрической прогрессии и требуют выработки и проведения системной государственной политики. Формируется крупная научная и важная народнохозяйственная задача – разработка научно-методического подхода к определению оптимального срока эксплуатации автомобиля, что подтверждается утверждением государственной программы «Повышение конкурентоспособности промышленности и ее развитие». В разделе программы «Автомобильная промышленность» ставится задача: добиться вывода из эксплуатации, ежегодно к 2020 г., до 6 % автомобильного парка, не соответствующего современным техническим требованиям. Следовательно, каждый год из эксплуатации должно выводиться 328 тыс. грузовых автомобилей, поэтому необходимо установить предельные сроки их эксплуатации и ужесточить контроль технического состояния автомобилей, находящихся в эксплуатации больше 10 лет.

Научный подход к методам проектирования, технического обеспечения, управления, планирования и контроля процессов функционирования автомобиля диктует необходимость не формального ограничения сроков их существования,

а обоснованного целенаправленного управления сроками его эксплуатации. Научно-методический подход к определению оптимального срока эксплуатации автомобиля должен обеспечивать возможность контроля соответствия качества автомобиля современным требованиям среды его эксплуатации по ряду актуальных критериев: надёжность, конструктивная и экологическая безопасность.

Степень разработанности темы исследования. Проблема эксплуатационной эффективности автомобилей отслеживалась в нашей стране ведущими специалистами в данной области, а система технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) базируется на ряде обоснованных и доказавших свою эффективность регламентных документах. Основы теории контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации представлены в трудах Авдонькина Ф.Н., Аринина И.Н., Болдина А.П., Бондаренко В.А., Власова В.М., Говорущенко Н.Я., Карташова В.П., Захарова Н.С., Звонова Д.А., Корогодского М.В., Крамаренко Г.В., Кузнецова Е.С., Кудряшова Ю.А., Ложкина В.Н., Мирошникова Л.В., Макарова А.В., Мартино, Д.П., Максимова В.А., Мороза С.М., Напольского Г.М., Постолига А.В., Резника Л.Г., Соколова В.С., Прудовского Б.Д., Трофименко Ю.В., Шейнина А.М., Якунина Н.Н и др. авторов. Научные работы этих авторов составили базу для предлагаемого исследования. В основе проанализированных научных подходов определения срока эксплуатации автомобилей лежат многофакторные однокритериальные модели, определяющие срок эксплуатации автомобиля по одному комплексному показателю качества – надёжность. Анализ фактического состояния среды эксплуатации автомобилей показал, что существующие научно-методические основы управления процессами функционирования автомобиля не соответствуют современным общепризнанным мировым требованиям его адаптации к многокритериальным условиям внешней среды эксплуатации и требованиям научно-технического прогресса. Отсутствие теоретико-методологических положений прогнозирования и определения оптимального срока эксплуатации автомобиля требует решения крупной научной проблемы – развития теории и разработки комплекса математических моделей для обеспечения эффективной, конструктивной и экологически безопасной эксплуатации автомобилей.

Теоретическая часть исследования в решении данной комплексной задачи, обеспечивающей систематизированный процесс принятия решений при анализе влияний и взаимосвязей в сложной системе управления, должна быть реализована с применением методов векторной оптимизации. В разработку теории принятия решений в многокритериальных задачах внесли существенный вклад отечественные и зарубежные ученые Динер И. Я., Мартыщенко Л.А., Мушик Э., Мюллер П., Ногин В.Д., Подиновский В.В., Прудовский Б.Д., Саати Т, Таха, Хедми А, Штоейер Р и др. Анализ трудов этих авторов показывает, что для решения многокритериальных задач применяются субъективные критерии, разработанные крупными учёными П-С. Лапласом, А. Вальдом, Л. Сэвиджем, А. Гурвицем и дающие при незначительном количестве критериев противоречивые результаты, что не допустимо при реализации прикладных задач в сложных организационно-технических системах.

Цель исследования – разработка научно-методического подхода к определению срока эксплуатации автомобиля, позволяющего формировать алгоритмы оптимизации в системе технического обслуживания и ремонта автомобилей с учётом требований среды эксплуатации по нескольким критериям эффективности: надёжность, экологическая безопасность, конструктивная безопасность.

Задачи исследования:

1. Выявить предпосылки необходимости введения понятия – оптимальный срок эксплуатации автомобиля.

2. Сформулировать математическую модель многокритериальной структуры показателей эффективности автомобиля в соответствии с требованиями среды его эксплуатации.

3. Разработать иерархию целей и подсистем в системе управления сроком эксплуатации автомобиля (СУСЭА) на основе анализа энтропии, определяемой условиями взаимодействия системы с внешней средой функционирования автомобиля.

4. Разработать системные принципы к постановке и решению оптимизационных задач технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) автомобиля в условиях ограничения сроков его эксплуатации в зависимости требований внешней среды, т. е. показать, что между решением многокритериальных задач СУСЭА и задач теории принятия решений в условиях неопределённости существует аналитическая связь.

5. Разработать метод решения многокритериальных задач, адаптированный к условиям работы динамической системы управления сроком эксплуатации автомобиля с дискретными состояниями ТО автомобиля.

6. Разработать метод анализа показателей ТО и Р автомобиля, позволяющий вырабатывать рекомендации по значению эффективного срока эксплуатации автомобиля в пределах отдельных критериев, используя показатели ТО и Р в качестве элементов обратной связи в СУСЭА.

7. Разработать аналитический аппарат динамики изменения комплексных показателей качества автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации, позволяющий оптимизировать параметры системы управления сроком эксплуатации автомобиля.

8. Разработать аналитическую модель принятия управляющих решений в СУСЭА.

9. Разработать научно-методический подход к определению срока эксплуатации автомобиля как комплекс методик, объединяемых задачей оптимизации процесса принятия решений в СУСЭА, определяющей соответствие автомобиля требованиям условий среды его эксплуатации.

10. Выполнить технико-экономическое обоснование эффективности применения СУСЭА.

Объект исследования – система управления состоянием качества автомобиля: оценка исходного состояния на этапе ввода (выбора) в эксплуатацию автомобиля, оценка исправного состояния автомобиля в процессе эксплуатации и оценка предельного состояния автомобиля, как несоответствующего требованиям среды его эксплуатации для рекомендации списания.

Предмет исследования – методы управления в системе ТО и Р автомобиля, основанные на теории принятия решений (методы принятия инженерных решений), реализуемые на различных этапах эксплуатации автомобиля.

Рабочая гипотеза состоит в предположении, что контролировать соответствие качества автомобиля требованиям среды эксплуатации и выработать рекомендации о необходимости его списания должна система управления сроком эксплуатации автомобиля. Техническое решение проблемы состоит в обосновании допустимых значений параметров СУСЭА, определяющих не только работоспособность автомобилей и эффективность функционирования, но и его экологическую и конструктивную безопасность. Иначе говоря, сроки эксплуатации автомобилей должны обеспечивать максимальную экономическую выгоду при минимальных затратах на его содержание и обслуживание с учётом нормативных требований надёжности, экологической безопасности и конструктивной безопасности. Таким образом, при определении оптимального срока эксплуатации автомобиля необходимо учитывать, как минимум три критерия, а нахождение оптимальной продолжительности эксплуатации автомобиля должно опираться на аналитический аппарат решения многокритериальных задач. Для решения задач оптимизации процессов управления сроком эксплуатации автомобиля следует применить методы получения множества Парето (методы районирования).

Методологическая основа исследования. В работе использованы: методы многокритериального анализа, методы системного анализа; методы корреляционного и регрессионного анализа; теория вероятностей и математической статистики; методы векторной оптимизации и математического программирования.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта: п. 2. «Оптимизация планирования, организации и управления технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов»; п. 11. «Закономерности изменения технического состояния автомобилей и агрегатов, технологического оборудования с целью совершенствования систем технического обслуживания и ремонта, определения нормативов технической эксплуатации, рациональных сроков службы автомобилей»

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Обосновано применение трёх критериев (надёжность, конструктивная безопасность, экологическая безопасность) для оценки технического состояния автомобиля с целью определения оптимального срока его эксплуатации.

2. Разработана математическая модель многокритериальной структуры показателей эффективности автомобиля.

3. Разработан «метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды», позволяющий при наличии минимальных сведений о приоритетах и среде эксплуатации автомобиля построить алгоритмы, обеспечивающие получение оптимального решения.

4. Сформулированы аналитические модели определения реализуемого показателя качества автомобиля, как функции от пробега при различных стратегиях его технической эксплуатации.

5. Разработан метод оперативного анализа показателей ТО и ТР автомобиля, (чел. час/1000 км), позволяющий вырабатывать рекомендации по значению срока эксплуатации автомобиля в пределах отдельных критериев эффективности автомобиля.

6. Разработана аналитическая модель функционирования СУСЭА, как динамической многокритериальной системы принятия решений с дискретными состояниями ТО в системе технической эксплуатации автомобиля.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработан метод получения множества Парето (метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды), позволяющий вырабатывать оптимальные решения при наличии минимальных сведений о состоянии среды эксплуатации автомобиля в условиях многокритериальности и её динамического развития.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке:

1) методики расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта;

2) методики оперативного анализа коэффициента технической использования при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля;

3) методики оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля;

4) методики выбора автомобилей по принципу соблюдения иерархического соотношения значимости показателей его работы;

5) алгоритма автоматизированной реализации метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний среды эксплуатации автомобиля.

6) комплексной методики определения оптимального срока эксплуатации автомобилей, обобщающей вышеперечисленные методики, функционально связанные между собой целью – оптимизацией функционирования СУСЭА.

Данные результаты исследований могут быть использованы автотранспортными предприятиями при управлении типажом и возрастной структурой парка автомобилей для обеспечения его эффективной и безопасной эксплуатации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель многокритериальной структуры показателей эффективности автомобиля на базе комплексного показателя качества – коэффициента технического использования (КТИ).

2. Структурная схема системы управления сроком эксплуатации автомобиля и определение условий среды функционирования СУСЭА.

3. Метод решения многокритериальных задач, основанный на разбиении множества возможных состояний внешней среды (природы факторов) по принципу иерархического соотношения между вероятностями их появления и его место в общей структуре методологии решения задач по снятию неопределённости.

4. Стратегии восстановления технического состояния автомобиля и аналитический аппарат динамики изменения КТИ автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации, позволяющий оптимизировать параметры СУСЭА.

5. Метод оперативного анализа показателей ТЭА: трудоёмкость ТО и трудоёмкость непланового ТР автомобиля.

6. Аналитическая модель и алгоритм функционирования динамической многокритериальной системы принятия решений в ТЭА с дискретными состояниями ТО.

7. Методики и результаты определения затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля по отдельным критериям качества автомобиля и при реализации системы управления сроком эксплуатации автомобиля.

Личный вклад автора. Все основные идеи, положенные в основу научно-методического подхода для многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля, а также системы управления сроком эксплуатации автомобиля на базе нового метода решения многокритериальных задач и совершенствования существующих методик определения показателей ТЭА принадлежат автору.

Степень достоверности. Степень достоверности исследования результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, а именно:

1) эффективным использованием современного математического аппарата: методов системного анализа и методологии решения многокритериальных задач, векторной оптимизации и линейного программирования, теории вероятностей и математической статистики;

2) отсутствием противоречий с результатами ранее проведенных исследований другими учеными по технической эксплуатации автомобилей и теории принятия решений, а также с публикациями в рецензируемых изданиях.

3) возможностью и необходимостью практической реализации разработанной системы управления сроком эксплуатации автомобилей, позволяющей применять в автотранспортных предприятиях алгоритмы оптимизации срока эксплуатации автомобилей по нескольким критериям эффективности

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертации докладывались на **конференциях**: международной научной конференции «Актуальные проблемы современной экономики», СЗТУ (Санкт-Петербург, 2007 г.); республиканской межвузовской научно-практической конференции «Транспортный комплекс в условиях рыночной экономики», ТАДИ (Ташкент, 2007 г.); 1-й и 2-й научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления техническими, информационными и транспортными системами», СЗТУ (Санкт-Петербург, 2007, 2008 гг.); специализированной целевой конференции «Технология и эффективность систем управления обеспечением безопасности дорожного движения», СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2008 г.); международной научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие современного общества в условиях реформ», СГУ (Саратов, 2008 г.); 1-й, 2-й, 3-й и 4-й межвузовской научно-практической конференции «Проблемы теории и практики автомобильного транспорта», СЗТУ (Санкт-Петербург, 2008, 2009, 2010 и 2011 гг.); международной научно-технической конференции «Системы и процессы управления и обработки информации» СЗТУ (Санкт-Петербург, 2010 г.); международной научно-технической конференции 6-е и 7-е Луканинские чтения. «Решение энерго-экологических проблем в автотранспортном комплексе» МАДИ (Москва

2013 и 2015 гг.); 11-й международной научно-технической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения», НМСУ «Горный» (Воркута, 2013 г.); 1-й межвузовской и 2-й международной научно-практической конференции «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении», НМСУ «Горный» (2013 и 2014 гг.); международной научной конференции «Scientific Reports on Resource Issues», Фрайбергская горная академия (Германия, 2014 г.); 3-й 4 международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении», НМСУ «Горный» (2015 и 2016 гг.), Международном инновационном форуме пассажирского транспорта «SmartTRANSPORT» (Санкт-Петербург, 2016 г.); 12-й и 13-й международных научно-практических конференциях «Организация и безопасность движения дорожного движения в крупных городах», СПбГАСУ (Санкт-Петербург 2016 и 2018 гг.), III и IV Международных научно-практических конференциях «Информационные технологии и инновации на транспорте», ОГУ им. И.С. Тургенева (г. Орёл, 2017 и 2018 гг.), а также **на заседаниях кафедр:** Автомобили и автомобильное хозяйство (ГОУ ВПО «Северо-Западный государственный заочный технический университет»); Транспортно-технологических процессов и машин (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»); Наземных транспортно-технологических машин (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»); Деталей машин и теории механизмов (ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»).

Реализация результатов работы. Значимость результатов диссертационного исследования подтверждается следующим:

1) основные результаты диссертационного исследования внедрены в АТП, входящими в ассоциацию «ЦОГ «Грузавтотранс», при реализации НИОКР «Разработка методики расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта». Сумма договоров на использование результатов работы составила 500 тыс. рублей. Результаты внедрения исследования показали получение ежегодного экономического эффекта в размере более 3,8 млн рублей для АТП, эксплуатирующего от 100 до 300 автомобилей;

2) актами о внедрении: Ассоциация «Центр объединения грузоперевозчиков «Грузавтотранс», ООО «ИТС Логистик».

Публикации и патенты. Основные положения и результаты исследования опубликованы в 60 печатных работах, в том числе в 20 научных статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ, в 3 монографиях, 6 статьях в изданиях, входящих в международные базы цитирования (Scopus и Web of Sciens), получено 2 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 203 наименований. Работа изложена на 303 страницах основного текста. В приложениях приведены материалы, отражающие уровень практического использования результатов исследования.

Во введении раскрывается тема исследования, обосновывается её выбор и актуальность, формируется цель исследования. Рассматривается научная новизна и практическая ценность работы, изложены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе анализируется возрастная структура парка автомобилей в РФ, выявляются тенденции развития системы ТЭА, отмечается повышение нормативных требований к экологической и конструктивной безопасности автомобиля, анализируется существующая нормативно-техническая и методологическая база списания автомобиля, исследуется состояние системы утилизации автомобилей в РФ, определяются направления исследования.

Во второй главе определяются цели, формируется структура и иерархия разрабатываемой СУСЭА, определяются условия взаимодействия системы с внешней средой, разрабатывается модель многокритериальной структуры показателей качества автомобиля, констатируется необходимость применения для решения задач исследования математических моделей «игр с природой», решаемых с помощью методов векторной оптимизации.

В третьей главе производится анализ методов решения многокритериальных задач и методов принятия решений в условиях неопределенного состояния среды эксплуатации автомобиля, устанавливается, что между определением множеством Парето в многокритериальных задачах и методом районирования для решения задач «игр с природой» в неопределенных ситуациях существует связь, формируется матрица эффективностей действий при различных состояниях среды эксплуатации автомобиля, определяется важность выбора метода для решения задач исследования.

