

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)»

На правах рукописи

ТЕРЕНТЬЕВ АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

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

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, доцент
Ефименко Дмитрий Борисович

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АКТУАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	20
1.1 Анализ направлений развития структуры парка автомобилей в РФ	20
1.1.1 Анализ возрастной структуры парка автомобилей в РФ	20
1.1.2 Анализ научно-методических подходов к управлению сроком эксплуатации автомобиля	27
1.2 Анализ тенденций в развитии в конструкции автомобиля и организационных формах его технической эксплуатации.....	32
1.2.1 Повышение требований к экологической и конструктивной безопасности автомобиля	32
1.2.2 Актуальные изменения в системе ТО и ремонта автомобилей.....	47
1.3 Анализ современной нормативно-технической, методологической и технологической базы вывода автомобиля из эксплуатации	54
1.3.1 Анализ нормативно-технической базы списания автомобиля	54
1.3.2 Анализ методик списания автомобиля на базе однокритериальных экономических моделей	62
1.3.3 Технологическая база вывода автомобиля их эксплуатации	68
1.4 Выводы по первой главе.....	76
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	79
2.1 Иерархическая структура системы управления сроком эксплуатации автомобиля	79
2.2 Методология оценки качества автомобиля	89
2.3. Разработка математической модели многокритериальной структуры показателей качества автомобиля.....	105

2.4 Анализ природы факторов взаимодействия системы управления сроком эксплуатации автомобилей с внешней средой	113
2.5 Выводы по второй главе	119
3 ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	122
3.1 Структура методов, применяемых для снятия неопределённости.	122
3.2 Определение методов принятия управляющих решений в условиях недостаточности информации	127
3.3 Определение методов теории принятия решений в условиях неопределённого состояния внешней среды эксплуатации автомобиля	134
3.3.1 Методы, основанные на использовании субъективных критериев	134
3.3.2 Метод районирования по принципу доминирования возможных вариантов с последующим выбором оптимального	142
3.4 Выбор метода решения многокритериальных задач для достижения цели исследования.....	147
3.5 Выводы по третьей главе.....	155
4 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	158
4.1 Разработка метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды.....	158
4.2 Оценка динамики изменения показателей качества автомобиля в многокритериальной постановке.....	170
4.3 Разработка метода оперативного анализа показателей трудоёмкость технического обслуживания и текущего ремонта автомобиля	183
4.3.1 Алгоритм приведения показателя текущий ремонт автомобиля к интервалу технического обслуживания	183
4.3.2 Разработка методики определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля	190

4.4 Аналитическая модель динамической многокритериальной системы управления сроком эксплуатации автомобиля с дискретными состояниями технического обслуживания	196
4.4.1 Интеграция системы управления сроком эксплуатации автомобиля в процесс его технической эксплуатации.....	196
4.4.2 Аналитическая модель функционирования системы управления сроком эксплуатации автомобиля.....	198
4.5 Выводы по четвёртой главе.....	203
5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	207
5.1. Аналитическая модель расчёта весовых коэффициентов при многокритериальной оценке параметров эффективности автомобиля	207
5.2. Методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта..	213
5.3. Методика оперативного анализа коэффициента технического использования для определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля.....	221
5.4 Методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля.....	224
5.5 Алгоритм автоматизированной реализации метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды	229
5.6 Выводы по пятой главе.....	233
6 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ	236
6.1. Апробация комплексной методики многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобилей.....	236
6.2 Оценка экономической эффективности применения системы управления сроком эксплуатации автомобиля	251
6.3 Выводы по шестой главе	259
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	262

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	267
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	269
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	290
Приложение А. Методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта.....	291
Приложение Б. Документы, подтверждающие практическую значимость исследования.....	298

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Высокие темпы автомобилизации в России за 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 активно внедряются системы конструктивной и экологической безопасности, а государственные органы РФ и в различных странах выпускают специальные нормативные документы, регламентирующие их применение:

1. Автопроизводители интенсивно разрабатывают и внедряют электронные системы безопасности. Например, внедрение системы электронного контроля устойчивости (ESC) вывело антиблокировочную систему (ABS) на новый технологический уровень обеспечения конструктивной безопасности автомобиля. Известны данные, согласно которым количество серьёзных ДТП с одним автомобилем при использовании системы ESC снижается до 60%. Европейская комиссия приняла постановление определяющее, что все автомобили, произведённые с ноября 2014 года должны иметь систему электронного контроля устойчивости (ESC). Помимо ABS активно внедряются: система динамической стабилизации, активный круиз-контроль, система экстренного торможения, мониторинга мертвых зон и др.
2. В российском ГОСТ Р 53480-2009 введён термин, трактующий предельное состояние изделия как фактор не допускающий его дальнейшую эксплуатацию по причине экологической или конструктивной опасности.
3. Повышение требований экологической безопасности автомобиля происходит постоянно. Начиная с 1996 года последовательно вступили в силу нормативы: «Евро-2», в 2000 г. – «Евро-3», в 2005 г. – «Евро-4», в 2009 г. – «Евро-5». Каждый очередной регламент вводил более строгие

ограничения, усложнялись расчеты и добавлялись новые объекты мониторинга: уровень дымности (smoke), содержание твердых частиц (PM) в отработавших газах и т.д. Очередное ужесточение экологических требований в ЕС произошло 01.09.2015 года. Государства ЕС должны были закрыть производство, продажи и регистрацию на своих территориях автомобилей, не отвечающих нормам Евро-6. Введение Евро-6 планировалось 31.12.2013 года, но ведущие автопроизводители и производители топлива оказались не готовы к абсолютному соответствию требованиям нового законодательства и добились отсрочки. Дополнительное время понадобилось для доработки двигателей, улучшения качества топлива и модернизации производства.

Автомобиль, являясь объектом повышенной опасности, не допускает нарушений регламентов его эксплуатации, приводящих к снижению уровня экологической и конструктивной безопасности. Однако, узлы, агрегаты и системы, повышающие безопасность автомобиля, усложняют конструкцию и повышают стоимость поддержания его в исправном состоянии, при этом значительно повышается стоимость запасных частей и комплектующих. Обслуживание данных агрегатов снижает значение такого показателя как ремонтпригодность. Вместе с тем, в РФ увеличивается производство автомобилей и не прекращается поток автомобилей из других стран. Задачи, возникающие по мере роста количества автомобилей, которые должны будут выводиться из эксплуатации из-за несоответствия требованиям надёжности, экологической и конструктивной безопасности, множатся в геометрической прогрессии и требуют выработки и проведения системной государственной политики. Речь идёт не о 100 тыс. автомобилей с возрастом 25...30 лет, а о более значительном количестве эксплуатирующихся в РФ автомобилей с возрастом 15...20 года, а в ближайшей перспективе 7...12 лет. Согласно данным исследования консалтинговой компании «Амико» [132] сегодня в РФ не соответствуют актуальным нормативным и потребительским требованиям:

- 1) более 70% парка грузовых автомобилей большой грузоподъёмности;

- 2) более 50% парка подвижного состава грузовых автомобилей малой и средней грузоподъёмности;
- 3) около 30% парка легкового подвижного состава, произведённого в РФ.

Государственная политика как совокупность целей, задач, приоритетов, стратегических программ и плановых мероприятий, которые разрабатываются и реализуются в автомобильной отрасли промышленности РФ, должна опираться на научный аппарат, позволяющий эффективно использовать имеющиеся ресурсы. К сожалению, исторический опыт свидетельствует о том, что если не удастся полностью просчитать все последствия воздействия на производственную, социальную и природную среду со стороны государства, то это является следствием либо ограниченности научных знаний, либо не применением имеющихся. В основе целенаправленной деятельности по решению указанных проблем автомобильной отрасли, достижению и реализации обозначенных целей её развития должна быть система, позволяющая обратимо управлять элементарными процессами функционирования автомобиля в течение его срока эксплуатации, то есть позволяющая реализовывать достижения научно-технического прогресса в практике отрасли и снижать антагонистический эффект между ограничениями внешней среды эксплуатации и потребностями экономики и населения РФ. В целом в отрасли и на отдельных её сферах накопилось достаточно противоречий, обусловленных техническим совершенствованием конструкции автомобиля, ужесточением экологических нормативов эксплуатации автомобилей, актуальными изменениями в системе технической эксплуатации автомобилей. Приведём некоторые из них:

1. Отсутствие технических регламентов, позволяющих объективно определять сроки вывода из эксплуатации автомобилей отечественного производства и списывать подвижной состав зарубежного производства.
2. Сложность конструкции современных автомобилей приводит к экономической нецелесообразности содержания сложного и дорогостоящего оборудования по текущему ремонту (ТР) и техническому обслуживанию (ТО) целого ряда систем и агрегатов в автотранспортных предприятиях

(АТП). К таким системам, в частности, относятся современные системы питания с электронным управлением, автоматические трансмиссии и др.

3. Отсутствие понимания в различных сферах общества, что автомобиль представляет собой сложное техническое средство, которое устаревает и «морально» и технически, что может нести угрозу среде его эксплуатации. Поэтому, по истечении эффективного и безопасного срока эксплуатации он должен быть ликвидирован или переработан [111, 112, 113, 114, 167].

Можно констатировать, что существующие научно-методические основы управления процессами функционирования автомобиля и вывода его из эксплуатации не соответствуют современным требованиям условий внешней среды его эксплуатации и научно-технического прогресса. Поэтому возникает необходимость адаптации систем управления в технической эксплуатации автомобилей к требованиям времени. Понимание данной ситуации отражается в инициативах руководства РФ. Владимир Владимирович Путин высказал своё мнение о возможности ограничить срок эксплуатации в России грузовых автомобилей и автобусов 15 годами. Дословно: «Я тоже не против. Минпромторг с заинтересованными ведомствами пусть проработает и внесет предложения в правительство», - сказал В.В. Путин на совещании по развитию автомобильной отрасли в Тольятти в ответ на предложения об ограничении срока эксплуатации 15 годами. «МВД тоже поддерживает ограничение сроков эксплуатации грузовиков и автобусов. Транспортные средства, которые находились в эксплуатации длительные сроки, создают дополнительную угрозу безопасности дорожного движения», - сказал представитель МВД. Также он отметил, что содержание старых автомобилей оказывает негативное экологическое влияние, а с точки зрения экономики содержание таких машин невыгодно. Но любые предложения о физическом ограничении сроков эксплуатации автомобиля негативно воспринимаются представителями бизнеса в сфере грузовых и пассажирских перевозок, которые предполагают использовать автомобили до тех пор, пока они приносят прибыль, даже вопреки безопасности их эксплуатации. Таким образом, что формируется серьёзная задача определения оптимального срока эксплуатации

автомобиля, что подтверждается утверждением государственной программы «Повышение конкурентоспособности промышленности и ее развитие». В разделе программы «Автомобильная промышленность» ставится задача: добиться вывода ежегодно до 6% (до 2020 г.) автомобильного парка, не соответствующего современным техническим требованиям [118]. Отмечается, что каждый год из эксплуатации должно выводиться 328 тысяч грузовых автомобилей, поэтому необходимо установить предельные (оптимальные) сроки эксплуатации грузовых автомобилей 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. Методология определения оптимального срока эксплуатации автомобиля должна обеспечивать возможность определения соответствия качества автомобиля современным требованиям среды эксплуатации по ряду актуальных критериев: надёжность, конструктивная, 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 вырабатывать 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 выработать 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 выработать 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», ГАДИ (Ташкент, 2007 г.); 1-ой и 2-ой 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-ой, 2-ой, 3-ей и 4-ой 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-ой международной научно-технической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения», НМСУ «Горный» (Воркута, 2013 г.); 1-ой межвузовской и 2-ой 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-ой 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-ой и 13-ой 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.

1 АНАЛИЗ ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АКТУАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

1.1 Анализ направлений развития структуры парка автомобилей в РФ

1.1.1 Анализ возрастной структуры парка автомобилей в РФ

Необходимость ограничения срока эксплуатации автомобиля определяется рядом факторов, одним из которых является негативное влияние автомобилей с высокими «возрастными» показателями на внешнюю среду. Проанализируем изменения в структуре парка автомобилей в РФ за последнее десятилетие. Приведём статистические данные по объёмам ввода в эксплуатацию автомобилей в РФ, срокам их эксплуатации, а также по уровню обеспеченности автомобилями населения в РФ по сравнению с другими странами (рисунок 1.1) [118].

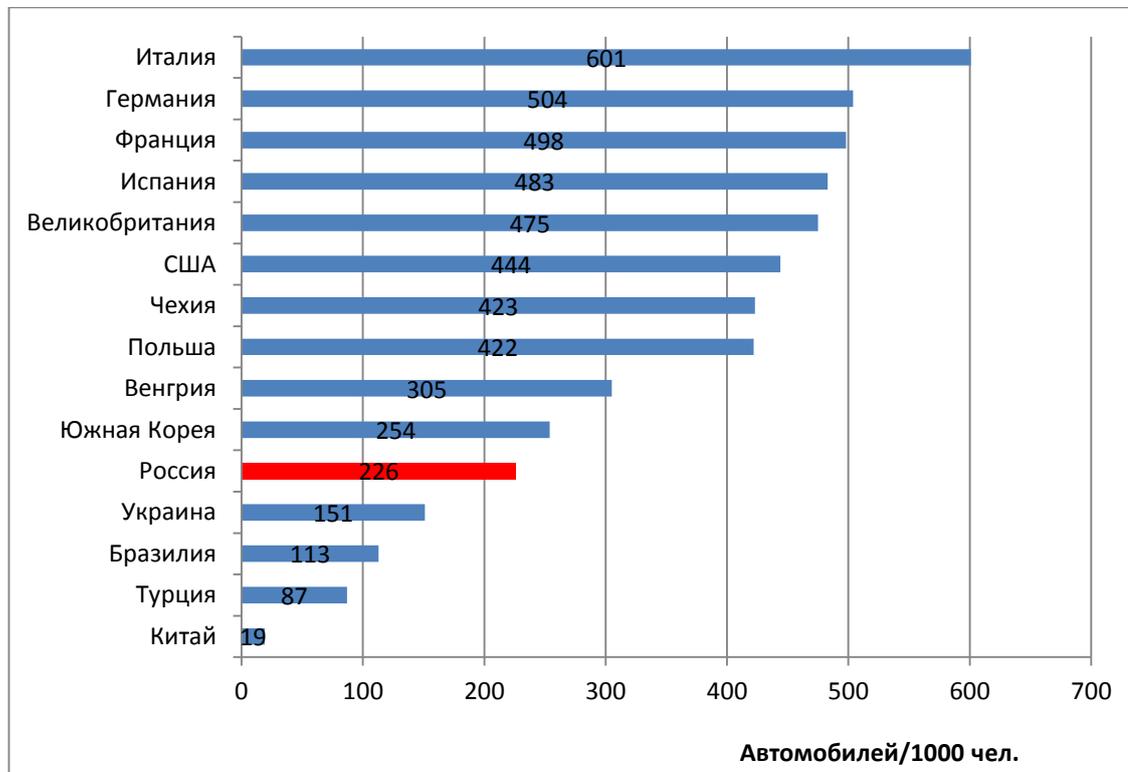


Рисунок 1.1 - Диаграмма обеспеченности автомобилями населения в различных странах мира

Представленные на рисунке 1.1 данные демонстрируют большой потенциал в процессе обеспечения автомобилями населения РФ по сравнению с другими странами. Естественно, что самая высокая обеспеченность автомобилями населения в РФ отмечается в г. Москве и Санкт-Петербурге, где на каждую тысячу жителей приходится более 300 автомобилей. Например, за последние годы выпуск на автосборочных заводах, расположенных только в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, увеличился в 4 раза. Ежегодно на этих предприятиях производится более 150 тыс. легковых автомобилей. В настоящее время в Санкт-Петербурге расположены автомобильные заводы таких производителей, как Toyota, GM, Nissan и Hyundai и др. В целом по стране ежегодный прирост автомобилей в среднем составляет примерно 200...300 тыс. ед. Рост парка автомобилей (в основном легковых) происходит за счет предприятий по сборке автомобилей, построенных в различных регионах РФ. Естественно, что тенденция роста парка автомобилей в стране приводит к увеличению среднего возраста автомобилей. Приведём некоторые данные по среднему возрасту автомобилей, которые в той или иной мере отражают качество эксплуатируемых автомобилей. Средний возраст легкового автомобиля в РФ составляет 12 лет, при этом более половины из них (51%) имеют возраст старше десяти лет, а немногим больше четверти (26%) автомобилей в РФ имеют возраст менее пяти лет. В секторе грузовых автомобилей на возраст старше десяти лет приходится более трех четвертей всего парка подвижного состава (76%). Для сравнения приведём диаграмму среднего возраста автомобилей в европейских странах (рисунок 1.2). Можно констатировать, что в развитых европейских странах практически не эксплуатируются автомобили старше 10 лет. Об этом свидетельствуют две диаграммы распределения автомобилей по возрастным группам в ЕС и РФ (рисунок 1.3). Во всех возрастных секторах показатели наглядно демонстрируют значительный удельный вес в ЕС обновлённого парка подвижного состава по сравнению с РФ. В частности, автомобили старше 20 лет в ЕС вообще не эксплуатируются. Исключение составляет раритетный подвижной состав, который, естественно, не рассматривается с точки зрения массовой эксплуатации.

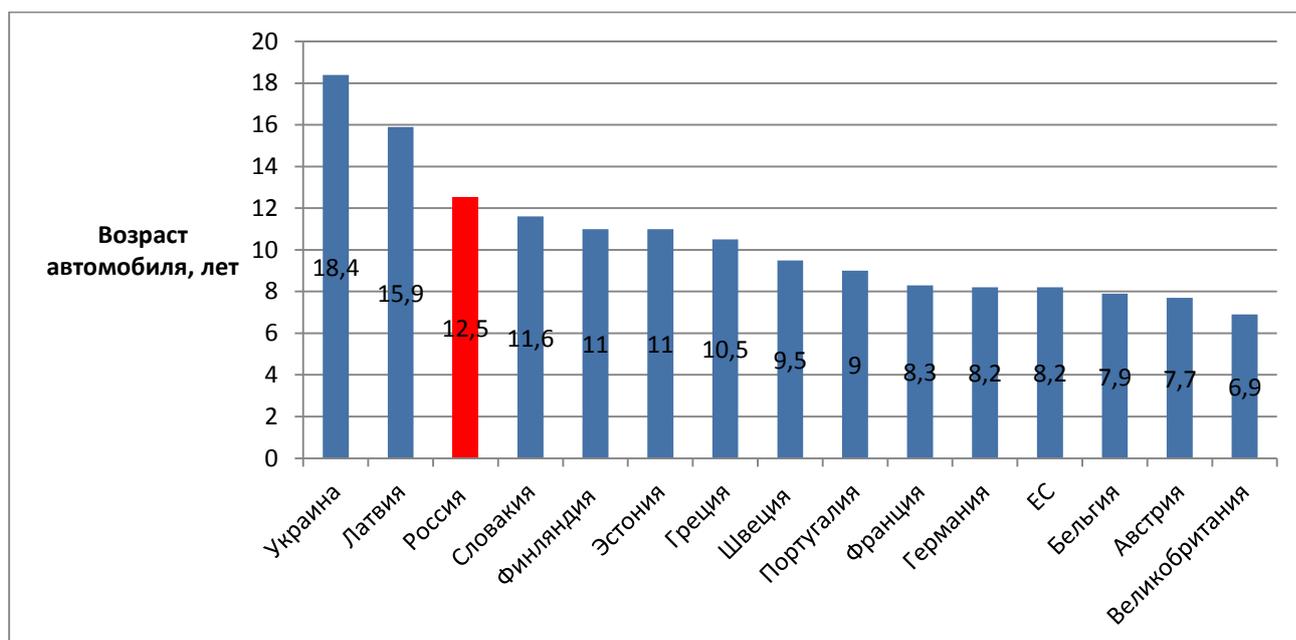
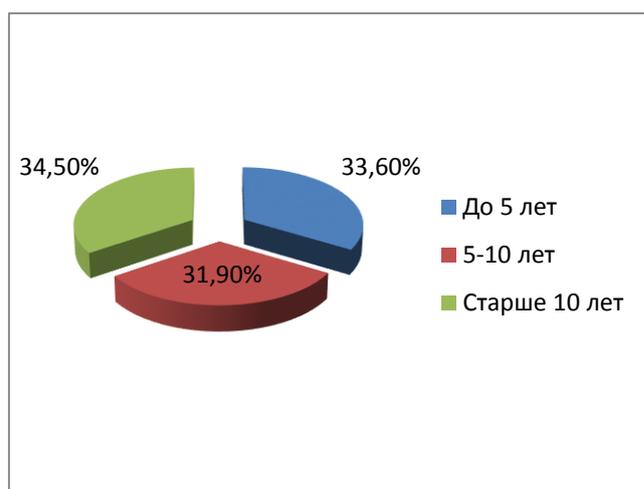
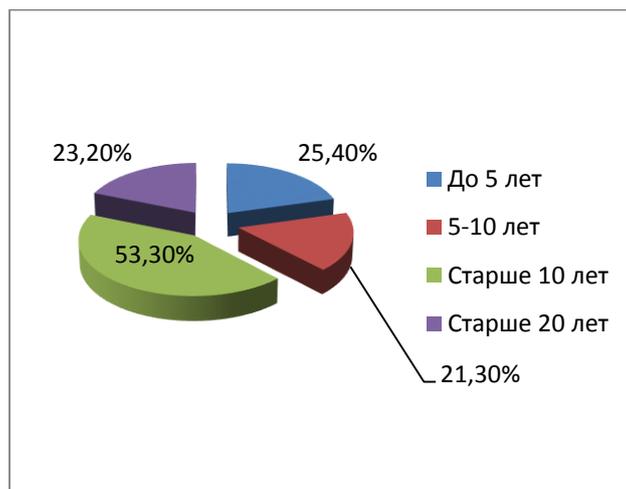


Рисунок 1.2 - Средний возраст автомобилей в европейских странах



ЕС



РФ

Рисунок 1.3 - Средний возраст автомобилей в Европе и РФ

Для полноты представления о сложности ситуации с возрастной структурой парка подвижного состава в РФ представим ещё три диаграммы [118]:

- 1) диаграмма возрастной структуры парка грузовых автомобилей большой грузоподъемности (рисунок 1.4);

- 2) диаграмма возрастной структуры парка грузовых автомобилей малой и средней грузоподъемности (рисунок 1.5);
- 3) диаграмма возрастной структуры парка легковых автомобилей (рисунок 1.6).

Мы видим, что средний возраст грузовых автомобилей в России достаточно высок. Например, в секторе средней и большой грузоподъемности на автомобили старше 10 лет приходится более трех четвертей парка подвижного состава (76%).

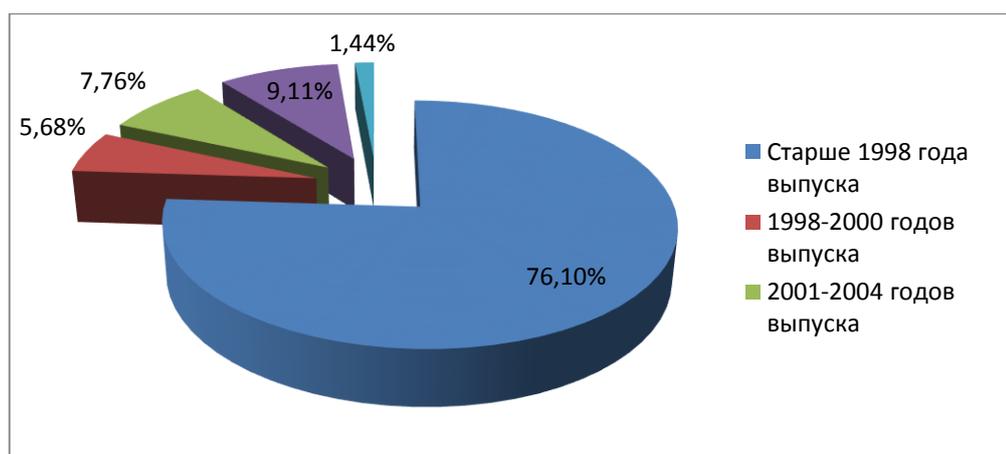


Рисунок 1.4 - Диаграмма возрастной структуры парка грузовых автомобилей большой грузоподъемности в РФ (по автомобилям старше 10 лет) [132]

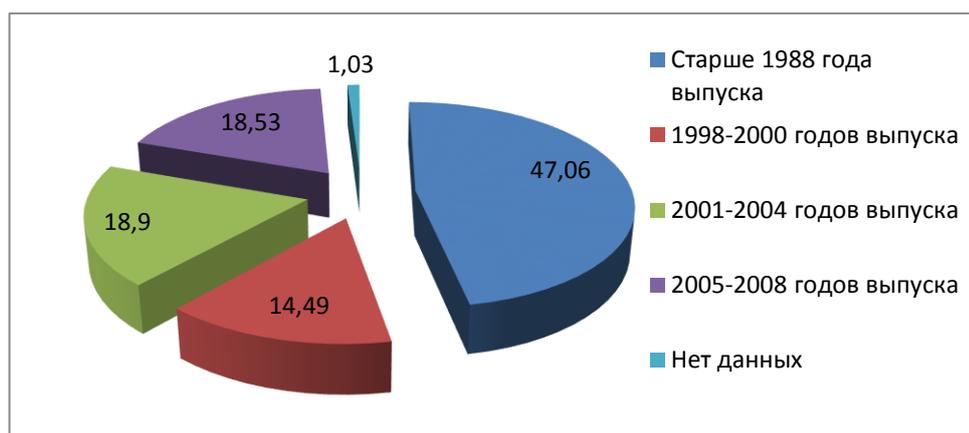


Рисунок 1.5 - Диаграмма возрастной структуры парка грузовых автомобилей малой и средней грузоподъемности (по автомобилям старше 10 лет) [132]

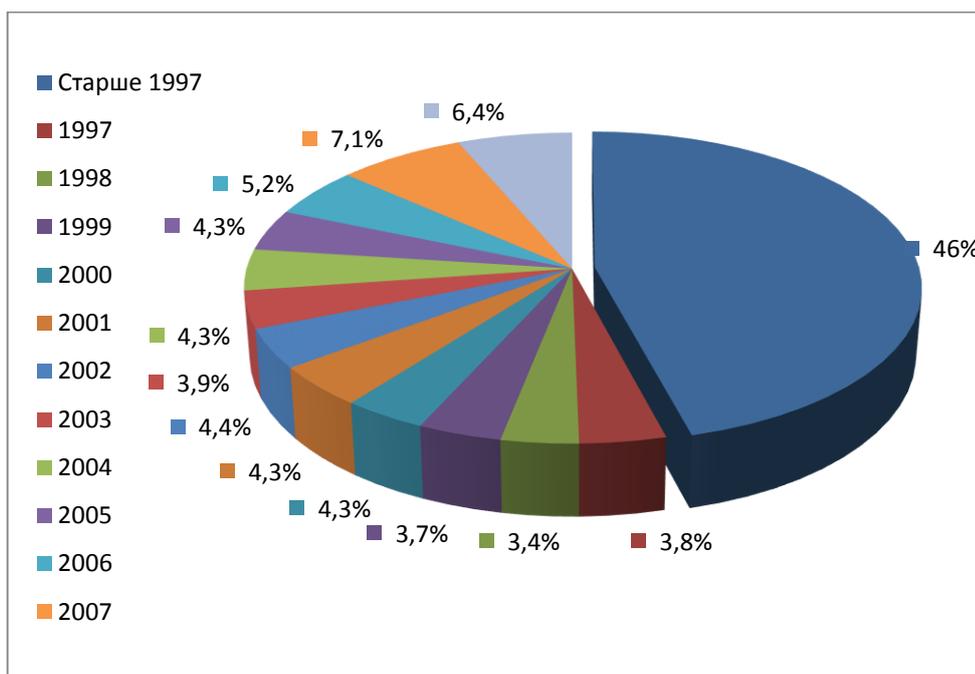


Рисунок 1.6 - Диаграмма возрастной структуры парка легковых автомобилей (по автомобилям старше 10 лет) [132]

Такой высокий показатель среднего возраста автомобилей в РФ объясняется тем, что значительная доля парка автомобилей - это продукция отечественных автомобильных заводов, которые заложили основу грузового парка страны ещё в 80-х годах прошлого века. Не являются исключением и приобретаемые за рубежом автомобили: эта техника также отличается высоким «возрастными» показателями. Данная ситуация объясняется тем, что цена новых моделей долгое время приводила к смещению объёма закупок в сторону подержанных автомобилей большой грузоподъёмности. На протяжении последних лет вместе с новыми автомобилями марок Volvo, SCANIA, Mercedes-Benz, MAN и других ведущих представителей европейских производителей в нашу страну активно ввозились автомобили, отработавшие несколько лет на дорогах ЕС.

Группа грузовых автомобилей малой и средней грузоподъёмности является менее возрастной: возраст 10 лет имеют около половины всех автомобилей (47%). Это объясняется тем, что основу парка автомобилей малой грузоподъёмности составляют различные модели ГАЗ («Газель»), которые интенсивно продаются на отечественном рынке.

По совокупным данным средний возраст легкового автомобиля эксплуатируемого на дорогах России составляет около 12 лет, при этом более половины из них (51%) старше 10 лет назад. По сравнению с европейскими странами, средний возраст легкового парка подвижного состава в РФ очень высокий. В ЕС средний возраст легкового автомобиля составляет 8,5 года, доля автомобилей старше 10 лет всего – 32,4%, а до пяти лет – 35%. Для сравнения в США средний возраст легкового автомобиля составляет 9,2 года. Надо отметить, что приведённые данные находятся в динамическом состоянии, но, в целом их количественные и качественные характеристики позволяют сделать следующие выводы:

1. Значительный средний возраст автомобиля непосредственно и негативно отражается на показателях эффективности его работы, а именно на затратах на эксплуатацию, показателях технической эксплуатации, производительности, потребности в производственно-технической базе обслуживания (ПТБ) и т.д. [74]. Возрастная структура парка подвижного состава (будь это отдельное предприятие или географический регион) влияет на эффективность транспортной работы в целом [87]. Естественно, чем значительнее средний возраст автомобиля, тем более отрицательное влияние он оказывает на безопасность транспортных процессов, на экологические показатели работы автомобилей и эффективность их использования [41, 42].
2. В условиях развивающейся экономики РФ неизбежна политика автопроизводителей, направленная на увеличение сбыта производимых автомобилей, что приведёт к ускоренному обновлению автомобильного парка и выводу из эксплуатации автомобилей, узлы и компоненты которых ещё вполне пригодны для дальнейшей эксплуатации [3, 10, 39].

Понимание данной ситуации отражается в предложениях, с которыми выступило Министерство промышленности и торговли России (Минпромторг). Данное ведомство подготовило поправки в закон «О безопасности дорожного движения», главная цель которых ограничение сроков эксплуатации автомобилей, то есть обновление автопарка страны. В документе, опубликованном на едином

государственном портале, отмечается: «Подавляющее большинство транспортных средств в Российской Федерации эксплуатируются за пределами нормативного срока службы. Следствием этого является их низкая техническая надежность (по мере роста пробега усталостные напряжения в конструкции возрастают в 1,4...2,5 раза), несоответствие современным требованиям пассивной, активной и экологической безопасности, высокая вероятность внезапного выхода из строя узлов и агрегатов в процессе дорожного движения, и как результат, высокая вероятность совершения дорожно-транспортных происшествий». И далее «аварийность на автомобильном транспорте наносит огромный материальный ущерб как обществу в целом, так и отдельным гражданам. Дорожно-транспортный травматизм приводит к исключению из сферы производства людей трудоспособного возраста. Ежегодно в Российской Федерации в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) погибают и получают ранения свыше 270 тыс. человек». В Министерстве промышленности и торговли считают, что косвенным следствием принятия федерального закона также станет «стимулирование производства автомобильной техники в Российской Федерации, что также принесет дополнительные доходы бюджетов различных уровней от налогов и сборов».

Таким образом, если учитывать существующие тенденции в процессе автомобилизации в РФ, а также необходимость рационального использования ресурсов (материальных и энергетических), задействованных в производстве и эксплуатации автомобилей, то возникает задача достаточно точного определения эффективного и безопасного (оптимального) срока службы автомобилей. При реализации данной задачи придётся ликвидировать большое количество автомобилей путём утилизации или авторециклинга [49, 81]. Приведём ориентировочные объёмы автомобилей в РФ, которые однозначно не могут сегодня соответствовать уровню научно-технического прогресса и современным требованиям экологической и конструкторской безопасности [118]:

- 1) более 70% парка грузовых автомобилей большой грузоподъёмности;

- 2) более 50% парка подвижного состава грузовых автомобилей малой и средней грузоподъёмности;
- 3) около 30% парка легкового подвижного состава собственного производства.

Кроме того, определённая доля приобретённых в ЕС и других странах (Китай, Япония и т.д.) автомобилей имеет достаточно большой срок эксплуатации. Следовательно, придётся утилизировать автомобили, как отечественного производства, так и изношенные автомобили зарубежного производства. Поэтому необходимо уметь решать комплекс научно-методических задач, позволяющих в данных условиях эффективно управлять процессами ТЭА, определяющими сроки эксплуатации автомобилей. Реализация управляющих решений должна носить системный характер и осуществляться на базе современных информационных технологий и в соответствии с первым методологическим принципом ТЭА: «Знание механизмов и количественная оценка (описание) основных закономерностей, связанных с формированием качества автомобиля во времени и совокупности автомобильных парков, а также факторов, влияющих на показатели реализуемого качества» [76,77]. При этом необходимо учитывать взаимодействие системы ТЭА с другими системами и подсистемами более высокого уровня, определяемое внешними связями: средой общественного потребления, диктующей свои требования, в первую очередь, к конструктивной и экологической безопасности автомобиля.

1.1.2 Анализ научно-методических подходов к управлению сроком эксплуатации автомобиля

Автомобиль сегодня является продуктом общественного потребления или предметом спроса как физических лиц, так и производственных предприятий. С другой стороны, в основном, автомобиль эксплуатируется на инфраструктуре дорог общего пользования, то есть в внешней среде потребления его качества,

условия эксплуатации которой регламентируются государственными нормативными документами. Поэтому номенклатура требований к автомобилю или критериям его качества, как к техническому изделию, постоянно растёт в количественном и в качественном измерении. Сбалансировать достаточно большое количество критериев (нередко противоречивых) может только система управления, объединяющая научные принципы теории принятия решений и современные информационные технологии [9, 87].

Разработки в данном направлении за рубежом ведутся уже более 20 лет. В мировой практике в настоящее время введено понятие - система управления жизненным циклом изделия Product Lifecycle Management (PLM). Буквально PLM определяется как «технология управления жизненным циклом изделия» [109, 195]. Это организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и о выполняемых процессах с момента определения потребностей общества в определенном изделии и до утилизации изделия после использования, то есть на протяжении всего индивидуального жизненного цикла (ИЖЦ) [145]. Понятие «управление жизненным циклом изделия» появилось в результате последовательного развития рынков наукоёмких технологий и внедрением в массовое потребление высокотехнологичной продукции. До начала 1990-х гг. единого мнения среди экспертов относительно того, как следует понимать категорию «информация об изделии» с точки зрения инженерных решений не существовало. Постепенно эта информация стала формализовываться, как информация о техническом совершенстве изделия. Возникает термин «управление данными об изделии» (PDM) [197].

В настоящее время отрасль технологий управления жизненным циклом изделия постоянно расширяется как по степени охвата, так и по качеству предлагаемых решений. Термин PLM сегодня используется для описания подходов к степени эффективности изделия, а именно:

- 1) формирование интеллектуальной базы данных всей информации, относящейся к изделию;

- 2) управление (корректирование) информацией об изделии в процессе эксплуатации;
- 3) целенаправленное использование финансового капитала на протяжении всего жизненного цикла изделия.

По мере развития PLM-технологий изменялись и подходы к понятию - жизненный цикл изделия. Около тридцати лет назад жизненный цикл изделия определялся на основе проектных и конструкторских работ, так как инструментальные средства были сконцентрированы только на автоматизированном проектировании изделия. В конце прошлого века данный подход включил в себя и перечень операций и процессы, происходящие при эксплуатации изделия, то есть в развитии его жизненного цикла. Таким образом, возникает обратная связь между процессами опытно-конструкторских работ и информацией о состоянии изделия в процессе эксплуатации.

Область применения PLM-систем расширяется высокими темпами. Сейчас PLM-системы применяются в таких сферах деятельности, в которых использование интеллектуальных баз данных, связанных с изделием может обеспечить значительное повышение эффективности эксплуатации объекта. Использование PLM-систем дает производителям возможность проектировать продукцию требуемого уровня качества и обеспечивать потенциальным пользователям преимущества при эксплуатации наукоемких изделий. PLM-системы применяют при управлении сложными технологическими процессами в таких областях, как: авиастроение, судостроение, автомобилестроение. Приведём неотъемлемые элементы PLM-систем:

- 1) управление процессом перспективных конструкторских разработок;
- 2) моделирование процессов эксплуатации;
- 3) управление техническим обслуживанием и ремонтом изделий;
- 4) формирование программ гарантийного обслуживания;
- 5) формирование исходных требований качества;
- 6) управление интеграцией механики, электронных устройств и программного обеспечения;

- 7) формирование интеллектуальных систем управления;
- 8) проектирование и конструирование технологических процессов;
- 9) управление качеством и номенклатурой изделий;
- 10) управление нормативными соответствиями стандартам производителя и среды эксплуатации.

Можно выделить шесть основных ключевых задач PLM-систем в рамках управления процессом функционирования автомобиля от разработки его конструкции, эксплуатации и до утилизации [198]:

1. Формирование базы данных по моделям автомобилей, возможным для применения в конкретных условиях (АТП или вид перевозок).
2. Управление сроком эксплуатации автомобиля и обслуживающего его оборудования.
3. Управление программами развития и проектными разработками модификаций и модельного ряда автомобиля.
4. Оптимизация процессов ТО и Р автомобиля на протяжении всего срока эксплуатации.
5. Управление критериями качества автомобиля.
6. Обеспечение охраны окружающей среды и конструкционной безопасности при эксплуатации автомобиля.

Необходимым элементом PLM-системы является программно-проектное управление. Данная функциональная область должна вырабатывать информацию для принятия стратегического решения по объёмам производства автомобилей и срокам их эксплуатации. В целом процессы жизненного цикла автомобиля (ЖЦА) должны быть структурированы, то есть разбиты на взаимосвязанные между собой блоки или этапы, что позволит контролировать затраты на производство и эксплуатацию автомобиля, планировать необходимые производственные мощности, управлять материальными и энергетическими потоками [53, 63]. Тесная интеграция процессов проектирования, производства, обслуживания и утилизации автомобилей является залогом эффективности его технической эксплуатации за счет обеспечения непрерывной обратной связи на протяжении всех этапов ЖЦА.

Отметим, что возрастающая конкуренция на рынке производства автомобилей привела к заметному ужесточению требований, предъявляемых средой потребления и средой эксплуатации к их качеству. Этот аспект достаточно обширен, он включает в себя исследование условий эксплуатации и спроса (маркетинг), проектирование и разработку технических требований, материально-техническое обеспечение процессов производства и эксплуатации, разработку производственных и технологических процессов, собственно производство, испытания, сертификацию, эксплуатацию, ТО и Р, утилизацию т.д. Помимо всего прочего, сегодня, понятие качество автомобилей должно подразумевать обеспечение соблюдения требований по обеспечению сохранности окружающей среды при производстве, эксплуатации и утилизации автомобилей и обеспечению их конструктивной безопасности [2, 37, 40, 83, 117, 169, 179].

Сказанное выше относится к любым сложным наукоёмким техническим изделиям. Автомобиль, безусловно, является таковым. Поэтому необходимость разработки систем управления сроком эксплуатации (в рамках PLM-систем автомобиля) трудно подвергать сомнению. Основными управляемыми блоками или этапами такой системы являются проектирование и производство, техническая эксплуатация и утилизация или рециклинг автомобиля [196, 200]. Комплексное решение данных задач управления подразумевает необходимость оптимизации процессов, как правило, по большому числу количественных и качественных, нередко взаимоисключающих характеристик (критериев) [137, 141].

На этапе технической эксплуатации автомобиля основным показателем, влияющим на изменение совокупных свойств (качеств) автомобиля, является пробег или срок эксплуатации [146]. Определение оптимального срока эксплуатации в условиях ограничений, накладываемых внешними связями систем более высокого уровня (экологических и социальных) автомобиля позволит:

1. Прогнозировать рациональную структуру парка автомобилей предприятия или региона по классам, типам и маркам в зависимости от целей их использования и назначения [198].

2. Оптимизировать возрастную структуру парка эксплуатируемых автомобилей с учётом эффективности реализации процессов ТО и ремонта.
3. Прогнозировать объёмы списания изношенных и неэффективных по совокупности показателей качества автомобилей, то есть входящие потоки в систему утилизации автомобилей.

1.2 Анализ тенденций в развитии в конструкции автомобиля и организационных формах его технической эксплуатации

1.2.1 Повышение требований к экологической и конструктивной безопасности автомобиля

При проектировании систем управления сроком эксплуатации автомобилей, а, соответственно, при формировании рациональных структур парка АТП или региона нельзя не учитывать тенденции в развитии конструкции современных автомобилей, в частности, узлов и агрегатов, обеспечивающих постоянное ужесточение требований к экологической и конструктивной безопасности автомобилей.

1.2.1.1 Повышение требований к экологической безопасности автомобиля

В настоящее время обоснованность повышений требований к экологической безопасности автомобилей трудно подвергать сомнению [22, 65, 66, 83, 188]. Тем не менее приведём данные, которые свидетельствуют о том, что при увеличении общей численности парка автомобилей, выбросы загрязняющих веществ могут снижаться вследствие роста количества автомобилей более высоких экологических классов. Например, по данным Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга

загрязнение атмосферного воздуха города Санкт-Петербурга, в основном, обусловлено выбросами промышленных предприятий и автомобильным транспортом. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят автомобили. Суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух Санкт-Петербурга от стационарных и передвижных источников в 2014 году составил 513,2 тыс. т, в том числе:

- твердых веществ - 3,0 тыс. т,
- диоксида серы (SO₂) - 4,703 тыс. т,
- оксида углерода (CO) - 377,4 тыс.т,
- оксидов азота (NO_x) - 62,3 тыс. т,
- углеводородов (CH_x) - 16,903 тыс. т,
- летучих органических соединений (ЛОС) - 49,7 тыс. т
- прочих загрязняющих веществ - 0,994 тыс. т.

Выбросы загрязняющих веществ от стационарных, передвижных (автомобильный и ж/д транспорт) источников и суммарные выбросы в Санкт-Петербурге за 2014 год представлены в таблице 1.1. Вклад от передвижных источников в суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух составил 86%.

Таблица 1.1 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников в Санкт-Петербурге, тыс. т

Выбросы	Всего	Твердые	SO ₂	CO	NO _x	CH _x	ЛОС
Стационарные	70,5	2,1	2,6	21,1	24,5	15,0	5,0
Передвижные	442,7	0,9	2,103	356,3	37,8	1,903	42,9
в том числе: автомобили	441,7	0,8	2,1	356,1	37,2	1,9	42,8
ж/д транспорт	1,0	0,1	0,003	0,2	0,6	0,003	0,1
Всего	513,2	3,0	4,703	377,4	62,3	16,903	47,9

Выбросы загрязняющих веществ от автомобилей (с учетом индивидуального транспорта) в 2014 г. по официальным данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования составили 441,7 тыс. т, в том числе:

- твердых веществ - 0,8 тыс. т,

- диоксида серы (SO₂) - 2,1 тыс. т,
- оксида углерода (CO) - 356,1 тыс. т,
- оксидов азота (NO_x) - 37,2 тыс. т,
- метана (CH₄) - 1,9 тыс. т,
- аммиака - 0,8 тыс. т,
- летучих органических соединений (ЛОС) - 42,8 тыс. т.

В таблице 1.2. представлены данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автомобилей за 2013 и 2014 гг. Выбросы загрязняющих веществ от автомобилей в 2014 г. по сравнению с предыдущим годом снизились на 5% (22,6 тыс. т):

- по оксиду углерода - на 10,7% (36,2 тыс. т),
- летучим органическим соединениям - на 11% (4,5 тыс. т),
- метану - на 11% (0,2 тыс. т),
- диоксиду серы - на 10% (0,2 тыс. т),
- твердым веществам - на 14% (0,1 тыс. т),
- оксидам азота (в пересчете на диоксид азота) - на 10% (3,6 тыс. т)
- аммиаку - на 14% (0,1 тыс. т).

Таблица 1.2 - Выбросы загрязняющих веществ от автомобилей за 2013 и 2014 гг., тыс. т.

Годы	Всего	Твердые	SO ₂	CO	NO _x	CH ₄	NH ₃	ЛОС
2013	464,3	0,8	2,2	374,4	38,9	2,0	0,8	45,1
2014	441,7	0,8	2,1	356,1	37,2	1,9	0,8	42,8
Увеличение (+), снижение (-)	-22,6	0	-0,1	-18,3	-1,7	-0,1	0	-2,3

Отметим, что относительное снижение количества выбросов загрязняющих веществ не связано с общим сокращением количества автомобилей в Санкт-Петербурге в 2014 г. по сравнению с 2013 г (таблица 1.2). Это объясняется постепенным выводом из эксплуатации изношенных автомобилей, а также снижением покупательского спроса населения в данный период времени. Данные

ГУ МВД России по городу Санкт-Петербургу и Ленинградской области о количестве автомобилей, зарегистрированных в Санкт-Петербурге в 2013 и 2014 гг., приведены в таблице 1.3. Общее количество автомобилей в 2014 году по сравнению с 2013 годом уменьшилось на 82 024 единиц (на 4%), в том числе: легковых автомобилей - на 70473 единиц, грузовых автомобилей - на 12092 единиц. Количество автобусов увеличилось - на 541 единицу.

Таблица 1.3 - Количество АТС по данным МВД ГИБДД, ед.

Годы	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Автобусы	Всего
2012	1 537 473	201 033	22 449	1 760 955
2013	1741 267	220 067	21 513	1 982 847
2014	1 670 794	207 975	22 054	1 900 823
Увеличение (+), снижение (-) и (в %)	-70 473 (4%)	-12 092 (5,5%)	+541 (2,5%)	-82 024 (4%)

В абсолютных единицах, по данным ОАО «НИИ Атмосфера», происходит постоянное увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, как следствие продолжающегося роста парка автомобилей, особенно легковых и грузовых автомобилей.

Основной вклад в выбросы загрязняющих веществ от автомобилей по Санкт-Петербургу за 2014 год вносили легковые автомобили – 51,8% (240,5 тыс. т) и грузовые автомобили – 44,0% (204,2 тыс. т). Наименьший вклад в выбросы вносили автобусы – 4,2% (19,6 тыс. т). В таблице 1.4 представлены вклады различных типов автомобилей в выбросы в зависимости от вида используемого топлива.

Таблица 1.4 - Вклад в выбросы загрязняющих веществ автомобилей, работающих на бензине и дизельном топливе, в %

Тип транспортного средства	Вид моторного топлива	
	Бензин	Дизельное топливо
Легковые автомобили	51,8	0,2
Грузовые автомобили	44,0	4,0
Автобусы	4,2	0,1

Интересны и закономерны оценки по распределению выбросов загрязняющих веществ от автомобилей, относящихся к различным экологическим классам (Евро) в целом по РФ и по отдельным её регионам. Так, согласно данным представленными ГУ МВД России по Санкт-Петербургу, распределение автомобилей по экологическим классам Евро значительно отличается от распределения в целом по РФ (таблица 1.5).

Таблица 1.5 - Структура парка автомобилей по экологическим классам за 2014 год

Тип автомобиля (бензиновые и дизельные)	Источник данных	Экологический класс АТС				
		(Евро 0)	(Евро 1)	(Евро 2)	(Евро 3)	(Евро 4)
		Доля соответствующего экологического класса				
Легковые автомобили	РФ	0,41	0,05	0,14	0,17	0,23
	Санкт-Петербург	0,1	0,09	0,16	0,11	0,54
Грузовые автомобили полной массой до 3500 кг	РФ	0,51	0,06	0,17	0,16	0,1
	Санкт-Петербург	0,1	0,11	0,2	0,11	0,47
Автобусы полной массой до 3500 кг	РФ	0,51	0,06	0,17	0,16	0,1
	Санкт-Петербург	0,05	0,07	0,18	0,13	0,56
Грузовые автомобили полной массой более 3500кг	РФ	0,73	0,023	0,086	0,1	0,061
	Санкт-Петербург	0,12	0,09	0,18	0,13	0,48
Автобусы полной массой более 3500 кг	РФ	0,46	0,057	0,15	0,3	0,03
	Санкт-Петербург	0,05	0,04	0,1	0,11	0,7

Анализ данных, приведённых в таблице 1.5 показывает, что наибольшие расхождения в распределении выбросов загрязняющих веществ по экологическим классам наблюдаются для автомобилей Евро-0 и Евро-4. Например, для РФ доля автомобилей, относящихся к Евро 0 составляет от 0,41 до 0,73 для различных типов автомобилей. В то же время в Санкт-Петербурге доля автомобилей, относящихся к экологическому классу Евро 0 составляет от 0,05 до 0,12. Доля автомобилей, относящихся к классу Евро 4, для Санкт-Петербурга составляет от 0,47 до 0,7, а в РФ доля автомобилей класса Евро-4 составляет от 0,03 до 0,23.

Закономерно, что удельные коэффициенты выбросов загрязняющих веществ для автомобилей экологического класса Евро-0 в несколько раз выше, чем для автомобилей экологического класса Евро-4. Так, например, удельные выбросы для оксида углерода, который вносит основной вклад в выбросы загрязняющих веществ от автомобилей, отличаются более чем в 20 раз и равны соответственно: для легковых автомобилей с бензиновым типом двигателя для Евро-0 - 23,4 г/км, а для стандарта Евро-4 - 1 г/км; для грузовых автомобилей и автобусов полной массой более 3500 кг с бензиновым типом двигателя для Евро 0 - 37,5 г/км, а для стандарта Евро 4,0 - 1,7 г/км.

Вывод: ограничение срока эксплуатации автомобиля повлечёт перераспределение автомобилей по экологическим классам и может привести к существенным изменениям в общей картине выбросов загрязняющих веществ в отдельных регионах и в целом в РФ. Можно предположить, что несмотря на увеличение общей численности парка автомобилей, выбросы загрязняющих веществ могут снижаться вследствие роста количества автомобилей более высоких экологических классов.

Последнее ужесточение экологических требований в ЕС произошло 01.09.2015 года. Государства ЕС должны закрыть производство, продажи и регистрацию на своих территориях автомобилей, не отвечающих нормам стандарта Евро-6. Введение Евро-6 планировалось 31.12.2013 года, но ведущие автопроизводители и производители топлив оказались не готовы к абсолютному соответствию требованиям нового законодательства и добивались отсрочки. Дополнительное время понадобилось для доработки двигателей, улучшения качества топлив и модернизации производства. Напомним: в 1996 году официально вступил в силу экологический стандарт Евро-2, в 2000-м – Евро-3, в 2005-м – Евро-4, в 2009-м – Евро-5. Каждый очередной регламент вводил более строгие ограничения по экологической безопасности автомобиля, усложнялись расчеты и добавлялись новые объекты мониторинга: (smoke) уровень дымности, (PM) содержание твердых частиц в отработавших газах и т.д. Стандарт Евро-6, продолжая данные тенденции, ещё больше ужесточает контроль за выбросами

выхлопных газов в атмосферу. По сравнению с предыдущими нормами уменьшается допустимый предел содержания оксидов азота (NO_x), твердых частиц (PM) и остаточных углеводородов (HC). **При этом двигатели в соответствии с новым экологическим классом должны полностью отвечать заявленным требованиям на протяжении не менее семи лет с даты изготовления или до 700 тыс. км пробега при любых условиях эксплуатации, что в свою очередь повышает требования к процессу их ТО и ремонта.**

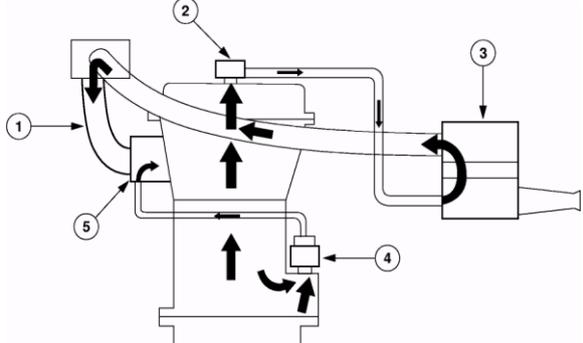
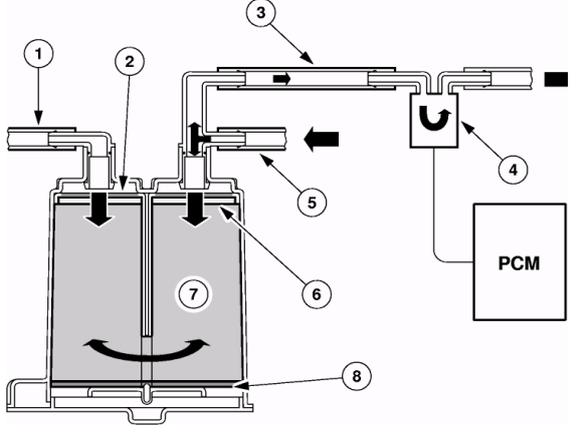
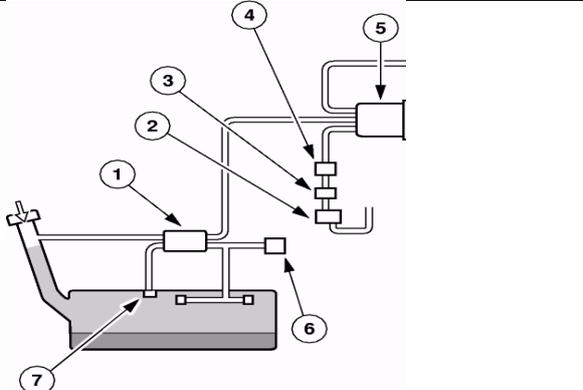
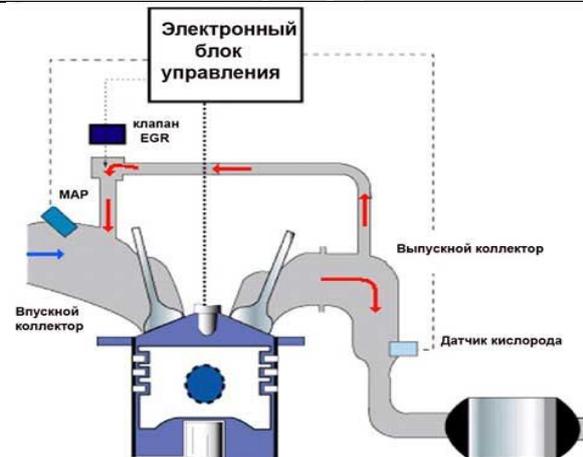
Сравнение норм стандартов Евро-5 и Евро-6 для разных категорий автомобилей (с учетом вида топлива) показывает особенность нового регламента: он практически оставляет неизменными нормативы для бензиновых двигателей. Таким образом, Евро-6 направлен против опасного влияния на окружающую среду дизельных двигателей, и прежде всего против высокого уровня содержания оксидов азота, выбрасываемых в атмосферу при их работе. Количество допустимой концентрации оксидов азота (NO_x) сокращается в пять раз (с 2,0 до 0,4 г/ кВт-ч), уровень твердых частиц (PM) уменьшается в два раза (с 0,02 до 0,01 г/ кВт-ч), а содержание остаточных углеводородов (HC) снижается в 3,5 раза (с 0,46 до 0,13 г/кВт-ч).

В конечном итоге, ряду европейских производителей грузовых автомобилей и автобусов таких марок, как DAF, Iveco, Mercedes-Benz, MAN, Renault, Volvo, Scania пришлось вложить значительные финансовые средства в производство автомобилей, соответствующих нормам Евро-6, которые уже эксплуатируются на дорогах ЕС. Например, немецкий концерн Daimler AG потратил на ввод в эксплуатацию четвертого поколения Mercedes-Benz Actros 1 млрд. евро, итальянская фирма Iveco вложила в создание Stralis Hi-Way 300 млн. евро, а французская компания Renault Group инвестировала в разработку магистрального тягача Renault Trucks серии T 2 млрд. евро. Были разработаны сложные схемы рециркуляции выхлопных газов (EGR — Exhaust Gas Recirculation), а также системы селективной каталитической нейтрализации (SCR — Selective Catalytic Reduction) с впрыском реагента AdBlue (водный раствор мочевины 32,5%), усовершенствовались сажевые фильтры [135, 136].

Сегодня, большинство автопроизводителей, чтобы выполнить требования норм Евро-6, применяют перечисленные технологии, а также внедряют собственные разработки (таблица 1.6). Переход в новый экологический класс автомобилей Mercedes-Benz Actros IV с двигателями Mercedes-Benz OM 471 серии Blue Efficiency осуществлялся благодаря системе рециркуляции EGR с фильтром частиц и системе селективной каталитической нейтрализации. SCR предусматривает впрыск в поток отработавших газов строго дозированного количества жидкости AdBlue в присутствии катализатора (пентаоксида ванадия), в результате чего происходит химическая реакция превращения вредных оксидов азота (NO_x) в безвредные вещества, азот и воду. Такое инженерное решение помимо выполнения экологических требований позволяет снизить расход топлива у автомобилей класса Евро-6 на 3% по сравнению с предыдущей моделью, а потребление реагента AdBlue на 40%. Четвертое поколение грузовых автомобилей Volvo FH выполняет нормы Евро-6 при помощи технологий EGR и SCR. Компания Iveco на седельных тягачах Stralis Hi-Way с двигателями Cursor, чтобы выполнить нормы Евро-6, использовала уникальную систему Hi-E SCR (High Efficiency SCR), запатентованную компанией FPT Industrial (подразделение FIAT). Эта система не использует рециркуляцию отработавших газов (EGR), а добивается необходимого эффекта при помощи селективной каталитической нейтрализации (SCR) с AdBlue и применении сажевого фильтра. Эффективность HI-eSCR, размещенной вместе с сажевым фильтром в едином корпусе, превышает 95% по сравнению с 80...85% у лучших конкурентов по уровню NO_x в отработавших газах и т.д.

Вывод: установка на дизельные автомобили класса Евро-6 дополнительного оборудования усложняет его ТО и ремонт и приводит к увеличению затрат техническую эксплуатацию, в частности, необходимость использования жидкостей AdBlue значительно увеличивает стоимость эксплуатации автомобилей и формирует дополнительные требования к системе ТЭА.

Таблица 1.6 – Системы, повышающие экологическую безопасность автомобиля

Схема системы	Назначение и элементы системы
Система принудительной вентиляции картера (PCV)	
	<p>Удаляет не сгоревшие углеводороды в составе картерных газов, которые составляют около 10% от общего загрязнения продуктами сгорания ДВС</p> <p>1 - впускной коллектор; 2 - маслоотделитель; 3 - воздушный фильтр; 4 - клапан PCV; 5. подсоединение к впускному коллектору.</p>
Система контроля за парами топлива (EVAP) - Evaporative Emission Control.	
	<p>Контроль и снижение выбросов паров топлива в атмосферу. Предотвращает вытекание в атмосферу паров топлива, находящихся в топливном баке.</p> <p>Система контроля паров топлива: 1 - наружное атмосферное давление; 2 - впуск воздуха; 3 - подсоединение к клапану угольного фильтра; 4 - электромагнитный клапан продувки угольного фильтра; 5 – подача топлива; 6 - сетчатый фильтр; 7 - гранулы активированного угля; 8 - металлический сетчатый фильтр</p>
	<p>Элементы системы EVAP: 1 - клапан управления давлением; 2- обратный клапан паров топлива (двухходовой) и электромагнитный клапан очистки угольного фильтра; 3 - воздушный фильтр; 4 - клапан отсечки слива угольного фильтра; 5 - угольный фильтр; 6 - датчик давления в топливном баке; 7 - клапан отсечки подачи топлива</p>
Система рециркуляции выхлопных газов (EGR) - Exhaust Gas Recirculation.	
	<p>Уменьшает вредные выбросы оксидов. При работе при пониженной температуре в бензиновых ДВС снижает риск возникновения детонации, а работа дизельных ДВС становится более мягкой. Выброс сажи у дизелей с системой EGR уменьшается на 10%.</p>

К примеру, для жидкости AdBlue требуется установка отдельной емкости (жидкость замерзает при температуре - 11,5⁰C), и к тому же за ее заправку нужно платить. Расход реагента AdBlue для работы системы SCR у грузовых автомобилей Евро-6 в среднем составляет 2,0...3,5% от расхода топлива, а у легковых автомобилей – от 0,9 л на 1000 км пробега.

Далее обратимся к ситуации в РФ. В РФ стандарт Евро-5 номинально введен с 01.01.2014 года, но фактически для грузовых автомобилей и автобусов переход на этот стандарт произошел только в 01.01.2015 году, то есть в момент официального вступления в силу технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». Между тем, было разрешено до конца 2015-го года изготовление автомобилей класса Евро-4, сертифицированных и одобренных до конца 2013 года, при условии оборудования бортовой системой диагностирования двигателя. А с 01.01. 2016 года стандарты Евро-5 должны были быть обязательными (уже без исключения) на территории РФ для всех новых автомобилей отечественного и импортного производства. Согласно этому техническому регламенту все коммерческие автомобили должны быть оснащены анализаторами топлива, задача которых - ограничение крутящего момента двигателя. Известно, что при использовании топлива низкого качества данный прибор автоматически снижает обороты двигателя, что может привести к его полной остановке и спровоцировать серьезные ДТП. К сожалению, качество топлива в РФ не соответствует мировым стандартам. Для справки, в 2008 году в рейтинге из ста стран, составленном Международным центром качества топлива (IFQC, Хьюстон, США), Россия показала самый низкий результат в Европе по качеству автомобильных топлив. Несмотря на технологическое отставание, автопроизводители РФ ведут подготовительную работу к будущему переходу на Евро-6. К примеру, «Группа ГАЗ» в сентябре 2010 года продемонстрировала в Москве образец низкопольного автобуса ЛиАЗ-5292 с газовым двигателем от MAN, соответствующего экологическому стандарту EEV (Евро-6). В июне 2012-го автозавод ГАЗ совместно с бельгийской фирмой Bosal запустили в Нижнем Новгороде завод по производству систем выпуска отработавших газов,

отвечающих нормам Евро-3 и Евро-4, которые в случае необходимости можно довести до стандартов Евро-5 и Евро-6. На заводе «Автодизель» (Ярославль) в сотрудничестве с австрийской AVL List разработали семейство двигателей ЯМЗ-530 (класс Евро-4) с возможностью их доработки до стандартов Евро-5 и Евро-6. Автозавод КамАЗ совместно со швейцарской фирмой Liebherr-International AG разрабатывает семейство шестицилиндровых двигателей КамАЗ-910.10 рабочим объемом 11,95 л и мощностью 380...550 л. с., которые должны будут выполнять нормы стандарта Евро-5 и обладать техническим потенциалом для выхода на уровень стандарта Евро-6.

Отечественные автопроизводители заявляют о своей готовности в случае необходимости ускорить переход на стандарт Евро-6, но констатируют, что без повышения качества топлива — это нецелесообразно. До сих пор на территории РФ разрешены производство и продажа автомобильного бензина и дизельного топлива классов не ниже Евро-4 и Евро-5. При этом, согласно топливному техническому регламенту (постановление Правительства РФ от 27.02.2008 № 118), оборот топлива класса Евро-4 должен был допускаться только до 31.12.2015 года, что не выполнено по причине технологической отсталости нефтезаводов [180]. Таким образом, до перехода на стандарты Евро-6 по качеству горючего в РФ еще достаточно далеко, но уже сейчас основная масса автомобилей, эксплуатирующийся в РФ, может оборудована системами для снижения вредных выбросов в атмосферу: PCV, EVAP, EGR и др.

Важно выделить следующее: все перечисленные системы не предназначены для улучшения технических характеристик двигателя, а устанавливаются исключительно для обеспечения требований экологической безопасности, то есть предназначены для соблюдения требований, вырабатываемых внешней средой. К перечисленным выше можно отнести и др. агрегаты и системы автомобиля, влияющие на его экологические показатели: систему выпуска отработавших газов, каталитический нейтрализатор, электронные блоки управления двигателем и коробки передач. Все эти элементы усложняют конструкцию автомобиля и при этом значительно повышается стоимость запасных частей и комплектующих. В

частности, характер ТО данных агрегатов снижает значение такого показателя как ремонтпригодность. Как следствие усложнения конструкции двигателя значительно понижается его ресурс, повышается стоимость ТО и ремонта. [64, 69, 73, 75, 76, 77, 147, 160]. Таким образом, в настоящее время обеспечение экологической безопасности двигателя автомобиля формирует критерий, определяющий долговечность его эксплуатации и продолжительность срока эксплуатации автомобиля [15].

1.2.1.2 Повышение требований к конструктивной безопасности автомобиля

Повышение требований конструктивной безопасности эксплуатации автомобиля находит отражение во внедрении существующих и перспективных систем безопасности автомобиля, которые разделяются на следующие основные типы: системы активной, пассивной и послеаварийной безопасности.

Электронные **системы активной безопасности** интенсивно разрабатываются и внедряются в последние годы автопроизводителями. Наиболее распространенная из них антиблокировочная система (ABS), нашла своё применение в конце 80-х годов прошлого века на легковых автомобилях. Тогда это была тормозная система для предотвращения блокировки колес и, соответственно, заноса автомобиля при торможении. Затем в ABS добавилась функция контроля тягового усилия (Traction control) для предотвращения пробуксовки колес в момент начала движения и ускорения. Дальнейшее развитие автомобилестроительных технологий привело к внедрению системы электронного контроля устойчивости (ESC), что перевело систему ABS в новый качественный уровень обеспечения безопасности. ESC в рамках системы ABS позволяет автоматически подтормаживать отдельные колеса автомобиля, ровно настолько насколько это необходимо для повышения управляемости в сложных дорожных условиях. Применяемые в легковых автомобилях системы электронного контроля

устойчивости имеют большой спектр различных наименований: ESP (Electronic Stability Program), VSA (Vehicle Stability Assist), DSC (Dynamic Stability Control), VSC (Vehicle Stability Control), DSTC (Dynamic Stability and Traction Control), VDCS (Vehicle Dynamics Control Systems) и PSM (Porsche Stability Management) [194].

Исследования, проведённые за рубежом, показали, что положительный эффект ESC на безопасность дорожного движения является весьма существенным. Согласно статистическим данным при использовании системы ESC количество ДТП с летальным исходом снижается на величину от 30% до 60% (в случае ДТП с одним автомобилем). Поэтому в ЕС на уровне Европейской комиссии было принято постановление, устанавливающее, что все модели автомобилей (легковых и грузовых) начиная с 2011 года должны оснащаться системой ESC, а с ноября 2014 года, это требование должно применяться ко всем производимым автомобилям. Электронный контроль устойчивости делает систему ABS постоянным дублёром водителя, который непрерывно отслеживает, как автомобиль реагирует на команды водителя и текущие дорожные условия. Если внезапно появляются проблемы с управляемостью автомобиля, которые начинают развиваться, система ESC включается в работу и принимает все необходимые меры, чтобы сохранить контроль над ситуацией. Это включает в себя снижение мощности двигателя за счет резервного дросселя и/или тормозящего угла опережения зажигания, а также включение подтормаживания одного или нескольких колёс для противодействия силам, которые вызывают потерю управления и/или тяги. Весь процесс происходит автоматически, без какого-либо участия водителя. При помощи данной технологии, колеса сохраняют нормальное сцепление с поверхностью дороги и в результате автомобиль остается управляемым под контролем водителя.