В четвёртой главе сформулированы основные положения метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды и алгоритмы его реализации в СУСЭА при различных стратегиях эксплуатации автомобиля, определяется место разработанного метода в общей структуре методологии решения задач по снятию неопределённости, разрабатывается метод оперативного анализа показателей ТО и ТР автомобилей.

В пятой главе разработаны: аналитическая модель функционирования динамической многокритериальной системы принятия решений в ТЭА с дискретными состояниями ТО, алгоритм автоматизированной реализации и ряд методик необходимых для обеспечения работы СУСЭА, позволяющих установить пробег эффективной эксплуатации автомобилей по отдельным критериям и определять оптимальный срок эксплуатации автомобиля в многокритериальной структуре показателей качества автомобиля, необходимые для реализации СУСЭА в условиях АТП.

В шестой главе разработанные методы, методики и алгоритмы апробировались на экспериментальных данных, полученных в ходе реализации НИОКР для предприятий ЦОГ «Грузавтотранс», а также определяется экономическая эффективность применения научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля.

В заключении изложены основные итоги и результаты выполненного исследования.

II ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Математическая модель многокритериальной структуры показателей эффективности автомобиля на базе комплексного показателя качества – коэффициента технического использования. Формирование иерархии СУСЭА реализуется в рамках и на базовых принципах программного-целевого подхода:

- 1) СУСЭА имеет несколько уровней целей различной значимости, поэтому необходимо их упорядочивание построением дерева целей (ДЦ);
- 2) систематизация и упорядочивание выявленных способов достижения поставленных целей СУСЭА осуществляется построением дерева целей (ДС).
- 3) выявление и определение порядка взаимодействия ДЦ и ДС.

На рисунке 1 представлена декомпозиция иерархии СУСЭА, основанная на принципах программного-целевого подхода.

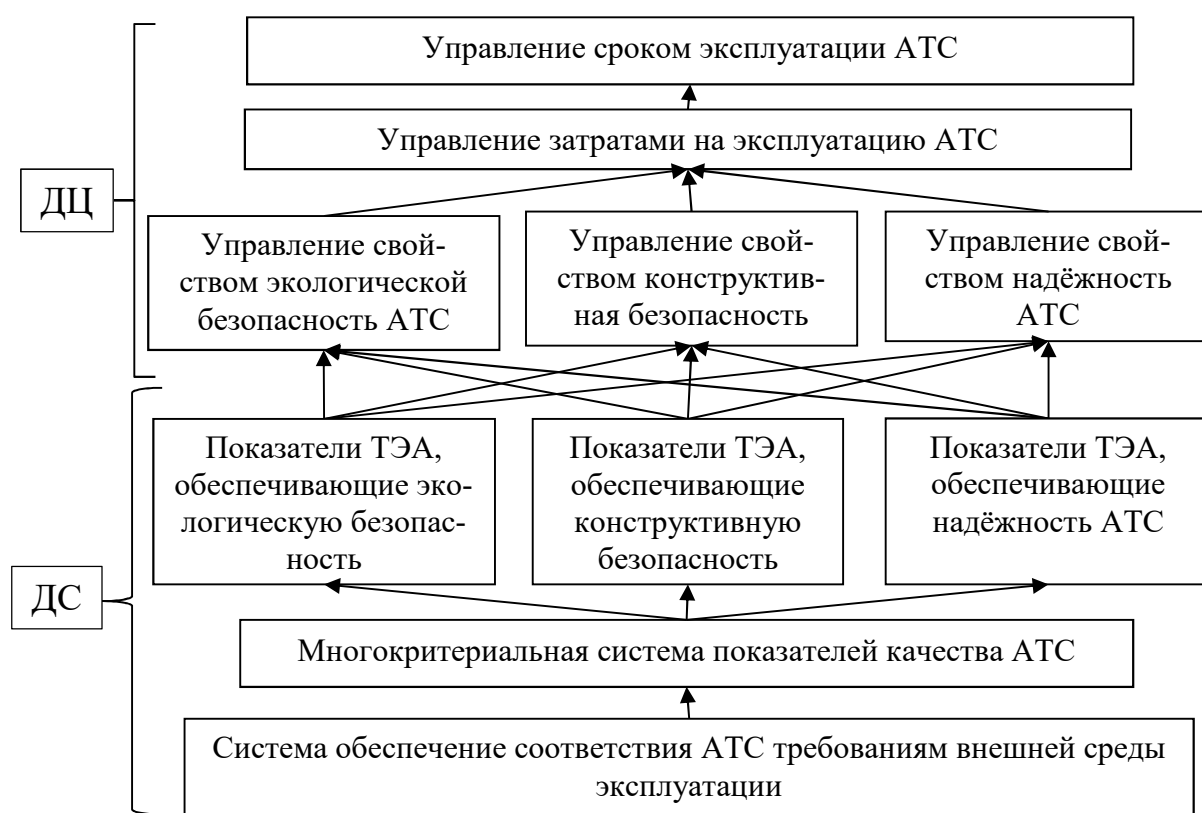


Рисунок 1 – Декомпозиция иерархии структуры СУСЭА

Многочисленные теоретические исследования показали, что отдельные важнейшие свойства автомобиля, например, экономичность, производительность, надёжность изменяются во времени эксплуатации по экспоненциальному закону. Тогда многокритериальная структура показателей качества автомобиля определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \Pi^{(1)} = \Pi_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \Pi^{(2)} = \Pi_0^{(2)} e^{-\beta_2 t}, \\ \Pi^{(3)} = \Pi_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (1)$$

где $P^{(1)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля конструктивная безопасность эксплуатации автомобиля; $P^{(2)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля экологическая безопасность; $P^{(3)}$ – показатель качества, отражающий техническое состояние автомобиля, где P_0 – значение показателя в начале эксплуатации, β – коэффициент, характеризующий изменение свойства по времени эксплуатации автомобиля.

При рассмотрении вопросов качества автомобилей, как правило, опираются на комплексные показатели надёжности, отражающие достаточно большую совокупность факторов, действующих при производстве и эксплуатации автомобиля, это: коэффициент готовности (КГ) или коэффициент технического использования (КТИ).

Рассмотрим в качестве комплексного показателя качества – показатель качества, базирующийся на КТИ.

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j} \quad (1)$$

где t_i – время сохранения работоспособности в i -м цикле функционирования автомобиля; τ_i – время восстановления после i -го отказа объекта (ТР); τ_j – длительность выполнения j -й профилактики, требующей вывода объекта из работающего состояния (ТО); n – число рабочих циклов за рассматриваемый период эксплуатации; m – число отказов (восстановлений) за рассматриваемый период; k – число профилактик, требующих отключения объекта в рассматриваемый период.

Характер изменения КТИ ($k^{\text{ТИ}}$) в процессе эксплуатации автомобиля достаточно хорошо описывается выражением:

$$k^{\text{ТИ}}(t) = k_0^{\text{ТИ}} \cdot e^{-\beta t}, \quad (2)$$

где $k_0^{\text{ТИ}}$ – значение КТИ в начале эксплуатации.

КТИ автомобиля связан с его пробегом (L) линейной функцией:

$$k^{\text{ТИ}}(L) = 1 - \alpha L. \quad (3)$$

Следовательно,
$$\begin{cases} k^{\text{ТИ}}_1(L) = 1 - \alpha_1 L \\ k^{\text{ТИ}}_2(L) = 1 - \alpha_2 L \\ k^{\text{ТИ}}_3(L) = 1 - \alpha_3 L \end{cases} \quad (4)$$

Затраты на эксплуатацию автомобиля определяются по тем же критериям:

$$\begin{cases} R_1(t) = R_0^{(1)} e^{\beta_1 t} \\ R_2(t) = R_0^{(2)} e^{\beta_2 t} \\ R_3(t) = R_0^{(3)} e^{\beta_3 t} \end{cases}, \quad (5)$$

где $R_0^{(1)}, R_0^{(2)}, R_0^{(3)}$ – затраты по вводу в эксплуатацию нового автомобиля, руб./1000 км; $R_1(t), R_2(t), R_3(t)$ – затраты на ТО и ТР по критериям конструктивная безопасность, экологическая безопасность и надёжность автомобиля в процессе его эксплуатации, руб./1000 км.

2. Структурная схема системы управления сроком эксплуатации автомобиля и определение условий среды функционирования СУСЭА. Приведём на рисунке 2 схему работы СУСЭА на этапе эксплуатации автомобиля.

Элементом обратной связи в СУСЭА является оптимальный срок эксплуатации автомобиля ($l_{c(i)}$). Выбор автомобиля основывается на заданных значениях критериев качества автомобиля и планируемых затратах на его эксплуатацию, которые в процессе работы автомобиля корректируются с учётом принятых стратегий ($S_1, S_2, S_3 \dots S_p$) его технической эксплуатации. Списание автомобиля производится по достижении критических значений показателей качества согласно требованиям среды эксплуатации, а также с учётом затрат на его эксплуатацию.

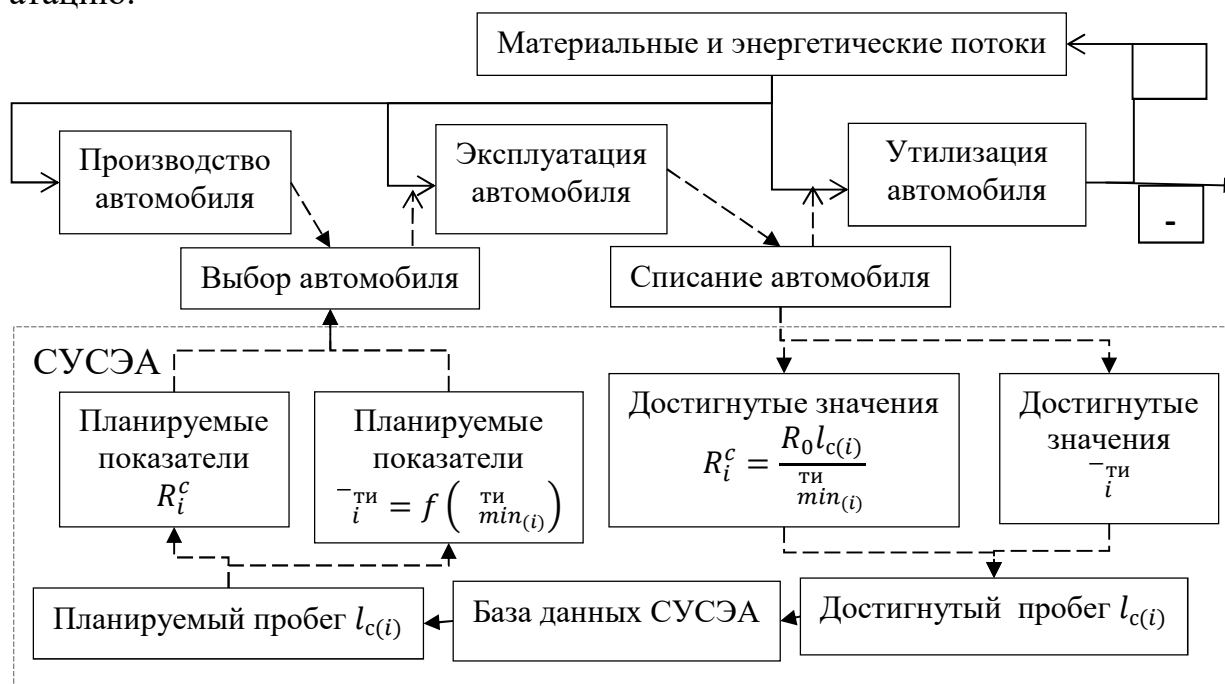


Рисунок 2 – Схема связей в СУСЭА на этапе эксплуатации автомобиля:

(+) – возобновляемые материальные ресурсы; (-) – потери материальных и энергетических ресурсов

Методология системного подхода подразумевает исследование взаимодействия СУСЭА с внешней средой (рисунок 3). Это среда эксплуатации автомобиля: нормативные требования к конструктивной безопасности и экологической безопасности; соответствие конструкции автомобиля и его технического состояния уровню научно-технического прогресса; соответствие потребительских свойств автомобиля условиям рынка и т. д. Активное изменение состояний внешней среды в процессе эксплуатации автомобиля влияет на основные параметры СУСЭА. Поэтому существует необходимость определения характера факторов состояний внешней среды (СВС).

В нашем случае это группа факторов, относимых к неизвестным условиям. Последние случаи обладает наибольшей степенью неопределённости, называемой «природой». Наличие неопределённости данного типа при взаимодействии СУСЭА с внешней средой объясняется следующими положениями:

1. Нечётко выраженные конечная цель исследования в количественных характеристиках – определение оптимального срока эксплуатации автомобиля. В условиях рыночных отношений далеко не всегда ресурс автомобиля определяет его срок эксплуатации. Нередко происходит вывод модели автомобиля из

эксплуатации в связи с моральным устареванием конструкции или изменениями в политике реализации продукции автопроизводителями.

2. Недостаточной изученности на этапе разработки явлений, сопровождающих процесс функционирования системы. Срок эксплуатации автомобиля исчисляется годами или десятилетиями, поэтому возможно лишь предположить – какие агрегаты и системы автомобиля, отвечающие за его экологическую или конструктивную безопасность, будут внедряться в конструкцию или наращиваться на неё в процессе эксплуатации.

3. Наличие целенаправленного противодействия со стороны внешней среды, действия которой неизвестны в течение срока эксплуатации автомобиля. Разработка и применение новых стандартов конструктивной и экологической безопасности в тех или иных регионах предполагаемой эксплуатации автомобиля (внедрение стандартов Евро-6 и в странах Евросоюза и т. д.).

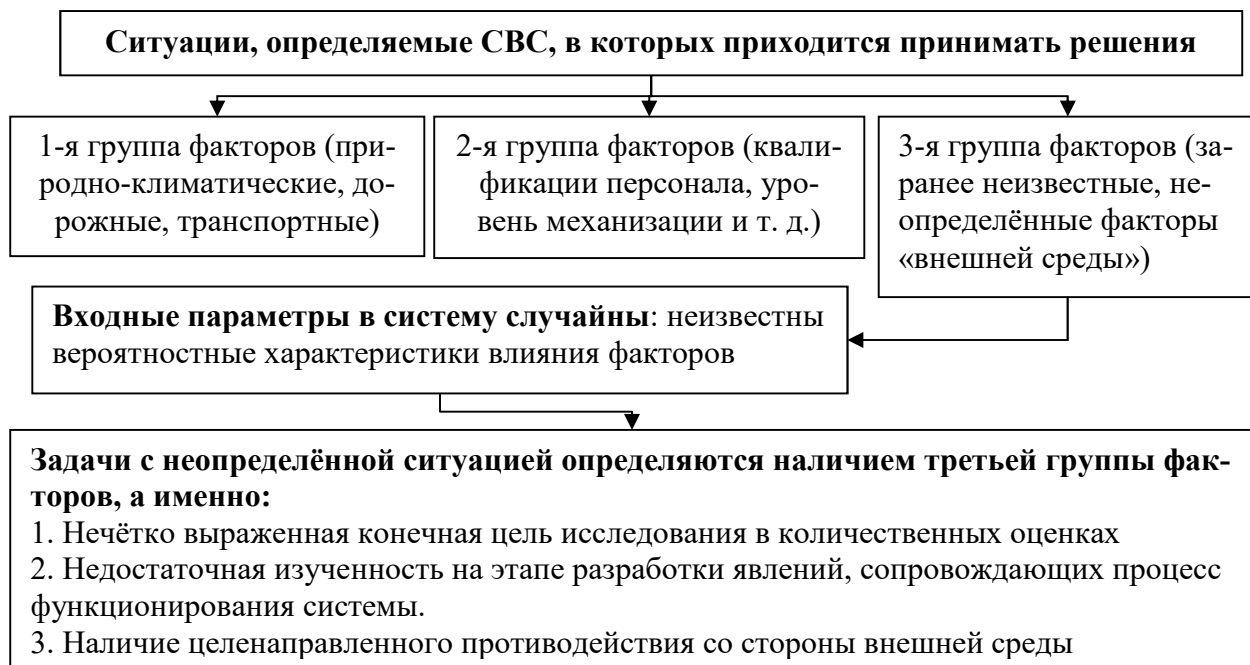


Рисунок 3 – Схема ситуаций взаимодействия СУСЭА и внешней среды

В таких задачах выбор решения зависит от СВС, а математические модели называются «игры с природой». В этих случаях получение искомого решения может быть реализовано с помощью методов векторной оптимизации.