Система ESC всегда устанавливается в комплексе с двумя другими системами безопасности – ABS и ASR. ASR – Anti-Slip Regulator (регулятор антискольжения) и имеет распространённое название TCS (Traction Control system). ASR предотвращает возможную пробуксовку колес в момент трогания автомобиля с места или во время его ускорения. Таким образом ABS и ASR оказывают влияние на продольную динамику автомобиля, а ESC на поперечную, а совместная работа

всех трёх систем позволяет обеспечивать стабильный контроль во всех направлениях перемещения автомобиля. Помимо антипробуксовочных систем и антиблокировочных систем в настоящее время активно внедряются следующие: система динамической стабилизации, активный круиз-контроль, система экстренного торможения. Косвенно можно отнести к активным системам безопасности и системы облегчения работы водителя, такие системы как: система помощи при спуске автомобиля, система помощи при движении автомобиля на подъём; парктроник; система мониторинга мертвых зон и др. [60].

Пассивные системы безопасности представляют собой комплекс разработок, заложенных на этапе проектирования в конструкцию автомобиля, и направленный на снижение опасных последствий для водителя, пассажира, пешеходов и других участников дорожного движения после момента совершения ДТП. В конструкцию современных автомобилей внедрены такие разработки, как: энергопоглощающие элементы передней и задней частей автомобиля, сминающиеся при ударе (представляют собой мягкие бампера кузова и рассчитанные зоны деформации несущего кузова); травмобезопасный педальный узел; поперечные брусья в дверях; усиленные дуги и жесткие рамки лобового стекла; усиленные ребра жесткости днища автомобиля; безопасные стекла (триплекс); защита от проникновения двигателя и агрегатов в салон; пиропатроны капота (выстреливают в момент столкновения и гасят часть энергии удара); система защиты пешеходов (особая конструкция переднего бампера и капота, подушки безопасности для пешехода) [194]. Перечисленные системы и агрегаты выводят свойство конструктивной безопасности эксплуатации автомобиля на новый качественный уровень.

Вывод: технически сложные, насыщенные электронным оборудованием агрегаты и системы, в значительной степени снижают риск возникновения ДТП, но также, как и современные системы обеспечения экологической безопасности автомобиля усложняют его конструкцию, повышают его стоимость и затраты на ТО и текущий ремонт.

В [98] констатируется, что «при эксплуатации АТС объективно необходимы несколько систем эксплуатационных требований к безопасности к АТС, каждая из которых «привязана» к определенным технологическим возможностям и условиям проверок ...». Сегодня, обязательные требования к безопасности автомобилей в эксплуатации классифицируются по частным (отдельным) эксплуатационным свойствам безопасности (рисунок 1.7).



Рисунок - 1.7 Классификация требований к безопасности автомобилей в эксплуатации по отношению к эксплуатационным свойствам автомобиля

1.2.2 Актуальные изменения в системе ТО и ремонта автомобилей

Изменения и усовершенствования, вносимые в конструкцию автомобиля в последние десятилетия, неизбежно влекут за собой изменения в технологических и организационных формах ТО и Р автомобилей. Сегодня они более разнообразны, так как должны учитывать не только отечественные регламенты ТЭА, но и регламенты зарубежных фирм-автопроизводителей, чьи автомобили широко эксплуатируются в РФ. Общие принципы ТО и Р автомобилей, которые вырабатывает современная практика, можно свести к следующим основным положениям:

1. Разработка системы организации ТО осуществляется фирмами-производителями автомобилей. При этом расширяются сферы производства, изучаются дефекты, возникающие в процессе эксплуатации автомобилей, устраняются причины их возникновения. Если нарушаются требования к экологической или конструктивной безопасности автомобиля осуществляется принудительный вывод из эксплуатации десятков тысяч единиц автомобилей данной модели.
2. Автомобили для проведения комплекса работ по ТО и ремонту обычно закрепляются за определённым пунктом СТО или дилером на весь срок их эксплуатации.
3. Система ТО включает следующий комплекс услуг: снабжение запасными частями, технической документацией, проведение всех видов работ по ТО и всех видов ремонта.
4. Фирмы выполняют объёмы ремонтных работ, как по желанию заказчика, так и в пределах оптимального объёма услуг. Оптимальный объём услуг по ТО и ремонту фирма-производитель устанавливает на основе предварительного глубокого изучения этого вопроса и строит оптимум на основе лучшего удовлетворения требований потребителя и максимума прибыли для фирмы,

при этом одновременно учитывается повышение доверия к фирме и возможное расширение объема продажи.

5. ТО организуется не только в стране производства автомобилей, но и за рубежом, где существует рынок сбыта.
6. Система ТО используется как мощный источник информации о качестве автомобилей, а работники СТО принимают непосредственное участие в совершенствовании конструкции вновь создаваемых автомобилей.

Эти принципы отражены в таком понятии, как фирменный метод технического обслуживания (метод выполнения технического обслуживания предприятием-изготовителем) или фирменный метод ремонта (метод выполнения ремонта предприятием-изготовителем) [10, 30,34,84]. Организационные формы ТО и ремонта автомобилей сегодня не только разнообразны, но и более зависимы от:

- 1) необходимости постоянного обновления производственно-технической базы (ПТБ);
- 2) необходимости отслеживать как продолжительность жизненного цикла обслуживаемых моделей автомобилей, так продолжительность жизненного срока услуг по ТО данных моделей.

В [190] приводятся данные о жизненном цикле услуг по ТО и ремонту в сопоставлении с жизненным циклом обслуживаемого автомобиля. ЖЦА и жизненный цикл сервисных услуг по ТО в процессе его эксплуатации существенно различаются, условно это показано на рисунке 1.8. Когда производство автомобиля определённой модели находится уже на стадии завершения, то жизненный цикл сервисных услуг ТО входит в этап быстрого роста. Предприятие вначале получает прибыль от продажи автомобиля, а при умелом управлении в дальнейшем от оказания сервисных услуг по ТО (фирменного обслуживания). Практика показывает, что до 70% доходов от сервисных услуг по ТО и ремонту предприятие получает в то время, когда объем продаж самой продукции уже пошел на спад [56]. Очевидно, что жизненный цикл услуг по ТО и ремонту одной модели автомобиля ограничен во времени экономической эффективностью проведения работ [82].

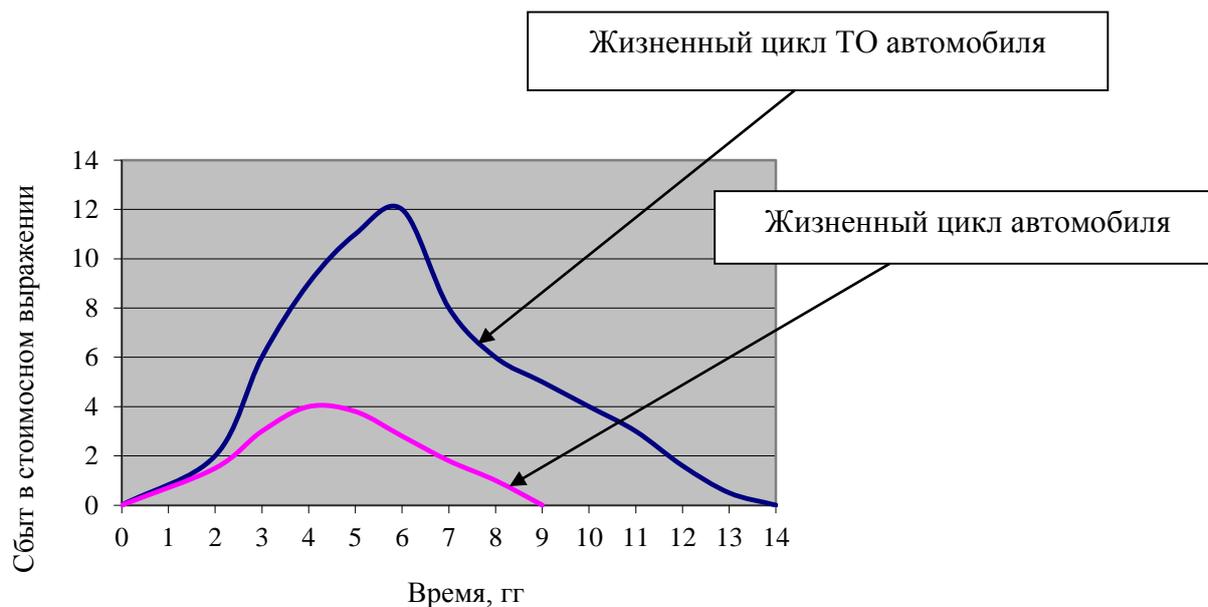


Рисунок 1.8 – Жизненный цикла автомобиля и фирменных сервисных услуг

Остановимся более подробно на системе ТО и ремонта грузовых автомобилей, так как этот сегмент парка подвижного состава наиболее остро требует обновления в РФ. Среди многообразия форм ТО и ремонта грузовых автомобилей в настоящее время отчетливо проявляются три возможных характерных направления в организации работ:

1. Все виды ремонтных работ и ТО выполняются предприятиями, эксплуатирующими автомобили.
2. Ремонтные работы и ТО осуществляются организациями, которые не производят и не эксплуатируют данную технику. Этой форме организации работ соответствует следующая структура предприятий: дилерские предприятия по обслуживанию и ремонту, независимые частные предприятия.
3. Организацию выполнения ремонтных работ берут на себя крупные автомобильные концерны и предприятия автомобильной промышленности. Во многих странах эта форма организации ремонтных работ получила широкое развитие. В значительной степени возникновение фирменного ремонта за рубежом обусловлено стремлением фирм обеспечить конкурентоспособность своей продукции, желанием скрыть от конкурентов

и покупателей ее недостатки. Это третье направление в организации ремонта, известное под названием фирменного ремонта, является наиболее развиваемым и перспективным [153].

Данные особенности характеризуют основные направления в развитии методов ТО и ремонта автомобилей. Это **снижение затрат на ТО и ремонт путём унификации комплексов работ по ТО, обеспечение возможности их проведения в широкой сети СТО с минимумом необходимого качественного оборудования, снижение общего удельного веса работ по ТР, требующих более дорогого оборудования и высококвалифицированных трудовых ресурсов, за счёт конструктивного увеличения ресурса базовых агрегатов автомобиля, качественных эксплуатационных материалов** [154].

Ещё одной особенностью, диктуемой развитием технологий в производстве автомобилей за рубежом, является то, что объём работ по ТР импортных автомобилей существенно отличается от объёмов работ по ТР отечественных автомобилей. Он на много ниже автомобилей-аналогов отечественного производства и, как правило, не регламентируется фирмой-производителем. Заметим, что наиболее распространёнными являются работы по ТР автомобилей, не требующие большой трудоёмкости и высокой квалификации персонала. Как правило, это дефекты и поломки, вызванные плохим состоянием дорожных условий. Конечно, исключать из расчётов производственной программы по ТО и ТР значение дней простоя в ТР нельзя, также нельзя производить объединение дней простоя в ТР с временем простоя в ТО, что рекомендуется в [105]. Это может приводить к возникновению погрешностей в расчётах по существующим методикам расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей [101].

Принципиальным же отличием в организации процесса ТО и ремонта в настоящее время является то, что **полнокомплектный капитальный ремонт (КР) отечественных автомобилей практически не производится, а регламенты зарубежных фирм-производителей вообще не содержат данный регламент.** Данное обстоятельство вызывает затруднения при определении производственной

программы по ТО и ремонту автомобилей, так как традиционно пробег до КР принимался в качестве расчётного цикла при определении показателей ТЭА в АТП.

Отметим, что изменения в условиях организации ТО и ремонта автомобилей неизбежно влекут за собой изменения в условиях коммерческой эксплуатации автомобилей. Приведём лишь некоторые:

1. Существенное увеличение межремонтных пробегов современных автомобилей и одновременно относительное уменьшение сроков эксплуатации, обусловленное их моральным и технологическим устареванием.
2. Сложность конструкции современных автомобилей приводит к увеличению надёжности в пределах ресурсного пробега, но это в свою очередь требует содержания сложного и дорогостоящего оборудования по ремонту и обслуживанию целого ряда систем и агрегатов. К таким системам, в частности, относятся современные системы питания с электронным управлением, автоматические трансмиссии и др., что не всегда экономически целесообразно.

Эти изменения отмечали многие специалисты, работающие по данной тематике [5,6,52,71,78,138]. В частности, в [140] приведён алгоритм организации метрологического обеспечения прогнозирования технического состояния автомобиля, где при описании этапа 4 – «Обработка результатов измерения» - конкретно указывается: «выполняется проверка нахождения значения диагностического параметра автомобиля, за предельным допустимым значением, при котором дальнейшая эксплуатация автомобиля недопустима по техническому, экономическому и (или) критерию безопасности». Следует отметить, что в приводимом алгоритме не уделяется внимание экологическому критерию, значение которого сегодня может определяться, как предельное [31].

Можно констатировать, что в условиях вытеснения отечественных марок автомобилей с заменой на новые зарубежные модели находят распространение следующие особенности их эксплуатации:

1. Новые грузовые автомобили импортного производства могут реализовывать ресурсный пробег при правильной эксплуатации 1,8...2,0 млн. километров. За границей, например, в Швеции, пробег до списания этих автомобилей не устанавливается, а определён срок эксплуатации 8...9 лет независимо от фактического пробега. Это связано с моральным устареванием техники раньше выработки ресурса [72].
2. Нормативная периодичность работ ТО определяется согласно регламенту ТО фирмы-производителя автомобилей, а нормативы трудоемкости и нормы простоя импортных автомобилей в ТО и ТР не регламентированы нормативными документами РФ. Для отечественных автомобилей предусматривается нормирование продолжительности простоя автомобилей в ТО и ТР в виде общей удельной нормы простоя на 1000 км пробега, что не соответствует системе проведения ТО и ТР импортной техники.
3. Полнокомплектный КР не производится, так как регламенты зарубежных фирм-производителей не предусматривают данного технического воздействия [90].

Можно сделать вывод, что существующие методологические основы ТЭА не в полной мере соответствуют существующему разнообразию форм организации ТО и ТР автомобилей. Техническое решение проблемы состоит в определении алгоритмов расчёта значений параметров системы ТЭА, определяемых не только работоспособностью автомобилей, но и продолжительностью их жизненного цикла и жизненного цикла ТО конкретных моделей, а также конструктивными особенностями автомобилей, обеспечивающими их экологическую и конструктивную безопасность.

Нельзя сказать, что до сегодняшнего дня эта задача не решалась и не была изучена. Наоборот, проблема эксплуатационной эффективности автомобилей его основных эксплуатационных свойств (тяговой динамики, устойчивости, управляемости, надёжности, топливной экономичности и др.) отслеживалась в нашей стране ведущими специалистами в данной области [1,27,38,64,71,77,88,110,115,131,161,178,182,189] и система ТЭА базируется на

ряде обоснованных и доказавших свою эффективность регламентирующих документах [31,33,107,116,117,163]. Противоречие заключается в том, что система ТЭА сформировалась в основном в 50...80-е годы прошлого века и явилась для того времени прогрессивной формой поддержания работоспособности подвижного состава. Формирование ее структуры определялось установившимся уровнем надежности и качества изготовления автомобилей, условиями эксплуатации подвижного состава, целями, поставленными перед автомобильным транспортом и его подсистемой – технической эксплуатацией. Но за прошедшие с этого времени 50 лет произошли существенные изменения в технологии изготовления и конструкции автомобилей: существенно повысился уровень надежности и требования к качеству автомобилей [193]. Изменения условий функционирования комплекса ТЭА определяют новые задачи, которые возникают на этапе выбора автомобиля для эксплуатации, его технической эксплуатации и при определении оптимального срока эксплуатации, то есть определении момента списания автомобиля. Актуальность этих задач подчёркивается в работе [98], а именно что сложившаяся сегодня практика организации выполнения работ ТО и Р автомобилей «...более характерна для сервиса бытовой техники, а не таких технически сложных и опасных объектов, как АТС. Тем не менее то, что не допускается в авиации или в гидроэнергетике, практикуется в технической эксплуатации автомобильного транспорта».

Для обобщающей оценки технического состояния автомобиля при эксплуатации используются три критерия работоспособности автомобиля:

- 1) физическая невозможность выполнения транспортной работы или затрудненность для водителя управлять автомобилем вследствие неисправностей;
- 2) несоответствие автомобиля требованиям к их безопасности в эксплуатации, установленным федеральными органами исполнительной власти;
- 3) экономическая нецелесообразность использования автомобиля по назначению вследствие ухудшения его технического состояния.

Важно отметить, что только несоответствие требованиям безопасности как условие запрещения эксплуатации юридически закреплено в федеральном законодательстве. Остальные критерии применяются в технической эксплуатации автомобилей исходя из наличия «здравого смысла». При несоответствии любому из этих критериев АТС не используют по назначению, направляют в техническую службу АТП или в автосервис для выполнения ремонта. Кроме того, вне зависимости от соответствия приведенным критериям АТС подвергают ТО с установленными периодичностями. Если применение рекомендуемых изготовителем технологий ТО не позволяет восстановить работоспособность АТС, (с учетом указанных критериев) - рассматривается целесообразность его КР либо осуществляется списание. Можно сказать, «что критерии списания (прекращение эксплуатации) АТС в связи с выработкой им ресурса, «возрастом» или неполным восстановлением работоспособности современной нормативной базой автомобильного транспорта не установлены» [97]. Тем не менее решать данные задачи необходимо, при этом опираясь на существующую нормативно-техническую и методологическую основу с последовательной их адаптацией к современному уровню и требованиям научно-технического прогресса.

1.3 Анализ современной нормативно-технической, методологической и технологической базы вывода автомобиля из эксплуатации

1.3.1 Анализ нормативно-технической базы списания автомобиля

Приведём краткий анализ технических нормативных документов, регламентирующих, в той или иной степени, сроки эксплуатации автомобилей.

1. «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта», утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984.
2. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

3. Р-03112194-0376-98. Методика оценки остаточной стоимости транспортных средств с учетом технического состояния.
4. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки.
5. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения.
6. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г.
7. Правила проведения технического осмотра транспортных средств. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 5 декабря 2011 г. № 1008 «О проведении технического осмотра транспортных средств».
8. ГОСТ Р 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния.
9. ГОСТ Р 52160-2003. Автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния.
10. ГОСТ Р 54942-2012. Газобаллонные автомобили с искровыми двигателями. Выбросы вредных (загрязняющих) веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния.

«Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984) было разработано для оперативного учета изменений конструкции подвижного состава и условий его эксплуатации. Этот документ многие специалисты считают устаревшим, но тем не менее он внесён в «Перечень действующей законодательной, нормативной и методической документации по организации транспортного процесса на автомобильном транспорте» [110].

Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» содержит основные принципы ТО и ремонта подвижного состава и определяет систему и техническую политику по организации

процессов ТО и ТР автомобилей. В частности, устанавливаются система и виды ТО и ТР автомобилей, а также исходные нормативы, регламентирующие их; классификация условий эксплуатации и методы корректирования нормативов; принципы организации производства технического обслуживания и ремонта подвижного состава и другие основополагающие данные [116]. Нормативы, приведённые в данном документе, относятся в основной своей массе к автомобилям отечественного производства и не отражают в полной и достоверной степени все стороны процесса современного комплекса ТЭА.

В [116] (пункт 2.22) регламентируется вывод автомобилей из эксплуатации следующим образом: «Подвижной состав, не пригодный по своему техническому состоянию к дальнейшей эксплуатации и прошедший установленный амортизационный пробег (срок), подлежит списанию в установленном порядке. Ниже в примечании сказано. Списание подвижного состава, не прошедшего амортизационный пробег, производится в соответствии с инструкцией о списании». Речь идёт о документе «Типовая инструкция о порядке списания пришедших в негодность зданий, сооружений, машин, оборудования, транспортных средств и другого имущества, относящегося к основным средствам (фондам)», утвержденной Минфином СССР и Госпланом СССР 1 июля 1985 г. N 100. Но приказ от 20 июля 1998 г. №33н Министерства финансов Российской Федерации «Об утверждении методических указаний по бухгалтерскому учету основных средств» утверждает, что: «с изданием настоящего Приказа не применяется на территории Российской Федерации: 1 июля 1985 г. N 100 «Типовая инструкция о порядке списания пришедших в негодность зданий, сооружений, машин, оборудования, транспортных средств и другого имущества, относящегося к основным средствам (фондам)». В соответствии с этим документом «при способе списания стоимости пропорционально объему продукции (работ) начисление амортизационных отчислений производится исходя из натурального показателя объема продукции (работ) в отчетном периоде и соотношения первоначальной стоимости объекта основных средств и предполагаемого объема продукции (работ) за весь срок полезного использования объекта основных средств». Таким образом:

1. Списание автомобиля формально должно производиться, опираясь на экономическую составляющую и без учёта таких факторов, как соответствие экологическим нормам и требованиям или необходимой степени конструктивной безопасности.
2. Приведённые документы в обязательном порядке должны выполняться государственными организациями и предприятиями. Частные предприятия и лица вправе распоряжаться своим имуществом по своему усмотрению, руководствуясь только принципом экономической выгоды.

Для установления суммы амортизационных отчислений необходимо установить предполагаемый пробег автомобиля. В «Положении» он определяется пробегом до капитального ремонта (КР). Направление подвижного состава и агрегатов в КР производится на основании результатов анализа: их технического состояния с применением средств контроля (диагностирования) с учетом пробега, выполненного с начала эксплуатации или после КР; суммарной стоимости израсходованных запасных частей с начала эксплуатации и других затрат на ТР [106]. Таким образом, ресурс автомобиля определялся пробегом до КР.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» [30] для того, чтобы списать автомобиль необходимо установить предельные значения, при наступлении которых автомобиль не способен выполнять требуемые функции в заданных режимах, в частности, обеспечения безотказности. При возникновении отказа автомобиль, как правило, направляется в ТР, следовательно, предельная частота и объёмы ТР могут служить в качестве ограничения срока службы автомобиля. Устанавливается определённый ресурс (Useful life, life), как суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. То есть, определяется возможность назначить срок службы (календарный срок) автомобиля через следующие понятия:

1. Назначенный ресурс (Assigned operating time) – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

2. Назначенный срок службы (Assigned lifetime) – календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния

В этом ГОСТе срок эксплуатации автомобиля определяется, как назначенный ресурс (тыс. км.) или назначенный срок службы (лет). Этот же ГОСТ определяет надёжность (Reliability, dependability) [30] следующим образом: «Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования».

В 2009 вступил в действие ГОСТ Р 53480-2009 «Надёжность в технике. Термины и определения» [31]. Этот документ несколько иначе трактует приведённые выше термины, а, именно:

1. Надёжность (dependability): Свойство готовности и влияющие на него безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания.
2. Готовность (availability): Способность изделия выполнять требуемую функцию при данных условиях в предположении, что необходимые внешние ресурсы обеспечены. Примечание: Эта способность зависит от сочетания свойств безотказности, ремонтпригодности и поддержки технического состояния. «Данные условия» могут включать климатические, технические или экономические обстоятельства. Необходимые внешние ресурсы, кроме ресурсов технического обслуживания, не влияют на свойство готовности.
3. Безотказность (reliability): Способность изделия выполнять требуемую функцию в заданном интервале времени при данных условиях. Обычно предполагают, что в начале интервала времени изделие в состоянии выполнять требуемую функцию. «Данные условия» аналогично пункту 2.
4. Состояние функционирования (operating state): состояние выполнения изделием требуемой функции.

5. Нарботка (operating time): интервал времени, в течение которого изделие находится в состоянии функционирования. Примечание. Нарботка может быть непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т.п.) и дискретной величиной (число циклов, срабатываний, запусков и т.п.).
6. Предельное состояние (limiting state): состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна по причинам опасности, экономическим или экологическим.
7. Критерий предельного состояния (limiting state criterion): признаки предельного состояния, по которым принимают решение о его наступлении.
8. Срок службы (useful life): продолжительность эксплуатации изделия или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.
9. Ресурс (operating life): суммарная наработка изделия в течение срока службы.
10. Средний ресурс (mean operating): математическое ожидание ресурса.

Здесь не случайно приводятся полная информация по терминологии. Именно их совокупное прочтение даёт возможность сформировать многокритериальный аппарат для определения срока эксплуатации (километры пробега) или срока службы автомобиля (лет). В новой редакции стандарта исключены такие термины, как назначенный срок службы и назначенный ресурс, но определения понятий наработка и готовность дают возможность прервать срок эксплуатации изделия, если оно не соответствует экологическим, экономическим критериям или критерию безопасности. В ряде работ отражены различные возможные критерии наступления [186] предельного состояния и устанавливается их значимость:

- 3) Технический критерий, как состояние автомобиля, при котором он не способен выполнять заданные функции.
- 4) Экономический критерий определяет такое состояние объекта, при котором его эксплуатация экономически не эффективна.
- 5) Критерий безопасности, объединяющий понятия конструктивная безопасность и экологическую безопасность автомобиля.

Учитывая [31, 98, 186] и в соответствии с современными тенденциями развития конструкций агрегатов и систем автомобиля, обеспечивающими выполнение требований экологической и конструктивной безопасности (пункт 1.2), можно представить структуру связей между основными понятиями, определяющими сегодня срок эксплуатации автомобилей (рисунок 1.9)



Рисунок 1.9 - Схема связей между понятиями, определяющими срок эксплуатации автомобиля

Дальнейшее развитие нормативно-техническая база определения сроков эксплуатации получила с введением в действие ГОСТ 27.002 – 2015 «Надежность в технике. Термины и определения» [32]. В этом документе впервые вводятся такие понятия, как коэффициент неготовности (КНГ) и коэффициент сохранности эффективности (КСЭ).

КНГ (en unavailability factor) трактуется как вероятность того, что объект может оказаться в неработоспособном состоянии в данный (конкретный) момент времени. В Примечании поясняется, что возможны различия между

коэффициентом внутренней неготовности, закладываемом при проектировании изделия для идеальных условий эксплуатации, ТО и ремонта, и коэффициента эксплуатационной неготовности, определяемого для реальных условий эксплуатации, ТО и ремонта. Таким образом констатируется, что система, отвечающая за оценку состояния автомобиля и сроков его эксплуатации, находится в динамическом состоянии, то есть под воздействием переменных факторов внешней среды. Естественно, в этом случае **прогнозируемые сроки эксплуатации автомобиля в реальных условиях должны корректироваться не только с учётом традиционных коэффициентов корректирования [116], но и учётом изменения информационной составляющей внешней среды, определённой вводимыми в действие нормативными документами уже в процессе эксплуатации автомобиля.**

КОГ (en interval availability factor) трактуется как вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в конкретный момент времени и начиная с данного момента, должно работать безотказно в течение заданного интервала времени. Для автомобиля таким интервалом времени по определению является интервал ТО, поэтому значение пробега автомобиля на интервале ТО необходимо принимать в качестве расчётного цикла при определении КОГ.

КСЭ – (en efficiency ratio) определяются как отношение значения показателя эффективности использования изделия по назначению за время определенного периода эксплуатации к номинальному значению этого показателя, рассчитываемому при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают. То есть КСЭ указывает на то, что вероятность работоспособного состояния безусловно является необходимым, но не достаточным условием обеспечения надёжности объекта в условиях постоянного повышения требований эффективности и накладываемых ограничениях внешней средой эксплуатации автомобиля.

1.3.2 Анализ методик списания автомобиля на базе однокритериальных экономических моделей

Выбор критериев или показателей качества, определяющих и регулирующих срок эксплуатации автомобилей, должен осуществляться не только исходя из существующей нормативно-технической базы, но и с учётом условий функционирования АТП для которого реализуется процесс принятия решения. Это специализация деятельности АТП, условия эксплуатации автомобилей (дорожные, климатические, транспортные т.д.), мощность ПТБ, влияние внешней среды (учёт систем более высокого уровня). Данная функция может быть делегирована АТП, приобретающему и эксплуатирующему автомобиль или, в особых условиях (перевозка пассажиров, опасных грузов и т.д.) регламентироваться. Не исключено, что предприятие может не ограничиться тремя вышеупомянутыми критериями. Например, в ГОСТ 4.396-88 «Система показателей качества продукции. Автомобили легковые. Номенклатура показателей» [34] приводится значительный список показателей качества, каждый из которых может определяться как один из критериев, характеризующих эффективность эксплуатации автомобилей: назначения, надёжности, экономного использования ресурсов, эргономические, технологичности, экологичности, безопасности и эстетические и др. Выбор приоритета показателей качества автомобиля может определяться, в том числе, целями проводимого исследования. Например, при выборе автомобиля года на самом большом из конкурсов (world car of the year) группа экспертов выявляет наилучший автомобиль по 23 основным параметрам, каждому из которых присваивается «коэффициент весомости». Можно сказать, что в настоящее время возникает потребность оценивать качество автомобиля по целому ряду критериев с присущими им показателями. Если же не выполнять подобной оценки – значительно повышается риск несоответствия автомобиля своему определению качества как, товара: «качество - это оцененное потребителем в конкретный момент времени в каком-либо сегменте рынка превосходство товара по технико-

экономическим показателям аналогов за жизненный цикл, достигаемое за счет наиболее полного удовлетворения потребностей человеческого общества, нанося при этом обществу и природе минимально возможный ущерб» [67]. Между тем, в многих работах доминирует принцип использования единого экономического критерия, применяемого, как при выборе автомобиля, так и для оценки срока эксплуатации автомобиля [57, 121, 185]. Приведём ряд примеров. Целью работы [57] является определение ресурса эксплуатации городских автобусов. В работе рассматривается метод моделирования ресурса автобусов. В качестве комплексного показателя технического состояния автобуса принимается его коэффициент технического использования (КТИ), определяемый отношением машино-часов фактической работы за рассматриваемый промежуток времени к плановым машино-часам работы за этот же промежуток времени. По заданному (плановому) значению КТИ устанавливаются значения основных показателей ТЭ автобусов:

- f - время эксплуатации до списания,
- L_c - пробег автобуса до списания,
- R_c - суммарные затраты на ТО и ТР;
- dt и dL - затраты на ТО и ТР автобуса с учетом стоимости, приведенные соответственно к времени эксплуатации и пробегу автобуса (1000 км).

Далее определяется, что существует предельное значение КТИ автобуса, при котором прекращение его эксплуатации обеспечивает минимум приведенных затрат на ТО и ТР автобуса с учетом его стоимости. Делается вывод, что основным недостатком существующих методов является отсутствие учета эксплуатационных доходов, на базе которого формируется теоретическая модель реализации целевой функции определения ресурса городских автобусов (рисунок 1.9).

В конечном итоге, согласно расчётам, выполненным по предложенной методике, прогнозируется возможность эффективного увеличения ресурса исследуемой группы автобусов ориентировочно на 100 тыс. км. (с 1500 до 1600 тыс. км).

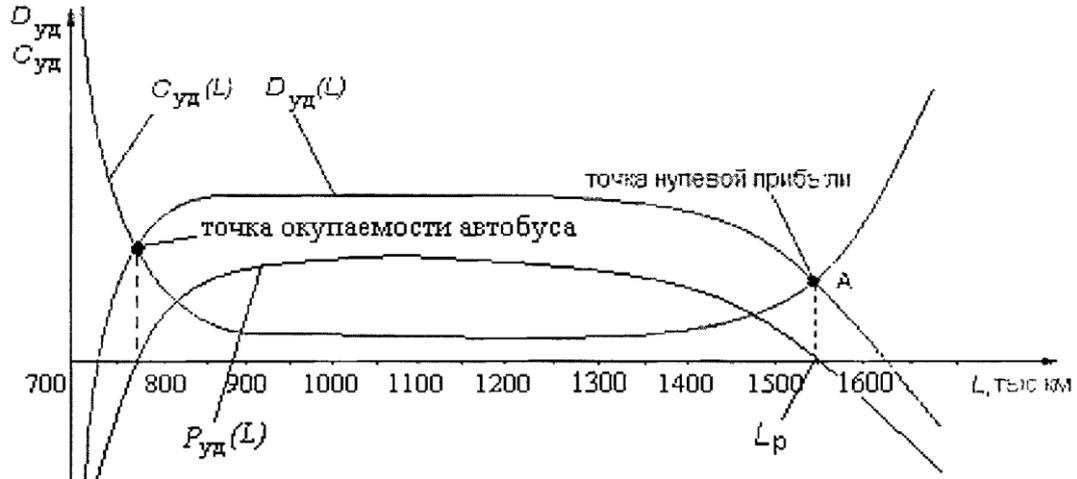


Рисунок 1.9 - Теоретическая модель реализации целевой функции определения ресурса городских автобусов [57]

В данном случае происходит замещение комплексного показателя - качество автомобиля экономическим показателем, причём не учитываются такие определяющие для эксплуатации городских автобусов качественные показатели, как комфортабельность и безопасность перевозки пассажиров, экологическое и безопасное состояние транспортного средства и др.

В работе [121] приводится методика рационального списания городских автобусов, работающих в условиях мегаполиса, которая предусматривает списание подвижного состава по экономическим критериям, с использованием методов динамического программирования. Необходимый минимум суммарных затрат Z^* за весь период эксплуатации автобуса определяется как:

$$Z^*(0) = \frac{1}{1 - \alpha^N} \{ r(0) + \alpha r(1) + \dots + \alpha^{N-1} \cdot r(N-1) + \alpha^N [p - \varphi(N)] \} \quad (1.1)$$

где α - дисконтирующий множитель; N - шаги (года) замены автобуса; r - годовые эксплуатационные затраты; φ - остаточная стоимость, тыс. руб.; p - начальная стоимость автобуса, тыс. руб.

Для оценки деятельности производственных подразделений автобусных предприятий применяются разработанные (скорректированные) нормативные (плановые) показатели времени простоя автобусов и нормативные показатели наработки на простой в ТО и ТР по подразделениям предприятия. Для их получения используется информационная система автобусного парка, работающая в реальном масштабе времени и разработан соответствующий алгоритм. В работе было установлено, что оптимальные сроки службы городских автобусов марки ЛиАЗ в рассматриваемых условиях должны составлять 7 лет (рисунок 1.10).

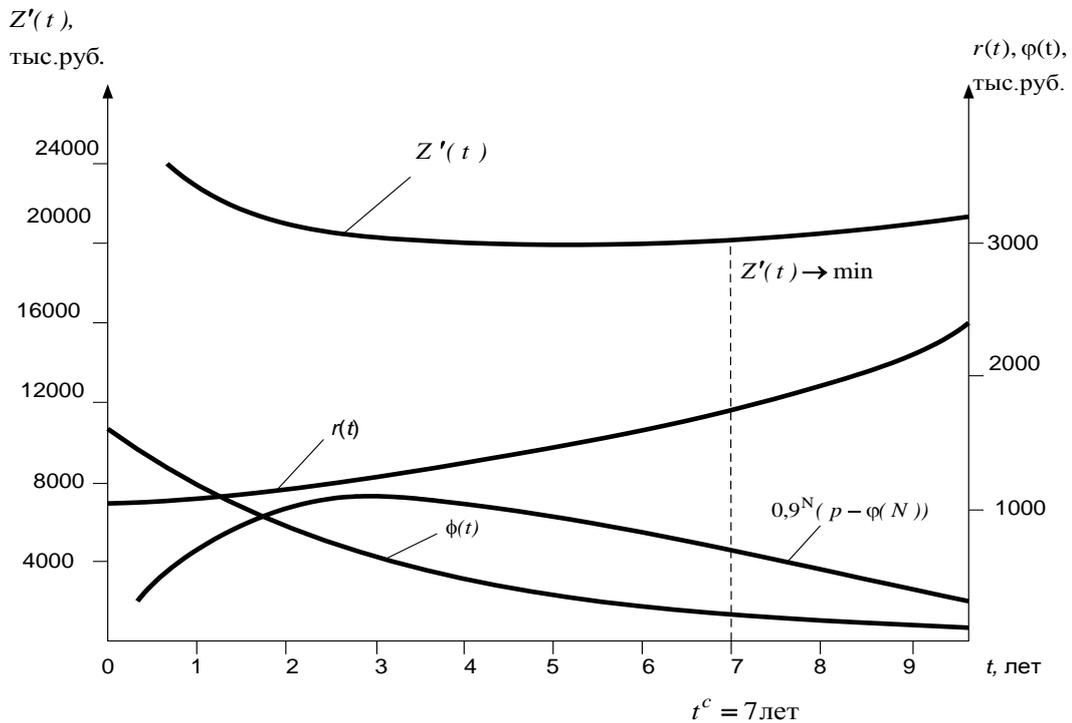


Рисунок 1.10 - График приведенных затрат и оптимального срока замены автобуса ЛиАЗ [121]

Предложенная «Методика оценки эффективности функционирования автобусного АТП» позволяет подводить итоги финансово-хозяйственной деятельности автобусных парков за отчетный период на основании ряда показателей: технико-эксплуатационные показатели работы; показатели качества перевозки пассажиров; финансовые показатели деятельности; соблюдение финансовой дисциплины; выполнение коллективного договора; состояние дорожно-транспортной дисциплины; состояние охраны труда; состояние трудовой

и производственной дисциплины; показатели качества технического обслуживания и ремонта подвижного состава; культура производства и др. Но оценка проводится в баллах по каждому параметру. Максимально возможное количество баллов, начисляемых филиалу по комплексным показателям - 190 баллов и т.д. В данном случае бальная система выполняет роль коэффициентов относительной важности по отдельным исследуемым показателям. Назначение коэффициентов весомости на основании экспертной оценки вносит определённый субъективизм в возможные результаты при внедрении предложенной методики.

В работе [94] предложена система «относительных коэффициентов», положенных в основу методики выбора рационального парка подвижного состава по критерию «условно технические затраты» (УТЗ). Кроме того, величины затрат, приведенных в работе, выступают в виде коэффициентов весомости статей затрат в себестоимости транспортирования грузов (то есть между ними устанавливается субъективная аналитическая связь), на основании чего оценивается эффективность различных организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации грузовых автомобилей. В общем случае эта методика дает возможность оценить эффективность различных организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации грузовых автомобилей.

Величина УТЗ определяется по существующим методикам расчета расхода топлива, смазочных материалов, шин и затрат на запасные части для автомобилей. Далее производится умножение полученных значений на стоимость данных материалов для получения их абсолютных значений. Приведение к сопоставимому виду при сравнении различных автомобилей по данному показателю производится делением на объем выполняемой грузовыми автомобилями транспортной работы за отчетный период. В этом случае, экономические решения применяются, как единственно важные не только для определения срока эксплуатации автомобиля, но и при выборе подвижного состава.

Можно выделить два основных недостатка проанализированных методик применения однокритериальных моделей для определения срока эксплуатации автомобиля:

1. Использование методов экспертных оценок направлено на то, чтобы дать возможность принять решение опираясь на опыт, знания и интуицию специалистов. Тем самым недостаток информации компенсируется формализовано представленными знаниями экспертов, что повышает долю субъективизма в принятии решения. К тому же, собирать и опрашивать группу экспертов при необходимости принятия решения в активно работающей системе динамической системе бесперспективно. Поэтому возникает задача выработки математического аппарата, позволяющий в динамических системах находить аналитическое решение многокритериальных задач независимо от участия человека.
2. Использование экономических критериев для сравнительной оценки автотранспортных процессов базируется на показателях, являющихся носителями высокой доли субъективизма, определяемого рыночными отношениями. В частности, величина доходов D определяется тарифами на тот или иной вид работ или услуг, далеко не всегда сформированных на объективных данных (конъюнктура рынок, монополизация отдельных сфер деятельности производства и т.д.). Причем тарификация отдельных локальных процессов отражается на величине затрат, учитываемых как комплексный показатель (тариф, определяемый себестоимостью топлива вносит свой вклад в себестоимость перевозок и т.д.).

Перечисленных недостатков можно избежать если решать проблему, как научное обоснование допустимых значений сроков эксплуатации автомобиля, определяемого не только его работоспособностью и эффективностью функционирования, но и его экологической и конструктивной безопасностью. 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.

1.3.3 Технологическая база вывода автомобиля из эксплуатации

В научном обосновании срока эксплуатации автомобиля заинтересованы: производители автомобильной техники и оборудования, организации и лица, эксплуатирующие автомобили, предприятия, перерабатывающие отходы и общественность. Поэтому разделы, посвящённые утилизации автомобилей или авторециклингу становятся неотъемлемыми частями исследований, посвящённых развитию теории автомобиля. В последнее время опубликовано достаточно большое количество научных работ, рассматривающих завершающий этап ЖЦА [14, 23, 48, 53, 54, 55, 180, 181 и др.]. Производится техническая регламентация этих процессов. В РФ введён в действие ГОСТ Р ИСО 14040-2010 «Оценка жизненного цикла. Принципы и структура». Учитывая глобализацию транспортных процессов (эксплуатация инфраструктуры и автомобиля вне зависимости от экономических или геополитических образований) необходимо принимать во внимание, как отечественные, так и зарубежные нормативные документы. Для определения количества и качества автомобилей, которые должны водиться из эксплуатации за рубежом был введён термин ELV в сокращении с английского End of Life Vehicle (конец жизни автомобиля). Это определение даётся автомобилю, который непригоден к использованию по своим эксплуатационным или качественным характеристикам. Введение этой характеристики автомобиля позволяет оценивать потенциал системы утилизации автомобилей.

Этапы проведения анализа по полному жизненному циклу изложены в ряде документов ЕС:

1. ISO 14040 Оценка жизненного цикла. Принципы и структуры.
2. ISO 14041 Оценка жизненного цикла. Определение цели и сферы и инвентаризация.
3. ISO 14042 Оценка жизненного цикла. Оценка воздействия на окружающую среду
4. ISO 14043 Оценка жизненного цикла. Интерпретация результатов.
5. Требования к экологической безопасности стадии производства изложены в стандартах ISO 14001 и 14004.

Более подробно требования к экологической безопасности автомобилей на его стадии эксплуатации сформулированы в Решениях и Директивах ЕС: по шуму (директива 92/97/ЕС), нормам токсичности Евро1-4 (директивы 91/441/ЕЭС, 94/12/ЕС, 98/69/ЕС), выбросам CO₂ (решения 1999/125/ЕС, 2000/303/ЕС, 2000/304/ЕС, 1753/2000/ЕС, 2002/358/ЕС, директива 1999/94/ЕС).

Требования к утилизации автомобилей изложены в:

- 1) директиве 2000/53/ЕС по утилизации отслуживших автомобилей;
- 2) директиве 2005/64/ЕС по типизации транспортных средств касательно их повторного использования, вторичной переработки и утилизации;
- 3) решении 2003/138/ЕС о маркировке пластмассовых и резиновых деталей для целей утилизации;
- 4) международном стандарте ISO-22628 по проведению расчета коэффициентов рециклинга и утилизации автомобилей;
- 5) решении 2005/673/ЕС по запрету и ограничению применения тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия и шестивалентного хрома) в автомобильных компонентах и материалах.

В частности, в директиве 2000/53/ЕС (ELV) установлены требования в странах ЕС с 01.01.2006 обеспечивать для отслуживших автомобилей утилизацию минимум на 85% массы автомобиля и вторичную переработку (рециклинг) минимум на 80%.

Директивой 2000/53/ЕС установлены требования к производителям автомобилей. Они должны: использовать единые стандарты маркировки полимерных компонентов для облегчения их идентификации при утилизации, предоставлять необходимую информацию по демонтажу и составу материалов компонентов для утилизации, месторасположению в автомобиле опасных веществ и материалов, а также брать на себя значительную часть расходов по реализации сбора отработавших свой срок автомобилей. Выполнение перечисленных требований по утилизации отработавших свой срок автомобилей частично реализуется в РФ на практике, а также находит отражение в теоретических исследованиях. В ОАО «АВТОВАЗ» разработана система экологического менеджмента в соответствии с ИСО 14001, а также система управления всем жизненным циклом автомобилей LADA, начиная с процесса проектирования и разработки конструкции новых моделей до завершающей утилизации автомобилей.

В [181] даётся следующее определение утилизации: «Утилизация – виды работ по обеспечению ресурсосбережения, при которых осуществляется переработка и/или вторичное использование отслуживших установленный срок и/или отбракованных изделий, материалов, упаковки и т.п.». Обзор научных и практических материалов показывает, что сегодня существует два основных направления реализации процесса переработки автомобилей и его компонентов: утилизация и авторециклинг. Утилизация и авторециклинг это производственные процессы, имеющие одинаковую цель – ликвидацию автомобиля путём его переработки (рисунок 1.11), но при этом технология работ, производственное оборудование, а соответственно комплексы решаемых задач и экономические затраты при их реализации различны [35,58,170,171].

Утилизация автомобиля - это технологический процесс переработки автомобиля с целью уменьшения или ликвидации отрицательного влияния материалов, из которого он создан, на жизнедеятельность человека. Самым распространённым технологическим процессом утилизации автомобиля является

прессование автомобилей с дальнейшей переплавкой на металлургических предприятиях. Однако этот способ вряд ли можно назвать экономически эффективен, потому что помимо чёрного металла прессуется и ценный цветной металл. К тому же этот способ далеко экологически не безопасен, так как неметаллические детали сгорая при переплавке выделяют токсичные диоксины.



Рисунок 1.11 - Структурная схема процесса ликвидации автомобиля

Второй способ переработки автомобилей – это резка и дробление с последующим выделением фракций чёрных и цветных металлов электромагнитным способом, а фракций полимеров азрационным способом. Но и в этом случае говорить об экономической эффективности утилизации автомобилей нельзя, так как процесс переработки требует сложного и энергоёмкого оборудования (шредера) [172].

Авторециклинг - это технологический процесс переработки автомобиля с целью максимально полезного использования материалов, из которых он изготовлен, в жизнедеятельности человека с последующей частичной их

утилизацией или при отсутствии таковой. Авторециклинг подразумевает более прогрессивную технологию ликвидации автомобиля, содержащую следующие этапы: разборка автомобиля на агрегаты, узлы и детали; дефектация деталей на утилизируемые и годные к дальнейшей эксплуатации. Утилизируемые детали перерабатываются уже в соответствии с номенклатурой применяемых при их изготовлении материалов. Годные к дальнейшей эксплуатации детали, узлы или агрегаты могут поступать в продажу через сеть автомастерских или магазинов запасных частей. Этот способ переработки автомобилей становится более эффективным, если возможность вторичного использования закладывается в конструкцию на стадии проектирования. Конечная цель подобной стратегии – уменьшение количества отходов при утилизации автомобилей и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов. Полный авторециклинг – крайне редкий процесс и производится в единичных случаях, но в настоящее время уже формируются тенденции к полной переработке автомобиля. Примером создания подобного производства является, не имеющий аналогов в мире, завод по переработке автомобилей в Японии на острове Хоккайдо в префектуре Ишикари. Общая мощность завода по переработке автомобилей (100 % рециклинга) сопоставима с мощностью завода по производству автомобилей [199]. К сожалению, приходится констатировать, что на настоящий момент выведенные из эксплуатации автомобили в России никто полноценно не перерабатывает, их утилизация происходит стихийно, комплексной системы авторециклинга в стране нет. Разрабатываются отдельные программы, но полностью проблема не решена. В большинстве регионов России инфраструктура сбора вышедших из строя автомобилей и утилизации их компонентов отсутствует. По оценке отраслевых экспертов, из официально выведенных из эксплуатации автомобилей на утилизацию попадает лишь 15...20%. Явно прослеживается значительный дисбаланс производства и переработки выведенных из эксплуатации автомобилей. Для формирования ПТБ полного авторециклинга в РФ необходимо планировать создание подобных производственных комплексов, не только с учетом объёмов списания автомобилей, но и объёмов ввода в эксплуатацию автомобилей [172]. В

[181] приведена общая схема взаимодействия между элементами системы «Авторециклинг». Согласно данной схеме система «Авторециклинг» включает подсистемы сбора и использования автотранспортных отходов (АТО). В подсистеме сбора (уровень образования и сбора отходов) потребность в замене автомобилей в парке определяется удельной (на единицу площади) плотностью отходов и площадью территории сбора, формирующей входной поток АТО за определённый период. Выходной поток из подсистемы зависит от квоты (доли) сбора, задаваемой директивными документами (регламентами). Базовый параметр подсистемы сбора $S(t)$ зависит от потребности парка в замене автомобиля, площади территории сбора АТО и квоты сбора. Он определяется по формуле:

$$S(t) = S(t_0) + \int_{t_0}^t (m_s(t) - m_{s.\text{ИСП}}(t)) dt \text{ при } S(t_0) \geq 0, \quad (1.2)$$

где $S(t)$ – вход в подсистему сбора; $m_s(t)$ – масса потока АТО на входе в подсистеме сбора; $m_{s.\text{ИСП}}(t)$ – масса потока АТО на выходе из подсистемы сбора.

Массы потоков АТО на входе в подсистему сбора и выходе из неё определяются из выражений

$$m_s(t) = F_s(t) \cdot \left[\frac{(m_{\text{АТО}}(t) - \Delta m(t))}{F} \right] \cdot Q_s(t), \quad (1.3)$$

при $Q_s(t) = f(R(t), \text{ЭС}(t)), m_{s.\text{ИСП}}(t) = f(S(t), \text{ПМ}_R(t)),$

где $R(t)$ – варианты технологии перераспределения (первичного сбора, накопления и транспортировки АТО); F – общая площадь территории; $F_s(t)$ – площадь территории подсистемы сбора; $\text{ЭС}(t)$ – экологическая сознательность населения; $\text{ПМ}_R(t)$ – производственная мощность технологии перераспределения АТО; $Q_s(t)$ – квота сбора у отходообразователей; $m_{\text{АТО}}(t)$ – масса АТО у отходообразователей; $\Delta m(t)$ – потери массы АТО у отходообразователей.

Определяющим параметром методики является потребность в замене автомобиля - $S(t_0)$.

$$S(t_0) = \sum_{i=1}^n A_i p_i, \text{ где } \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (1.4)$$

где A_i – автомобиль, эксплуатируемый в регионе исследования; p_i – вероятность списания автомобиля в момент времени t_0 .

Данная методика подчёркивает, что для сбалансированного процесса утилизации автомобилей необходимо установить не только функции, но и средства управления в этой системе. Средством управления являются измерители процессов. Главной целью выработки измерителей является обеспечение эталона измерений входных и выходных потоков производственной системы. Измеритель должен быть определяемым, то есть его показатели (численные значения) измерителей должны прогнозироваться как при управлении локальными процессами, так и при стратегическом планировании производства. Измерителем, позволяющим определять входные потоки в систему ликвидации автомобилей, за рубежом признан ELV. Пробег (км) или возраст автомобиля, который фиксируется в момент его вывода из эксплуатации – это срок эксплуатации или срок службы. Если его значение научно обосновано не только экономической необходимостью, но и соображениями безопасности (экологической или конструктивной) и др. критериями качества - это оптимальный срок эксплуатации автомобиля. Накопление информации с использованием измерителя «оптимальный срок эксплуатации автомобиля» по отдельным моделям автомобилей позволит формировать выходной поток исходных данных необходимых для оптимизации мощности предприятий, задействованных в системе утилизации автомобилей [130]. Можно сказать, что именно значения этого измерителя определяют, в каком состоянии будут эксплуатироваться автомобили на дорогах России, и какое количество автомобилей необходимо ликвидировать или переработать.

Перечисленные выше направления и тенденции в развитии современной нормативно-технической, методологической и технологической базе вывода автомобиля из эксплуатации позволяют определить структуру актуальных задач и обосновать необходимость формирования системы управления сроком эксплуатации автомобиля (СУСЭА). СУСЭА - система управления состоянием качества автомобиля для оценки его предельного состояния, как несоответствующего изменениям требований среды эксплуатации на протяжении жизненного цикла (рис. 1.12).

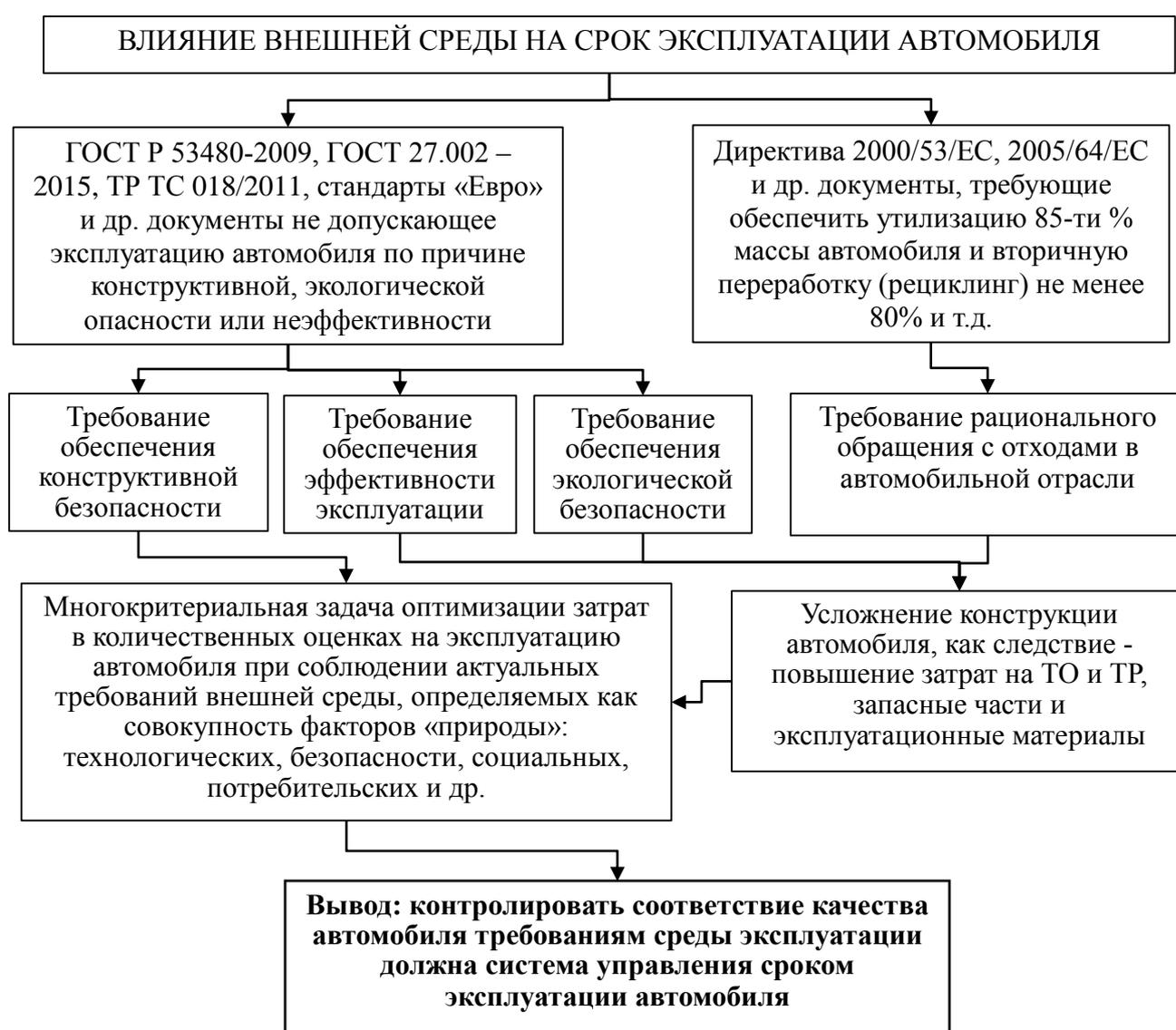


Рисунок 1.12 – Схема формирования задач в системе управления сроком эксплуатации автомобиля

1.4 Выводы по первой главе

В первой главе обосновывается актуальность и необходимость научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля на современном этапе развития автотранспортной отрасли. Решение данной задачи позволит контролировать соответствие качества автомобиля требованиям среды эксплуатации посредством выработки рекомендаций о его своевременном списании. Для этого выявляются современные требования к экологической и конструктивной безопасности автомобиля и направления развития организационных форм ТЭА, а именно:

1. Проанализирована возрастная структура парка автомобилей в РФ. Констатируется, что средний возраст эксплуатирующихся автомобилей достаточно высок: на грузовые автомобили старше 10 лет приходится более трех четвертей парка подвижного состава (76%), средний возраст легкового автомобиля около 12 лет, при этом более половины из них (51%) старше 10 лет. Значительный средний возраст автомобиля непосредственно и негативно отражается на показателях эффективности его работы, а именно на затратах на эксплуатацию, показателях ТЭА, а также на потребности в ПТБ их обслуживания. Ещё одним следствием значительного возраста автомобилей являются: низкая техническая надежность (по мере роста пробега усталостные напряжения в конструкции возрастают в 1,4...2,5 раза); несоответствие современным требованиям пассивной, активной и экологической безопасности; высокая вероятность внезапного выхода из строя узлов и агрегатов в процессе дорожного движения, и как результат, высокая вероятность совершения ДТП.

2. Доказано, что определение оптимального срока эксплуатации автомобиля может привести к перераспределению автомобилей по экологическим классам и существенным изменениям в общей картине выбросов загрязняющих веществ в отдельных регионах и в целом в РФ (несмотря на увеличение общей численности парка автомобилей, выбросы загрязняющих веществ могут снижаться вследствие

роста количества автомобилей более высоких экологических классов). При этом технически сложные, насыщенные электронным оборудованием агрегаты и системы обеспечения экологической безопасности автомобиля, а также конструктивной безопасности повышают его стоимость и затраты на ТО и текущий ремонт.

3. Выявлены тенденции развития системы ТЭА. Организационные формы ТО и Р автомобилей претерпевают значительные изменения. Сегодня они должны учитывать не только отечественные регламенты ТЭА, но и регламенты иностранных фирм-автопроизводителей, чьи автомобили широко эксплуатируются в РФ. Происходит существенное увеличение межремонтных пробегов современных автомобилей и одновременно относительное уменьшение сроков эксплуатации, обусловленное их моральным и технологическим устареванием. Усложняется конструкция современных автомобилей, что приводит к увеличению надежности в пределах ресурсного пробега, но это в свою очередь требует содержания сложного и дорогостоящего оборудования по ТО и ТР целого ряда систем и агрегатов. Изменения условий функционирования комплекса ТО и ТР определяют новые задачи, которые возникают на этапе выбора автомобиля для эксплуатации, его технической эксплуатации и при определении оптимального срока эксплуатации. Подчеркивается, что сложившаяся сегодня практика организации выполнения работ ТО и ремонта автомобилей более характерна для сервиса бытовой техники, а не таких технически сложных и опасных объектов, как автомобиль.

4. Проанализирована существующая нормативно-техническая и методологическая база списания автомобиля. Сегодня регламентирующие документы устанавливают, что существуют три основные причины «опасности, экономическая или экологическая», по которым эксплуатация автомобиля недопустима или нецелесообразна.

5. Установлено, что в настоящее время списание автомобиля формально производится, опираясь на однокритериальную экономическую модель и без

учёта таких факторов, как соответствие экологическим нормам и требованиям или необходимой степени конструктивной безопасности и др.

6. Исследовано состояние системы утилизации автомобилей в РФ. В большинстве регионов России инфраструктура сбора вышедших из строя автомобилей и утилизации их компонентов отсутствует. Явно прослеживается значительный дисбаланс производства и переработки выведенных из эксплуатации автомобилей. За рубежом ситуация обратная: для определения количества автомобилей, которые должны попасть на переработку, введён термин ELV (конец жизни автомобиля). ELV является измерителем, позволяющим определять входные потоки в систему ликвидации автомобилей, а пробег ему соответствующий – это оптимальный срок эксплуатации автомобиля.

7. Констатируется, что возникает ряд задач, определяемых научно-техническим прогрессом в отрасли: избирательность при определении необходимых свойств автомобиля по отдельным критериям и установление приоритетов их выбора; поддержание работоспособного состояния автомобиля с учётом требуемых уровней конструктивной и экологической безопасности; своевременная утилизация автомобиля.

Решением перечисленного комплекса проблем является разработка научно-методического подхода к определению срока эксплуатации автомобиля, позволяющего формировать алгоритмы оптимизации в системе ТО и Р автомобилей с учётом требований среды эксплуатации по нескольким актуальным критериям эффективности. Данный метод должен быть реализован на практике в виде СУСЭА. СУСЭА - система управления состоянием качества автомобиля для оценки его предельного состояния, как несоответствующего изменениям требований среды эксплуатации на протяжении жизненного цикла

2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

2.1 Иерархическая структура системы управления сроком эксплуатации автомобиля

Технологический уровень развития любой отрасли производства определяется эффективностью использования материальных и энергетических ресурсов. Значительный вклад в повышение общей эффективности в автотранспортной отрасли могут внести инновационные технологии системной оптимизации процессов ТО и ТР автомобилей [1,68,100,102,168]. Комплексный подход к проблеме определения срока эксплуатации автомобилей в динамически изменяющихся условиях внешней среды требует научно-методического обоснования, обеспечивающего оптимизацию сложных процессов в системе «производство-эксплуатация-утилизация» автомобилей в России [85]. Традиционно к измерителям этапов ЖЦА относят экономические измерители ресурсоёмкости автомобиля: затраты на производство; затраты на эксплуатацию и ТО; затраты на восстановление (ремонт); затраты на утилизацию [152]. Актуальность оценки этапов ЖЦА с учётом не только экономических, но и экологических показателей проявляется в современных исследованиях. В [54] отмечается, что полный ЖЦА наиболее рационально оценивать не по готовой продукции, а на ранних стадиях её проектирования, что позволит выбрать наиболее «экологический» вариант конструкции автомобиля. Математическая модель, основанная на данном принципе спроектирована в НАМИ. Она описывает материальные и энергетические потоки в ЖЦА и представляет цикл существования автомобиля в виде производственной системы, как совокупности материальных и энергетических единичных процессов, реализующих частные функции. В этой модели ЖЦА разделён на три стадии – производство, эксплуатация и утилизация автомобиля. На основании расчёта балансов для единичных процессов определяются балансы для полного жизненного цикла в целом. Данная модель

разработана в соответствии с [32], где оценка жизненного цикла ОЖЦ (life cycle assessment) определяется, как сбор и оценка входных и выходных потоков, а также потенциальных воздействий на окружающую среду со стороны производственной системы на всех стадиях жизненного цикла продукции. Область применения ОЖЦ однозначно устанавливает функции проектируемой или эксплуатируемой системы. В [32] жизненный цикл изделия (life cycle) определяется, как последовательные или взаимосвязанные стадии производственной системы от приобретения сырья или разработки природных ресурсов до утилизации продукции. Стадии жизненного цикла автомобиля с точки зрения его ресурсоёмкости в настоящее время определяют в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 - Стадии жизненного цикла автомобиля

Основным измерителем, характеризующий любой этап ЖЦА, как по отдельности, так и в совокупности – это продолжительность во времени. Продолжительность ЖЦА на этапе его технической эксплуатации влияет не только на большинство показателей эффективности работы парков автомобилей [176], но и на показатели эффективности при переработке автомобилей, а также на проектируемые показатели при их производстве. Целенаправленное регулирование продолжительностью эксплуатации автомобилей является одной из важнейших задач управления ТЭА, непосредственно связанной с управлением работоспособностью как автомобиля, так и автомобильного парка. Это функция СУСЭА, ориентированная на определение оптимальной продолжительности сохранения его основного качества или группы качеств в условиях динамического изменения состояния внешней среды (СВС). Она должна реализовываться в виде математических моделей с последующей разработкой и применением программ, обеспечивающих устойчивость функционирования для достижения поставленной цели [85,86]. Приведём основные принципы управления, определяющие функции СУСЭА:

1. Определение и достижение цели, стоящей перед управлением СУСЭА, должны осуществляться в рамках программно-целевого подхода. Суть программно-целевого метода, применяемого при решении управленческих задач, заключается в интеграции всех видов деятельности подсистем в виде программы для достижения поставленной цели [79,80].
2. Получение информации о состоянии СУСЭА и о внешних факторах, действующих на систему и определяющих СВС. Поставленные перед системой цели могут достигаться различными методами, поэтому важно выявить факторы, способствующие их достижению и установить среди них определённую последовательность или долю реализации с учётом степени значимости каждого фактора для достижения системой конечной цели.
3. Обработка информации о состоянии СУСЭА и СВС с целью определения её точности и достоверности.

4. Принятие управляющих решений на основании методов, соответствующих степени информационной определённости или неопределённости о СВС, в соответствии с целями системы и полученной и обработанной информации
5. Доведение решения СУСЭА до практической реализации, через определённые нормативы ТЭА и корректирование (при необходимости) регламентирующих документов.
6. Реализация управляющего воздействия в виде технологических воздействий на исследуемых предприятиях.
7. Получение отклика (реакции) СУСЭА в виде новой информации (обратная связь), которая обрабатывается, анализируется, и на основе её применяется новое решение или корректируется прежнее [79].

Следовательно, достижение цели СУСЭА посредством управляющих воздействий носит пошаговый, итеративный характер. Иначе говоря, функционал **СУСЭА - обеспечивать процесс преобразования информации о соответствии состояния качества автомобиля по ряду актуальных критериев в целенаправленные действия, переводящие управляемый объект (срок эксплуатации) из исходного состояния (проектируемого в соответствии с действующим на момент ввода в эксплуатацию нормативными документами) в оптимальное состояние – в соответствии с объективными требованиям среды эксплуатации, положениям и нормативными документами, выработанным за период эксплуатации автомобиля и действующим момент списания автомобиля.**

Анализ тенденций развития комплекса ТЭА показал, что сегодня происходят изменения состояния среды эксплуатации автомобиля на уровне связей с подсистемами более высокого уровня (ужесточение регламентов экологической и конструктивной безопасности автомобиля), предъявляются новые требования к конструкции автомобиля, обусловленные научно-техническим прогрессом, а также необходимостью его утилизации по завершении его периода эксплуатации. Следовательно, перед СУСЭА формируются ряд дополнительных задач,

обязательных к реализации, если комплекс ТЭА рассматривать, неотъемлемый как этап ЖЦА:

1. Управление выбором рационального типа автомобиля. Установление приоритета критериев качества при принятии решения, позволяющего максимально использовать заложенные в конструкции автомобиля свойства для заданных условий эксплуатации. При этом должно обеспечиваться соответствие конструкции автомобиля требованиям внешней среды эксплуатации и возможность его дальнейшей утилизации.
2. Управление техническим состоянием автомобиля, обеспечивающее оптимальную величину затрат на его техническую эксплуатацию при соблюдении требуемых, нормативных уровней конструктивной и экологической безопасности.
3. Управление процессом вывода автомобиля из эксплуатации (списания), то есть определение оптимального срока эксплуатации автомобиля, а соответственно регулирование входными потоками в систему утилизации автомобилей.

Формирование новых задач в любой системе управления неизбежно влечёт за собой изменения в её структуре. Общая теория систем устанавливает, что структура управления сложными системами, каким является комплекс ТЭА, носит иерархический (многоуровневый) характер. В иерархической структуре чрезвычайно важен вопрос об оптимальном числе элементов, подчинённых старшему элементу и находящимся на одном уровне. Чем больше таких элементов, тем менее управляема система, но с другой стороны, создание большего числа ступеней старшинства иерархии также нежелательно, ибо приведёт к длительному процессу прохождения информации [103,201,202].

В первом случае, для сохранения управляемости системы, необходимо разрабатывать математический аппарат, направленный на поиск эффективного решения и позволяющий формировать алгоритмы оптимизации процессов в СУСЭА с учётом нескольких критериев.

Во втором случае при переходе от уровня к уровню, как правило, сокращается число решаемых задач, но значительно возрастает их важность и сложность. Критерии задач младшего уровня должны быть согласованы с интересами старшего уровня управления. Практическая реализация этого метода связана часто со значительными трудностями, потому что не всегда, поднявшись на более высокий уровень, удаётся сформулировать и решить соответствующую однокритериальную оптимизационную задачу.

Исходя того, что структура СУСЭА автомобиля должна строиться с минимально возможным числом ступеней, а управляемость в системе должна обеспечиваться адекватным математическим аппаратом, целесообразно определить иерархию системы и границы исследования. Иерархия является абстрактным представлением структуры любой системы, необходимой для изучения функциональных взаимодействий ее элементов и их воздействий на всю систему в целом. Иерархия может принимать различные формы, в каждой из которых, как правило, производится спуск с от общей цели вниз к подцелям, далее к воздействиям, которые влияют на эти подцели, еще дальше к стратегиям, и, наконец, к исходам, являющимся результатами этих стратегий.