3. Метод решения многокритериальных задач, основанный на разбиении множества возможных состояний внешней среды по принципу иерархического соотношения между вероятностями их появления и его место в общей структуре методологии решения задач по снятию неопределённости. Сформулируем основные положения метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных СВС:

1. Районирование представляет собой обратную параметрическую задачу линейного программирования. Следовательно, важно выбрать способ районирования. Районирование целесообразно производить не по принципу доминирования отдельных действий, а по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний среды.

2. Для решения задач игр с природой необходимо применять методы векторной оптимизации, а многокритериальные задачи во многих случаях могут быть решены при помощи аппарата теории игр с природой. При переходе от многокритериальной задачи к «игре с природой» вероятности состояний природы p_j по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности критериев c_j , т. е. $p_j \equiv c_j$.

3. Районирование по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды обусловлено проявлениями исследуемых состояний среды эксплуатации автомобиля.

Сформируем матрицу эффективностей различных действий при различных СВС эксплуатации автомобиля. Любая задача оптимизации принимаемого решения характеризуется тремя основными понятиями: множество возможных решений; множество видов СВС; эффективность любого решения при каждом СВС. В дальнейшем используются следующие обозначения: m – число возможных вариантов действий (решение о выборе автомобиля для его эксплуатации или его списании); n – число возможных состояний среды эксплуатации автомобилей или соответствующих им критериев качества автомобиля; a_{ij} – эффективность i -го действия для j -го критерия, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. (значение реализуемого показателя качества автомобиля или затрат на его эксплуатацию). Тогда матрица эффективностей различных действий при различных состояниях среды эксплуатации автомобиля имеет вид:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Методы решения многокритериальных задач показывает условно можно разделить на три группы: сведение многокритериальных задач к однокритериальным; переход на более высокий уровень в иерархической системе управления; определение множества эффективных планов (множества Парето). Все они не лишены недостатков, но объективную возможность для субъективного выбора решения позволяют методы определения множества Парето. В исследовании установлено, что между определением множеством Парето в многокритериальных задачах и методом районирования для решения задач «игр с природой» в неопределенных ситуациях существует связь. При этом, при условии непрерывности функции показателя эффективности от изменения вектора состояния природы, матричная игра с природой может быть сведена к линейной задаче векторной оптимизации. Согласно положению (2), распределение коэффициентов относительной важности критериев эффективности эксплуатации автомобиля в СУСЭА подчинено ограничениям

$$0 \leq c_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n c_j = 1, \quad (7)$$

то есть определяется совокупностью $(n - 1)$ независимых величин.

Возможному множеству распределений соответствует поле распределений в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в пространстве $(m - 1)$ измерений. В декартовой системе координат c_1, c_2, \dots, c_{n-1} такой гипертетраэдр явля-

ется результатом пересечения положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из координатных осей отрезок, равный единице: $\sum_{j=1}^{n-1} c_j$. Точные значения коэффициентов c_j , как правило, неизвестны, но в реальных условиях эксплуатации автомобиля всегда есть основания для расположения этих коэффициентов в последовательность:

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_j \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n \quad (8)$$

Общее количество последовательностей такого типа для распределений системы определяется количеством перестановок $P_n = n!$. При $n = 3$ поле распределений коэффициентов относительной важности вырождается в прямоугольный

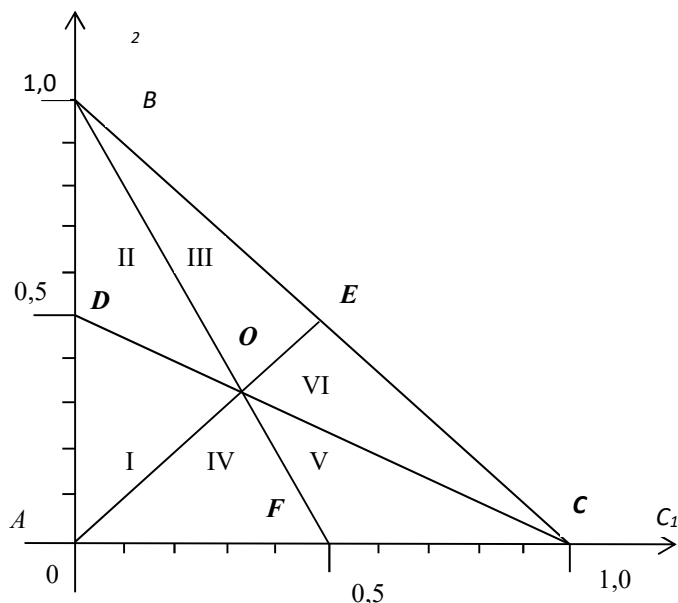


Рисунок 4 – Поле распределений коэффициентов c_j ,
 $P_3 = 3! = 6$

треугольник с единичными катетами (рисунок 4). Количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение между коэффициентами относительной важности показателей, равно $P_3 = 3! = 6$. При $n = 4$ (рисунок 5) количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение коэффициентов относительной важности показателей, равно $P_4 = 4! = 24$.

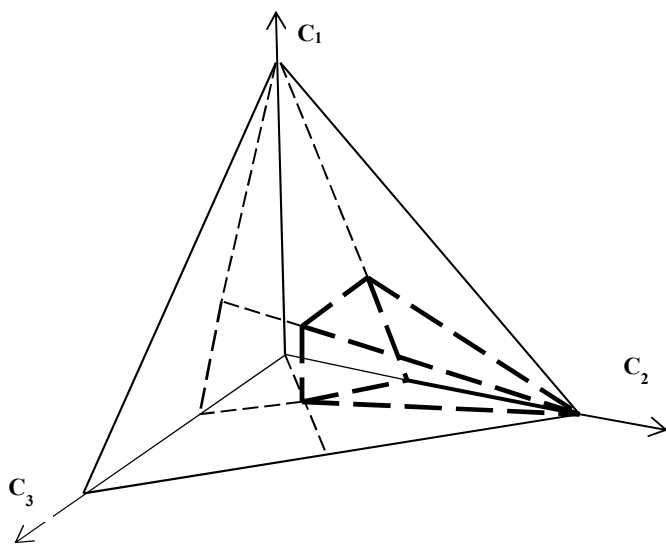


Рисунок 5 – Поле распределений коэффициентов c_i ,
 $P_4 = 4! = 24$

В таблице 1 представлены уравнения сторон и медиан треугольника ABC, а в таблице 2 каждому из шести подмножеств поставлено в соответствие свое распределение коэффициентов относительной важности показателей. Обратимся к рисунку 4. Треугольник ABC отражает распределение коэффициентов, описываемое системой. Из таблицы 2 видно, что каждому из шести возможных подмножеств поставлено в соответствие свое распределение коэффициентов важности.

Например, все возможные решения системы уравнений и неравенств

$$0 \leq c_j \leq 1; j = 1, 2, 3; c_1 + c_2 + c_3 = 1; c_3 \leq c_2 \leq c_1 \quad (9)$$

находятся в подмножестве IV, т. е. в площади треугольника EOC. Точка O имеет координаты $c_1 = c_2 = c_3 = 1/3$.

Таблица 1 – Уравнения сторон и медиан треугольника ABC на рисунке 4

Отрезки треугольника	Уравнения отрезков
Сторона AB	$c_2 + c_3 = 1; c_1 = 0$
Сторона AC	$c_1 + c_3 = 1; c_2 = 0$
Сторона BC	$c_1 + c_2 = 1; c_3 = 0$
Медиана AE	$c_1 = c_2; c_1 + c_2 + c_3 = 1$
Медиана BF	$c_1 = c_3; c_1 + c_2 + c_3 = 1$
Медиана CD	$c_2 = c_3; c_1 + c_2 + c_3 = 1$

Таблица 2 – Геометрическое поле распределения коэффициентов относительной важностей

Подмножество	Треугольник	Соотношение коэффициентов
I	AOD	$c_1 < c_2 < c_3$
II	DOB	$c_1 < c_3 < c_2$
III	BOE	$c_3 < c_1 < c_2$
IV	EOC	$c_3 < c_2 < c_1$
V	COF	$c_2 < c_3 < c_1$
VI	FOA	$c_2 < c_1 < c_3$

Сказанное выше позволяет сформулировать алгоритм метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды для выбора оптимального варианта искомого решения следующим образом:

1. Относительные важности показателей C_j упорядочиваются в виде последовательности (8).

2. Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1}. \end{cases} \quad (10)$$

Данная задача имеет следующие аналитические решения:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (11)$$

Анализ областей устойчивости решений показал, что для повышения чувствительности решения к параметрам оптимизации целесообразно применять следующее аналитическое решение:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, & \text{если } j < k, \text{ где } \lambda = \frac{n-1}{n}. \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, & \text{если } j > k \end{cases} \quad (12)$$

где индекс k определяется из условия $a_{kj} = \max_j a_{ij}$.

Принципиальным отличием разработанного метода является отсутствие формализованной связи между коэффициентами относительной важности по отдельным критериям. Покажем преимущество разработанного метода в сравнении с существующими методами-аналогами в виде аналитического и графического (рисунок 6) решения задачи с определёнными исходными данными.

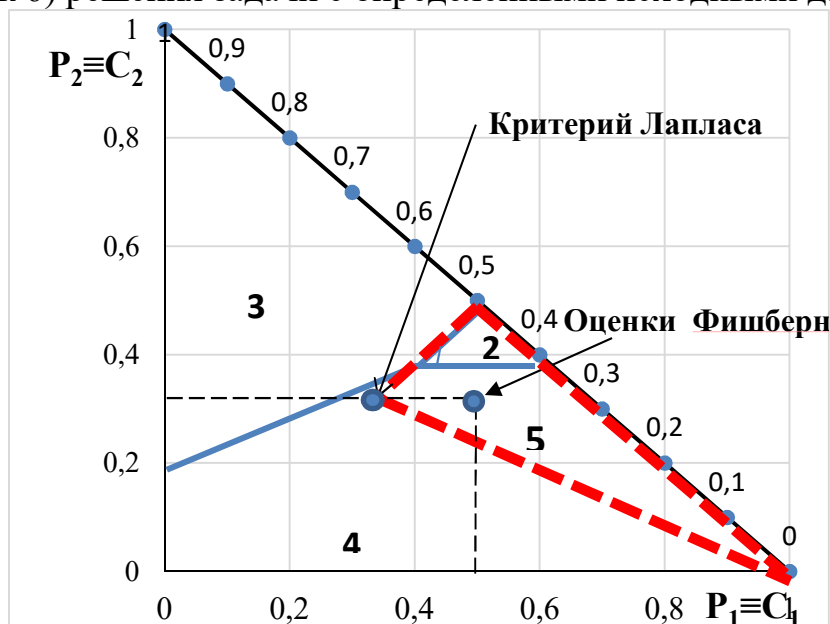


Рисунок 6 – Графическое решение примера

Графическое решение примера позволяет сравнить результаты решений, полученных разными методами:

1) 2, 3 и 4 – области вероятностей наличия эффективностей в количественных оценках (КОЭ) при применении метода районирования по принципу доминирования отдельных действий;

2) 5 – область вероятностей наличия эффективностей в КОЭ при применении метода районирования по принципу сохранения заданного иерархического соотношения (IV) возможных состояний природы (для $n=3$);

3) точка «оценки Фишберна» – точка эффективности в КОЭ, полученная в соответствии с системой весов Фишберна;

4) точка «Критерий Лапласа» – точка эффективности в КОЭ, полученная при применении односоставного критерия Лапласа.

В табл. 3 приведено сравнение результатов при применении разработанного и основных методов-аналогов снятия неопределённости в сложных организационно-технических системах

Таблица 3 – Сравнение результатов применения различных методов

Метод принятия решения	Вариант решения	Эффективность решения в КОЭ
Критерий Вальда	1	0,200
Критерий Сэвиджа	2	0,660
Критерий Гурвица	3(4)	0,366 (0,676)
Критерий Лапласа	4	0,4975
Оценки Фишберна	4	0,5034
Разработанный метод	4	0,8400

Определим место предлагаемого метода исследования в общей структуре методологии решения задач по снятию неопределённости (рисунок 7).

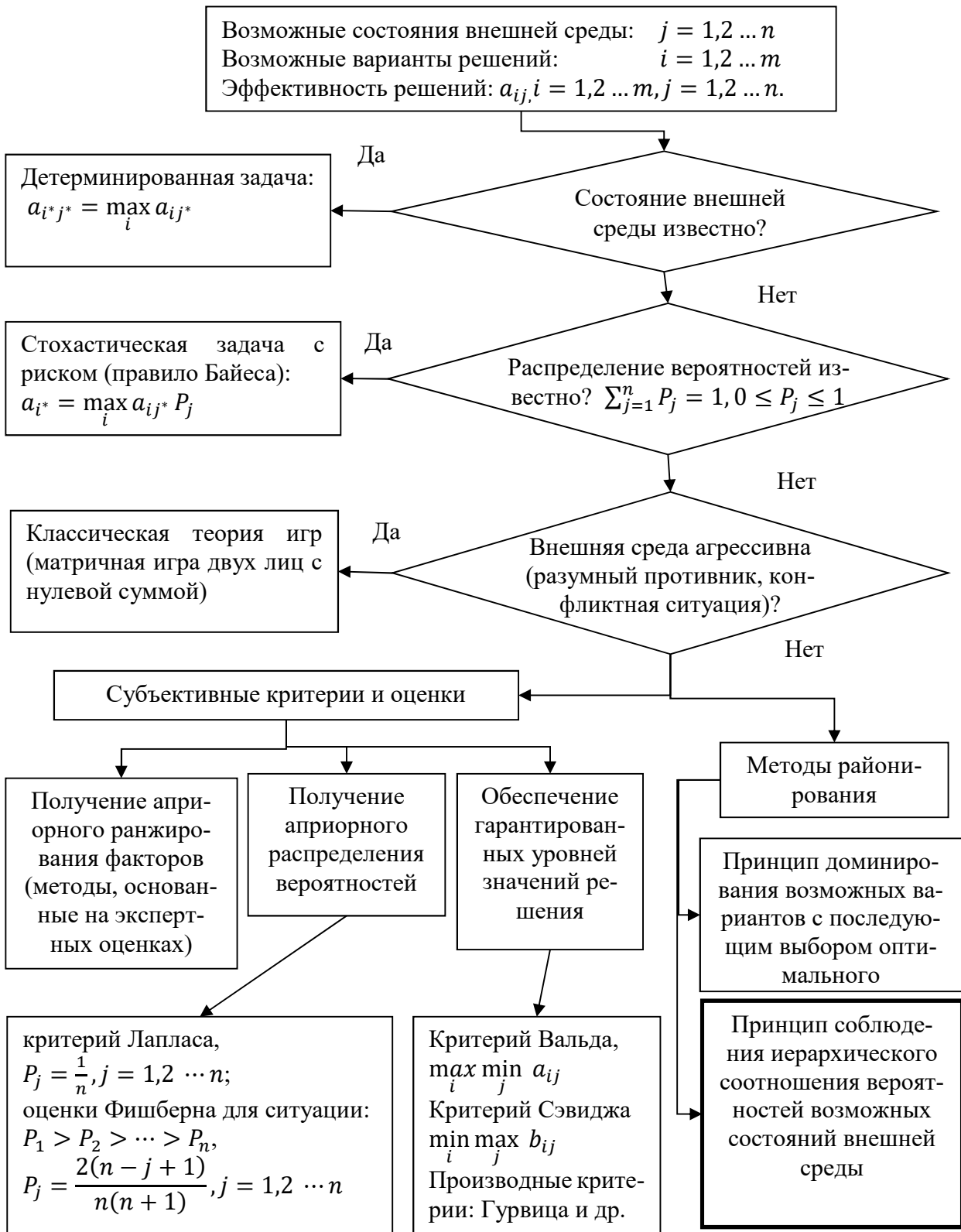


Рисунок 7 – Интегрирование разработанного метода в общую структуру методологии решения задач по снятию неопределённости

5. Стратегии восстановления технического состояния автомобиля, и аналитический аппарат динамики изменения КТИ автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации, позволяющий оптимизировать параметры системы управления сроком эксплуатации автомобиля. Представим аналитический аппарат реализации показателей качества в СУСЭА. В процессе эксплуатации автомобиля: при достижении предельного состояния работоспособности автомобиля или несоответствия его параметров нормативным значениям безопасности эксплуатации, или возникновения экологической опасности, возможны различные стратегии возобновления состояния автомобиля ($S_1, S_2, S_3 \dots S_n$). Данное обстоятельство можно учесть, рассмотрев динамику изменения КТИ автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации в нескольких вариантах.

На рисунке 8 представлен наиболее общий из возможных вариантов изменения значений КТИ в зависимости от пробега автомобиля. Изменение значений КТИ происходит по линейному закону. Введём обозначения: $k_{min}^{ти}$ – минимально возможное (предельное) значение КТИ; $l_{н1}, l_{н2}, l_{н3}$, – пробег автомобиля, при котором достигаются предельные значения; $\bar{k}^{ти}$ – реализуемый показатель качества автомобиля; 0,95 (близкое к начальному) – значение КТИ, до которого происходит восстановление параметра при технических воздействиях.

Уравнение зависимости КТИ от пробега автомобиля в общем случае подчиняется закону:

$$k_i^{ти}(L) = \left(\frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_i} \right) L + 1, \quad (13)$$

где $k_{min}^{ти}$ – минимально допустимое значение КТИ автомобиля.

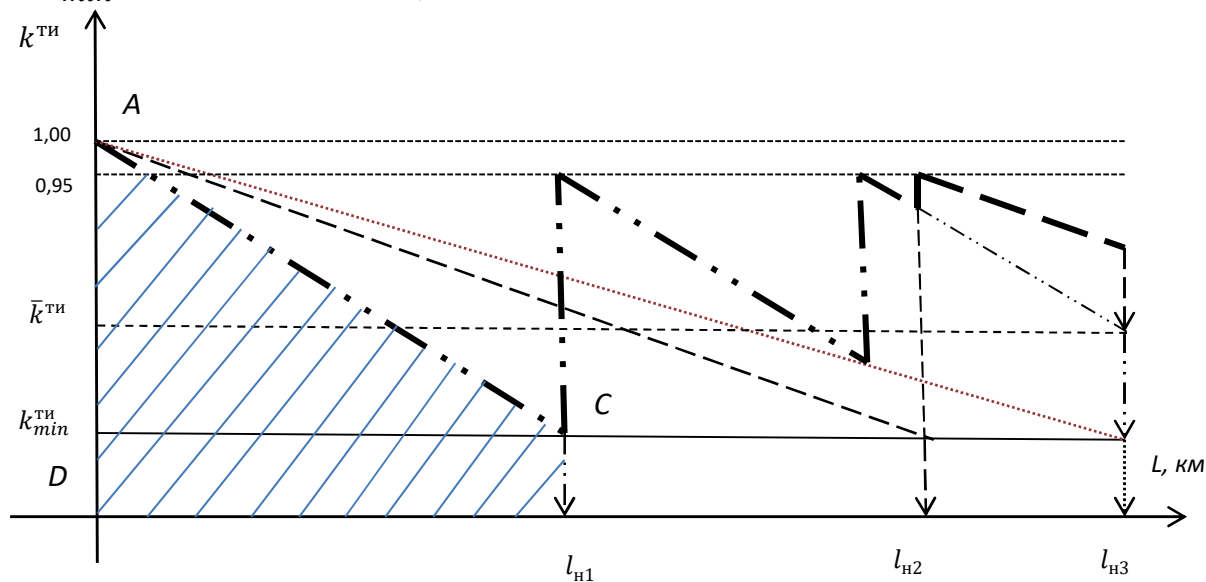


Рисунок 8 – Общий случай изменения значений КТИ в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации

Рассмотрим первый случай возможной стратегии (S_1), автомобиль снимается с линии для списания при достижении предельного состояния по нормативному показателю и дальнейшая его эксплуатация недопустима. При этом автомобиль постоянно проходил регламентные ТО-2, при которых производился сопутствующий текущий ремонт по нормативу (на рис. 1 – $l_{н1}$, км).

$$\bar{k}^{ти} = \frac{k_{min}^{ти} + 1}{2}. \quad (14)$$

Второй случай стратегии (S₂), автомобиль снимается с линии при необходимости восстановления работоспособности у неисправного агрегата, узла или детали путём получения предельного значения КТИ близкого к исходному $k^{ти} = k_H^{ти}$. Такая ситуация возникает при проведении непланового ТР в случае аварийной ситуации с конструктивным элементом автомобиля.

$$\bar{\bar{k}}^{ти} = \frac{3 + k_{min}^{ти}}{4}. \quad (15)$$

Третий случай возможной стратегии (S₃). Наступает предельное состояние автомобиля по одному из показателей (ряду показателей) при пробеге $l_{н1}$. Принимается решение о восстановлении всех свойств автомобиля, включая технические воздействия по поддержанию общей работоспособности автомобиля до исходного значения $k^{ти} = 1$, либо близкого к исходному $k^{ти} = k_H^{ти}$. Как правило, это КР базовых агрегатов и механизмов двигателя, несущей системы, систем управления автомобиля.

$$\bar{\bar{k}}^{ти} = \frac{5k_{min}^{ти} + 7}{2}. \quad (16)$$

Важно отметить, что значение реализуемого показателя качества КТИ во всех случаях определяется его минимально допустимой величиной. В частности, для (S₁):

$$\begin{cases} k\Sigma_1 = \frac{k_{min(1)}^{ти} + 1}{2} \cdot l_c^{(1)} \\ k\Sigma_2 = \frac{k_{min(2)}^{ти} + 1}{2} \cdot l_c^{(2)} \\ k\Sigma_3 = \frac{k_{min(3)}^{ти} + 1}{2} \cdot l_c^{(3)} \end{cases} \quad (17)$$

Проиллюстрируем многокритериальную структуру показателей качества на рисунке 9.

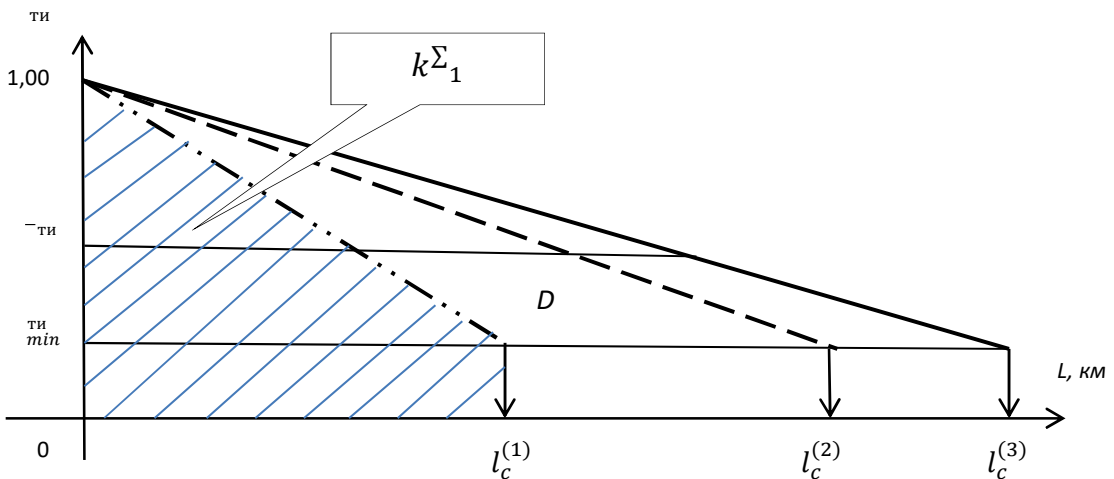


Рисунок 9 – Трёхкритериальная структура показателей качества эксплуатации автомобиля

На основании анализа рисунка 7 не требует доказательства утверждение:

$$\frac{k\Sigma_i}{\left(\frac{k_{min}^{ти} + 1}{2} \cdot l_c^{(i)}\right)} = Const, i = 1, 2, 3 \quad (18)$$

Выполним нормирование значений пробега автомобиля до списания автомобиля, определяемых по отдельным критериями:

$$\delta_1 = \frac{l_c^{(1)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}, \delta_2 = \frac{l_c^{(2)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}, \delta_3 = \frac{l_c^{(3)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}.$$

Используя полученные данные, можно построить матрицу значений планируемых пробегов различных автомобилей в многокритериальной структуре показателей качества, где C_1, C_2, \dots, C_n – отдельные критерии, учитываемые при реализации независимых групп свойств автомобиля. При n -ом количестве критериев, которые ограничивают срок эксплуатации автомобиля и m -ом количестве автомобилей матрица приобретает вид:

	C_1	C_2	C_3	...	C_n
A_1	δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}	...	δ_{1n}
A_2	δ_{21}	δ_{22}	δ_{23}	...	δ_{2n}
A_3	δ_{31}	δ_{32}	δ_{33}	...	δ_{3n}
...
A_m	δ_{m1}	δ_{m2}	δ_{m3}	...	δ_{mn}

Аналогичным образом (рисунок 10) осуществляется оценка эффективности эксплуатации автомобиля с учётом затрат на ТО и ТР ($R_{\text{ТО и ТР}}$).

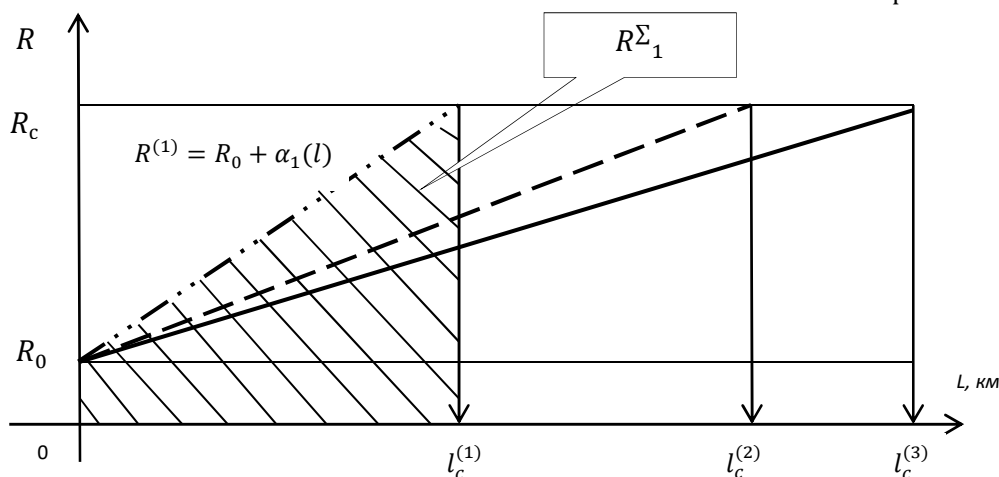


Рисунок 10 – Трёхкритериальная структура затрат на ТО и ТР при эксплуатации автомобиля

Приведём матрицу значений возможных затрат различных автомобилей в многокритериальной системе показателя качества, где C_1, C_2, C_n – отдельные критерии, учитываемые при реализации независимых групп свойств автомобиля. При n -ом количестве критериев, которые ограничивают время нахождения автомобиля в эксплуатации и m -ом количестве автомобилей матрица приобретает вид:

	C_1	C_2	C_3	...	C_n
A_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	...	ρ_{1n}
A_2	ρ_{21}	ρ_{22}	ρ_{23}	...	ρ_{2n}
A_3	ρ_{31}	ρ_{32}	ρ_{33}	...	ρ_{3n}
...
A_m	ρ_{m1}	ρ_{m2}	ρ_{m3}	...	ρ_{mn}

Формирование данной структуры показателей качества и затрат позволяет решать задачу оптимизации срока эксплуатации автомобиля, то есть принимать решение о списании автомобиля с учётом фактических затрат на его эксплуатацию, обеспечивая нормативные требования по отдельным критериям качества, обуславливаемых влиянием внешней среды.

6. Метод оперативного анализа показателей ТЭА – трудоёмкости ТО и трудоёмкости непланового ТР автомобиля. Критерии качества автомобиля должны быть реализованы в количественных показателях, учитываемых при определении КТИ: трудоёмкость ЕО (чел. час); трудоёмкость ТО, (чел. час); трудоёмкость ТР (чел. час/1000 км). Для реализаций целей СУСЭА целесообразно применять удельные значения этих показателей. В качестве интервала приведения определим пробег автомобиля между последовательно выполняемыми ТО. Вычислительные аспекты, связанные с подобным подходом, подчиняются одному из свойств непрерывной неубывающей функции $f_{\text{ТР}}(l)$:

$$\frac{\int_0^{l_2} f_{\text{ТО и ТР}}(l) dl}{l_2} < \frac{\int_{l_1}^{l_2} f_{\text{ТО и ТР}}(l) dl}{(l_2 - l_1)}, \quad (19)$$

где l_2 – пробег автомобиля на момент проведения планового ТО, км, $(l_2 - l_1)$ – пробег автомобиля между двумя плановыми ТО.

Рассмотрим данный подход на примере определения трудоёмкости неплановых работ ТР (чел. час/1000 км). Применяемый сегодня метод расчёта показателя трудоёмкости ТР (вариант 1) в общем виде имеет вид:

$$T_{\text{ТР}} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{L_j} \sum_{i=1}^n t_{\text{ТР } ij} \cdot 1000, \text{ чел. час/1000 км.}, \quad (20)$$

где $t_{\text{ТР } ij}$ – трудоёмкость устранения i -го отказа в пределах j -го интервала ТО, чел. час; L_j – пробег автомобиля от начала эксплуатации до j -го интервала ТО, км; m – количество интервалов ТО; n – количество отказов.

Если определять показатель трудоёмкость ТР для каждого интервала между двумя последовательно проводимыми ТО, то формула (20) вид (вариант 2):

$$T_{\text{ТР } j} = \frac{1}{\Delta l_j} \sum_{i=1}^n t_{\text{ТР } ij} \cdot 1000, \text{ чел. час/1000 км.}, \quad (21)$$

где $T_{\text{ТР } j}$ – трудоёмкость ТР на j -м интервале пробега автомобиля; Δl_j – пробег, соответствующий регламенту ТО, рекомендуемого производителем автомобиля, км.

Далее определим характер изменений, вытекающих из данного предложения. Введём следующие обозначения: i – порядковый номер интервала последовательно производимых ТО; Δl – пробег автомобиля, соответствующий интервалу ТО, км; l_i – пробег автомобиля, соответствующий i -му ТО, км; t_i – трудоёмкость устранения отказов (ТР), возникающих в пределах i -го ТО, чел. час; t_i^c – суммарная трудоёмкость устранения отказов (ТР), соответствующая пробегу l_i , чел. час.

Зависимость изменения трудоёмкости работ ТР от пробега автомобиля с начала его эксплуатации аппроксимируется линейной функцией: $t_i = k \cdot l_i + b$, где k – определяется, как: $T_i - T_i^c = k(i - 1)/2$. Установим дополнительные

условия: $b = 0$ и $T_i = T_j^c$. Тогда: $k \cdot i = k(j + 1)/2 \Rightarrow 2i = j + 1 \Rightarrow j = 2i - 1$. Таким образом $T_i = T_j^c$ при $j = 2i - 1$.