Этапы процесса построения иерархии СУСЭА, следующие [162, 164]:

1. Фиксируются цели системы, как оценка высшего уровня исходя из взаимодействия различных уровней иерархии, а не из непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях.
2. Формируются задачи управления, определяемые средой функционирования системы.
3. Идентифицируются критерии, влияющие на задачу или задачи системы управления. Каждый отдельный критерий должен отражать основную, а не второстепенную функцию при принятии управляющего решения системе.
4. Определяется иерархия критериев. Наиболее простая иерархия – линейная, восходящая от одного уровня элементов к соседнему уровню. В нелинейной иерархии верхний уровень может быть, как в доминирующем положении по отношению к нижнему уровню, так и в доминируемом, например, в случае

потока информации. В математической теории иерархий применяется метод оценки воздействия уровня на соседний верхний уровень посредством композиции соответствующего вклада (приоритетов) элементов нижнего уровня по отношению к элементу верхнего уровня. Эта композиция может распространяться вверх по иерархии.

5. Разрабатывается комплекс технических показателей, обеспечивающих требования функционирования системы. Техническое решение проблемы состоит в определении допустимых значений параметров системы, определяющих не только работоспособность её элементов, но и эффективность функционирования в целом с учётом определённых целей.

Иерархию систему можно рассматривать в терминах:

1. Взаимодействий ее частей.
2. Структуры в соответствии с физической классификацией ее частей.
3. Функций в соответствии с тем, каковы функции элементов системы, какие цели они должны выполнять, частями каких целей более высокого порядка являются эти цели (ведущие к общей цели системы).
4. Целей, заложенных в ее структуру, с точки зрения перспективы внешней среды (большой окружающей системы), для которой она представляет собой подсистему [133, 134].

Формирование иерархии СУСЭА реализуется в рамках на базовых принципах программного-целевого подхода [79,62]:

- 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 2.2 представлена декомпозиция иерархии СУСЭА, основанная на принципах программного-целевого подхода.

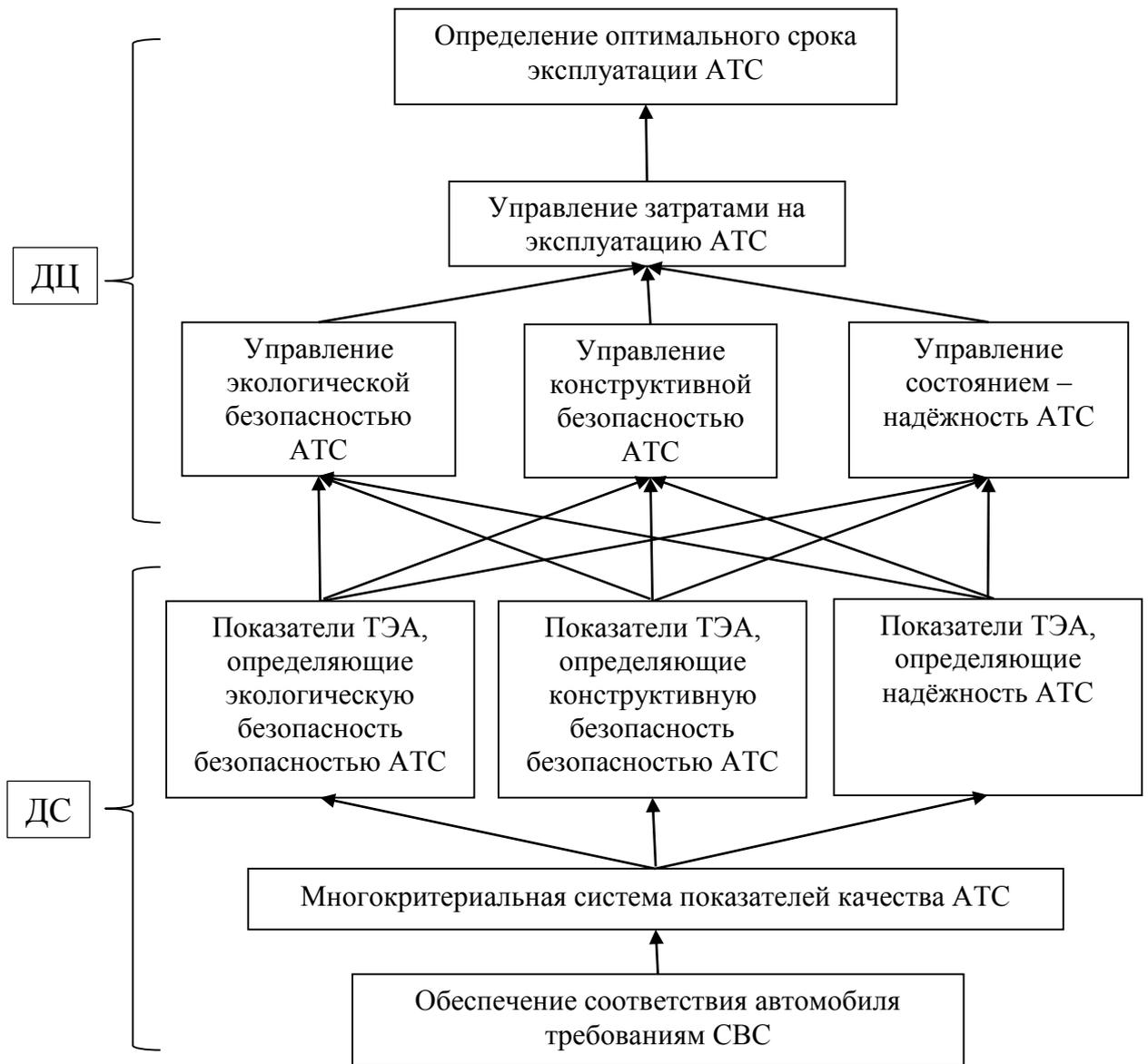


Рисунок 2.2 - Декомпозиция иерархии структуры СУСЭА

В рамках одной схемы трудно сгруппировать все компоненты этой сложной системы, поэтому на схеме иерархии СУСЭА не приведены единичные показатели по отдельным критериям качества. Границы данной системы определяются большим количеством факторов СВС, а, следовательно, большой размерностью и порядком решаемых задач. Предполагаемое практическое применение исследования ограничивает рамки системы управлением сроком эксплуатации автомобиля, регулирующей продолжительность ЖЦА на стадии его ТЭА.

Выбор входных и выходных потоков, уровень их агрегирования и математическое моделирование аппарата управления в системе должен согласовываться с целью исследования [7, 16]. Поэтому аналитическая модель СУСЭА должна формализоваться так, чтобы входные и выходные потоки на ее границах были элементарными, а критерии, используемые при установлении границ системы, идентифицированы и обоснованы областью применения данного исследования. **Принципиальным отличием представленной иерархии в функциях СУСЭА является, вынесение на один уровень с традиционным комплексным критерием качества автомобиля – надёжность таких критериев, как экологическая безопасность и конструктивная безопасность эксплуатации автомобиля.** При этом количество уровней иерархии остаётся неизменным (гибкость системы остаётся неизменной), но для сохранения исходных параметров управления системы формируется многокритериальная задача, требующая аналитического решения. В качестве обратной связи в СУСЭА принимается продолжительность эксплуатации автомобиля или его пробег от момента ввода в эксплуатацию до списания. Установление о значения данного измерителя является функцией процесса оптимизации, при соблюдении требуемых значений показателей качества.

В конечном итоге результат решения данной задачи влияет на энергетические и материальные затраты в комплексе систем «производство-эксплуатация-утилизация» автомобиля. Общая схема связей в комплексе систем «производство-эксплуатация-утилизация» автомобиля с учётом СУСЭА приведена на рисунке 2.3. Краткая характеристика переходов между этапами ЖЦА:

1. Этап 1 – Разработка конструкции автомобиля: проектные решения по конструкции автомобиля, установление критериев его качества и предполагаемого срока эксплуатации, определение способов утилизации автомобиля и соответствующий выбор конструкционных и эксплуатационных материалов.
2. Этап 2 – Ввод в эксплуатацию: выбор и приобретение предприятием или частным владельцем автомобиля для коммерческой эксплуатации,

удовлетворяющего критериям качества конструкции и внешней среды эксплуатации: требованиям к техническому состоянию, экологической и конструктивной безопасности и др., планирование срока эксплуатации.

3. Этап 3 – Вывод из эксплуатации с последующей переработкой: списание автомобиля, неудовлетворяющего одному или нескольким критериям качества и/или по большим затратам на эксплуатацию, фиксация срока эксплуатации автомобиля.

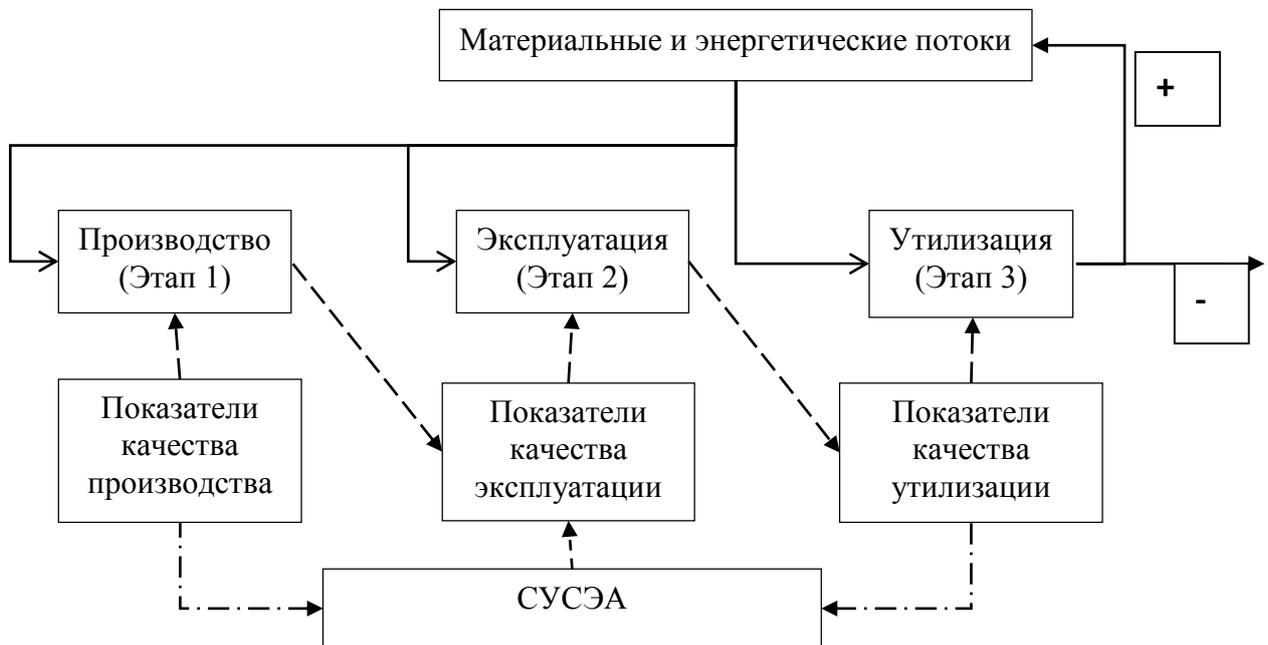


Рисунок 2.3 - Общая схема связей в комплексе «производство-эксплуатация-утилизация» автомобиля

—————> - ресурсное воздействие; - - - - -> - регулирующее воздействие;
 -> - информационные потоки.

Назначение СУСЭА в комплексе систем «производство-эксплуатация-утилизация» автомобиля как подсистемы ТЭА это: формирование информационной базы по конструкции автомобиля, планируемому сроку эксплуатации и способам его переработки; выработка рекомендаций по обеспечению требуемых критериев качества на этапе эксплуатации автомобиля, корректирование и фиксирование оптимальных сроков эксплуатации автомобиля.

2.2 Методология оценки качества автомобиля

Управление любым процессом, основанное на информации о состоянии системы и направленное на эффективность принятия решений, должно опираться на знание и количественную оценку основных закономерностей, связанных с формированием понятия качества объекта управления во времени, а также факторов показателей, влияющих на реализацию данного качества. Количественная оценка исследуемых закономерностей отражается общим понятием эффективность, вычисляемой по одному или нескольким показателям (критериям эффективности) [95]. Для оптимизации функционирования СУСЭА необходимо правильно выбрать критерий или критерии (в случае многокритериального подхода) её эффективности. Это ответственный этап, так как неправильный выбор критериев может привести к выработке совершенно неверных рекомендаций по использованию результатов исследования. В связи с этим обоснованию принимаемого показателя эффективности должно уделяться крайне серьезное внимание, а при выборе его следует исходить, по меньшей мере, из следующих соображений: он должен отражать основную цель задачи и выражаться количественно [126].

В наиболее общем представлении значение качества, как внешнее проявление любого явления, процесса или объекта, может определяться практически бесконечным числом, состоящим из отдельных элементарных свойств [95, 104]. В таком понимании найти количественную оценку качества практически невозможно. Однако, если подразумевать под качеством полезность, необходимость и способность удовлетворять ту или иную внутреннюю потребность и при этом соответствовать требованиям внешней среды, вопрос оценки существенно упрощается. До середины прошлого века полезность автомобиля рассматривалась с точки зрения удовлетворения потребностей его владельца, игнорируя интересы общества и необходимость обеспечения требований среды эксплуатации. Современное этап развития цивилизации,

характеризующийся агрессивным внедрением достижений науки и техники в практику эксплуатации автомобиля, заставляет переосмысливать понятие его полезности с учётом возможности реализации тех или иных свойств автомобиля в условиях внешней среды. Выше уже упоминалось о том, что до 50-х годов прошлого века никто не обращал внимания на экологическую и в меньшей степени, чем сегодня, учитывалась конструктивная опасность автомобиля. Сегодня требования среды эксплуатации автомобиля, должны учитываться при формировании структуры качества автомобилей, как на этапе конструкторской его разработки, так и в процессе эксплуатации и последующей его утилизации. Соответственно свойства автомобиля, входящие в состав её качества, должны практически реализовываться (соотносится) в соответствии с изменяемыми параметрами среды эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла автомобиля.

Традиционно в РФ для оценки уровня качества вся промышленная продукция классифицируется как объект исследования на два класса (продукция, расходуемая при использовании, и продукция, расходуемая свой ресурс) и пять групп, характеризующихся ограниченной совокупностью видов определяющих показателей [92,95]. Автомобили в соответствии с данной классификацией относятся к пятой группе – ремонтируемые изделия. В данной группе размещены 15 групп показателей качества продукции [25]. В [34], приводится значительный перечень показателей качества легковых автомобилей. Заметим, что в отдельные группы показателей выделены такие группы показателей, как: показатели безопасности и показатели влияния на окружающую среду. Актуальность данного подхода подтверждается возрастающим количеством исследований и публикаций по этой теме. В [67] приводится методика оценки качества автомобиля по отдельным группам показателей, при этом производится классификация параметров, обеспечивающих выбор и классификацию грузовых автомобилей, содержащая 22 пункта. В [97] обязательные требования к безопасности автомобиля в эксплуатации классифицируются по пяти частным эксплуатационным свойствам безопасности (рисунок 1.7). При этом отмечается следующее: «при эксплуатации объективно

необходимы несколько систем эксплуатационных требований к безопасности к АТС, каждая из которых «привязана» к определенным технологическим возможностям и условиям проверок...» [97]. Таким образом определяется возможность принятия независимого решения о целесообразности эксплуатации АТС по отдельным частным эксплуатационным свойствам. Представим укрупнённо группы показателей, выделяемые в перечисленных материалах и определяющие качество автомобиля на определённых этапах ЖЦА (рис. 2.4).

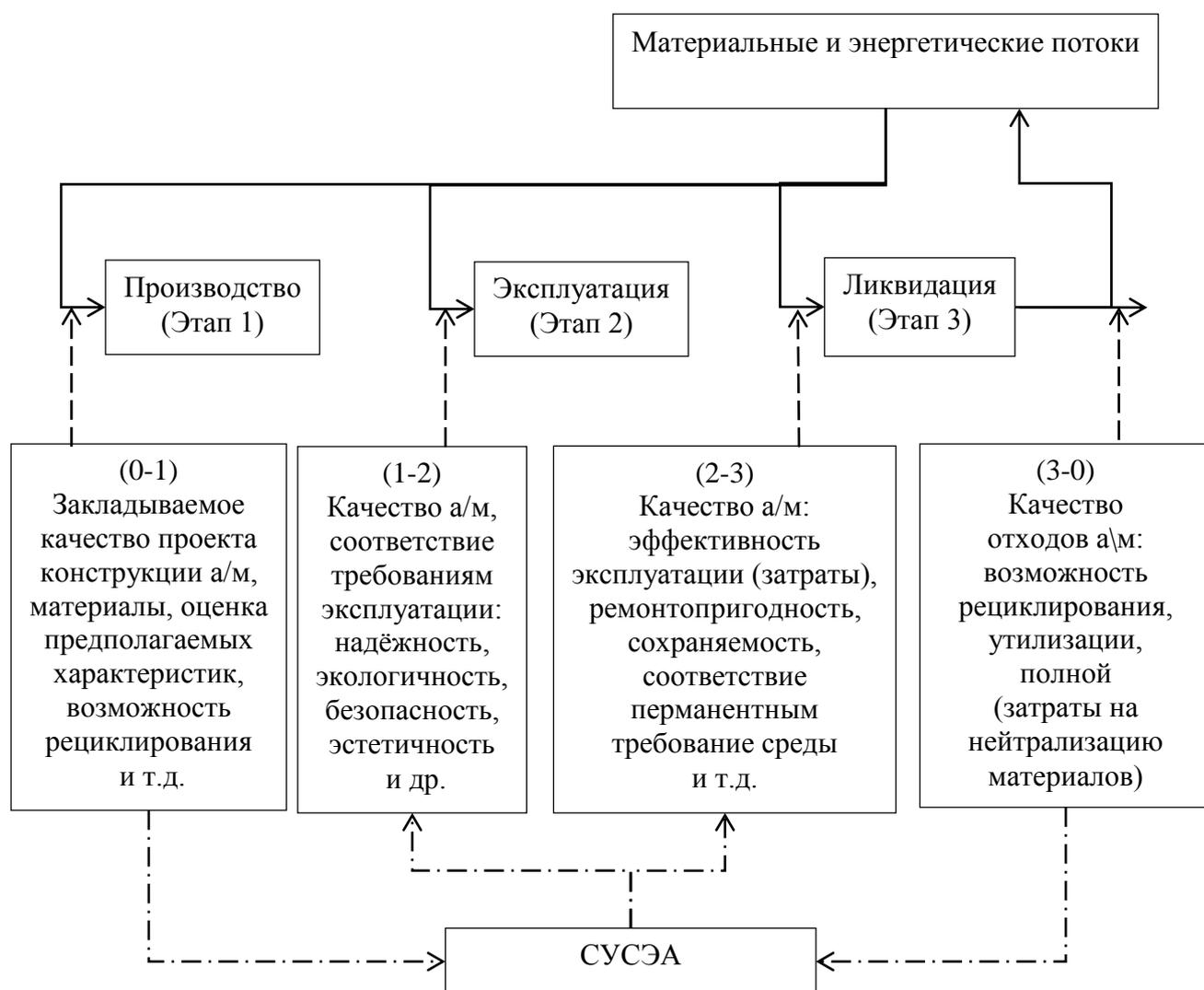


Рисунок 2.4 - Основные группы показателей, определяющие качество автомобиля на основных этапах ЖЦА

В ТЭА в основе оценки качества автомобиля находится комплексная характеристика изделия - надёжность, отражаемая в ряде свойств, основные из которых: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, обслуживаемость и сохраняемость [20,80,100]. Изменение состояние качества автомобиля описывается зависимостью [126]:

$$P_k(t) = P_{k1} \cdot e^{-k(t-1)}, \quad (2.1)$$

где $P_k(t)$ и P_{k1} – качества на t -ом и первом году эксплуатации;

k – коэффициент, определяющий интенсивность изменения показателей качества во времени (пробегу);

t – продолжительность эксплуатации, годы

Естественно, что абсолютное большинство свойств автомобиля ухудшается по мере его старения, что влияет на показатели качества не только конкретного автомобиля, но и вышестоящей системы – автомобильного парка. При этом, по мере продвижения изделия-автомобиля в комплексе «производство-эксплуатация-утилизация» (по мере старения), интенсивность изменения показателей качества является нестабильным процессом во времени. Может происходить утрата и возобновление свойств автомобиля, могут изменяться критерии при переходе автомобиля из одного состояния в другое. Поэтому, как правило, качество автомобиля на протяжении срока эксплуатации автомобиля усредняется в виде реализуемого показателя качества [79, 80].

$$\bar{P}_k(t) = \frac{P_{k1} \cdot e^k}{t} \sum_{t=1}^t e^{-kt}. \quad (2.2)$$

Реализуемый показатель качества для автомобиля – это среднее значение показателя качества за определенный период его эксплуатации. При формировании понятия реализуемого качества для группы автомобилей определяется возрастная

структура парка (на предприятии или в регионе). В реальном парке АТП, как правило, имеются автомобили разных возрастных групп, то есть парк имеет определённую возрастную структуру. Под возрастной структурой автомобильного парка понимается количественное или процентное распределение автомобильного парка по возрастным группам. Доля (или %) автомобилей данной возрастной группы в парке в момент времени t определяется по формуле [80]:

$$a_{tk} = \frac{A_{tk}}{A_t} \text{ при } \sum_{k=1}^t a_{tk} = 1 \quad (2.2)$$

где A_{tk} – число автомобилей k -й возрастной группы в момент t ;

A_t – размер парка в момент t , являющийся календарным временем существования парка автомобилей данной модели, исчисляемых в годах (месяцах) или эквивалентных километрах пробега.

С учётом возрастной структуры реализуемый показатель качества для парка $\bar{\Pi}_t$ в момент времени t

$$\bar{\Pi}_t = \sum_{k=1}^{k=l_{cn}} \Pi_k a_{tk} \quad (2.3)$$

Следовательно, при определённых значениях Π_k и $k = l_{cn} = const$ реализуемый показатель качества для автомобиля постоянен, то есть

$$\bar{\Pi} = \frac{\sum_{k=1}^{l_{cn}} \Pi_k}{l_{cn}} = const, \quad (2.4)$$

а для парка $\bar{\Pi} = const$ только в конкретный момент времени t и зависит от его возрастной структуры, т.е. распределения a_{tk} в момент $l = t$, которое для реальных парков не постоянно, и в общем случае $\bar{\Pi}_t = const$.

Изменение показателя качества для автомобиля представлено на рисунке 2.5 [177].

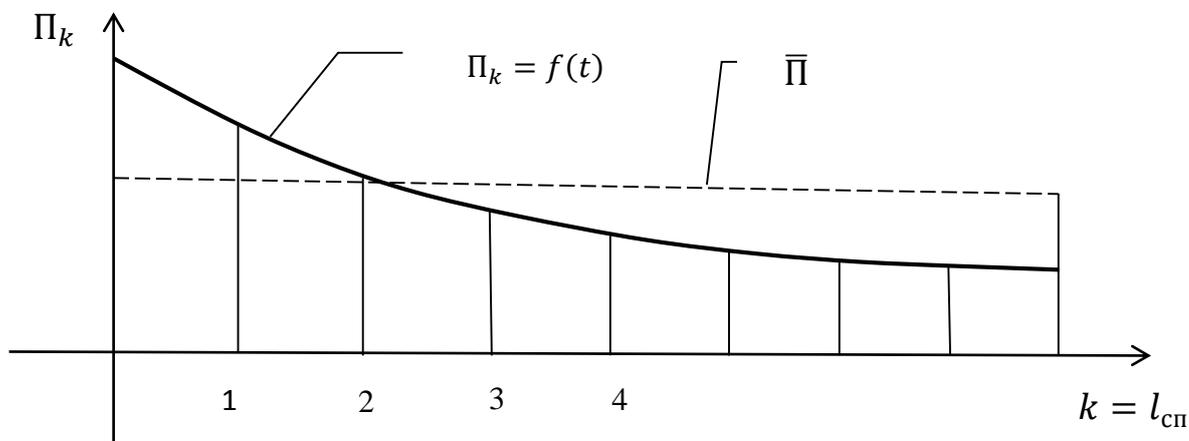


Рисунок 2.5 - Изменение показателя качества автомобиля во времени

Таким образом, реализуемый показатель качества в значительной степени зависит от возрастной структуры парка. Под управлением возрастной структурой парка понимаются целенаправленные воздействия, которые обеспечивают получение в нужный момент времени t заданных показателей качества автомобильного парка \bar{P}_t . Перечислим основные факторы, влияющие на формирование возрастной структуры парка автомобилей: распределение парка по возрастным группам j в начальный момент $t = 1$ ($a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1j}$); количество вводимых в эксплуатацию автомобилей $A_{пт}$ в моменты $t = 1; 2; 3 \dots n$; количество списания автомобилей $A_{спт}$; срок эксплуатации автомобиля до списания $l_{сп}$. Сокращение общей продолжительности производства одной модели и срока эксплуатации этих автомобилей способствует не только омоложению парка и повышению производительности работы, но и создает предпосылку для замены автомобилей на соответствующие уровню производства и требованиям среды эксплуатации. Функциями управления возрастной структурой парка автомобилей является:

1. Определение оптимальных сроков эксплуатации автомобилей, соответствующих регулированию амортизационных отчислений.

2. Организация вывода из эксплуатации и ввода в эксплуатацию новых автомобилей, обеспечивающих реализацию для парка рациональных условий функционирования. При изменении сроков службы автомобилей изменяются эксплуатационные затраты и капиталовложения, затраты на ТО и Р, потребность в персонале и ПТБ, потребность в запасные частях.
3. Регулирование пропорции списания и соотношения в парке автомобилей разных возрастных групп при необходимом обеспечении заданного (или договорного) для предприятия объема транспортной работы при минимальных затратах [79].

Исходные значения показателей качества, реализуемые в процессе работы автомобилей, закладываются при производстве автомобилей и с учетом требований условий эксплуатации. Интенсивность их изменения определяется проектируемыми параметрами при производстве, а также в немалой степени состоянием среды эксплуатации автомобилей. СВС эксплуатации автомобилей влияет на интенсивность изменения показателей качества посредством многочисленных факторов, определяемых: методами ТО и ремонта, качеством ТО и ремонта, применяемых эксплуатационных материалов, стилем вождения автомобилей и т.д.

Общая оценка изменения параметров автомобиля неоднократно рассматривалась в научных исследованиях. Согласно [47] в основе модели логистической или *s-образной* кривой изменения конкретных параметров автомобиля лежит изменение состояния в начальный период по экспоненте, а затем замедление темпов по мере приближения к пределу.

$$\Pi = \frac{\Pi_{\text{п}}}{1 + ae^{-\beta t}}, \quad (2.5)$$

где Π – значение параметра в момент времени t ; $\Pi_{\text{п}}$ – предельное значение параметра, a и β коэффициенты.

В теоретических исследованиях [57, 96, 99] показано, что отдельные важнейшие свойства автомобиля, например, экономичность, производительность, надёжность изменяются во времени эксплуатации по экспоненциальному закону.

$$\Pi(t) = \Pi_0 \cdot e^{-\beta t}, \quad (2.6)$$

где Π_0 – значение показателя в начале эксплуатации; β – коэффициент, характеризующий изменение Π по времени эксплуатации автомобиля.

Действие большинства ресурсных и технологических факторов подчиняется этому закону. Достаточно строгое математическое обоснование «затухания эффекта» может быть получено с использованием «марковских» процессов и их свойств [183]. **Важно подчеркнуть, что характер нестабильности во времени основных свойства автомобиля определяется не только разнородностью групп показателей технико-эксплуатационных свойств автомобиля, но различной интенсивностью их изменения в зависимости от пробега или срока эксплуатации автомобиля.** В настоящее время, как правило, усредняется темп изменения отдельных групп показателей качества, как для отдельного автомобиля, так и для их совокупности. Согласно данным в [80] по интенсивности изменения комплексные и единичные показатели делятся на три основные группы:

1. Имеющие незначительный темп изменения (от 0,9 до 1,1): затраты на эксплуатационные материалы; коэффициент выпуска; удельные простои в ТО и ремонте.
2. Имеющие значительный темп изменения (от 1,5 до 5,0): показатели надёжности, а также показатели, характеризующие производительность автомобиля.
3. Имеющие темп, приводящий к изменению показателя в пределах близких или превосходящих порядок по отношению к начальному значению (от 7 до 20 и более): удельная трудоёмкость ТР, расход запасных частей и заменяемых деталей и их общая стоимость.

К первой группе относятся показатели, обеспечивающие такие параметры эффективности эксплуатации автомобиля: коэффициент технической готовности, коэффициент выпуска, удельный простой в ТО и ремонте.

Ко второй группе относятся показатели, характеризующие надёжность узлов и агрегатов автомобиля и, таким образом, обеспечивающие производительность и техническую безопасность эксплуатации автомобиля.

Третья группа показателей характеризует в основном существо качественных изменений, происходящих при старении изделия (стоимость заменяемых деталей, расход запасных частей). Данная группа показателей в большей степени отвечает за экологическую безопасность и конструктивную безопасность автомобиля при ужесточении требований среды эксплуатации автомобилей. Тем не менее, в настоящее время, рассматривается и принимается к расчётам средний темп изменения реализуемого показателя качества автомобиля. Реализуемый показатель качества автомобиля на i – том интервале пробега или срока эксплуатации определяется, как [80]:

$$\bar{P}_{ki} = \frac{P_{k1}(1 + \sum_{i=1}^n K_{cp}^{i-1})}{i}, \quad (2.7)$$

где P_{k1} – начальное значение показателя качества; K_{cp}^{i-1} – средний темп изменения показателя качества автомобиля; i – год отсчёта или номер интервала пробега.

В [59,79] предлагается в качестве показателя качества автомобиля обобщённый показатель надёжности, представляющий собой отношение удельной трудоёмкости устранения отказов и неисправностей к ресурсу автомобиля до КР.

$$Q = \frac{k_{\Sigma}}{L_K} \cdot \frac{\bar{t}}{\bar{x}} = k_{\Sigma} \cdot \frac{b_{TP}}{L_K}, \quad (2.8)$$

где k_{Σ} - общий коэффициент корректирования, учитывающий тип автомобиля и условия эксплуатации; L_K - ресурс до капитального ремонта; \bar{t} – средняя трудоёмкость устранения отказа или неисправности; \bar{x} – средняя наработка на отказ или неисправность; b_{TP} - удельная трудоёмкость TP.

Для отражения достаточно большую совокупности факторов, действующих при эксплуатации автомобиля, применяются комплексные показатели надёжности коэффициент готовности (КГ) и коэффициент технического использования (КТИ). КГ определяется как вероятность того, что автомобиль окажется работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение автомобиля по назначению не предусматривается. Если оценивать надёжность автомобиля на определённом интервале эксплуатации, то показатель является средней величиной на данном интервале. Поэтому при его нормировании необходимо указывать интервал эксплуатации автомобиля:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{i=1}^N \tau_i}, \quad (2.9)$$

где t_i – суммарная наработка i -го отказа в заданном интервале эксплуатации; τ_i – суммарная оперативная продолжительность восстановления работоспособности автомобиля в том же интервале эксплуатации; N – число наблюдаемых автомобилей на заданном интервале эксплуатации.

Как правило, в качестве интервала эксплуатации автомобиля принимается величина пробега до КР, тогда коэффициент готовности определяется по формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{КР}}}{T_{\text{КР}} + \tau_{\text{В}}^{\Sigma}}, \quad (2.10)$$

где $T_{\text{КР}}$ – средний ресурс до капитального ремонта; $\tau_{\text{В}}^{\Sigma}$ – средняя суммарная продолжительность восстановления работоспособности автомобиля после отказав за период до капитального ремонта.

У приведённых выше подходов есть два существенных недостатка, а именно:

- 1) усреднённость при учёте трёх основных групп показателей автомобиля (по интенсивности изменений), отвечающих за его качество на различных сроках эксплуатации автомобиля.

- 2) сложность применения данных показателей качества для оценки качества автомобиля из-за того, что в настоящее время практически не производится полнокомплектный КР отечественных автомобилей, а в регламентах автомобилей зарубежного производства пробег до КР, как показатель не предусматривается.

Наиболее обоснованным для достижения целей исследования можно признать применение в качестве комплексного показателя качества, показатель, базирующийся на КТИ автомобиля, так как период оценки КТИ может не соответствовать периоду наработки автомобиля до КР. КТИ определяется как отношение математического ожидания суммарного времени пребывания автомобиля в работоспособном состоянии за период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания автомобиля в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных ТО и ремонтом за тот же период [36].

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j}, \quad (2.11)$$

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.

В [129] дана оригинальная трактовка КТИ, как коэффициента готовности, развёрнутого во времени. КТИ за календарный период времени с учётом дерева всех возможных состояний автомобиля в процессе его эксплуатации приведён на рис. 2.6.