Для определения пробега $l_{c(i)}$ воспользуемся технико-экономическим критерием (рисунок 11). Перейдём к показателю удельная суммарная стоимость ТР, как отношению средней суммарной стоимости ТР к заданной наработке. Для этого введём следующие обозначения: $S_{a/m}$ – стоимость автомобиля, руб.; $C_{ТР}$ – стоимость выполнения одного часа работ ТР, руб.; $R(T_i)$ – затраты на ТР в случае применения предлагаемого метода, руб./1000 км.; $R(T_i^c)$ – затраты на ТР в случае применения традиционного метода, руб./1000 км.; $R_{(2)i}$ – суммарные затраты на эксплуатацию автомобиля в случае применения предлагаемого метода, руб./1000 км.; $R_{(1)i}$ – суммарные затраты на эксплуатацию автомобиля в случае применения традиционного метода, руб./1000 км.

Вычислив производную зависимостей (19) по пробегу, находим, что интервалы ТО, которым соответствует *min* суммарных приведённых затрат при различных способах оценки трудоёмкости ТР различны:

$$i_{\text{ТО(Вариант1)}} = i_{\text{ТО(вариант2)}} \cdot \sqrt{2} \quad (22)$$

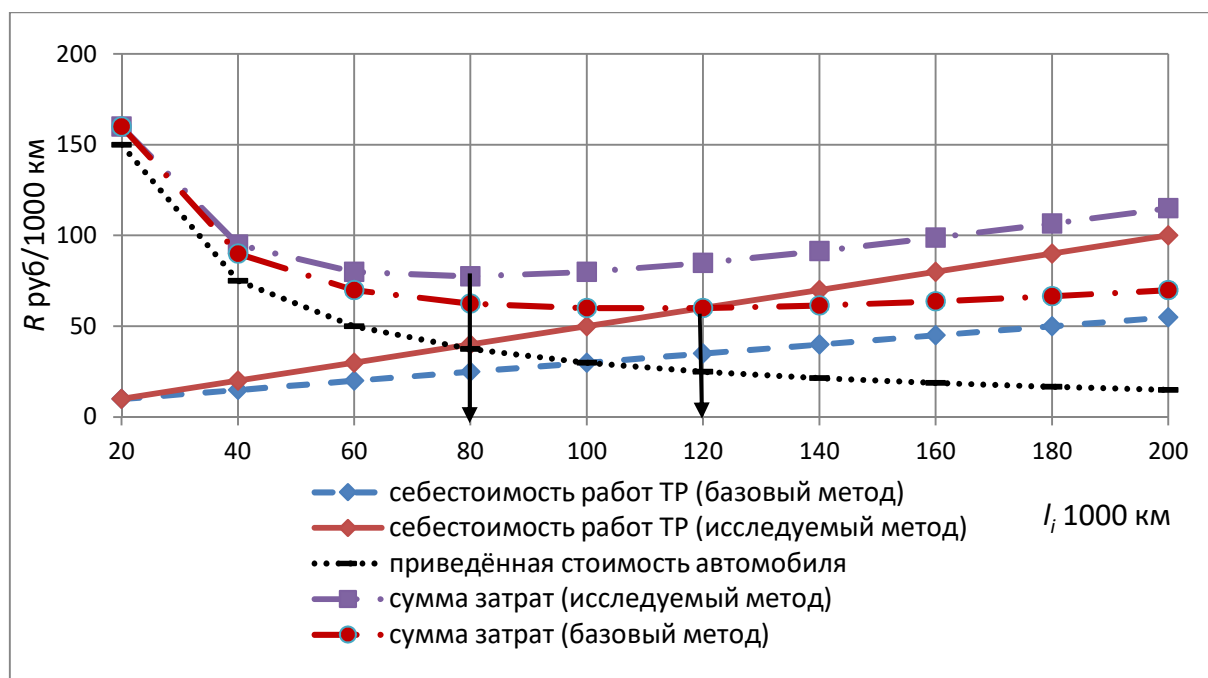


Рисунок 11 – Определение минимумов затрат (руб./1000 км.) на эксплуатацию автомобиля при различных методах оценки показателя удельная трудоёмкость ТР (чел. час/1000 км)

Предлагаемый метод расчёта значения показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР, (чел.час. /1000 км) определим, как «метод оперативного анализа показателей трудоёмкости работ по ТО и ТР». Данный метод позволяет обоснованно вырабатывать значения показателя оптимальный срок эксплуатации автомобиля в СУСЭА по отдельным критериям.

7. Аналитическая модель и алгоритм функционирования динамической многокритериальной системы принятия решений в ТЭА с дискретными состояниями ТО. Принципиальная (поэтапная) последовательность решений в аналитической модели СУСЭА представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Описание аналитической модели функционирования СУСЭА

№ этапа	Описание этапа
1	2
1. Оценка условий внешней среды эксплуатации автомобиля	1.1. Оценка требований и ограничений среды эксплуатации автомобиля. 1.2. Определение степени определённости информационной ситуации и СВС эксплуатации автомобиля. 1.3. Определение метода теории принятия управляющих решений для реализаций действий в СУСЭА
2. Агрегирование данных по ТО и ТР автомобиля в с учётом условий эксплуатации	2.1. Выбор групп моделей автомобилей по ряду показателей с применением метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения значимости показателей в случае формирования или обновления парка автомобилей 2.2. Оценка технического состояния парка автомобилей (КТИ, КГ, пробег автомобилей и т. д.) в случае реализации СУСЭА для действующего парка АТС предприятия
3. Определение актуальных критериев качества автомобиля.	3.1. $P^{(1)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля конструктивная безопасность эксплуатации 3.2. $P^{(2)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля экологическая безопасность 3.3. $P^{(3)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля надёжность
4. Определение показателей, определяющих критерии качества эксплуатации	4.1. Определение функции показателя качества автомобиля ($k^{ти}$) в зависимости от пробега с начала эксплуатации $\begin{cases} k^{ти}_1(L) = 1 - \alpha_1 L \\ k^{ти}_2(L) = 1 - \alpha_2 L \\ k^{ти}_3(L) = 1 - \alpha_3 L \end{cases}$ 4.2. Определение значения реализуемого показателя качества $k_i^{ти}(L) = \frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_i}(L) + 1$
5. Выбор стратегии технической эксплуатации автомобилей в соответствии с условиями работы предприятия	(S_1) – списание автомобиля произойдет при достижении предельного состояния нормативного показателя. $\bar{k}^{ти} = \frac{k_{min}^{ти} + 1}{2}$ (S_2) – восстановлении качества автомобиля при достижении показателей предельного значения по одному из критериев $\bar{k}^{ти} = \frac{3 + k_{min}^{ти}}{4}$ (S_3) – восстановлении свойств автомобиля по всем критериям до состояния близкого к исходному $\bar{k}^{ти} = \frac{5k_{min}^{ти} + 7}{2}$ Фиксируются коэффициенты k_k^c , определяющие стратегию ($S_1, S_2, S_3 \dots S_p$) эксплуатации автомобиля $i^{-ти} = k_k^c k_{min(i)}^{ти}$

Продолжение табл. 4

1	2																																																
<p>6. Нормирование значений исследуемых показателей</p>	<p>6.1. Определяется значение КТИ на всём периоде эксплуатации автомобиля по каждому критерию</p> $\begin{cases} k^{\Sigma}_1 = k_1^c \cdot k_{\min(1)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(1)} \\ k^{\Sigma}_2 = k_2^c \cdot k_{\min(2)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(2)} \\ k^{\Sigma}_3 = k_3^c \cdot k_{\min(3)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(3)} \end{cases}$ <p>6.2. С учетом $\frac{k^{\Sigma}_i}{(k_k^c k_{\min(i)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(i)})} = \text{Const}, i = 1, 2, 3$ нормируются значения планируемых пробегов до списания автомобиля</p> $\delta_{1j} = \frac{l_c^{(1)}}{l_c^{(1)} + l_c^{(2)} + l_c^{(3)}}, \text{ где } j = 1, 2, 3.$ <p>6.3. По аналогии и используя аналитическую связь между l_{mn} и R_{mn} нормируются значения затрат на эксплуатацию автомобилей</p> $R_c = \frac{R_0 l_c}{k_{\min}^{\text{ти}}}$																																																
<p>7. Устанавливается приоритет критериев</p>	$C_1 \geq C_2 \geq \dots \geq C_i \geq \dots \geq C_{n-1} \geq C_n$																																																
<p>8. Определение планируемого пробега до списания автомобилей по каждому критерию, l_{mn} и планируемых затрат на эксплуатацию критерию, R_{mn}</p>	<p>8.1. Формируется матрица планируемых пробегов автомобилей в многокритериальной структуре показателей качества</p> <table border="1" data-bbox="478 1019 1388 1254"> <tr> <td></td> <td>C_1</td> <td>C_2</td> <td>C_3</td> </tr> <tr> <td>A_1</td> <td>δ_{11}</td> <td>δ_{12}</td> <td>δ_{13}</td> </tr> <tr> <td>A_2</td> <td>δ_{21}</td> <td>δ_{22}</td> <td>δ_{23}</td> </tr> <tr> <td>A_3</td> <td>δ_{31}</td> <td>δ_{33}</td> <td>δ_{33}</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>A_m</td> <td>δ_{n1}</td> <td>δ_{n2}</td> <td>δ_{n3}</td> </tr> </table> <p>8.2. Формируется матрица планируемых затрат в многокритериальной структуре показателей качества</p> <table border="1" data-bbox="478 1332 1388 1568"> <tr> <td></td> <td>C_1</td> <td>C_1</td> <td>C_1</td> </tr> <tr> <td>A_1</td> <td>ρ_{11}</td> <td>ρ_{12}</td> <td>ρ_{13}</td> </tr> <tr> <td>A_2</td> <td>ρ_{21}</td> <td>ρ_{22}</td> <td>ρ_{23}</td> </tr> <tr> <td>A_3</td> <td>ρ_{31}</td> <td>ρ_{33}</td> <td>ρ_{33}</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>A_m</td> <td>ρ_{n1}</td> <td>ρ_{n2}</td> <td>ρ_{n3}</td> </tr> </table>		C_1	C_2	C_3	A_1	δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}	A_2	δ_{21}	δ_{22}	δ_{23}	A_3	δ_{31}	δ_{33}	δ_{33}	A_m	δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}		C_1	C_1	C_1	A_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	A_2	ρ_{21}	ρ_{22}	ρ_{23}	A_3	ρ_{31}	ρ_{33}	ρ_{33}	A_m	ρ_{n1}	ρ_{n2}	ρ_{n3}
	C_1	C_2	C_3																																														
A_1	δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}																																														
A_2	δ_{21}	δ_{22}	δ_{23}																																														
A_3	δ_{31}	δ_{33}	δ_{33}																																														
...																																														
A_m	δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}																																														
	C_1	C_1	C_1																																														
A_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}																																														
A_2	ρ_{21}	ρ_{22}	ρ_{23}																																														
A_3	ρ_{31}	ρ_{33}	ρ_{33}																																														
...																																														
A_m	ρ_{n1}	ρ_{n2}	ρ_{n3}																																														
<p>9. Планирование срока эксплуатации автомобилей: (разработанный метод)</p>	<p>Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования:</p> $\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n (\delta)_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, i = \overline{1, m-1} \end{cases}$ <p>Реализуется аналитическое решение</p> $c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, \text{ если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, \text{ если } j < k, \text{ где } \lambda = \frac{n-1}{n} \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, \text{ если } j > k \end{cases}$ <p>где индекс k определяется из условия $(\delta)_{kj} = \max_j (\delta)_{ij}$.</p>																																																

Продолжение табл. 4

1	2																								
<p>10. Оперативный анализ планируемых показателей в процессе эксплуатации автомобилей</p>	<p>10.1. В процессе эксплуатации автомобилей уточняются данные по трудоёмкости работ по ТО и ТР по формуле</p> $T_{\text{ТО и ТР}i} = \frac{1}{\Delta \ell} \sum_{i=1}^n t_{\text{ТО и ТР}ji} \cdot 1000, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000$ <p>10.2. Определяется удельная суммарная стоимость ТО и ТР.</p> $R_i = \frac{S_{a/m}}{\ell_i} + S(T_{\text{ТО и ТР}i}) = \frac{S_{a/m}}{i \cdot \Delta \ell} + k \cdot \text{Ц}_{\text{ТО и ТР}} \cdot i = \frac{S_{a/m} + k \cdot \Delta \ell \cdot \text{Ц}_{\text{ТО и ТР}} \cdot i^2}{i \cdot \Delta \ell}$ <p>10.3. Применяется технико-экономический критерий. Определяется экстремум (min) функции:</p> $(R_i)' = -\frac{S_{a/m}}{i^2 \Delta \ell} + k \cdot \text{Ц}_{\text{ТР}} = 0$ <p>10.4. Определяется интервал ТО, которому соответствует <i>min</i> суммарных затрат на эксплуатацию R_{\min} автомобиля.</p> $i = \sqrt{\frac{S_{a/m}}{k \cdot \Delta \ell \cdot \text{Ц}_{\text{ТР}}}}$ <p>На определённом интервале ТО $R_{\min} = R_c$</p> <p>10.5. Аналогичным образом определяются пробеги эффективной эксплуатации автомобилей каждому критерию:</p> $l_c^{(1)}, l_c^{(2)}, l_c^{(3)}.$																								
<p>11. Принятие решение о списании автомобиля при достижении R_{mn}^c</p>	<p>11.1. Формируется матрица фактических пробегов эффективной эксплуатации автомобилей по достижении $k_{\min(i)}^{\text{ти}}$.</p> <p>11.2. Формируется матрица фактических затрат на эксплуатацию автомобилей по достижении $k_{\min(i)}^{\text{ти}}$.</p> <table border="1" data-bbox="486 1137 1393 1375"> <thead> <tr> <th></th> <th>C_1</th> <th>C_2</th> <th>C_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A_1</td> <td>ρ_{11}</td> <td>ρ_{12}</td> <td>ρ_{13}</td> </tr> <tr> <td>A_2</td> <td>ρ_{21}</td> <td>ρ_{22}</td> <td>ρ_{23}</td> </tr> <tr> <td>A_3</td> <td>ρ_{31}</td> <td>ρ_{33}</td> <td>ρ_{33}</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>A_n</td> <td>ρ_{n1}</td> <td>ρ_{n2}</td> <td>ρ_{n3}</td> </tr> </tbody> </table>		C_1	C_2	C_3	A_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	A_2	ρ_{21}	ρ_{22}	ρ_{23}	A_3	ρ_{31}	ρ_{33}	ρ_{33}	A_n	ρ_{n1}	ρ_{n2}	ρ_{n3}
	C_1	C_2	C_3																						
A_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}																						
A_2	ρ_{21}	ρ_{22}	ρ_{23}																						
A_3	ρ_{31}	ρ_{33}	ρ_{33}																						
...																						
A_n	ρ_{n1}	ρ_{n2}	ρ_{n3}																						
<p>12. Определяется срок эксплуатации отдельного автомобиля</p>	<p>Принимается решение о порядке списания автомобилей. Для каждого сравниваемого варианта i решается задача:</p> $\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n (\rho)_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, i = \overline{1, m-1} \end{cases}$ <p>Реализуется аналитическое решение</p> $c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, & \text{если } j < k, \text{ где } \lambda = \frac{n-1}{n} \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, & \text{если } j > k \end{cases}$ <p>где индекс k определяется из условия $(\rho)_{kj} = \max_j (\rho)_{ij}$.</p>																								
<p>13. Формирование базы данных СУСЭА</p>	<p>Фиксируются значения коэффициентов $c_{kmin}^c, l_{mn}^c, R_{mn}^c$ по каждому автомобилю или модели автомобиля. Результаты поступают в базу данных СУСЭА</p>																								

Схема интеграции аналитического аппарата СУСЭА в процесс ТЭА приведена на рисунке 12.

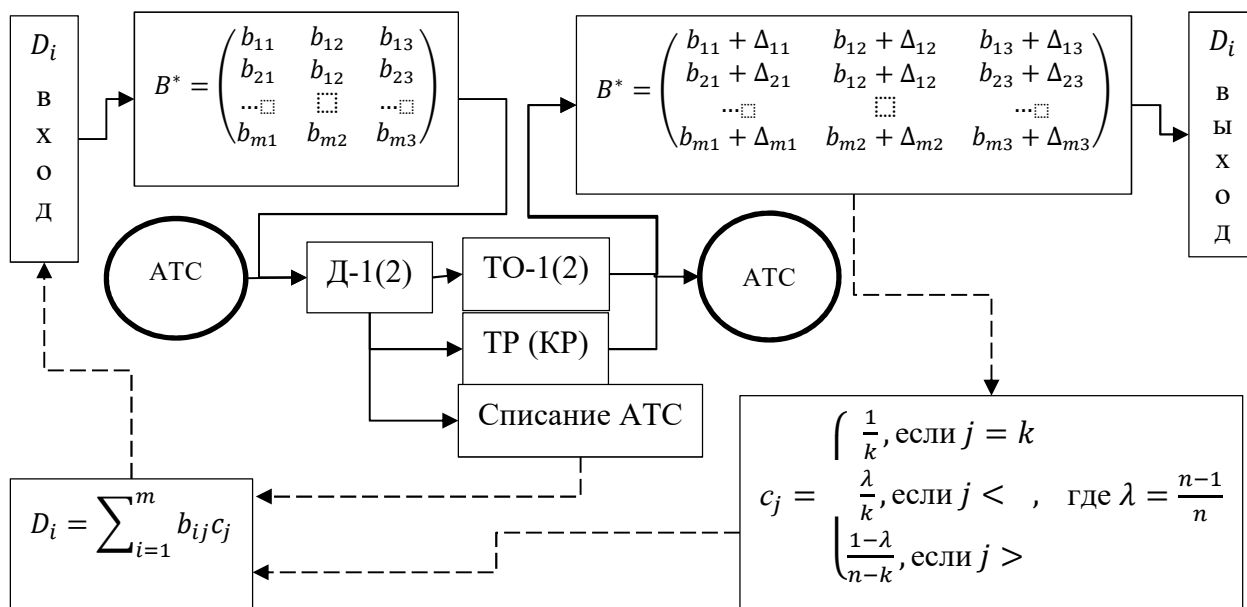


Рисунок 12 – Схема интеграции СУСЭА в процесс ТЭА

—————> канал прямой связи;
 - - - - -> канал обратной связи.

8. Методики и результаты определения затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля по отдельным критериям качества автомобиля и при реализации системы управления сроком эксплуатации автомобиля. В исследовании разработан ряд методик, необходимых для обеспечения работы СУСЭА, позволяющих установить пробег эффективной эксплуатации автомобиля по отдельным критериям и определять оптимальный срок его эксплуатации в многокритериальной структуре показателей качества автомобиля. Приведём некоторые:

1. Методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта. В данной методике в качестве расчётного цикла принимается нормативная периодичность работ ТО согласно регламенту фирмы-производителя автомобилей (для автомобилей зарубежного производства) или пробег, соответствующий пробегу между ТО-2 (для отечественных автомобилей). Это даёт возможность установить ряд показателей: удельная трудоёмкость ТР (чел.·час/1000 км) и удельная трудоёмкость ТО и ТР (чел.·час/1000 км), позволяющих оперативно (на каждом интервале пробега автомобиля между ТО) учитывать необходимые объёмы технических воздействий.

2. Методика оперативного анализа КТИ при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля. Как правило, для определения КТИ в качестве периода эксплуатации рассматриваются временные интервалы, выраженные в часах, либо автомобиле-часах использования подвижного состава. Поэтому, определение КТИ содержит ряд особенностей, а именно: использование в качес-

тве измерителя периода эксплуатации автомобиля его пробег, а в качестве интервала измерения рассматривается пробег автомобиля за период регламентного ТО. Данная методика позволит повысить достоверность результатов определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля в процессе его планирования, корректирования и конкретизации.

3. Методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля. В целях управления процессами «старения» или анализе потерь эффективности автомобиля целесообразно дифференцированно (поэтапно) оценивать затраты на эксплуатацию автомобиля в зависимости пробега его эксплуатации. Это возможно в случае применения для оценки динамики затрат метода оперативного учёта затрат на эксплуатацию автомобиля. В данной методике применяется параметр условная остаточная стоимость (УОС). По характеру сокращения УОС соответствует методу начисления амортизации – уменьшающегося остатка, что обуславливает его нейтральность по отношению к оптимальному сроку эксплуатации автомобиля.

Разработанные методики и алгоритмы апробировались на экспериментальных данных, полученных в ходе реализации НИОКР. Исходные данные для апробации разработанных методик были предоставлены компаниями, входящими в ЦОГ «Грузавтотранс» и транспортной компанией ООО «ИТС Логистик». Апробация производилась на двух группах грузовых автомобилей и двух группах легковых автомобилей (таблица 5). Пример агрегирования по интервалам ТО исходных данных приведён на рисунке 13.

Таблица 5 – Исследуемые группы автомобилей и условия их эксплуатации

Тип автомобиля	Регион эксплуатации	Характер эксплуатации	Кол-во	Марка АТС
Автомобиль – самосвал	Ленинградская область	Перевозка навалочных грузов	69	Scania
Автомобиль -сидельный тягач	Междугородные перевозки	Перевозки тарноштучных грузов	72	Scania
Легковой автомобиль	г. Санкт-Петербург,	Использовался в качестве такси	90	Chevrolet
Легковой автомобиль	г. Санкт-Петербург,	Использовался для частных поездок	75	BMW

После обработки экспериментальных данных были получены статистические математические модели, отражающие зависимость неплановых работ по ТР от пробега автомобилей с начала эксплуатации: аналитические зависимости (рисунки 14 и 15, таблица 6), позволяющие определять интенсивность изменения технического состояния автомобилей по показателю удельная трудоёмкость непланового ТР (чел. час /1000 км). Расчёты были произведены по формулам (6) и (7).

Зависимость изменения значений показателя трудоёмкость ТО и ТР (чел. час /1000 км) от пробега автомобилей с начала эксплуатации аппроксимируются в линейную функцию:

$$t_i = k \cdot l_i + b. \quad (23)$$

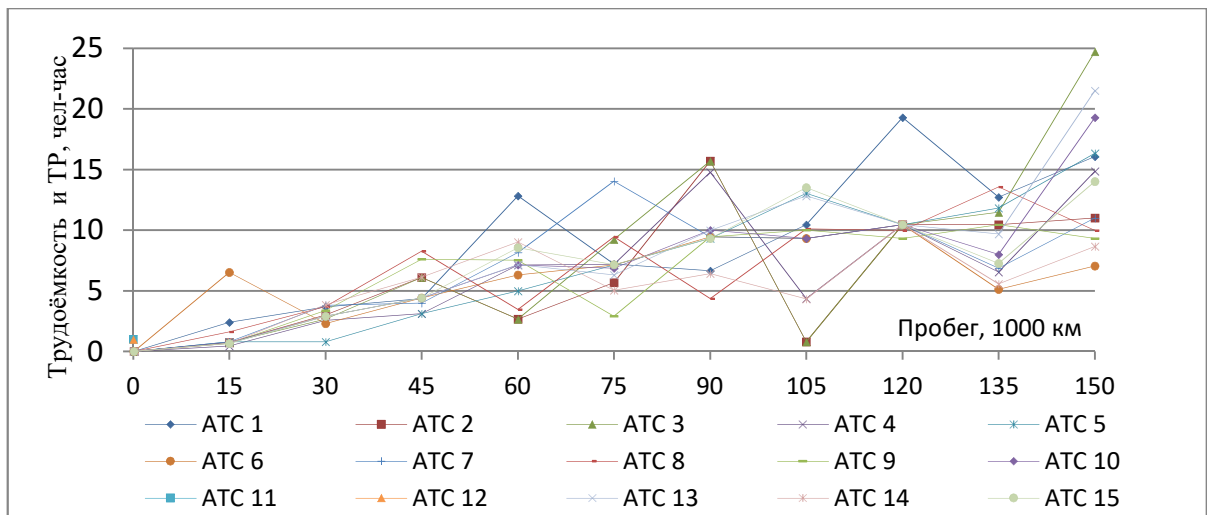


Рисунок 13 – Агрегированные данные значений трудоёмкости ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации для автомобиля-такси

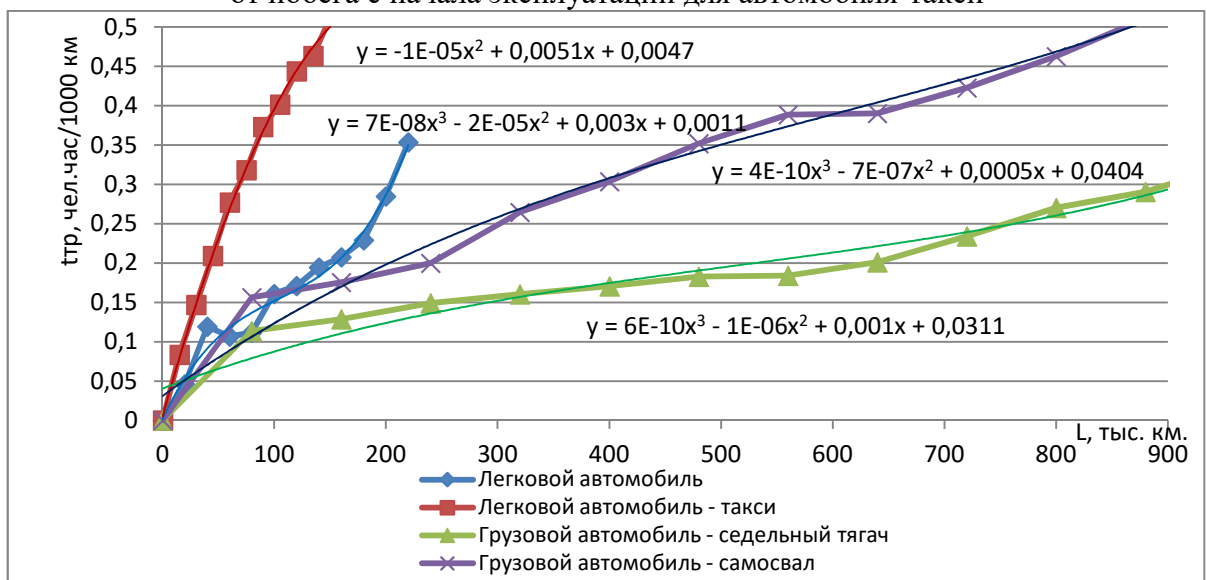


Рисунок 14 – Зависимости изменения показателя удельная трудоёмкость unplanned ТР от пробега автомобиля с начала эксплуатации (вариант 1)

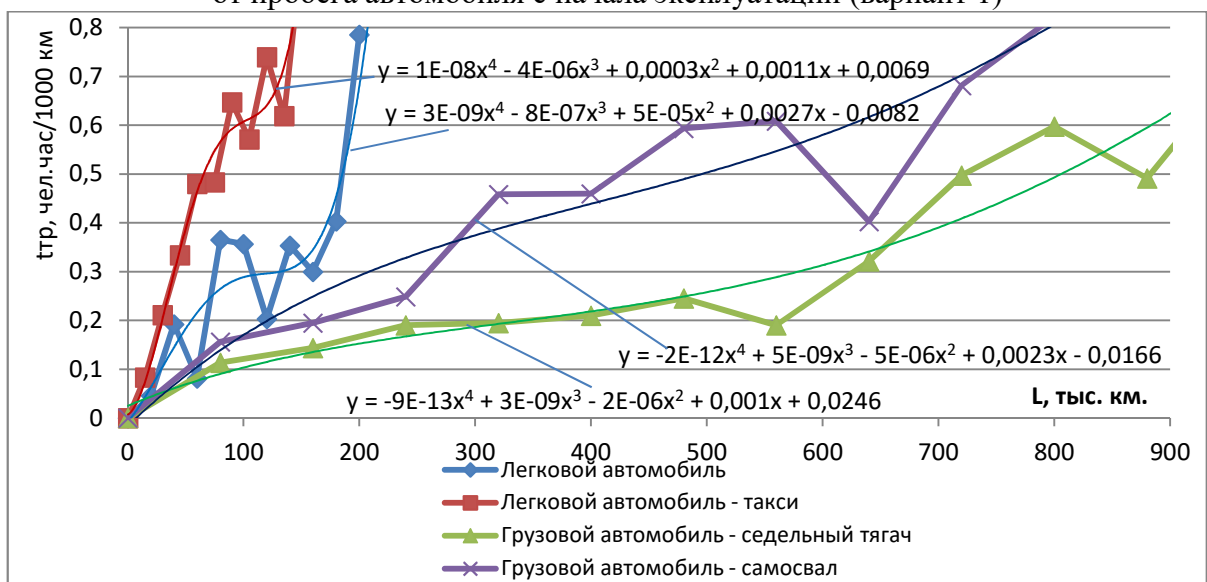


Рисунок 15 – Зависимости изменения показателя удельная трудоёмкость unplanned ТР от пробега автомобиля с начала эксплуатации (вариант 2)

Таблица 6 – Функции изменения показателя трудоёмкость ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации

Группа автомобилей		Аналитическая зависимость $f_{ТР}(L)$
Легковой автомобиль	Вариант 1	$y = 7E-08x^3 - 2E-05x^2 + 0,003x + 0,0011$
Легковой автомобиль-такси		$y = 1E-05x^2 + 0,0051x + 0,0047$
Автомобиль – самосвал		$y = 4E-10x^3 - 7E-07x^2 + 0,0005x + 0,0404$
Автомобиль – седельный тягач		$y = 6E-10x^3 - 1E-06x^2 + 0,001x + 0,0311$
Легковой автомобиль	Вариант 2	$y = 1E-08x^4 - 4E-06x^3 + 0,0003x^2 + 0,0011x + 0,0069$
Легковой автомобиль-такси		$y = 3E-09x^4 - 8E-07x^3 + 5E-05x^2 + 0,0027x - 0,0082$
Автомобиль – самосвал		$y = 2E-12x^4 + 5E-09x^3 - 5E-06x^2 + 0,0023x - 0,0166$
Автомобиль седельный тягач		$y = 9E-13x^4 + 3E-09x^3 - 2E-06x^2 + 0,001x + 0,0246$

На рисунке 16 и в таблице 7 приведены линейные функции изменения значений удельной трудоёмкости ТО и ТР (чел. час /1000 км) для грузовых и легковых автомобилей по варианту (В1) и по варианту (В2).