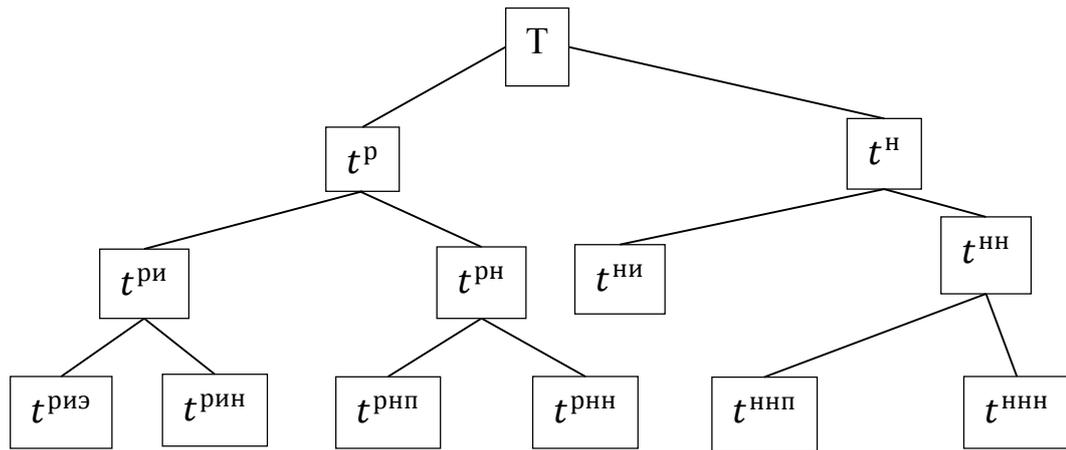


Рисунок 2.6 - Дерево возможных состояний автомобиля в процессе его эксплуатации [129]:

T – календарная продолжительность планируемого технического обслуживания автомобиля;

t^P – рабочее время (планируемое время пребывания на линии);

t^H – нерабочее время (планируемое межсменное время);

t^{PH} – период пребывания автомобиля в исправном состоянии в рабочее время;

t^{PH} – период пребывания автомобиля в неисправном состоянии в рабочее время;

t^{HH} – период пребывания автомобиля в исправном состоянии в нерабочее время;

t^{HH} – период пребывания автомобиля в неисправном состоянии в нерабочее время;

$t^{PHЭ}$ – промежуток рабочего времени, когда автомобиль в исправном состоянии и эксплуатируется;

$t^{PHН}$ – промежуток рабочего времени, когда автомобиль в исправном состоянии, но не эксплуатируется;

$t^{PHНП}$ – период рабочего времени, когда автомобиль находится в плановом ТО и ремонте;

$t^{PHНН}$ – период рабочего времени, когда автомобиль находится в не плановом ТО и ремонте;

$t^{HHП}$ – период нерабочего времени, когда автомобиль находится в плановом ТО и ремонте;

$t^{HHНН}$ – период нерабочего времени, когда автомобиль находится в не плановом ТО и ремонте.

В соответствии с данным подходом КТИ за календарный период времени определяется по формуле:

$$k^{\text{ТИ}} = \frac{t^{\text{ДИ}} + t^{\text{НИ}}}{t^{\text{П}} + t^{\text{Н}}}. \quad (2.12)$$

или

$$k^{\text{ТИ}} = k^{\text{ПП}} \cdot k^{\Gamma}, \quad (2.13)$$

где $k^{\text{ПП}}$ – коэффициент планируемого применения автомобиля, k^{Γ} – коэффициент готовности автомобиля

Тогда изменение $k^{\text{ТИ}}$ (КТИ) в процессе эксплуатации автомобиля описывается выражением:

$$k^{\text{ТИ}}(t) = k_0^{\text{ТИ}} \cdot e^{-\beta t} \quad (2.14)$$

где $k_0^{\text{ТИ}}$ – значение КТИ в начале эксплуатации, β – параметр, характеризующий интенсивность изменения свойств автомобиля

В этом случае значение реализуемого КТИ для автомобиля определяется следующим образом:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}}{t_c}, \quad (2.15)$$

где $k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}$ – сумма КТИ автомобиля за весь период эксплуатации, t_c – период эксплуатации.

Целевые показатели, влияющие на коэффициент планируемого применения автомобилей приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 - Целевые показатели, влияющие на $k^{пп}$

Номер показателя	Наименование показателя
1	Время ожидания и нахождения автомобилей в ЕО
2	Время ожидания и нахождения автомобилей в ТО-1
3	Время ожидания и нахождения автомобилей в ТО-2
4	Время ожидания и нахождения автомобилей в КР (при условии проведения)
5	Время ожидания и нахождения автомобилей в сопутствующем ремонте при ТО-2
6	Время ожидания списания автомобилей
7	Количество автомобилей, участвующих в перевозочном процессе
8	Время проведения ЕО одного автомобиля
9	Количество автомобилей, планируемых на ТО-1
10	Время проведения одного ТО-1
11	Количество автомобилей, планируемых в ТО-2
12	Время проведения ТО-2 одного автомобиля
13	Количество автомобилей, планируемых в КР (при условии проведения)
14	Время ожидания и нахождения в КР одного автомобиля
15	Количество автомобилей, планируемых в сопутствующий ремонт
16	Время ожидания и нахождения в сопутствующем ремонте одного автомобиля
17	Количество автомобилей, планируемых на списание
18	Время ожидания списания для одного автомобиля
19	Планируемый пробег автомобиля
20	Планируемая периодичность проведения ТО-1 одного автомобиля
21	Планируемый регламентный перечень операций для одного ТО-1
22	Планируемое количество ремонтных рабочих, участвующих в проведении ТО-1
23	Планируемая трудоёмкость проведения ТО-1
24	Планируемый пробег автомобиля
25	Планируемая периодичность проведения ТО-1 одного автомобиля
26	Планируемый регламентный перечень операций для одного ТО-1
27	Планируемое количество ремонтных рабочих, участвующих в проведении ТО-1
28	Планируемая трудоёмкость проведения ТО-1

Целевые показатели, влияющие на коэффициент готовности автомобилей приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Целевые показатели, влияющие на k^r

Номер показателя	Наименование показателя
1	Время ожидания и нахождения автомобилей в ТР на линии
2	Время ожидания и нахождения автомобилей в ТР в АТП
3	Простои автомобилей в ожидании запасных частей
4	Простои автомобилей в ожидании эксплуатационных материалов
5	Простои автомобилей из-за отсутствия шин
6	Простои автомобилей из-за отсутствия топлива
7	Прочие простои автомобилей
8	Планируемый пробег автомобилей
9	Планируемая наработка до ТР на линии
10	Планируемая трудоёмкость выполнения операций ТР на линии
11	Планируемый пробег автомобилей
12	Планируемая наработка до ТР в АТП
13	Планируемая трудоёмкость выполнения операций ТР в АТП
14	Планируемые нормативы необходимого количества запасных частей
15	Планируемые нормативы необходимого количества эксплуатационных материалов
16	Планируемые нормативы необходимого количества шин
17	Планируемые нормативы необходимого количества топлива
18	Показатель качества ТР на линии
19	Показатель качества ТР в АТП
20	Показатель качества проведения ТО-1
21	Показатель качества проведения ТО-2
22	Показатель качества проведения сопутствующего ремонта при выполнении ТО-2
23	Показатель качества восстановления деталей, узлов и агрегатов в АТП
24	Показатель качества восстановления деталей, узлов и агрегатов в АРП
25	Показатель качества проведения КР (при условии проведения)
26	Показатель качества исходного автомобиля

Минимальное значение коэффициента технического использования $k_{min}^{ти}$ соответствует моменту времени его списания t^c [129]. Сумма КТИ автомобиля за весь период эксплуатации ($k_{\Sigma}^{ти}$) определяется, как:

$$k_{\Sigma}^{ти} = \int_0^{t^c} e^{-\beta t} dt = \frac{1 - e^{-\beta t^c}}{\beta} \quad (2.16)$$

или

$$k_{\Sigma}^{ти} = \frac{1 - k_{min}^{ти}}{\beta}. \quad (2.17)$$

Следовательно, реализуемый коэффициент технического использования автомобиля определяется, как:

$$\bar{k}^{ти} = \frac{1 - k_{min}^{ти}}{\beta t^c}. \quad (2.18)$$

Для парка автомобилей в момент времени t и с учётом возрастной структуры реализуемый показатель качества:

$$\bar{\Pi}_t = \sum_{t=1}^k \bar{k}_t^{ти} \alpha_t, \quad (2.19)$$

где $\bar{k}_t^{ти}$ – реализуемый КТИ автомобилей t -той возрастной группы;

k – количество возрастных групп;

α_t – доля (или %) автомобилей данной возрастной группы в парке в момент времени t :

$$\alpha_t = \frac{a_t}{A}, \quad (2.20)$$

где a_t – число автомобилей j -й возрастной группы в момент t ;

A – размер парка автомобилей.

Реализуемый КТИ для парка подвижного состава определяется, как:

$$\bar{k}_{\text{АТП}}^{\text{ТИ}} = \frac{\sum_{t=1}^k \bar{k}_t^{\text{ТИ}} \alpha_t}{A}. \quad (2.21)$$

В [128, 129] подробно рассмотрена взаимосвязь комплексных и единичных показателей эксплуатации автомобиля (КТИ, затраты на ТО и ремонт и др.) и динамика их изменений в зависимости от времени с начала эксплуатации автомобиля, но не уделяется достаточного внимания определению динамики изменения $k^{\text{ТИ}}$ в зависимости от пробега с начала его эксплуатации и установление пробега эффективной эксплуатации автомобиля. Однако, пробег автомобиля - это важный показатель, характеризующих динамику изменения качества автомобиля. Его значение непосредственно влияет на величину затрат при эксплуатации автомобиля, определяет возрастную структуру парка автомобилей.

2.3 Разработка математической модели многокритериальной структуры показателей качества автомобиля

Принципы формирования математической модели многокритериальной структуры качества автомобиля в СУСЭА должны отражать основную совокупность современных требований среды его эксплуатации и нивелировать недостатки моделей, применяемых ранее. При определении реализуемого показателя качества автомобиля или парка подвижного состава АТП необходимо рассматривать предельное состояние автомобиля как неспособность выполнять заданные функции, в том числе, и в соответствии с условиями внешней среды эксплуатации. Напомним, что в соответствии с [31], отражать предельное состояние изделия должны три критерия, определяемые следующими положениями:

1. Предельное состояние (limitingstate): состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна по причинам опасности, экономическим или экологическим.
2. Критерий предельного состояния (limitingstatecriterion): признаки предельного состояния, по которым принимают решение о его наступлении.
3. Срок службы (usefullife): продолжительность эксплуатации изделия или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.
4. Ресурс (operatinglife): суммарная наработка изделия в течение срока службы.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что необходимо учитывать в многокритериальной структуре качества СУСЭА несколько критериев, при определении и управлении величиной оптимального срока эксплуатации автомобиля. Введём следующие обозначения для формирования многокритериальной структуры качеств ав СУСЭА:

- 1) $P^{(1)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля конструктивная безопасность эксплуатации;
- 2) $P^{(2)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля экологическая безопасность;
- 3) $P^{(3)}$ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля надёжность;
- 4) $P^{(n)}$ – показатель качества, отражающий n -ое свойство автомобиля.

Учитывая выражение (2.2) многокритериальная структура качества автомобиля определяется следующим образом [149]:

$$\begin{cases} P^{(1)} = P_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ P^{(2)} = P_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ P^{(3)} = P_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (2.22)$$

Характер изменения отдельных показателей качества автомобиля во времени представлен на рисунке 2.7.

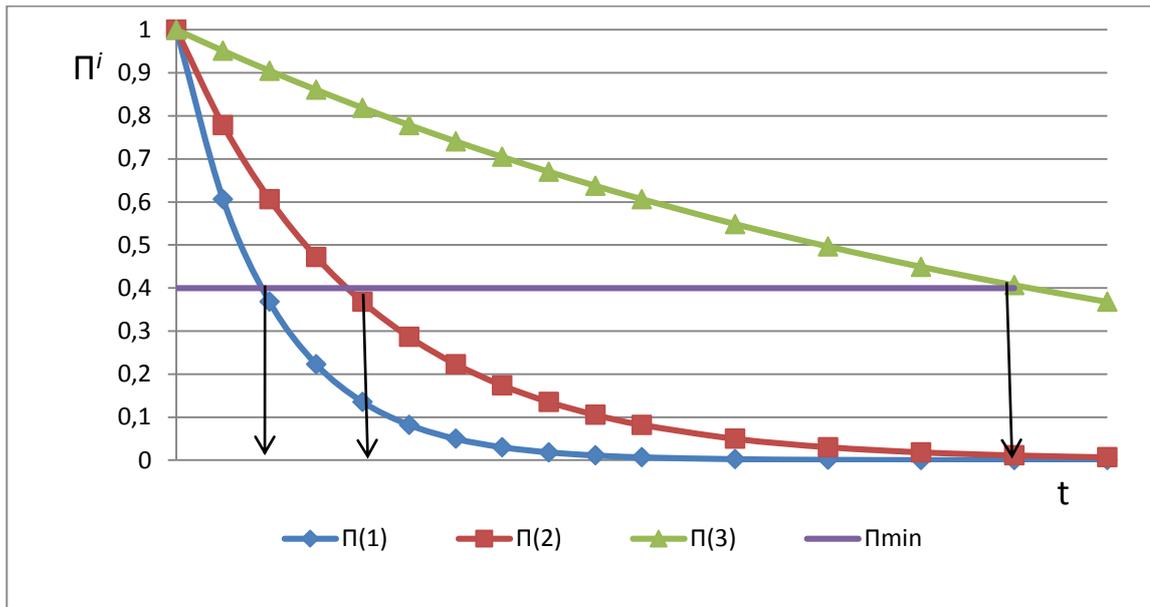


Рисунок 2.7 - Изменение отдельных показателей качества автомобиля во времени

Обеспечение требуемого уровня эффективности автомобиля по всем трём критериям требует определённых технических воздействий. Изменение объёмов этих воздействий отражаются зависимостью КТИ автомобиля от времени эксплуатации автомобиля. Учитывая, что:

$$k^{ти}(t) = k^{ти}(0) \cdot e^{-\beta_1 t}, \quad k^{ти}(0) = 1, \quad (2.23)$$

тогда сформируем следующую структуру оценки качества автомобиля в системе ТЭА по трём основным критериям:

$$\begin{cases} k^{ти}_1(t) = e^{-\beta_1 t} \\ k^{ти}_2(t) = e^{-\beta_2 t} \\ k^{ти}_3(t) = e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (2.24)$$

Коэффициент технического использования автомобиля связан с его пробегом линейной функцией [126]:

$$k^{\text{ти}}(L) = 1 - \alpha L \quad (2.25)$$

где α – параметр, характеризующий изменение коэффициента технического использования в зависимости от пробега автомобиля L .

Тогда структура показателей качеством автомобиля приобретет вид:

$$\begin{cases} k^{\text{ти}}_1(L) = 1 - \alpha_1 L \\ k^{\text{ти}}_2(L) = 1 - \alpha_2 L \\ k^{\text{ти}}_3(L) = 1 - \alpha_3 L \end{cases} \quad (2.26)$$

Рассмотрим динамику изменения затрат на ТО и ремонт в зависимости от времени эксплуатации. Согласно [126], затраты на ТО и ремонт экспоненциально возрастают и существует аналитическая связь между затратами суммарными, связанными с технической эксплуатацией автомобиля в момент списания ($R_{\text{то и тр}}$) и коэффициентом технического использования ($k^{\text{ти}}$). Соответственно:

$$R(t) = R_0 e^{\beta t}, \quad (2.27)$$

где R_0 – затраты на ТО и ТР нового автомобиля, руб/1000 км

$$R_c = \frac{R_0 l_c}{k_{\text{ти}}^{\text{мин}}}, \quad (2.28)$$

где R_c – затраты на ТО и ТР, которые будут к моменту списания l_c , руб/1000 км;

Представим систему для определения затрат на поддержание необходимых нормативных показателей в процессе эксплуатации автомобиля по трём отдельным критериям.

$$\begin{cases} R_1(t) = R_0^{(1)} e^{\beta_1 t} \\ R_2(t) = R_0^{(2)} e^{\beta_2 t} \\ R_3(t) = R_0^{(3)} e^{\beta_3 t} \end{cases} \quad (2.29)$$

где $R_0^{(1)}, R_0^{(2)}, R_0^{(3)}$ – затраты по вводу в эксплуатацию нового автомобиля по отдельным критериям соответственно, руб./1000 км;

$R_1(t)$ – затраты на ТО и ТР автомобиля по критерию конструктивная безопасность автомобиля, руб./1000 км;

$R_2(t)$ – затраты на ТО и ТР по критерию экологическая безопасность в процессе эксплуатации, руб./1000 км;

$R_3(t)$ – затраты на ТО и ТР по критерию надёжность в процессе эксплуатации, руб./1000 км.

Проиллюстрируем изменения в трёхкритериальной структуре КТИ в зависимости от пробега с начала эксплуатации автомобиля (рисунок 2.8).

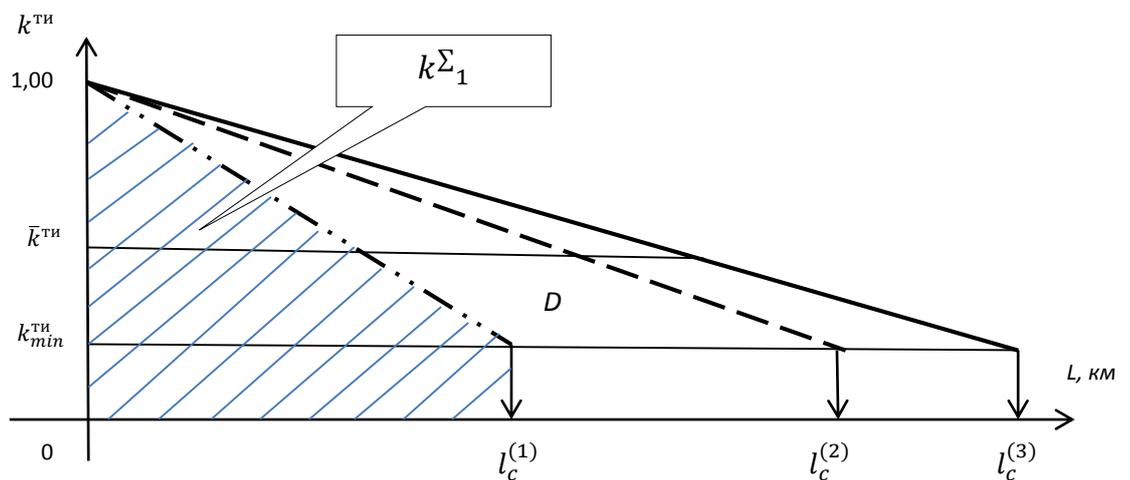


Рисунок 2.8 - Трёхкритериальная структура показателей качества эксплуатации автомобиля

На основании анализа рисунка 2.8 не требует доказательства утверждение:

$$\frac{k^{\Sigma_i}}{\left(\frac{k_{\min}^{\text{TP}}+1}{2} \cdot l_c^{(i)}\right)} = \text{Const}, i = 1,2,3 \quad (2.30)$$

Тогда можно выполнить нормирование значений пробега автомобиля с начала эксплуатации до его списания, определяемых по отдельным критериями:

$$\delta_1 = \frac{l_c^{(1)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}, \delta_2 = \frac{l_c^{(2)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}, \delta_3 = \frac{l_c^{(3)}}{l_c^{(1)}+l_c^{(2)}+l_c^{(3)}}. \quad (2.31)$$

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_{33}	δ_{33}	...	δ_{3n}
...
A_m	δ_{m1}	δ_{m2}	δ_{m3}	...	δ_{mn}

Аналогичным образом (рисунок 2.9) осуществляется оценка эффективности эксплуатации автомобиля с учётом затрат, связанных с технической эксплуатацией $R_{\text{ТО и ТР}}$ (затраты на ТО и ТР).

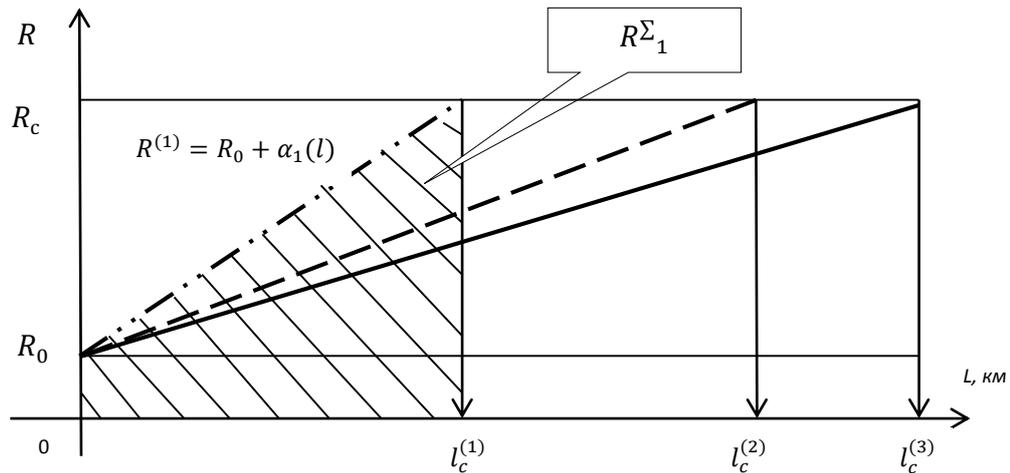


Рисунок 2.9 - Трёхкритериальная структура затрат при эксплуатации автомобиля

Приведём матрицу значений возможных затрат на эксплуатацию 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 автомобиля 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.

Тогда схема интеграции СУСЭА в комплекс ЖЦА можно быть представлена в следующем виде (рисунок 2.10).

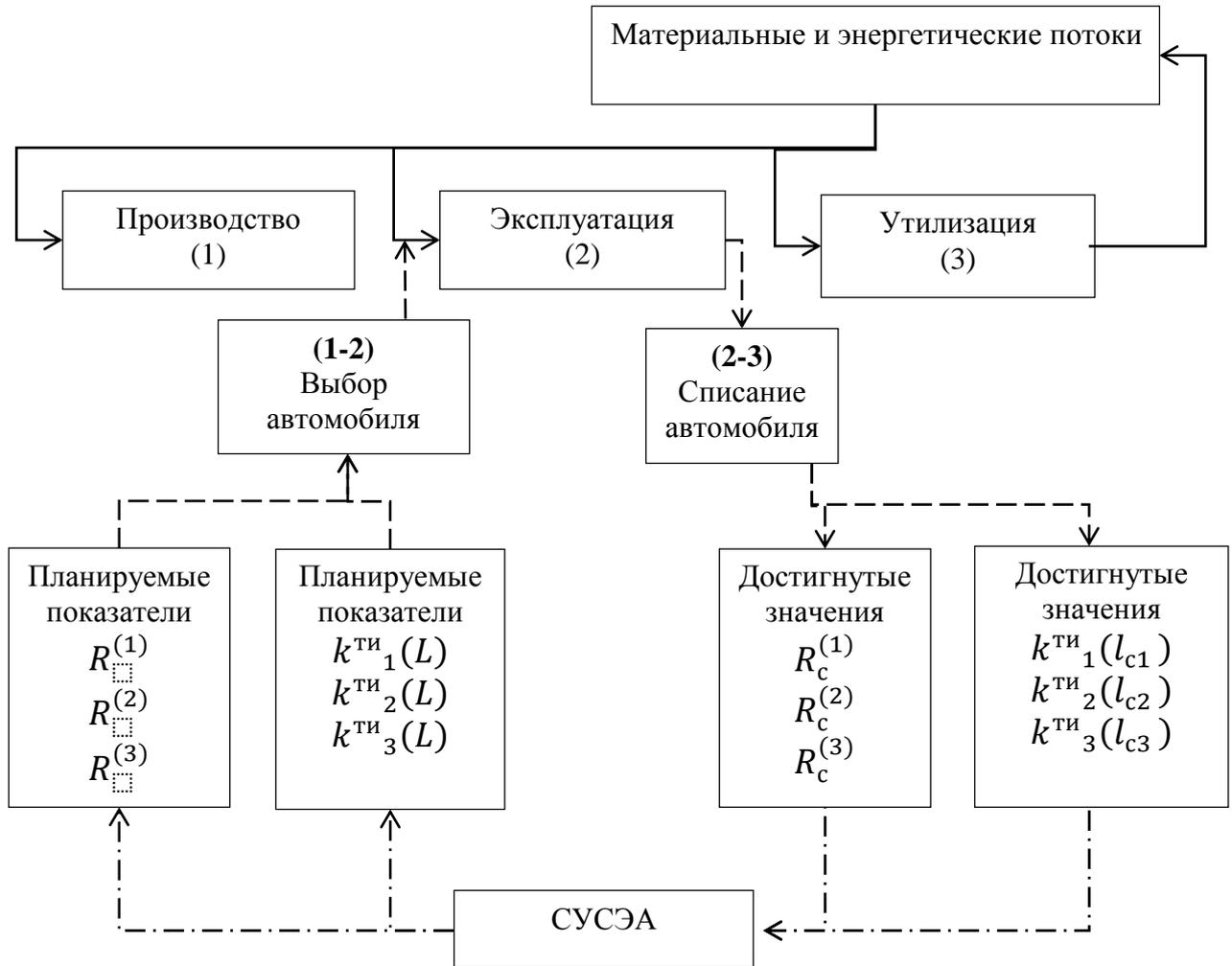


Рисунок 2.10 - Схема интеграции СУСЭА в комплекс ЖЦА

В СУСЭА процесс принятия решений определяется как выбор варианта из нескольких возможных альтернатив и формируется из нескольких этапов:

- 1) сбор и обработка и анализ информации о состоянии системы: $R^{(i)}$, $k^{ти}_i(L)$;
- 2) формализация цели – снижение затрат в количественных оценках на эксплуатацию автомобиля: $\sum_i^n R_i \rightarrow \min$;
- 3) постановка задачи – определение оптимального срока эксплуатации автомобиля l_c , R_c и приоритета параметров оптимизации для достижения цели;

- 4) оценка альтернативных вариантов решений и выбор рационального на основании ряда определённых критериев $\Pi^{(i)}$;
- 5) разработка аналитических методов решения поставленных задач;
- 6) сравнение достигнутых результатов с определяемыми в соответствии с поставленными целями $R_c^{(i)}, k_{ти}^{(i)}(l_c)$;
- 7) корректирование состояния системы (реализация обратной связи) на основании достигнутых результатов $\hat{R}^{(i)}, \hat{k}_{ти}^{(i)}(L)$.

Все этапы принятия решения являются ответственными, но к наиболее сложным относятся: разработки методов, позволяющих получить оптимальные решения в соответствии с условиями поставленных задач и учётом состояний внешней среды (СВС) эксплуатации автомобиля.

2.4 Анализ природы факторов взаимодействия системы управления сроком эксплуатации автомобилей с внешней средой

Методология системного подхода подразумевает исследование взаимодействие СУСЭА с внешней средой, изменение которой влияет на параметры системы ТЭА, то есть определить характер факторов СВС автомобиля. Эффективность системы в целом повышается за счёт последовательного ряда производимых операций, обоснованных с помощью ряда математических и экономико-математических методов. В каждом случае разработки методов, обеспечивающих общую или локальную эффективность системы или её элементов, приходится работать с тремя группами факторов [17,18].

- 1) группа заданных факторов;
- 2) группа управляемых факторов;
- 3) группа факторов, относимых к неопределённым (неизвестным) условиям.

Наиболее сложным и приближённым к реальности является третий случай. Природа неопределённости этих переменных (факторов) может быть различной.

Обычно неопределённые переменные делятся на две группы: случайные переменные и неопределённые переменные нестохастической природы. Если распределение случайной переменной известно, в этом случае говорят, что переменная статистически определена. Случайные переменные с неизвестными распределениями делят на два вида: с известными параметрами распределения и неизвестными параметрами (рисунок 2.11). При исследовании со случайными факторами широко используются вероятностно-статистические методы.

Неопределённые факторы не стохастической природы можно условно разделить на две подгруппы:

- 1) с известными функциями принадлежности (функция принадлежности задаёт некоторое подмножество общей допустимой области изменения фактора, отражающей степень неопределённости);
- 2) с неизвестными функциями принадлежности.



Рисунок 2.11 - Схема ситуаций взаимодействия СУСЭА и внешней среды

Последние случаи обладает наибольшей степенью неопределённости. Обычно к ним применяют процедуру экспертного оценивания диапазонов изменения их значений. Неопределённость этого типа называют «природой» [4,18,47,108]. Наличие неопределённости данного типа в СУСЭА объясняется следующими положениями:

1. **Нечётко выраженная 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 изученностью 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. **Наличием 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 (например, внедрение стандартов Евро-6 в странах Евросоюза и т.д.).

Наличие в исследованиях ряда ситуаций, обладающих той или иной степенью неопределённости, требует для своего описания привлечения определённого математического аппарата, который априори включал бы в себя вероятность появления неопределённости. В настоящее время таким аппаратом могут служить; теория вероятностей; теория игр (используется для описания неопределённости, порождаемой конфликтом и антагонистическими интересами

«игроков»); теория статистических решений (описываются игры с пассивной средой или «природой», поведение которых характеризуется случайными величинами с известными или неизвестными законами распределения); теория расплывчатых (размытых) множеств.

В [79] приведена следующая классификация методов принятия решений (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 - Классификация методов принятия решений

В соответствии приведённой схемой методы принятия решений в СУСЭА:

- 1) по ситуации принятия решений – стандартные;
- 2) по характеру информации – принимаемые в условиях неопределённости;
- 3) по аппарату принятия решения – расчётно-аналитические.

Для применения того или иного математического аппарата необходимо классифицировать возможные степени градации неопределённости или

классифицировать информационные ситуации I_i . Вся исходную информацию (количественные данные и др.) можно представить в виде множества $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ взаимоисключающих СВС - C своих состояний Q . Под информационной ситуацией понимается определённая степень деградации неопределённости выбора средой C своих состояний [50,89,119]. В качестве основных можно выделить следующие информационные ситуации:

1. I_1 – первая информационная ситуация характеризуется заданным распределением априорных вероятностей P_j на элементах q_j множества Q (в дискретной форме):

$$P_j = P\{Q = q_j\}, \sum_{j=1}^n P_j = 1 \quad (2.32)$$

2. I_2 – вторая информационная ситуация характеризуется заданным распределением априорных вероятностей P_j с неизвестными параметрами на элементах q_j множества Q :

$$P(w) = \{P_1(w), P_2(w) \dots, P_n(w)\}, 0 \leq P_j(w) \leq 1, \quad (2.33)$$

где w – неопределённый параметр из параметрического множества Q .

3. I_3 – третья информационная ситуация характеризуется заданной системой предпочтений на априорных вероятностях P_j распределения множества Q . Упорядочение состояний среды $q_j \in Q$ предполагает введение отношений порядка для компонентов $P = \{P_1, P_2 \dots, P_n\}$. Например, простое отношение порядка $q_1 > q_2 > \dots > q_n$ определяется заданием неравенства:

$$P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_n \geq 0. \quad (2.34)$$

4. I_4 – четвёртая информационная ситуация характеризуется неизвестным распределением вероятностей P_j на элементах q_j из множества Q , с одной стороны и отсутствием активного противодействия среды с другой. Такое поведение среды эквивалентно поведению «пассивной среды», исследуемой в теории статистических решений «игр с природой». Надо отметить, что в данной ситуации незнание закона распределения не исключает возможность

учитывать любые сведения об элементах состояния среды (различного рода ограничения, средние и дисперсионные оценки и др.)

5. I_5 – пятая информационная ситуация, характеризуется антагонистическими интересами среды.
6. I_6 – шестая информационная ситуация является смешанной и определяется наличием информационных элементов, характеризующих «промежуточное» поведение среды [63].

Доказано, что информационные ситуации I_2, I_3 , могут быть сведены к первой I_1 [89]. В случае информационной ситуации I_4 , если может быть определена вероятность состояний «природы» третьей группы факторов, решение принимается в условиях риска. Далее должна выполняться задача его минимизации, то есть информационная ситуация также сводится к I_1 . Для I_4 , когда ситуация отсутствия информации или её недостаточности о среде может рассматриваться, как в условиях не противодействия со стороны «природы», но при этом её поведение неизвестно, то задача решается в условиях неопределённости. В таких задачах выбор решения зависит от состояния «природы», а математические модели называются «игры с природой». В этих случаях методы получаемых искомым решений должны основываться на правилах игр и статистических решений, либо могут быть получены с помощью методов векторной оптимизации. Информационная ситуация I_5 требует привлечения теории игр. Информационная ситуация I_6 требует привлечения теории принятия решений и теории игр.

Выводы:

- 1) **математической аппарат методов принятия решений в СУСЭА относится к классу задач теории «игр с природой»;**
- 2) **получить искомые решения можно с помощью методов векторной оптимизации;**
- 3) **понятие «природа» или природа факторов в рамках данного исследования тождественно понятию «состояние внешней среды» или «среда эксплуатации автомобиля».**

2.6 Выводы по второй главе

Во второй главе определяются цели, формируется структура и условия взаимодействия СУСЭА со средой эксплуатации автомобиля, предназначенной для получения оптимальных сроков эксплуатации автомобилей по нескольким критериям эффективности: экологическая безопасность, конструктивная безопасность и надёжность автомобиля.

1. Установлено, что формирование новых задач в СУСЭА неизбежно влечёт за собой изменения в её структуре. В иерархической структуре важен вопрос об оптимальном числе элементов, подчинённых старшему элементу и находящихся на одном уровне. Чем больше таких элементов, тем менее управляема система. С другой стороны, создание большего числа ступеней старшинства иерархии также нежелательно, ибо приведёт к длительному процессу прохождения информации. В этом случае, для сохранения управляемости системы, необходимо разрабатывать математический аппарат, направленный на поиск эффективных решений в СУСЭА.
2. Принципиальным отличием разработанной во второй главе иерархии функций СУСЭА является: вынесение на один уровень с традиционным комплексным критерием качества автомобиля (надёжность) следующих критериев: экологическая безопасность и конструктивная безопасность эксплуатации автомобиля. Данная структура формирует многокритериальную задачу, требующую аналитического решения при управлении и регулировании процессами в системе.
3. Определено, что в настоящее время, как правило, усредняется темп изменения отдельных групп показателей качества, как для отдельного автомобиля, так и для их совокупности. Отдельная группа показателей, характеризующая экологическую безопасность и конструктивную безопасность автомобиля при ужесточении требований среды эксплуатации автомобилей, имеет темп, приводящий к изменению в пределах близких или

превосходящих порядок по отношению к начальному значению (от 7 до 20 и более). Данное обстоятельство должно быть учтено при разработке аналитического аппарата стратегий ТО и ТР, возобновляющих техническое состояние автомобиля.

4. Для решения оптимизационных задач в СУСЭА определены критерии и измерители её эффективности, обеспечивающие получение искомых решений. В качестве комплексного показателя качества при формировании многокритериальной её структуры принимается показатель качества, базирующийся на коэффициенте технического использования автомобиля. Сформирована математическую модель многокритериальной структуры показателей качества автомобиля, в соответствии с требованиями среды его эксплуатации.