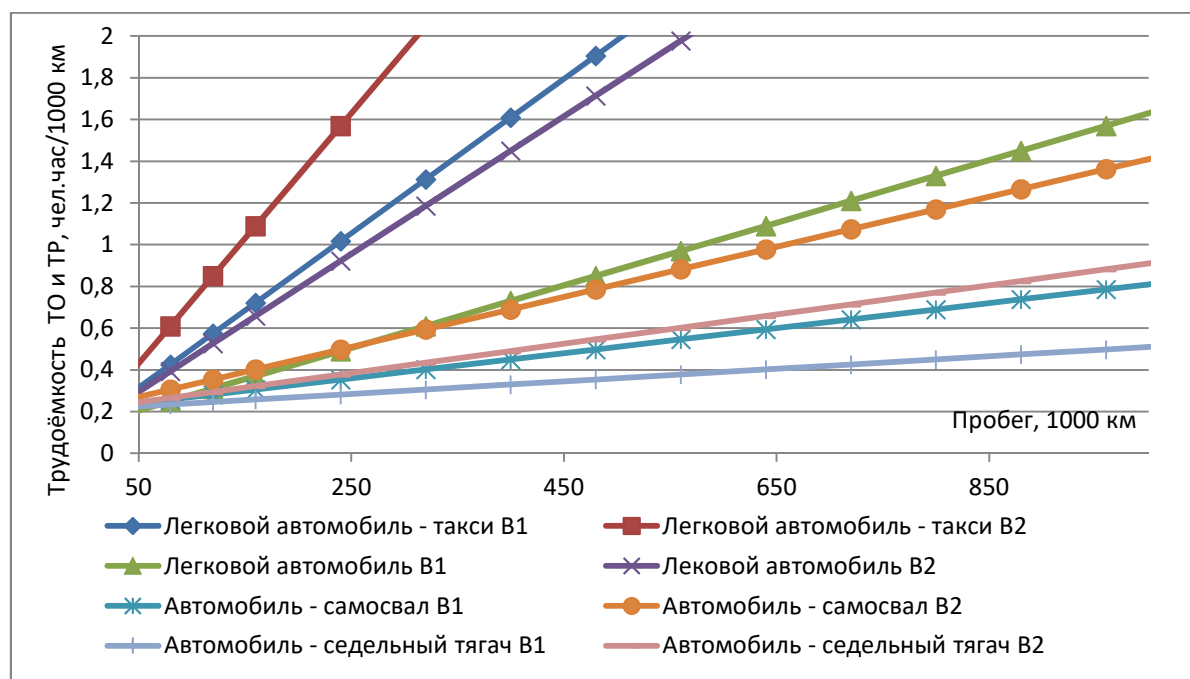


Рисунок 16 – Графики функций изменения показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР (чел. час /1000 км.) для исследуемых групп автомобилей

Таблица 7 – Линейные функции изменения показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР

Тип автомобиля	Вариант 1	Вариант 2
Легковой автомобиль – такси	$f_{ТР}(L) = 0,0037 \cdot l$	$f_{ТР}(L) = 0,0060 \cdot l$
Легковой автомобиль	$f_{ТР}(L) = 0,0015 \cdot l$	$f_{ТР}(L) = 0,0033 \cdot l$
Автомобиль – самосвал	$f_{ТР}(L) = 0,0006 \cdot l$	$f_{ТР}(L) = 0,0012 \cdot l$
Автомобиль – седельный тягач	$f_{ТР}(L) = 0,0003 \cdot l$	$f_{ТР}(L) = 0,0007 \cdot l$

Методика оперативного учёта затрат позволяет определить параметр эффективности эксплуатации автомобиля (P_9). Значение эффективного пробега автомобиля, обеспечивающее минимум затрат на его техническую эксплуатацию определяются функцией $d(L_c)$:

$$d(L_c) = \frac{C_a}{L} + C_{уд}(L_c). \quad (23)$$

Функция является выпуклой вниз [$d''(L_c) > 0$]. Представим результаты расчёта для седельных тягачей Scania. Определим значения экстремума функции по варианту 1 и варианту 2 (рисунок 17): $L_c^1 = 710$ км, $L_c^2 = 1380$ км

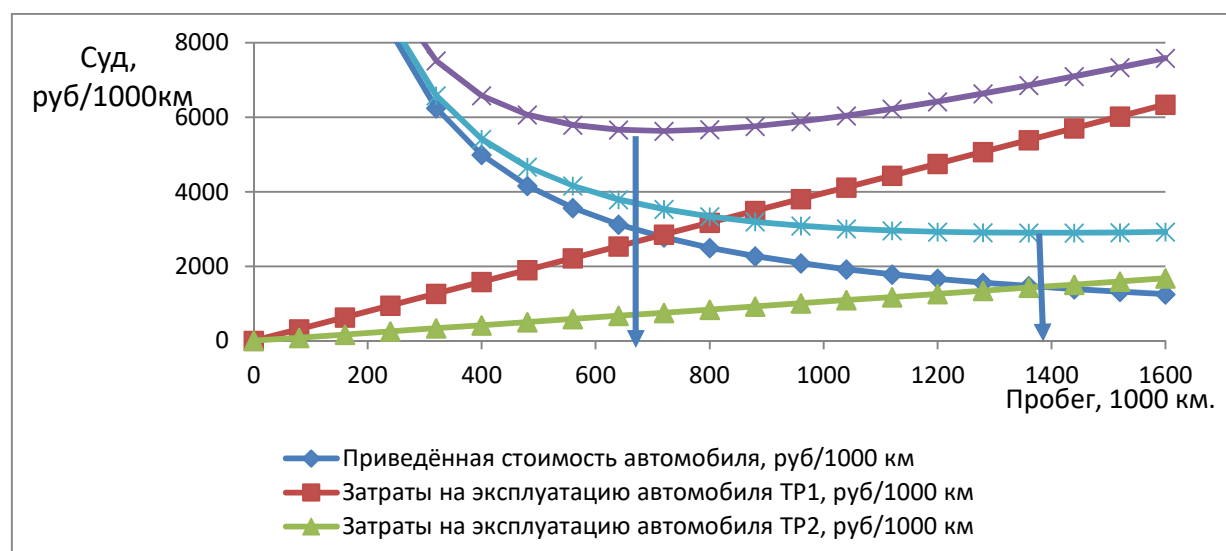


Рисунок 17 – Определение значений показателя пробега эффективной эксплуатации для автомобиля – седельного тягача Scania

Экономия удельных затрат на эксплуатацию автомобиля при сравнении полученных результатов определяется по формуле:

$$\Delta_{уд} = C_{уд}^1(L_c^2 - L_c^1), \text{ руб./1000 км.} \quad (24)$$

Приведённое значение доходов (руб./1000 км) от эксплуатации автомобиля с учётом КТИ автомобиля определяется по формуле:

$$D_{уд} = \frac{T_{100км} \cdot k^{КТИ} \cdot 1000}{100}, \text{ руб./1000 км} \quad (25)$$

где $T_{100км}$ – тариф за 1000 км пробега автомобиля, руб.

Значение рентабельности эксплуатации автомобиля:

$$R = \frac{D_{уд} - C_{уд}}{C_{уд}} \cdot 100, \% \quad (26)$$

Результаты расчёта ТЭП работы седельных тягачей SCANIA приведены в таблице 8. Для всех остальных групп автомобилей расчет аналогичен (таблица 9).

Таблица 8 – Техничко-экономические показатели работы седельных тягачей SCANIA

Пробег,1000 км	КТИ	C	$C_{уд}^1$	$C_{уд}^2$	$D_{уд}$	R
640	0,92	3125	2537,83	671,56	3680	45,00
720	0,91	2777	2855,06	755,51	3640	27,49
800	0,9	2500	3172,29	839,45	3600	13,48
880	0,89	2272	3489,52	923,40	3560	2,01
960	0,88	2083	3806,74	1007,35	3520	-

Таблица 9 – Результаты расчёта ТЭП для всех исследуемых групп автомобилей

Тип автомобиля	Традиционные методы (Вариант 1)				Комплекс методик СУСЭА (Вариант 2)				$\mathcal{E}_{уд}$, руб./1000 км
	l_c	P_3	L_{Cmin}	L_{Rmin}	l_c	P_3	L_{Cmin}	L_{Rmin}	
Легковой автомобиль – такси	248	6892	191	212	195	8652	115	136	3508
Легковой* автомобиль	719	6956	443	-	465	11230	279	-	5484
Грузовой автомобиль – самосвал	575	2235	820	915	431	2987	581	750	3015
Грузовой автомобиль – седельный тягач	831	1875	1380	1850	625	2345	710	880	2656

* для легкового автомобиля показатель рентабельность не определяется из-за отсутствия коммерческой составляющей его эксплуатации

Экспериментальные данные обработанные с помощью разработанных методик интегрируются в аналитической модели динамической многокритериальной системы принятия решений с дискретными состояниями ТО в СУСЭА. Результаты работы СУСЭА в виде оценки влияния среды эксплуатации на значение оптимального пробега четырёх групп исследуемых автомобилей приведены на рисунке 17.

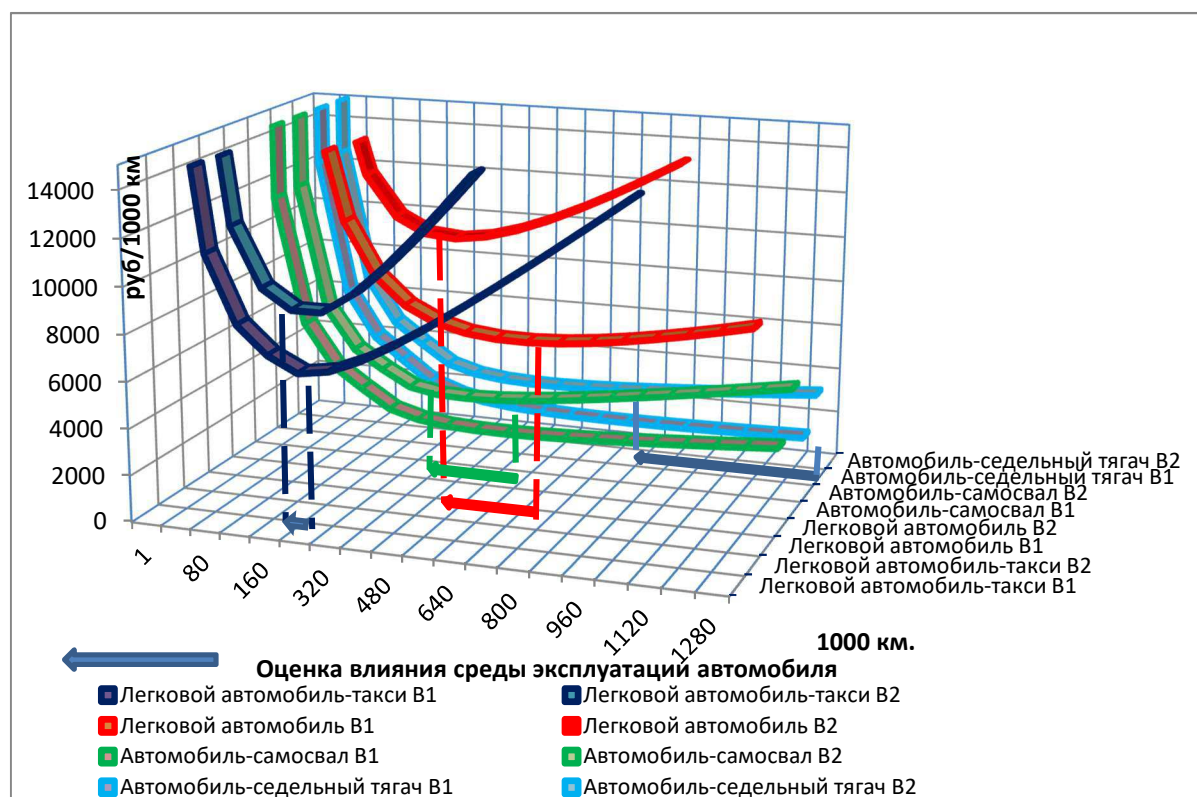


Рисунок 17 – Оценка влияния среды эксплуатации на значение оптимального пробега автомобиля для четырёх групп исследуемых автомобилей

Приведённые данные (таблица 9 и рисунок 17) подтверждают, что разработанная аналитическая модель и апробированная в виде программно-методологического комплекса (ПМК) СУСЭА позволяет реализовать в цифровом формате модель целенаправленного управления сроками эксплуатации автомобиля посредством получения достоверных Парето-оптимальных решений показателей ТЭА автомобиля с учётом неограниченного количества актуальных критериев. Полученные результаты подтверждают эффективность применения на практике разработанного научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля и обоснованность интеграции методологического обеспечения СУСЭА в процессы ТЭА на АТП.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квалификация работы. Осмысление автором целостности процессов взаимовлияния при функционировании производственных систем ТЭА с окружающей внешней социальной и природной средой позволило выполнить теоретические разработки, которые в совокупности можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, направленное на решение теоретико-прикладной проблемы повышения эффективности, конструктивной безопасности и экологической безопасности эксплуатации автомобилей и имеющее важное хозяйственное значение для развития автомобильного транспорта и экономики России. Область исследования диссертации и выполненные автором оригинальные разработки по всем элементам ее научной новизны соответствуют национальным приоритетам научно-технологического развития России и требованиям паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» (п. 2. «Оптимизация планирования, организации и управления технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов»; п. 11. «Закономерности изменения технического состояния автомобилей и агрегатов, технологического оборудования с целью совершенствования систем технического обслуживания и ремонта, определения нормативов технической эксплуатации, рациональных сроков службы автомобилей»).

Основные результаты и выводы

На основе выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований, разработанных научных методов, реализованных в математических моделях, экспериментальных исследований и организационных предложений инновационной направленности решена крупная научная проблема – разработан научно-методический подход многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля, обеспечивающий повышение эффективности и безопасности в системе эксплуатации автомобильного транспорта. Внедрение результатов исследования обеспечит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение качества эксплуатации автомобильного транспорта за счёт системной оптимизации процессов ТО и ТР автомобилей, что подтверждает народнохозяйственную значимость полученных результатов.

Формирование теоретических основ методологии определения оптимального срока эксплуатации автомобиля потребовало разработки алгоритмов оптимизации процессов ТЭА с учётом нескольких критериев эффективности: экологической безопасности, конструктивной безопасности и надёжности автомобиля. Практическая реализация научно-методического подхода к многокритериальной оценке сроков эксплуатации автомобиля решена в виде ПМК динамической многокритериальной системы управления сроком эксплуатации автомобиля с дискретными состояниями ТО. В диссертации были решены следующие задачи в **теоретической постановке**:

1. Сформулирована математическую модель многокритериальной структуры показателей качества автомобиля, основанная на соответствии требованиям среды его эксплуатации и иерархией целей и подсистем в СУСЭА.

2. Предложен новый теоретический метод снятия неопределённости, обусловленной внешней средой эксплуатации автомобиля – метод районирования, основанный на разбиении множества возможных состояний среды исследования по принципу иерархического соотношения между вероятностями их появления. Эффективность разработанного метода доказана сравнением результатов его применения и существующих аналогов для решения поставленной задачи. Область применения разработанного метода в автомобильном транспорте, и не только, достаточно широка. Такой подход позволяет получать оптимальные решения широкого круга задач теории принятия решений: векторная оптимизация (многокритериальные задачи); задачи, в которых решение ищется на основе экспертных оценок; задачи, основанные на идее ранжирования; задачи оптимального распределения ресурсов по объектам различной важности; задачи оптимального распределения однородных или разнородных ресурсов в условиях неполноты информации; задачи параметрического программирования; задачи определения оптимальной структуры требуемых ресурсов и др. Очевидно, что перечисленные задачи актуальны при управлении состоянием качества автомобиля на всех этапах его жизненного цикла. Данное развитие метода, а именно выбор способа районирования, позволяет вывести снятие неопределённости и уточнение информации о вероятностях состояний среды эксплуатации автомобиля на новый качественный уровень.

3. В качестве состояний среды эксплуатации автомобиля рассматриваются соответствующие им отдельные критерии качества автомобиля на базе комплексного показателя – коэффициента технического использования (сформирована многокритериальная структура показателей качества автомобиля). Рассмотрены различные стратегии восстановления технического состояния автомобиля, и для каждой из них предложен аналитический аппарат динамики изменения КТИ автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации, позволяющий оптимизировать параметры системы управления сроком эксплуатации автомобиля. Определено, что значение реализуемого показателя качества автомобиля во всех случаях определяется его минимально допустимой величиной КТИ. Получено уравнение зависимости КТИ от пробега с начала эксплуатации автомобиля:

$$k_i^{\text{ти}}(L) = \left(\frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} - 1}{l_i} \right) L + 1.$$

4. Разработан метод «оперативного анализа показателя неплановый текущий ремонт» автомобиля, позволяющий: определять точки изменения интенсивности приращения исследуемого показателя для каждого автомобиля индивидуально; сопоставлять показатели ТО и ТР для одинаковых интервалов ТО различных моделей автомобилей в пределах своего класса; вырабатывать рекомендации по значению показателя эффективный срок эксплуатации автомобиля для отдельных критериев качества. Доказано что, интервалы ТО, которым соответствует \min суммарных приведённых затрат при различных способах оценки трудоёмкости ТО и ТР будут различны. Сравнение традиционных методов оценки и разработанного показало, что между ними существует следующая аналитическая связь (i_1 – традиционная оценка, i_2 – оценка разработанным методом):

$$i_1 = i_2 \cdot \sqrt{2}$$

Применение разработанного метода даёт возможность рассчитывать ряд показателей ТЭА: удельная трудоёмкость ТР (чел.час./1000 км) и удельная трудоёмкость ТО и ТР (чел.час./1000 км), позволяющих оперативно на каждом интервале ТО оценивать необходимые объёмы технических воздействий для поддержания работоспособного состояния автомобиля, то есть коэффициент оперативной готовности автомобиля.

5. Важное **практическое значение** имеют разработанные в диссертации методики и алгоритмы, необходимые для обеспечения работы ПМК СУСЭА, позволяющие установить пробег эффективной эксплуатации автомобилей по отдельным критериям и определять оптимальный срок эксплуатации автомобиля в многокритериальной структуре показателей качества автомобиля:

5.1. Аналитическая модель расчёта весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автомобиля.

5.2. Методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта.

5.3. Методика оперативного анализа коэффициента технического использования при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля.

5.4. Методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля.

5.5. Алгоритм автоматизированной реализации метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды.

6. Разработана комплексная аналитическая модель определения оптимального срока эксплуатации автомобилей, обобщающей вышеперечисленные методики, функционально связанные между собой целью функционирования СУСЭА – оптимизацией процессов в ТЭА на базе процедуры принятия решений в динамической системе, определяющей соответствие автомобиля требованиям условий среды его эксплуатации.

7. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности применения СУСЭА и её элементов. Внедрение результатов исследования на предприятиях, входящих ЦОГ «Грузавтотранс» и ООО «ИТС Логистик» показали получение ежегодного экономического эффекта в размере более 3,8 млн рублей для предприятий, эксплуатирующего от 100 до 300 автомобилей.

Можно констатировать, что выполненное исследование позволяет преодолеть существенное расхождение между результатами расчётов при применении традиционных теоретических подходов и практических данных АТП, определяемое в первую очередь влиянием неучтённой группы факторов неизвестной «природы» внешней среды эксплуатации автомобилей. Разработанный в исследовании и апробированный на реальных данных АТП ПМК СУСЭА позволяет преодолеть данное расхождение и реализовать в цифровом формате модель целенаправленного управления сроками эксплуатации автомобиля посредством получения достоверных Парето-оптимальных решений показателей ТЭА автомобиля с учётом неограниченного количества актуальных критериев.

Совокупность результатов исследования позволила сформировать научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля. Наличие системной информации об оптимальном пробеге идентифицированного автомобиля (прогнозируемого, планируемого или осуществляемого) является средством оптимизации процессов управления материальными и энергетическими потоками как в системе ТЭА, так и на всех этапах жизненного цикла автомобиля.

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы:

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ

1. Терентьев, А.В. Определение производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту для подвижного состава иностранного производства / А.В. Терентьев // Бюллетень транспортной информации. – М.: ИТАР-ТАСС, 2008. – №6 (156). – С. 34–36.

2. Терентьев, А.В. Методы анализа показателя «трудоемкость текущего ремонта» / А.В. Терентьев // Бюллетень транспортной информации. – М.: ИТАР-ТАСС, 2013. – №10 (220), – С. 26–29.

3. Терентьев, А.В. Методы анализа показателя «трудоемкость» текущего ремонта / Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2014. –1(42), – С. 117–120.

4. Терентьев, А.В. Анализ нормативной базы, регламентирующей вывод АТС из эксплуатации [Электронный ресурс] / И.Н. Южанин, А.В. Терентьев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. №2; – Режим доступа: <http://www.sciens-education.ru/116-12497>.

5. Терентьев, А.В. Методы решения автотранспортных задач [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/125-19863>

6. Терентьев, А.В. Многокритериальный показатель качества автомобиля / А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. №1(48), – С. 201–204.
7. Терентьев, А.В. Управление жизненным циклом автомобиля на стадии эксплуатации/ А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –3(50), – С. 228–231.
8. Терентьев, А.В. К вопросу развития системы управления жизненным циклом автомобиля / А.В. Терентьев, А.И. Беляев // Транспорт Российской Федерации. –СПб.: №5(60) 2015, С.30–32.
9. Терентьев, А.В. Влияние непланового текущего ремонта на рациональный срок службы автотранспортного средства/Д.К. Кирьенко, А.В.Терентьев// Вестник гражданских инженеров.– СПб:СПбГАСУ, 2016.№4(57). С.178–182.
10. Терентьев, А.В. Исследование модифицированного метода ранжирования для выбора подвижного состава / Ю.В. Бородина, А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2016. № 1 (54). С. 120–122.
11. Терентьев, А.В. К вопросу необходимости управления жизненным циклом автомобиля / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. С. 20–22
12. Терентьев, А.В. Методика расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава, регламенты которого не предусматривают капитальный ремонт / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. С. 43–48.
13. Терентьев, А.В. Иерархия системы управления рациональным сроком службы автомобилей / А.В. Терентьев, И.В. Тарасов, В.А. Терентьева // Экономика и менеджмент систем управления. – Воронеж: Издательство ООО «Издательство «Научная книга», 2016. 4(22) – С.46–50.
14. Терентьев, А.В. Методология управления рациональным сроком службы автомобиля/ С.А. Евтюков, А.В. Терентьев, Г. Гинзбург// Мир транспорта и технологических машин. 2017. №1 (56). С.3–10
15. Терентьев А.В. Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов / А.В. Терентьев, Д.Б. Ефименко, М.Ю. Карелина // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2017. № 6 (65). С. 291–294.
16. Терентьев, А. В. Оценка методов восстановления деталей дорожно-строительных машин в многокритериальной постановке / А.И. Беляев, А.В. Терентьев, А.Е. Пушкарёв // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2018. № 1 (66). С. 123–127
17. Терентьев, А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств /М.Ю. Карелина, И.В. Арифуллин, А.В. Терентьев//Вестник МАДИ. – 2018. № 1 (52) С.3–9
18. Терентьев, А.В. К вопросу многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля /А.В. Терентьев, Д.Б. Ефименко// Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1(60). С.21–27

19. Терентьев, А.В. Многокритериальная система управления на уровне региона обеспечением автомобильной техники аэропортов запасными частями / А.В. Терентьев, И.В. Арифиллин // ВИНТИ РАН. Транспорт: транспорт, техника, управление. 2018. №5. С. 46–49

20. Терентьев, А.В. Восстановление деталей дорожно-строительных машин моделированием в многокритериальной постановке с применением коэффициентов относительной важности/ А.И. Беляев, А.В. Терентьев, А.Е. Пушкарёв, И.И. Воронцов // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2018. № 5 (70). С. 146–150

Монографии

21. Терентьев А.В. Пробег эффективной эксплуатации автомобиля – базовый элемент его индивидуального жизненного цикла: монография / А.В. Терентьев. – СПб.: СЗТУ, 2011. – 116 с.

22. Терентьев А.В. Искусственный интеллект в управлении автомобильными перевозками: монография/А.В. Терентьев, В.А. Янчеленко, И.В. Таневичкий. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 121 с.

23. Терентьев А.В. Обоснование рационального срока службы автомобилей: монография/ А.В. Терентьев, А.С. Афанасьев, Ю.Н. Кацуба. – СПб.: Своё издательство, 2017. –148 с.

Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus

24. Terentiev, A.V. Investigation methods for “current repairs labour-intensive” factor for a vehicle. B.D. Prudovskiy, A.V. Terentiev. Life Science Journal. 2014. T. 11. № 10s. С. 307–310.

25. Terentiev, A.V. The methodology of the operating cost accounting in identifying mileage of efficient motor vehicle operation. A.V. Terentiev, T.A. Menukhova. International Journal of Economics and Financial Issues. 2015. T. 5. № 3s. С. 183–186.

26. Terentiev, A.V. Rational Lifetime of a Vehicle in Terms of Ensuring Security of Its Design A. Kapustin, A. Terentiev. Transportation Research Procedia 20 (2017) С.254–260.

Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Sciens

27. Терентьев, А.В. Метод оперативного анализа технического состояния автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский //Записки Горного института. Том 209. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. С. 197–199.

28. Терентьев А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования/Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Записки Горного института. Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. С. 86–90

29. Терентьев, А.В. Оценка качества автомобиля/ А.В. Терентьев, А.А. Капустин // Записки Горного института. 2016. Том 219 – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». С.449–454.

Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию

30. Терентьев, А.В. Система определения рационального срока службы подвижного состава автотранспортного предприятия. Свид. о гос. регистр. прог.

для ЭВМ № 2017617737 / А.С. Афанасьев, И.В. Тарасов, А.В. Терентьев // Зарег. 11.07.2017 г.

31. Терентьев, А.В. Система определения оптимальных моделей автомобилей для парка автотранспортного предприятия. Свид. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2017618101 / А.С. Афанасьев, В.А. Терентьева, А.В. Терентьев // Зарег. 21.07.2017 г.

Публикации в прочих изданиях: индексируемых в РИНЦ и в зарубежных

32. Терентьев, А.В. Определение размеров проездов в зонах ТО и ТР / А.В. Терентьев // Вестник ТАДИ. – Ташкент: ТАДИ, 2009. – С. 98–103.

33. Терентьев, А.В. Расчёт производственной программы технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава / А.В. Терентьев. // Главный механик. – М.: Издательский дом «Панорама», 2012 №6. – С. 38–45.

34. Терентьев, А.В. К вопросу эффективности эксплуатации автомобилей / А.В. Терентьев. Ю.Н. Кацуба, Л.В. Григорьева // Научно-технический журнал. Горная механика и машиностроение – Республика Беларусь: ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», 2013 №1. – С. 80–86.

35. Терентьев, А.В. О ежедневном обслуживании автомобиля, как обязательном условии продления ресурса автомобиля/Р.Р. Амирханов, Н.А. Ртищев, А.В. Терентьев//Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2017. № 1–1. С.49–51

Научные статьи в сборниках трудов научных конференций

36. Терентьев, А.В. Определение количества постов (рабочих зон) по обслуживанию автомобилей «Скания»/ И.Е. Емельянов, А.В. Терентьев //Материалы международной научной конференции. Актуальные проблемы современной экономики. – СПб.: СЗТУ, 2007. – С.15–20.

37. Терентьев, А.В. Определение количества постов ЕО, ТО и ТР автомобилей «Скания» (SCANIA) / А.В. Терентьев, ТАК КАК Екшикеев. Материалы республиканской межвузовской научно-практической конференции магистрантов // Транспортный комплекс в условиях рыночных отношений. – Ташкент: ТАДИ, 2007. – С. 201–204.

38. Терентьев, А.В. Определение коэффициента технической готовности парка подвижного состава (на примере автомобилей «Скания») / А.В. Терентьев // Материалы 1-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Актуальные проблемы управления техническими, информационными и транспортными системами. – СПб.: СЗТУ, 2007. – С. 55–62.

39. Терентьев, А.В. Адаптация методики расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей для АТП, эксплуатирующих современный подвижной состав / А.В. Терентьев, А.Б. Егоров. Материалы специализированной целевой конференции // Технология и эффективность систем управления обеспечением безопасности дорожного движения. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С.98–103.

40. Терентьев, А.В. К вопросу утилизации автомобилей в России / А.В. Терентьев, А.Б. Егоров // Материалы 2-й научно-практической конференции сту-

дентов, аспирантов и молодых учёных. Актуальные проблемы управления транспортными и техническими системами. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С. 31–33.

41. Терентьев, А.В. К вопросу определения производственной программы по ТО и ТР для подвижного состава / А.В. Терентьев // Материалы международной научно-практической конференции. Социально-экономическое развитие современного общества в условиях реформ. – Саратов: СГУ, 2008. – С. 237–239.

42. Терентьев, А.В. Схемы и последовательность определения размеров проездов в зонах ТО и ТР / А.В. Терентьев // Материалы 1-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С. 19–25

43. Терентьев, А.В. К вопросу авторециклинга автомобилей в России / А.В. Терентьев, ТАК КАК Екшикеев, В.И. Костенко // Материалы 2-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2009. – С. 79–84

44. Терентьев, А.В. Исследование величины трудоёмкости текущего ремонта для автомобилей «Скания», эксплуатирующихся на предприятиях г. Санкт-Петербурга / А.В. Терентьев, А.Б. Егоров, Е.В. Березкина // Материалы 2-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2009. – С. 79–84.

45. Терентьев, А.В. Организационные формы технического обслуживания и ремонта автомобилей за рубежом / А.В. Терентьев, ТАК КАК Екшикеев // Материалы 2-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2009. – С. 75–78.

46. Терентьев, А.В. О необходимости комплексного подхода при определении мощности предприятий, утилизирующих автомобили / А.В. Терентьев, А.Б. Егоров, В.И. Костенко // Труды международной науч.-техн. конференции. Системы и процессы управления и обработки информации. – СПб.: СЗТУ, 2010. – С. 595–602

47. Терентьев, А.В. Задачи статистики в решении проблемы развития транспортной отрасли / А.В. Терентьев, О.Д. Зайцева, А.В. Кимстач // Материалы 3-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2010. – С.74–78.

48. Терентьев, А.В. Измеритель оптимального баланса производственных мощностей предприятий автомобильной отрасли / А.В. Терентьев, О.В. Гладков, Б.Д. Прудовский // Материалы 3-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2010. – С.69–73.

49. Терентьев, А.В. Эффективность эксплуатации автомобиля в современных условиях / А.В. Терентьев//Материалы 4-й межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2011. – С. 33–38.

50. Терентьев, А.В. Усугубление проблем эксплуатации транспортных средств в мегаполисах на примере Приморского района г. Санкт-Петербурга/Д.А. Уваров, А.В. Терентьев //Материалы 4-й межвузовской научно-прак-

тической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2011. – С.52–54.

51. Терентьев, А.В. Анализ методов определения показателя – срок эффективной эксплуатации автомобиля/ А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 1-й Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: НМСУ «Горный», 2013. – С. 68–72.

52. Терентьев, А.В. К вопросу определения потенциала системы утилизации автомобилей/ Терентьев А.В.//6-е Луканинские чтения. Решение энерго-экологических проблем в автотранспортном комплексе: тезисы докладов международной научно-технической конференции, МАДИ. –М, 2013. – С. 106–108.

53. Терентьев, А.В. Исследование закономерностей изменения величины трудоёмкости ТР в процессе эксплуатации автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 1-й Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – С. 73–78

54. Терентьев, А.В. К вопросу управления технической эксплуатацией автомобилей / А.В. Терентьев. Ю.Н. Кацуба // Труды 11-й международной науч.-техн. конференции. Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. – Воркута: Воркутинский филиал ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», 2013. – С. 511–515.

55. Терентьев, А.В. Векторная оптимизация / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский //Материалы 2-й международной научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: НМСУ «Горный», 2014, – С. 64-66.

56. Терентьев, А.В. Краткий анализ существующих методов выбора подвижного состава / Прудовский Б.Д., Терентьев А.В., Бородина Ю.В.// Материалы международной научной конференции. Scientific Reports on Resource Issues, Фрайбергская горная академия (Германия) №1, 2014 г. – С. 427–430.

57. Терентьев, А.В. Выбор типа автотранспортных средств для перевозки грузов и пассажиров/А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский//Материалы 2-й международной научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: НМСУ «Горный», 2014. – С. 67–70.

58. Терентьев, А.В. К вопросу о показателе качества автомобилей / Терентьев А.В.// 7-е Луканинские чтения. Решение энерго-экологических проблем в автотранспортном комплексе: тезисы докладов международной научно-технической конференции, МАДИ. – М, 2015. – С. 131–132.

59. Терентьев, А.В. Рациональный срок службы автомобиля в задаче обеспечения безопасности его конструкции / А.В. Терентьев, А.А. Капустин // Организация и безопасность движения дорожного движения в крупных городах: сб. трудов участников двенадцатой международной научно-практической конференции (28-30 сентября 2016) СПбГАСУ. – СПб.: 2016. – С. 603–610

60. Терентьев, А.В. Алгоритм управления жизненным циклом автомобиля на стадии его эксплуатации / А.В. Терентьев // Материалы 3-й международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в машиностроении. – СПб.: НМСУ «Горный», 2015. – С. 117–120

61. Терентьев, А.В. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции (26-27 мая 2016) СПбГАСУ. – СПб., 2016. С. 145–149.

62. Терентьев, А.В. Развитие метода районирования / А.В. Терентьев // Материалы 4-й международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в машиностроении. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – С. 127–130.

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 21.01.2019. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 2,6. Тираж 150 экз. Заказ 3.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