Для обеспечения общей или локальную эффективности СУСЭА или её элементов, необходимо работать с факторами, относимых к неопределённым (неизвестным) условиям. Для СУСЭА характерна наиболее сложная по приближению к реальности ситуация: случайные переменные с неизвестными распределениями. Такая ситуация обладает наибольшей степенью неопределённости. Неопределённость этого типа называют «природой». Наличие неопределённости данного типа в условиях взаимодействия СУСЭА с внешней средой объясняется следующими положениями:

1. Нечётко выраженная конечная цель исследования в количественных характеристиках. В условиях рыночных отношений далеко не всегда ресурс автомобиля определяет срок его эксплуатации. Нередко происходит вывод модели автомобиля из эксплуатации в связи с моральным устареванием конструкции или изменениями в политике реализации продукции автопроизводителями.
2. Недостаточной изученностью на этапе разработки явлений, сопровождающих процесс функционирования системы. Срок эксплуатации автомобиля исчисляется годами или десятилетиями. Поэтому возможно лишь прогнозировать, какие агрегаты и системы автомобиля, отвечающие за

его экологическую или дорожную безопасность, будут внедряться в конструкцию или наращиваться на неё в процессе эксплуатации.

3. Наличием целенаправленного противодействия со стороны среды эксплуатации, 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.).

Таким образом определено, что для разработки нового научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля необходимо сформировать аналитическую модель принятия решений в СУСЭА для динамически изменяющихся СВС. В таких задачах выбор решения зависит от состояния «природы», а математические модели называются «игры с природой». В данном случае для получения искомых решений в СУСЭА могут быть использованы методы векторной оптимизации.

3 ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

3.1 Структура методов, применяемых для снятия неопределённости

Неопределённость является не только условием, которое приходится учитывать при решении различного рода задач, но и фактором, присущим любому исследованию. Неопределённость информации, с которой приходится сталкиваться при проведении исследований имеет самую разную природу и значимость. Это может быть:

- 1) неопределённость, вызванная недостатком информации и её достоверности в силу технических, социальных и других причин;
- 2) неопределённость, вызванная поведением внешней среды;
- 3) неопределённость, генерированная большим числом объектов или элементов, включённых в ситуацию;
- 4) «принципиальная» неопределённость, вызванная отсутствием материала по теме исследований.

Наличие в исследованиях ряда ситуаций, обладающих той или иной степенью неопределённости, требует для своего описания привлечения определённого математического аппарата. Задача по снятию неопределённости усложняется в том случае, если необходимо оценить эффективность управляющих воздействий в системе по нескольким критериям эффективности [123]. Поэтому, в настоящее время активно ведётся разработка математических методов, позволяющих решать прикладные автотранспортные задачи в многокритериальной постановке [7, 61, 67, 166, 183]. Например, в [67] приводится методика оценки качества автомобиля по отдельным группам показателей, при этом производится классификация параметров, обеспечивающих выбор и классификацию грузовых автомобилей, содержащую 22 пункта. Авторы исследования предлагают следующую последовательность решения:

1. Выбор показателей автомобиля, наиболее важных с точки зрения потребителя.
2. Определение иерархической классификации выбранных показателей.
3. Определение комплексных показателей качества группы «методом профилей».
4. Определение коэффициентов весомости каждой группы показателей «методом анализа иерархий» [133, 134].
5. Суммирование произведений комплексных показателей качества групп и их коэффициентов весомости, получая интегральный критерий качества автомобиля.

Данный подход снимает неопределенность задачи и позволяет осуществлять выбор решения из множества альтернатив различного типа на основании критериев, выражающихся как количественными, так и качественными характеристиками. Метод состоит в иерархической декомпозиции системы на более простые составляющие и дальнейшей обработке последовательности суждений лицом, принимающим решение (ЛПР) по парным сравнениям. При этом критерии оценки экспертов формализованы и не требуют применения дополнительных вычислительных процедур [67]. Тем не менее применение данного подхода носит значительную долю субъективизма, характерную для любого рода экспертных оценок.

Кроме описанного, существуют большое количество методов, применяемых сегодня для того, чтобы дифференцированно оценивать отдельные свойства автомобиля для их сравнения. Условно их можно разделить на две группы:

1. Методы, сводящие решение многокритериальной задачи к получению единого интегрального критерия качества. Они, как правило, содержат существенный недостаток для применения на практике, а именно ряд критериев может иметь взаимоисключающие значения или иметь определённые ограничения с нормативно-правовой точки зрения. Например, эксплуатация грузовых автомобилей, отвечающих требованиям надёжности, но не отвечающих требованиям экологической безопасности (Евро-5, Евро-

б), будет недопустима в условиях международных перевозок. Также возможен вариант, когда автомобиль отвечает требованиям надёжности, но не обладает необходимой комплектацией средств конструктивной безопасности и т.д.

2. Методы, позволяющие определять весовые коэффициенты возможных решений по каждому из критериев, исходя из субъективной экспертной оценки значимости каждого критерия. Недостатком в данном случае является необходимость придания количественной взаимосвязи между отдельными решениями по каждому критерию. При этом при значительном количестве возможных решений по ряду критериев значительно возрастает степень недостоверности окончательного решения.

Для снижения негативного влияния недостатков присущих перечисленным методам и оценки процессов при управлении сроком эксплуатации автомобилей необходим математический аппарат, позволяющий соблюдая отдельные критерии:

- 1) объективно и дифференцированно учитывать состояние качества автомобиля по различным группам показателей с учётом многочисленных факторов внешней среды эксплуатации автомобиля;
- 2) определять закономерность перехода автомобиля из одного состояния «производство-эксплуатация-утилизация» в другое в условиях нестабильности (динамичности) показателей качества во времени.

Во второй главе производился анализ условий функционирования СУСЭА и рассматривалась ситуации, в которых приходится принимать управляющие решения. Повторим, что они делятся на детерминированные и стохастические. Детерминированные задачи характеризуются полной и достоверной информацией о всех входных параметрах. В стохастических задачах все или некоторые входные параметры неопределённые или случайны. При этом различают два вида ситуаций:

- 1) параметры случайны, но известны их вероятностные характеристики (задачах с риском);
- 2) параметры случайны, и нет оснований для суждений о их вероятностных характеристиках (задачах с неопределённой ситуацией).

В данных ситуациях любая задача оптимизации принимаемого решения характеризуется тремя основными понятиями:

- множество возможных решений (действий);
- множество видов обстановки (состояний внешней среды);
- эффективность любого решения при каждом виде обстановки.

В дальнейшем будем использовать следующие обозначения:

- m – число возможных вариантов действий;
- n – число возможных СВС;
- a_{ij} – эффективность i -го действия для j -го состояния среды эксплуатации автомобиля, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

Матрица эффективностей различных действий при различных СВС имеет вид:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Если СВС известно (детерминированная задача), то оптимальное действие i^* определяется из условия

$$a_{i^*j^*} = \max_i a_{ij^*} \quad (3.2)$$

В некоторых случаях при выборе решения вводят понятие риска [4], определяя его как разность между относящимися к одному и тому же СВС максимальной эффективностью и эффективностью при данном действии, т.е.

$$b_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}. \quad (3.3)$$

Очевидно, что при выборе оптимального действия риск равен нулю, а при любом другом действии он больше нуля. Очевидно также, что при любом фиксированном СВС

$$b_{ij} + a_{ij} = \text{Const} = \max_i a_{ij}. \quad (3.4)$$

Если роль исходных данных о СВС играет распределение вероятностей (стохастическая задача с риском), то показателем эффективности действия служит математическое ожидание эффективности

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^n P_j a_{ij}, \quad (3.5)$$

где P_j – вероятность того, что будет иметь место j – е СВС.

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1, P_j \geq 0, j = 1, 2 \dots n, \quad (3.6)$$

а оптимальным следует считать то действие, для которого математическое ожидание эффективности будет максимальным, т.е.

$$\bar{a}_{i^*} = \max_i \bar{a}_i = \max_i \sum_{j=1}^n P_j a_{ij}. \quad (3.7)$$

Иногда вводят понятие математического ожидания риска (среднеожидаемого риска) при выборе i – го действия.

$$\bar{b}_i = \sum_{j=1}^n P_j b_{ij}. \quad (3.8)$$

В этих случаях оптимальным следует считать действие, которому соответствует минимальное значение математического ожидания риска, т.е.

$$\bar{b}_{i^*} = \min_i \bar{b}_i = \min_i \sum_{j=1}^n P_j b_{ij}. \quad (3.9)$$

Легко показать, что $\bar{b}_i + \bar{a}_i = Const$, а выбор оптимального действия можно осуществлять с равным успехом или из требования обращения в максимум \bar{a}_i , или из требования обращения в минимум \bar{b}_i . Оба вывода всегда приводят к одному и тому же действию, называемому априорным Байесовым действием [99, 143, 144, 192]. При этом сохраняется риск выбора решения, не соответствующего реальному состоянию СВС или «природы» факторов. Рассмотрим возможный алгоритм действий исследователя по привлечению основных методов для снятия неопределённости (рисунок 3.1). Можно выделить ряд информационных ситуаций (определённости, недостаточности информации и неопределённости) и основных методов, применяемых для снятия неопределённости, а именно: методы, основанные на экспертных оценках; методы получения априорного распределения вероятностей; методы обеспечения гарантированных уровней значений решения; методы районирования.

3.2 Определение методов принятия управляющих решений в условиях недостаточности информации

Принципиально, ситуация принятия решения в условиях недостаточности информации является ситуацией с той или иной степенью неопределённости. Решение в данном случае приходится принимать в условиях риска. Рассмотрим основные методы принятия решений в условиях недостаточности информации. В этом случае, одной из задач управления является упорядочивание целей или ранжирование целей каждого уровня по их важности. Наиболее простым и оперативным методом ранжирования является экспертиза, основанная на выявлении и систематизации мнения квалифицированных специалистов, неоднократно рассматриваемая в различных научных работах [80, 91, 93, 96, 103, 139, 142].

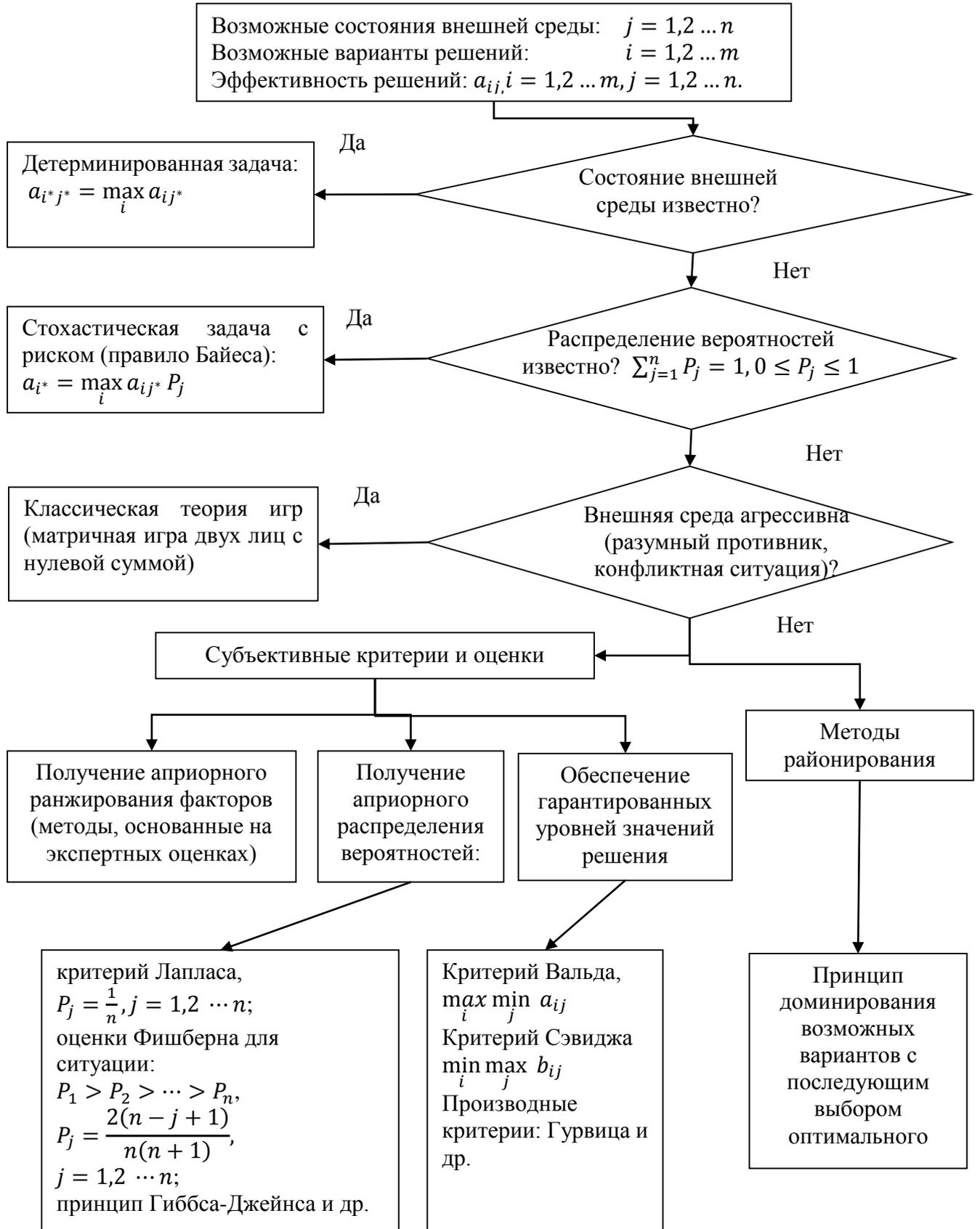


Рисунок 3.1 - Структура методов, применяемых для снятия неопределённости в сложных организационно-технических системах

Более строгое решение задачи ранжирования может быть достигнуто построением многофакторных моделей [8], где для решения используются линейные и степенные модели

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n; \quad (3.10)$$

$$y = a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}x_3^{a_3} \dots x_n^{a_n}, \quad (3.11)$$

где y – исследуемая функция, a_i – коэффициенты; x_i – значимые факторы, влияющие на её формирование; n – число значимых факторов.

«Вес» фактора в приведённых формулах определяется с помощью коэффициентов эластичности, которые указывают степень изменения функции на один процент, при этом все остальные факторы фиксируются на их среднем уровне. Оценка значимости каждой подсистемы для достижения поставленной цели производится функционально-системной матрицей.

Наиболее простым и оперативным методом экспертной оценки, основанным на выявлении и систематизации мнения квалифицированных специалистов, является метод априорного ранжирования факторов. Априорный анализ факторов и отсеивание из них менее существенных может производиться путём анализа имеющихся данных и логических выводов на их основе. Однако при этом не исключена опасность субъективных ошибок, которая возрастает с увеличением сложности и малой изученности процессов и явлений. Во избежание этого для априорного анализа целесообразно привлечение нескольких специалистов и использование определённых вариантов методов экспертных оценок. Сущность метода заключается в ранжировании факторов по определённой системе, соответственно ожидаемой степени влияния на параметр оптимизации, и исключении после этого части факторов с наихудшими рангами из первой серии экспериментов. При использовании этого метода, прежде всего, отбираются эксперты, и разрабатывается анкета, в которой формулируются вопросы к ним.

В специальной литературе даются рекомендации по отбору экспериментов и составлению анкет. Заполняя анкету, эксперт определяет место факторов в ранжируемом ряду, то есть присваивает каждому фактору свой ранг. Первое место (первый ранг) присваивается самому сильному фактору, далее по мере снижения (по мнению экспертов) значимости факторов увеличивается номер ранга. Каждому эксперту также условно присваивается номер.

Результаты заполнения анкет подвергаются математической обработке. Главная цель такой обработки - выявить факторы, которые можно исключить из последующего эксперимента или установить их при эксперименте в качестве контролируемых (то есть при закреплённых, постоянных значениях). Кроме того, задачами математической обработки материалов анкет являются:

- 1) оценка согласованности мнений специалистов;
- 2) оценка неслучайного характера совпадения мнений специалистов (значимости коэффициентов конкордации);
- 3) построение диаграммы рангов факторов.

Для удобства последующих расчётов результаты ранжирования представляют в виде матриц. Суммируя анкетные данные по столбцам, определяют сумму рангов по каждому столбцу ($\sum_{j=1}^m a_{ij}$), то есть его весомость. Затем рассчитывается средняя сумма рангов по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}, \quad (3.12)$$

где k – количество факторов, m – количество экспертов.

Подсчитывается разность Δi между суммой рангов i -го фактора и средней суммой рангов T по формуле:

$$\Delta i = \sum_{j=1}^m a_{ij} - T. \quad (3.13)$$

Рассчитывается сумма квадратов указанных разностей:

$$S = \sum_{i=1}^k (\Delta i)^2. \quad (3.14)$$

На этом заканчивается предварительная обработка анкетных данных. Оценка согласованности мнений экспертов относительно степени влияния факторов на параметр оптимизации производится с помощью коэффициента конкордации W . Этот коэффициент может иметь значение от «0» до «1». Равенство «1» означает, что все эксперты дали одинаковые оценки. Равенство «0» - означает, что связи между оценками, полученными от разных экспертов, не существует. Коэффициент конкордации рассчитывается по зависимости:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}. \quad (3.15)$$

Если какой-либо эксперт не может установить ранговое различие между факторами и присваивает им одинаковые ранги используется другая зависимость:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (3.16)$$

где $T_j = \sum (t_j^3 - t_j)$, t_j - число одинаковых рангов в j -ом ряду.

Использовать коэффициенты конкордации правомерно после проверки его значимости. Проверка значимости коэффициентов конкордации производится с помощью распределения χ^2 . Значение χ^2 рассчитывается и сравнивается с табличным. Гипотеза о наличии согласия экспертов (неслучайном характере их мнений) может быть принята, если табличное значение χ^2 меньше расчётного ($\chi_\alpha^2 < \chi^2$).

Расчётное значение χ^2 может определяться по формуле:

$$\chi^2 = Wm(k - 1). \quad (3.17)$$

Значение χ^2 находится из таблиц при тех же степенях свободы ($f = K - 1$) и уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Если согласованность и неслучайный характер совпадений мнений экспертов в результате указанных проверок подтверждается, то строится диаграмма рангов. При построении диаграммы рангов по оси абсцисс откладываются факторы в последовательности, соответствующей степени убывания их влияния на параметр оптимизации (то есть значимый фактор слева). По оси ординат откладываются суммы рангов. Как уже говорилось, чем меньше сумма рангов, тем весомее фактор. Поэтому по шкале оси ординат цифры, обозначающие суммы рангов, убывают от начала координат (чем меньше сумма рангов у фактора, тем выше он расположен по диаграмме). После построения диаграммы надо оценить её внешний вид. Если распределение влияния факторов на параметр оптимизации соответствует закону неравномерного экспоненциального убывания, наименее весомые факторы можно исключить из последующих экспериментов. Если распределение влияния факторов равномерное, в эксперимент необходимо включать все факторы.

Кроме описанного, на практике применяются и другие методы экспертной оценки: метод последовательных предпочтений и метод парных сравнений, достаточно широко освещённые в специальной литературе [8,43,44,45]. Эти методы обладают как неоспоримыми преимуществами, так и рядом недостатков.

Выявим преимущества применения методов экспертной оценки:

1. Сравнительная простота организации и проведения процедуры.
2. Оперативность получения результатов.

Определим недостатки применения методов экспертной оценки:

1. Большая зависимость результатов от качества организации экспертизы и подбора экспертов, то есть достаточно высокая субъективность.

2. При оценке тех или иных факторов (мероприятий) для данной системы эксперты пользуются своим прежним опытом или взглядами (именно поэтому экспертиза называется априорной). Поэтому правильная постановка вопросов и выбор факторов для данной системы имеют особое значение и существенно влияют на результаты экспертизы [107].

Можно сделать вывод о том, что методы, основанные на экспертной оценке, представляют собой субъективный аппарат для принятия субъективного решения.

Другим способом выявить значимость факторов и оценить их взаимосвязь в условиях недостаточности информации является метод множественного регрессионного анализа. Математическое планирование эксперимента позволяет изучать сложные явления и процессы при значительном количестве факторов в ограниченные сроки по результатам ограниченного количества опытов. Сущность метода математического планирования эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для установления достоверной количественной зависимости между факторами и параметрами оптимизации. Для нахождения оптимума параметра оптимизации эксперименты обычно производят в несколько этапов, небольшими сериями, анализируя результаты предыдущей серии при построении новой серии опытов. Необходимо повторять эту процедуру до тех пор, пока модель не станет адекватна исследуемому процессу, то есть не будет описывать изменение значений параметра оптимизации с необходимой точностью.

Основная сложность применения метода множественного регрессионного анализа к исследуемым ситуации СУСЭА заключается в том, что в основе математического планирования всегда должна находиться необходимая экспериментальная база – совокупность наблюдений, эмпирических данных полученных в практической деятельности, и имеющая непосредственное отношение к исследуемому процессу или явлению. В этом случае возникает неопределённость, генерированная большим числом объектов или элементов, включённых в ситуацию.

3.3 Определение методов теории принятия решений в условиях неопределённого состояния внешней среды эксплуатации автомобиля

3.3.1 Методы, основанные на использовании субъективных критериев

Наиболее сложной является ситуация, если информация о вероятностных характеристиках СВС отсутствует. При этом различают два вида ситуаций:

1. Выбор вида обстановки осуществляется «разумным противником». Если стороны преследуют при этом противоположные интересы, то создаётся конфликтная ситуация, изучением которой занимается математическая теория игр. Выбор оптимального решения (оптимальной стратегии) в конфликтных ситуациях относительно не сложен именно в силу антагонизма сторон, участвующих в игре. Действительно, «разумный противник» не станет «играть в поддавки», а постарается принять самое лучшее для себя решение. Это обстоятельство позволяет при выборе решения каждой из сторон использовать принципы минимакса и максимина. Для определения оптимальных стратегий в конфликтных ситуациях теория игр располагает рядом мощных и весьма эффективных методов, широко освещённых в литературе.
2. В качестве противника выступает «природа». Как уже отмечалось, изучением ситуации такого типа занимается математическая теория игр с природой. В отличие от первого вида ситуаций с неопределённостью, в играх с природой отсутствует антагонизм и принципы минимакса вырождаются в них в принципы крайней осторожности. Но СВС существует объективно. Она не помогает ЛПР, но и не препятствует ему при этом. Следовательно, выбор решения, основанный на принципе минимакса, в подобных ситуациях может оказаться не самым удачным [124].

Во-втором случае, а именно он характеризует СВС в задачах СУСЭА, возможно применение методов, основанных на использовании субъективных критериев. Рассмотрим некоторые из них.

Согласно «принципу недостаточного основания», предложенного П-С Лапласом, оптимальным следует считать действие, которому соответствует

$$\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}. \quad (3.18)$$

Этот критерий субъективен потому, что вероятности СВС выводятся субъектом из незнания истинного положения. Однако закон равномерного распределения можно выводить из знания того, что одни исходы не имеют большей объективной возможности появления, чем другие, но не из незнания того, имеют одни исходы большую объективную возможность появления в сравнении с другими или нет.

Согласно «принципу крайней осторожности» (максиминный критерий А. Вальда) оптимальным следует признать действие, для которого показатель эффективности принимает наибольшее значение для самого неблагоприятного СВС. То есть,

$$\max_i \min_j a_{ij}. \quad (3.19)$$

Критерий минимаксного риска, предложенный Л. Сэвиджем также базируется на крайне осторожном выборе решения. Согласно этому критерию нужно выбирать действие, для которого величина риска принимает наименьшее значение при самой неблагоприятной обстановке, т.е.

$$\min_i \max_j b_{ij} \quad (3.20)$$

Оба этих критерия (А.Вальда и Л.Сэвиджа) субъективны, потому что заведомо настраивают на самый неблагоприятный вариант обстановки, то есть применимы только для идеализированных практических решений. Но СВС существует объективно, безотносительно к выбираемым решениям.

Поэтому в общем случае нет оснований для крайнего пессимизма при выборе решения. Для того, чтобы занять более уравновешенную позицию применяется критерий, предложенный А.Гурвицем, оценочная функция которого находится между точками зрения предельного оптимизма и крайнего пессимизма. Данный критерий является производным от классических критериев. Согласно критерию А.Гурвица (критерий пессимизма-оптимизма) неразумно, приняв во внимание самый маленький выигрыш, не учитывать самый большой; следует субъективно ввести некоторый коэффициент α , а оптимальным считать действие, для которого выполняется условие

$$\max_i \left[\alpha \cdot \min_j a_{ij} + (1-\alpha) \max_j a_{ij} \right], \text{ где } 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (3.21)$$

Нетрудно увидеть, что этот критерий при $\alpha = 0$ превращается в критерий абсолютного оптимиста, при $\alpha = 1$ совпадает с максиминным критерием А.Вальда, при $0 < \alpha < 1$ образует смесь из пессимистической и крайне оптимистической оценки удачи в предстоящих действиях.

Существует ещё целый ряд «производных критериев», достаточно широко представленных в специальной литературе [99]: критерий Ходжа-Лемана, критерий Гермейера, VL (MM)-критерий и др. Выбор любого из рассмотренных четырёх критериев не поддаётся объективному обоснованию, а действия, рекомендуемые этими субъективными критериями, часто не совпадают.

Рассмотрим ещё один подход. Предположим, что распределение вероятностей СВС P_j неизвестны, но есть основание (из качественных соображений) для расположения их в приоритетной ряд по принципу «слабого доминирования».

$$P_1 > P_2 > \dots > P_n \quad (3.22)$$

Изложим один из возможных подходов для определения численных значений P_1 в этой ситуации:

для $n = 3$: $P_1 = \frac{3}{6}, P_2 = \frac{2}{6}, P_3 = \frac{1}{6}$

для $n = 4$: $P_1 = \frac{4}{10}, P_2 = \frac{3}{10}, P_3 = \frac{2}{10}, P_4 = \frac{1}{10}$

для $n = 5$: $P_1 = \frac{5}{15}, P_2 = \frac{4}{15}, P_3 = \frac{3}{15}, P_4 = \frac{2}{15}, P_5 = \frac{1}{15}$

Очевидно, что у каждого из этих вариантов $\sum_{j=1}^n P_j = 1$

Очевидно также, что в общем случае (при количестве возможных СВС = n)
имеем

$$P_1 = \frac{n}{x}, P_2 = \frac{n-1}{x}, P_3 = \frac{n-2}{x}, \dots, P_n = \frac{1}{x}. \quad (3.23)$$

Следовательно

$$\frac{n+(n-1)+(n-2)+\dots+1}{x} = 1 \quad (3.24)$$

В числителе левой части этого уравнения арифметическая прогрессия, тогда

$$x = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (3.25)$$

Отсюда следует, что

$$P_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, j = 1, 2 \dots n. \quad (3.26)$$

Данный подход коррелируется со схемой определения весовых коэффициентов с помощью оценок Фишберна, когда для назначения весовых коэффициентов необходимо знать степень предпочтения одних показателей другим (строгое предпочтение, нестрогое предпочтение, безразличие) [191].

Рассмотрим все перечисленные методы на конкретном примере полученных значений эффективностей возможных решений в СУСЭА. Пусть необходимо выбрать одно из $m = 4$, возможных решений (четыре варианта определения типов автомобилей)

1. СВС (природы) характеризуется $n = 3$ состояниями (действующие на данный момент времени внешние условия среды эксплуатации и соответствующие им качественные состояния автомобилей по трём отдельным критериям или комплексным показателям: надёжность, экологическая и конструктивная безопасность, то есть известна эффективность любого решения при каждом виде обстановки и задана матрица эффективности.

$$A = \begin{pmatrix} 0,20 & 0,24 & 0,22 \\ 0,76 & 0,18 & 0,34 \\ 0,18 & 0,80 & 0,26 \\ 0,84 & 0,02 & 0,46 \end{pmatrix}. \quad (3.27)$$

Решение данного примера с использованием **критерия Вальда** приведём в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Решение примера (критерий Вальда)

$b_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$	Минимальные исходы для каждой альтернативы	Альтернатива с максимальным значением критерия	Вариант решения
$\begin{pmatrix} 0,64 & 0,56 & 0,24 \\ 0,08 & 0,62 & 0,12 \\ 0,66 & 0 & 0,20 \\ 0 & 0,78 & 0 \end{pmatrix}$	$N_1 = \min (0,20; 0,24; 0,22) = 0,20$ $N_2 = \min (0,76; 0,18; 0,34) = 0,18$ $N_3 = \min (0,18; 0,80; 0,26) = 0,18$ $N_4 = \min (0,84; 0,02; 0,46) = 0,02$	$0,02 < 0,18 < 0,20$ $\Rightarrow N_4 < N_2, N_3 < N_1 \Rightarrow N^* = N_1$	Первое действие

Решение данного примера с использованием **критерия Сэвиджа** приведём в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Решение примера (критерий Сэвиджа)

Наибольшая возможная величина эффекта	Матрицы «рисков»		Наибольшая величина «рисков»	Альтернатива с наименьшим значением критерия	Вариант решения
$y_1 = \max(0,20; 0,76; 0,18; 0,84) = 0,84$ $y_2 = \max(0,24; 0,18; 0,80; 0,02) = 0,80$ $y_3 = \max(0,22; 0,34; 0,26; 0,46) = 0,46$	N_1	$r_{11} = y_1 - x_{11} = 0,84 - 0,20 = 0,64$ $r_{12} = y_2 - x_{12} = 0,80 - 0,24 = 0,56$ $r_{13} = y_3 - x_{13} = 0,46 - 0,22 = 0,24$	$S_1 = \max(0,64; 0,56; 0,24) = 0,64$	$0,62 < 0,64 < 0,66 < 0,78 \Rightarrow S_2 < S_1 < S_3 < S_4 \Rightarrow N^* = N_2$	Второе действие
	N_2	$r_{21} = y_1 - x_{21} = 0,84 - 0,76 = 0,08$ $r_{22} = y_2 - x_{22} = 0,80 - 0,18 = 0,62$ $r_{23} = y_3 - x_{23} = 0,46 - 0,34 = 0,12$			
	N_3	$r_{31} = y_1 - x_{31} = 0,84 - 0,18 = 0,66$ $r_{32} = y_2 - x_{32} = 0,80 - 0,80 = 0$ $r_{33} = y_3 - x_{33} = 0,46 - 0,26 = 0,20$	$S_3 = \max(0,66; 0; 0,20) = 0,66$		
	N_4	$r_{41} = y_1 - x_{41} = 0,84 - 0,84 = 0$ $r_{42} = y_2 - x_{42} = 0,80 - 0,02 = 0,78$ $r_{43} = y_3 - x_{43} = 0,46 - 0,46 = 0$	$S_4 = \max(0; 0,78; 0) = 0,78$		

Рассмотрим возможность принятия решения по **критерию Гурвица**: для оптимистической оценки ($\lambda = 0,8$) и пессимистической оценки ($\lambda = 0,3$). Решение примера с использованием критерия Гурвица приведём в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Решение примера (критерий Гурвица)

	Максимальные исходы	Минимальные исходы	Критерий при коэффициенте оптимизма ($\lambda=0,8$)	Критерий при коэффициенте пессимизма ($\lambda=0,3$)	Вариант решения
N_1	$x_{1 \max} = \max(0,20; 0,24; 0,22) = 0,24$	$x_{1 \min} = \min(0,20; 0,24; 0,22) = 0,20$	$N_1(0,8) = \lambda \cdot x_{1 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{1 \min} = 0,8 \cdot 0,24 + (1 - 0,8) \cdot 0,20 = 0,196$	$N_1(0,3) = \lambda \cdot x_{1 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{1 \min} = 0,3 \cdot 0,24 + (1 - 0,3) \cdot 0,20 = 0,212$	<p>При ($\lambda=0,8$) – четвёртое действие*</p> <p>При ($\lambda=0,3$) – третье действие*</p>
N_2	$x_{2 \max} = \max(0,76; 0,18; 0,34) = 0,76$	$x_{2 \min} = \min(0,76; 0,18; 0,34) = 0,18$	$N_2(0,8) = \lambda \cdot x_{2 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{2 \min} = 0,8 \cdot 0,76 + (1 - 0,8) \cdot 0,18 = 0,644$	$N_2(0,3) = \lambda \cdot x_{2 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{2 \min} = 0,3 \cdot 0,76 + (1 - 0,3) \cdot 0,18 = 0,354$	
N_3	$x_{3 \max} = \max(0,18; 0,80; 0,26) = 0,80$	$x_{3 \min} = \min(0,18; 0,80; 0,26) = 0,18$	$N_3(0,8) = \lambda \cdot x_{3 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{3 \min} = 0,8 \cdot 0,80 + (1 - 0,8) \cdot 0,18 = 0,676$	$N_3(0,3) = \lambda \cdot x_{3 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{3 \min} = 0,3 \cdot 0,80 + (1 - 0,3) \cdot 0,18 = 0,36$	
N_4	$x_{4 \max} = \max(0,84; 0,02; 0,46) = 0,84$	$x_{4 \min} = \min(0,84; 0,02; 0,46) = 0,02$	$N_4(0,8) = \lambda \cdot x_{4 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{4 \min} = 0,8 \cdot 0,84 + (1 - 0,8) \cdot 0,02 = 0,676$	$N_4(0,3) = \lambda \cdot x_{4 \max} + (1 - \lambda) \cdot x_{4 \min} = 0,3 \cdot 0,84 + (1 - 0,3) \cdot 0,02 = 0,266$	

* $0,196 < 0,644 < \mathbf{0,676} \Rightarrow N_1(0,8) < N_2(0,8) < N_3(0,8), N_4(0,8) \Rightarrow N^* = N_3 = N_4$

* $0,212 < 0,266 < 0,354 < \mathbf{0,366} \Rightarrow N_1(0,3) < N_4(0,3) < N_2(0,3) < N_3(0,3) \Rightarrow N^* = N_3$

Оценка возможных альтернатив вариантов решения по **критерию Лапласа** приведена в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Решение примера (критерий Лапласа)

	Расчёт значений альтернатив	Альтернатива с максимальным значением критерия	Вариант решения
N_1	$N_1 = (x_{11} + x_{12} + x_{13})/3 = (0,20 + 0,24 + 0,22)/3 = 0,2$	$0,22 < 0,41 < 0,43 < 0,44 \Rightarrow N_1 < N_3 < N_2 < N_4 \Rightarrow N^* = N_4$	Четвёртое действие
N_2	$N_2 = (x_{21} + x_{22} + x_{23})/3 = (0,76 + 0,18 + 0,34)/3 = 0,4$		
N_3	$N_3 = (x_{31} + x_{32} + x_{33})/3 = (0,18 + 0,80 + 0,26)/3 = 0,41$		
N_4	$N_4 = (x_{41} + x_{42} + x_{43})/3 = (0,84 + 0,02 + 0,46)/3 = 0,44$		

Применение пятого подхода, основанного на оценках Фишберна, позволяет определить распределение вероятностей для данного примера.

$$P_1 = \frac{1}{2}, P_2 = \frac{1}{3}, P_3 = \frac{1}{6}$$

Математическое ожидание эффективности для каждого из возможных вариантов составляет:

$$\text{для } i = 1: N_1 = 0,20 \cdot \frac{1}{2} + 0,24 \cdot \frac{1}{3} + 0,22 \cdot \frac{1}{6} = 0,2167$$

$$\text{для } i = 2: N_2 = 0,76 \cdot \frac{1}{2} + 0,18 \cdot \frac{1}{3} + 0,34 \cdot \frac{1}{6} = 0,4967$$

$$\text{для } i = 3: N_3 = 0,18 \cdot \frac{1}{2} + 0,80 \cdot \frac{1}{3} + 0,26 \cdot \frac{1}{6} = 0,4001$$

$$\text{для } i = 4: N_4 = 0,84 \cdot \frac{1}{2} + 0,02 \cdot \frac{1}{3} + 0,46 \cdot \frac{1}{6} = 0,5034$$

Таким образом, применение описанной вычислительной процедуры предписывает принять в качестве оптимального решения **четвёртое** действие.

Вывод. В общем случае невозможно сказать, что лучше: минимизировать максимальный риск (критерий Сэвиджа) или максимизировать минимальную эффективность (критерий Вальда), принять состояния природы равновероятными (критерий Лапласа) или максимизировать смесь из минимальной и максимальной эффективности, введя субъективно коэффициент оптимизма (критерий Гурвица). Каждый из четырёх субъективных критериев, а также метод оценки весовых коэффициентов Фишберна предписывает принять в качестве оптимального своё решение, и не ясно какому из критериев отдать предпочтение (какое выбрать решение). Таким образом, подтверждается правота Томаса Саати, утверждавшего, что: «Исследование операций представляет собой искусство давать плохие ответы на те практические вопросы, на которые ещё худшие ответы другими способами». На практике это означает, что невозможно достоверно определить какой автомобиль из 4-х возможных вариантов рекомендуется к воздействию со стороны СУСЭА в данных условиях.

3.3.2 Метод районирования по принципу доминирования возможных вариантов с последующим выбором оптимального

Рассмотрим ещё один метод, применяемый для решения задач игр с природой - метод районирования [47], ориентированный на последовательное уточнение информационных ситуаций в процессе решения поставленных задач. Ситуации, при которых о входных параметрах СВС известно всё или ничего, являются крайними. В практике, как правило, возникают промежуточные ситуации, при которых одни из параметров заданы точно, другие известны в некоторых диапазонах возможных изменений, а относительно знания третьих имеется определённая статистика и т.д. Из общей теории исследования операций известно, что решения обладают устойчивостью по отношению к изменениям исходной информации [17,18,50]. Это означает, что не обязательно точно знать все входные параметры решаемой задачи. Другими словами, неверно исходить из полного незнания обстановки, и нет необходимости стремиться к полному снятию неопределённости. Требуется целеустремлённое уточнение лишь действительно необходимой информации, для определения которой могут быть использованы методы районирования. Сущность районирования состоит в разбиении множества векторов, характеризующих состояния природы, на подмножества доминирования отдельных действий. Такое разбиение можно осуществить различными способами. Один из таких способов в 60-х годах прошлого столетия был предложен И.Я. Динером [47]. Идея метода состоит в разбиении множества возможных состояний природы на подмножества доминирования отдельных действий. Разработка этого метода явилась существенным шагом на пути решения задач игр с природой. Однако в целом ряде случаев использование этого метода не позволяет получить искомое оптимальное решение, хотя и существенно упрощает его поиск. Несколько позже, другой способ предложил Б.Д. Прудовский. В [127] доказано, что при условии непрерывности функции показателя эффективности от изменения вектора состояния природы матричная игра с природой может быть сведена к линейной

задаче векторной оптимизации и наоборот. Подтвердим данное утверждение на рассматриваемом ранее примере. Рассмотрим решение задачи (3.27) с применением метода районирования:

$$\begin{cases} k_1 = 0,20x_1 + 0,76x_2 + 0,18x_3 + 0,84x_4 \rightarrow \max, \\ k_2 = 0,24x_1 + 0,18x_2 + 0,80x_3 + 0,02x_4 \rightarrow \max, \\ k_3 = 0,22x_1 + 0,34x_2 + 0,26x_3 + 0,46x_4 \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3.28)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = N$$

$$x_i = \begin{cases} N, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Если рассматривать эту задачу как игру с природой, то в данном случае имеем $n = 3$ состояния природы и $m = 4$ вариантов возможных действий. Матрица эффективностей имеет следующий вид:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3.29)$$

Напомним, что если использовать в данном примере известные субъективные критерии получим следующие результаты:

1. Использование критерия Лапласа в этой задаче приводит к выбору четвертого действия ($x_4 = N$).
2. Максиминный критерий Вальда рекомендует использовать первое ($x_1 = N$) действие.
3. Минимаксный критерий Сэвиджа предписывает отдать предпочтение второму ($x_2 = N$).
4. Критерий пессимизма - оптимизма Гурвица при коэффициенте $\alpha = 0,5$ – третье ($x_3 = N$) действие.

Проиллюстрируем идею районирования (рисунок 3.2) на описанном выше примере (3.27). Обозначим вероятность появления j – го состояния природы P_j , $j = 1, 2 \dots n$. Естественно, что

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1, P_j \geq 0, j = 1, 2 \dots n. \quad (3.30)$$

В рассматриваемом примере $n = 3$, поэтому эта система принимает вид:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1, P_1 \geq 0, P_2 \geq 0, P_3 \geq 0. \quad (3.31)$$

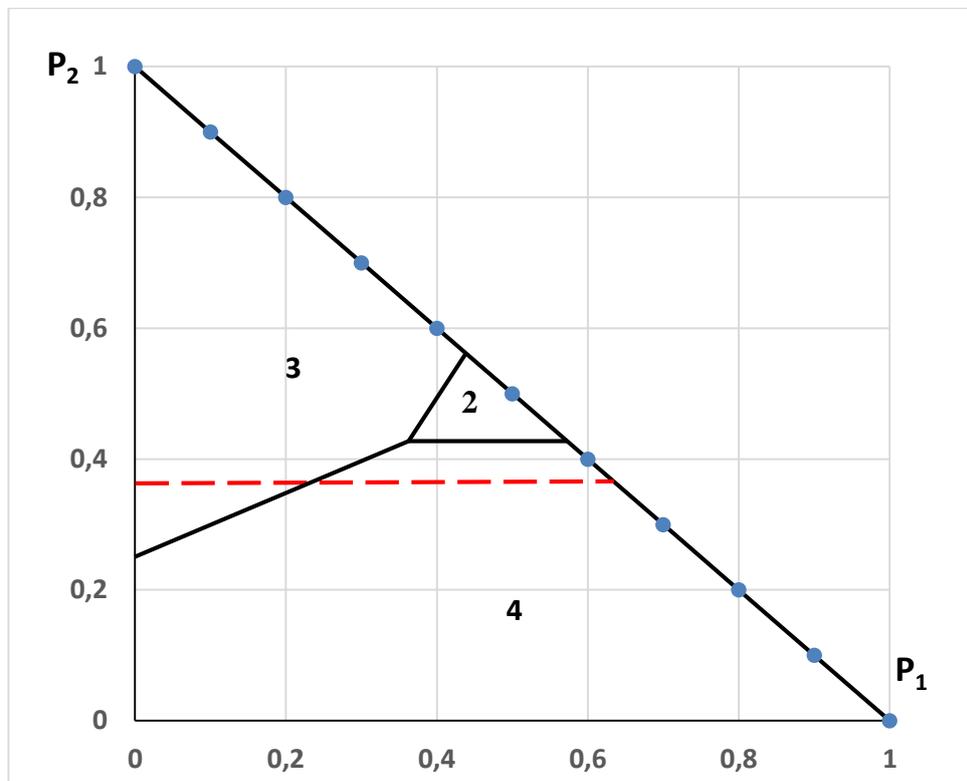


Рисунок 3.2 - Графическое решение задачи (3.27)

Осями координат здесь служат вероятности появления первого P_1 и второго P_2 состояний природы. Любая точка изображённого на рисунке треугольника однозначно определяет вероятности появления каждого из состояний природы ($P_3 = 1 - (P_1 + P_2)$). Иначе говоря, все возможные решения системы (3.29)

находятся в треугольнике P_1OP_2 и на его границах – отрезках P_1O , OP_2 и P_1P_2 . Как видно, всё множество векторов, характеризующих состояния природы, разбито на три подмножества:

- в первом из которых доминирует третье действие;
- во втором – второе;
- в третьем – четвертое действие.

- первое действие не является оптимальным ни при каком распределении вероятностей, следовательно, его можно исключить из рассмотрения как неконкурентоспособное (напомним, что оно было рекомендовано при использовании максиминного критерия Вальда).

Участок доминирования второго действия очень невелик. Кроме того, значения показателя эффективности, достигаемые при использовании в этом участке второго действия, почти не отличаются от эффективности, получаемой при использовании четвертого действия. Это даёт основание исключить из числа конкурентоспособных второе действие, а участок его доминирования присоединить к области доминирования четвертого действия. Поле векторов, характеризующих состояния природы, оказывается при этом разбитым всего на два подмножества, в одном из которых оптимально третье действие, а в другом четвертое (напомним, что исключённое нами второе действие было рекомендовано как оптимальное критерием Сэвиджа).

Если теперь ломанную линию, разъединяющую эти подмножества, аппроксимировать прямой, то граница, на которой эффективность третьего и четвертого действий одинакова, аналитически записывается так

$$P_1 = 0,378 + 1,860 \cdot P_2. \quad (3.32)$$

Это означает, что при $P_1 > 0,378 + 1,860 \cdot P_2$ следует применять четвертое действие, а при $P_1 < 0,378 + 1,860 \cdot P_2$ оптимальным является третье действие.

Если теперь границу между районами третьего и четвертого действий провести перпендикулярно оси OP_2 (сделать ещё одну аппроксимацию – штриховая линия), то приходим к совсем простому приближённому правилу: если $P_2 < \frac{1}{3}$, то следует использовать четвертое действие, в противном случае $P_2 > \frac{1}{3}$, оптимальным является третье действие.

Проанализируем полученное решение примера. Очевидно, что наиболее критичной является вероятность второго состояния природы P_2 . Отсутствие информации о вероятности первого и третьего состояний природы совершенно не существенно и не оказывает влияния на выбор оптимального решения. Но если отсутствует хотя бы сугубо ориентированное представление о вероятности P_2 , то выбор решения нельзя признать объективно обоснованным. Следовательно, можно порекомендовать лицу, ответственному за принятие решения, направить усилия на уточнении вероятности второго состояния природы P_2 и при $P_2 > \frac{1}{3}$ применять третье действие, а при $P_2 < \frac{1}{3}$ применять четвертое действие.

Вывод: метод районирования заключается в разбиении множества возможных состояний природы на подмножества доминирования отдельных действий. Операция районирования представляет собой обратную параметрическую задачу линейного программирования. Можно показать, что любая матричная игра с природой сводится (при условии непрерывности функции показателей эффективности от изменения вектора состояния природы) к линейной задаче векторной оптимизации и наоборот. Следовательно, для решения игр с природой можно использовать 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.

$$p_j \equiv c_j. \quad (3.33)$$

Следовательно, если $c_1 > 0,378 + 1,860 \cdot c_2$, то решением примера является

$$x_i = \begin{cases} N, i = 4, \\ 0, i = 1,2,3, \end{cases} \quad (3.34)$$

а если, $c_1 < 0,378 + 1,860 \cdot c_2$, то

$$x_i = \begin{cases} N, i = 3, \\ 0, i = 1,2,4, \end{cases} \quad (3.35)$$

где c_1 и c_2 – коэффициенты, отражающие в относительных единицах важность соответственно первого (k_1) и второго (k_2) критериев в рассматриваемой задаче [94].

Таким образом, для того чтобы увеличить надёжность принимаемых решений в случае ситуации неопределённости состояний внешней среды или среды функционирования СУСЭА, вызванная недостатком информации и их достоверности в силу технических, социальных и других причин, чрезвычайно важно выбрать способ районирования.

3.4 Выбор метода решения многокритериальных задач для достижения цели исследования

Во второй главе был сделан вывод о том, что для достижения цели исследования необходимо формулировать задачу многокритериальной оптимизации, как минимум для трёх критериев. Поэтому, помимо методов снятия неопределённости, генерируемой условиями функционирования СУСЭА необходимо рассмотреть существующие методы решения многокритериальных задач.

Задача многокритериальной оптимизации состоит в поиске вектора целевых переменных, удовлетворяющего наложенным ограничениям и оптимизирующего векторную функцию, элементы которой соответствуют целевым функциям. Эти функции образуют математическое описание удовлетворяемого критерия и, как правило, взаимно противоречат. Важно отметить, что многокритериальность является прямым следствием неполноты информации о ситуации, в которой приходится принимать решение. Именно из-за отсутствия достаточно полной и достоверной информации оказывается невозможным однозначно определить цель проводимой операции, что и порождает вынужденное стремление оптимизировать принимаемое решение сразу по нескольким показателям. Поэтому, выработка количественных рекомендаций в многокритериальных ситуациях связана со значительными трудностями, которые носят объективный характер. Однако приходится принимать решения в условиях многокритериальности. Более того, однокритериальные ситуации в большинстве случаев искусственно получают из многокритериальных [127].

В связи с этим интенсивно ведётся разработка методов векторной оптимизации (поиск оптимальных или целесообразных решений многокритериальных задач). Основные методы решения многокритериальных задач условно можно свести в три группы [128]:

1. Сведение многокритериальных задач к однокритериальным путем использования составных критериев или принципа минимакса (максимина).
2. Переход на более высокий уровень в иерархической системе управления.
3. Определение множества эффективных планов (множества Парето).

Если рассматривать многокритериальность как частный случай неполноты информации, то каждой из перечисленных выше групп методов решения задач векторной оптимизации можно дать соответствующую оценку [128]. В основе большинства методов решения многокритериальных задач заложен принцип сведения их к однокритериальным. Для достижения этой цели существует ряд приёмов. Одним из простейших приёмов сведения многокритериальной задачи к однокритериальной является выделение среди множества показателей

эффективности, какого – либо одного (самого главного). В дальнейшем оптимизация ведётся по этому единственному критерию, а остальные показатели эффективности ограничиваются сверху или снизу и служат ограничениями. Пусть, например, необходимо максимизировать m критериев:

$$k_j \rightarrow \max, k_i > k_{i0}, i = \overline{1, m}, i \neq j \quad (3.36)$$

При использовании этого способа возникают две трудности. Во-первых, не всегда удаётся выделить среди множества критериев самый главный, а во – вторых, часто не ясно, из каких соображений ограничивать остальные критерии величинами k_{i0} .

Первая группа методов, основанная на использовании составных критериев, в большинстве случаев не объективна, так как сведение многокритериальных задач к однокритериальным осуществляется с их помощью искусственно, без попытки снять неопределенность. Здесь наблюдаются разные подходы. Иногда максимизируют сумму критериев:

$$K = \sum_{i=1}^m k_i \rightarrow \max, \quad (3.37)$$

иногда их произведение:

$$K = \prod_{i=1}^m k_i \rightarrow \max, \quad (3.38)$$

В некоторых случаях в составных критериях используют «весовые» коэффициенты, например:

$$K = \sum_{i=1}^m C_i k_i \rightarrow \max, \quad (3.39)$$

где C_i – «вес» (важность) i -го показателя эффективности

Если часть критериев необходимо максимизировать (например, первые q критериев), а оставшиеся $(m-q)$ критериев надо минимизировать, то используют дробь:

$$K = \frac{\prod_{i=1}^q k_i}{\prod_{i=q+1}^m k_i} \rightarrow \max. \quad (3.40)$$

Существуют и другие способы образования составного критерия. Все они имеют общий недостаток: **при использовании таких критериев недостаток в одном критерии может быть скомпенсирован за счёт другого.** Например, максимизируя сумму критериев, может получиться, что один из них будет иметь маленькое значение, а другой большое. И хотя их сумма будет достаточно велика, полученное решение нельзя считать хорошим.

Вторая группа, включающая различные методы перехода на более высокий уровень управления, свободна от отмеченного недостатка. При этом подходе появляется возможность уточнить необходимую информацию и объективно выбрать единственный (главный) показатель эффективности. Но практическое использование методов перехода на более высокий уровень управления часто оказывается затруднительным. Все процессы управления представимы в виде многоуровневой иерархической системы. На каждом уровне решаются свои задачи по своим критериям. Информация, выработанная на k -м уровне, поступает на $(k+1)$ -й уровень, где используется для решения других задач по другим критериям и т.д. При переходе от уровня к уровню, как правило, сокращается число решаемых задач, но значительно возрастает их важность и сложность. Таким образом, иерархическая система управления напоминает пирамиду, рассечённую множеством плоскостей, параллельных основанию. Каждая из таких плоскостей соответствует определённому уровню управления. В основании этой пирамиды (низший уровень) лежат обычно простейшие задачи оперативного управления. Критерии задач k -го уровня должны быть согласованны с интересами $(k+1)$ -го уровня управления. Это обстоятельство часто помогает при выработке рекомендаций в условиях многокритериальности. Действительно, если в такой ситуации подняться на более высокий уровень, то становится ясным, каким

критериям следует отдать предпочтение. Переход на более высокий уровень управления позволяет решить ещё одну проблему – правильную оценку коэффициентов относительной важности в составных критериях. Данный метод решения многокритериальных задач путём перехода на более высокий уровень управления является самым радикальным решением проблемы многокритериальности. Однако практическая реализация этого метода связана часто со значительными трудностями, потому что не всегда, поднявшись на более высокий уровень, удаётся сформулировать и решить соответствующую однокритериальную оптимизационную задачу.

Методы определения множества эффективных планов (множества Парето), образующие третью группу позволяют при принятии решения, не рассматривать все неконкурентоспособные варианты действий, а сосредоточить свое внимание лишь на самых целесообразных. Иначе говоря, использование этих методов предоставляет объективную возможность для субъективного выбора решения. В [148] приведён метод определения множества Парето с использованием метода линейного программирования, позволяющий найти аналитическое решение. Пусть необходимо выбрать решение некоторой задачи по двум показателям эффективности: k_1 и k_2 (причем каждый из этих критериев должен быть, по возможности, максимальным). Изобразим все возможные решения этой задачи в виде некоторого замкнутого множества (M), рассматриваемого на плоскости с осями координат k_1 и k_2 (рисунок 3.3).

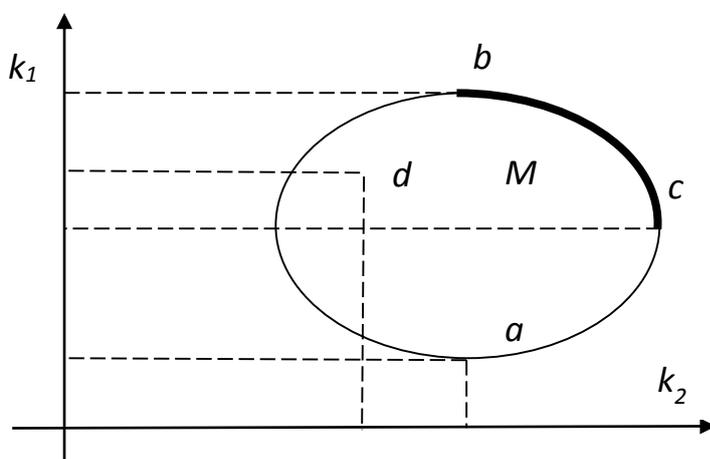


Рисунок 3.3 – Множество Парето

Каждая точка множества M соответствует одному из решений, характеризуемым значениями критериев k_1 и k_2 . Как видно, некоторые из этих решений очень плохие. Например, решение, отмеченное точкой (a), характеризуется очень

маленькими значениями каждого из критериев. Решение, отмеченное точкой (d) , лучше решения (a) по критерию k_1 , но уступает ему по критерию k_2 . Стремление максимизировать решение по критерию k_1 приводит к выбору точки b , а максимальное значение критерия k_2 достигается при выборе решения, которому соответствует на рисунке 3.3 точка (c) .

Очевидно, что все наилучшие решения расположены на участке дуги $(b-c)$. Любое другое решение, находящееся вне этой дуги, может быть улучшено по крайней мере по одному показателю (а для большинства решений – сразу по двум). Участок $(b-c)$ носит название «множество эффективных планов» или «множество Парето» и характеризуется тем важным свойством, что на нем ни одно решение не может быть улучшено по одному из критериев без ущерба для другого критерия.

В общем случае определение областей Парето в многокритериальных задачах связано с преодолением значительных трудностей. Однако в некоторых ситуациях удается довольно просто находить такие области. В [127] приводится графоаналитический метод (рис. 3.4) нахождения множества эффективных планов для задачи линейного программирования с одним ограничительным условием и двумя критериями эффективности:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j \rightarrow \max \\ k_2 &= \sum_{j=1}^n a_{2j}x_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n x_j &= N, x_j \geq 0, j = \overline{1, n} \end{aligned} \right\} \quad (3.41)$$

1. Полагая последовательно $x_j = N$, получаем n точек A_j , $j = \overline{1, n}$ с координатами $A_j (N_{a_{1j}}; N_{a_{2j}})$. Множество Парето представляет собой выпуклую ломаную линию с вершинами в некоторых из точек A_j .
2. Обозначим множество этих точек (Q) и найдем его. Прежде всего в (Q) входит точка, имеющая максимальную первую координату, т.е. точка A_{j^*} , для которой $a_{1j^*} = \max_j a_{1j}$. Если таких точек несколько, то выбирается та из них, для которой вторая координата самая большая.

3. Обозначим координаты точки A_{j^*} следующим образом: $(a_1; b_1)$.
4. Аналогично выбирается вторая точка с координатами $(c_1; d_1)$, имеющая максимальную вторую координату. Если $a_1 = c_1$ и $b_1 = d_1$, то построение множества Q закончено (оно представляет собой единственную точку).
5. В противном случае выбрасываются из рассмотрения все точки A_j , для которых

$$Na_{1j}(b_1 - d_1) + Na_{2j}(c_1 - a_1) \leq b_1 c_1 - a_1 d_1, \quad (3.42)$$

а из оставшихся выбираются описанным способом две точки (a_2, b_2) и (c_2, d_2) , для которых максимальны соответственно первая и вторая координаты. Эти две точки также входят в множество Q . Если $a_2 = c_2$ и $b_2 = d_2$, то множество Парето построено и состоит из двух отрезков, соединяющих точки с координатами $(a_1; b_1)$ и $(a_2 = c_2, b_2 = d_2)$; $(a_2 = c_2, b_2 = d_2)$ и $(c_1; d_1)$.

6. Далее выбрасываются из рассмотрения все точки A_j , для которых выполняется неравенство

$$Na_{1j}(b_2 - d_2) + Na_{2j}(c_2 - a_2) \leq b_2 c_2 - a_2 d_1, \quad (3.43)$$

а из оставшихся вновь выбираются две точки (a_3, b_3) и (c_3, d_3) с максимальными, соответственно первой и второй координатой.

7. Продолжая далее описанную процедуру, на q -м шаге получаются две последние точки Q с координатами (a_q, b_q) и (c_q, d_q) или одна точка с координатами $(a_q = c_q)$ и $(b_q = d_q)$. Это означает, что множество Парето найдено, а искомая ломаная линия проходит последовательно через точки $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_q, b_q), (c_q, d_q), \dots, (c_2, d_2), (c_1, d_1)$.

Обоснованием данного алгоритма является то, что для любых x_j , удовлетворяющих условиями задачи (3.1), справедливо:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = \sum_{j=1}^n \alpha_j (Na_{ij}), i = 1, 2, \quad (3.44)$$

где

$$\alpha_j = \frac{x_j}{N} \geq 0, \sum_{j=1}^n \alpha_j = 1. \quad (3.45)$$

Это означает, что множество возможных пар (k_1, k_2) – выпуклое множество, натянутое на точки A_j с координатами $(Na_{1j}; Na_{2j})$. При этом никакая внутренняя точка полученного выпуклого многоугольника не принадлежит множеству Парето (рисунок 3.4).

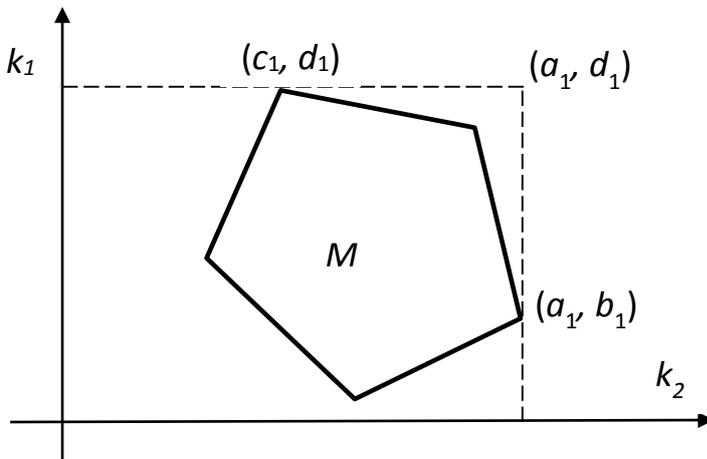


Рисунок 3.4 – Множество Парето для рассматриваемого алгоритма

Точки (a_1, b_1) и (c_1, d_1) делят границу многоугольника на две части. Очевидно, что множество Парето совпадает с частью границы, лежащей ближе к точке (a_1, d_1) , а изложенный алгоритм позволяет определять все точки этого множества [148]. Таким образом, можно определить множество Парето-оптимальных

решений путём решения задачи линейного программирования с двумя и большим количеством критериев эффективности, и большим числом ограничительных условий [148]:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j \rightarrow \max \\ k_2 &= \sum_{j=1}^n a_{2j}x_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n b_{ij}x_j &\leq c_i, i = \overline{1, m}, \\ x_j &\geq 0, j = 1, n \end{aligned} \right\} \quad (3.46)$$

Вывод: метод определения множества Парето в многокритериальных задачах не претендует в общем случае на рекомендацию какого-либо одного действия, а направлен на максимальное снятие неопределенности, выявление наиболее критичных параметров и выработку требований по уточнению

информации о них (критериях эффективности). В этом проявляется тесная связь между определением множества Парето и методом районирования, рассматриваемом выше, направленным на максимальное снятие неопределенности и уточнение информации о вероятностях состояний внешней среды. Поэтому для того, чтобы увеличить надёжность искомых решений в СУСЭА целесообразно формирование аналитического аппарата на базе методов линейного программирования получения множества Парето (развития методов районирования), позволяющего вырабатывать оптимальные решения при наличии минимальных сведений о состоянии среды эксплуатации автомобиля в условиях многокритериальности.

3.4 Выводы по третьей главе

В третьей главе был произведён анализ методов снятия неопределённости в информационных ситуациях, характерных для условий функционирования СУСЭА. Выявлено, что для оценки сроков эксплуатации автомобиля СУСЭА должна рассматриваться в динамически изменяемых условиях внешней среды. В таких задачах выбор решения зависит от СВС, и подразумевает применение ряда методов или математических моделей решения многокритериальных задач. Для разработки метода решения многокритериальных задач, адаптированного к условиям работы динамической системы управления сроком эксплуатации автомобиля с дискретными состояниями ТО автомобиля:

1. Разработана общая структура методов для снятия неопределённости в дискретных состояниях СУСЭА, определяющая основные из них:
 - 1.1. Методы, применяемые в случаях возникновения ситуации неопределенности из-за недостаточности информации: априорного ранжирования и множественного регрессионного анализа. Определено, что методы, основанные на экспертной оценке, обладают значительной

долей субъективизма, а методы, формируемые на экспериментальной базе и математическом планировании исследований, трудоёмки и генерируют неопределённость большим числом объектов или элементов, включённых в ситуацию.

- 1.2. Методы, когда решение принимается в условиях неопределённости - это методы, основанные на применении односоставных критериев Лапласа, Сэвиджа, Вальда или методы, применяемые для определения коэффициентов относительной важности решений по отдельным критериям. В этом случае оптимальное решение принимается в условиях риска и должна выполняться задача его минимизации. Практика и анализ этих методов показывают, что применение данных стратегий обеспечивает положительный, но не равноценный выигрыш и не однозначный вариант решения.
2. Произведён анализ методов, применяемых для решения многокритериальных задач, показавший, что условно их 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 в условиях многокритериальности позволяют методы определения множества эффективных планов (множества Парето).
3. Установлено, что между определением множеством Парето в многокритериальных задачах и методом районирования, идея которого состоит в разбиении множества возможных состояний природы на подмножества доминирования отдельных действий, для решения задач «игр с природой», в неопределённых ситуациях существует связь. Оба метода не претендуют в общем случае на рекомендацию какого-либо одного действия, а направлены на максимальное снятие неопределённости, выявление наиболее критичных параметров и выработку требований по уточнению информации о них: в первом случае – критериев эффективности, во втором – вероятностях

состояний природы. При этом матричная игра с природой может быть сведена при условии непрерывности функции показателя эффективности от изменения вектора состояния природы к линейной задаче векторной оптимизации, то есть доказана связь между решением многокритериальных задач и задач теории принятия решений в условиях неопределённого состояния среды эксплуатации автомобиля.

4. Обосновано, что для решения задач СУСЭА можно использовать методы векторной оптимизации, а многокритериальная задача оценки сроков эксплуатации автомобилей должна быть решена при помощи аппарата теории игр с природой. Тогда при переходе от многокритериальной задачи к игре с природой вероятности состояний природы по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности критериев.

Поэтому для того, чтобы увеличить надёжность искомых решений в СУСЭА целесообразно формирование аналитического аппарата на базе методов линейного программирования получения множества Парето (развития методов районирования), позволяющего вырабатывать оптимальные решения при наличии минимальных сведений о состоянии среды эксплуатации автомобиля в условиях многокритериальности.

4 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

4.1 Разработка метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды

Многокритериальность при оценке срока эксплуатации автомобиля является прямым следствием неполноты информации о ситуации, определяемой совокупностью факторов, которые необходимо учитывать при формировании решений в комплексе ТЭА. Именно из-за отсутствия достаточно полной и достоверной информации, необходимой для принятия достоверных решений по ТО и ТР на всем сроке эксплуатации автомобиля, невозможно однозначно определить характер проводимых операций, что и порождает необходимость разработки аналитического аппарата, оптимизирующего принимаемое решение по нескольким показателям эффективности с учётом возможных изменений условий эксплуатации автомобиля. На основании проведённого анализа методов принятия решений в условиях неопределённости и методов решения многокритериальных задач, изложенных в третьей главе, можно сформулировать комплексный метод снятия неопределённости при решении многокритериальных задач, позволяющий увеличить надёжность принимаемых решений в информационных ситуациях, характерных для СУСЭА. Сформируем многокритериальную задачу оптимизации выработки решений для СУСЭА. Она характеризуется тремя основными понятиями: множество возможных решений в СУСЭА; множество информационных состояний (ИС) СУСЭА; эффективность любого решения при каждом информационном состоянии СУСЭА.

Примем обозначения: m – число возможных вариантов действий в СУСЭА; n – число возможных критериев, актуальных для ИС СУСЭА; a_{ij} – эффективность i -го действия для j -го критерия СУСЭА, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

Тогда матрица эффективностей различных действий для отдельной ИС СУСЭА имеет вид (3.29):

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

Сформулируем основные положения **метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды** [145,174]. В основе предлагаемого решения многокритериальных задач, определяемых отдельными изменяющимися в процессе эксплуатации автомобиля ИС в СУСЭА и лежит метод районирования. Метод состоит в разбиении множества возможных состояний «природы» на подмножества доминирования отдельных действий. В целом ряде случаев использование этого метода не позволяет получить искомое оптимальное решение, хотя и существенно упрощает его поиск. Это обстоятельство и определило направление развития данного метода по ряду направлений.

1. Районирование представляет собой обратную параметрическую задачу линейного программирования, следовательно, для получения искомого решения важно выбрать способ районирования.
2. Матричная игра с «природой» сводится (при условии непрерывности функции показателей эффективности от изменения вектора состояния природы) к линейной задаче векторной оптимизации и наоборот. Следовательно, для решения игр с природой можно использовать методы векторной оптимизации, а многокритериальные задачи во многих случаях могут быть решены при помощи аппарата теории игр с «природой».
3. При переходе от многокритериальной задачи к задачам игр с «природой» вероятности состояний природы p_j по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности критериев c_j , т.е. $p_j \equiv c_j$.

4. Метод направлен на исследование явлений внешней среды эксплуатации автомобилей, которые обусловлены отдельными ИС СУСЭА.
5. Районирование целесообразно производить не по принципу доминирования отдельных действий, а по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний «природы» или ИС СУСЭА.

Пусть распределение коэффициентов относительной важности (КОВ) для определённых критериев эффективности подчинено ограничениям

$$0 \leq c_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n c_j = 1, \quad (4.1)$$

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

Множеству распределений будет соответствовать поле распределений в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в пространстве $(n - 1)$ измерений $\sum_{j=1}^{n-1} c_j$. В декартовой системе координат c_1, c_2, \dots, c_{n-1} такой гипертетраэдр является результатом пересечения положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из координатных осей отрезок, равный единице. Рассмотрим ситуацию, когда имеются основания для расположения этих коэффициентов в последовательность, при которой выполняется условие

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_i \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n \quad (4.2)$$

Общее количество последовательностей такого типа для распределений системы (4.1) определяется количеством перестановок $n!$. При $n = 3$ поле распределений коэффициентов относительной важности вырождается в прямоугольный треугольник с единичными катетами (рис. 4.1). Количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение между коэффициентами относительной важности показателей, равно $P_3 = 3! = 6$.

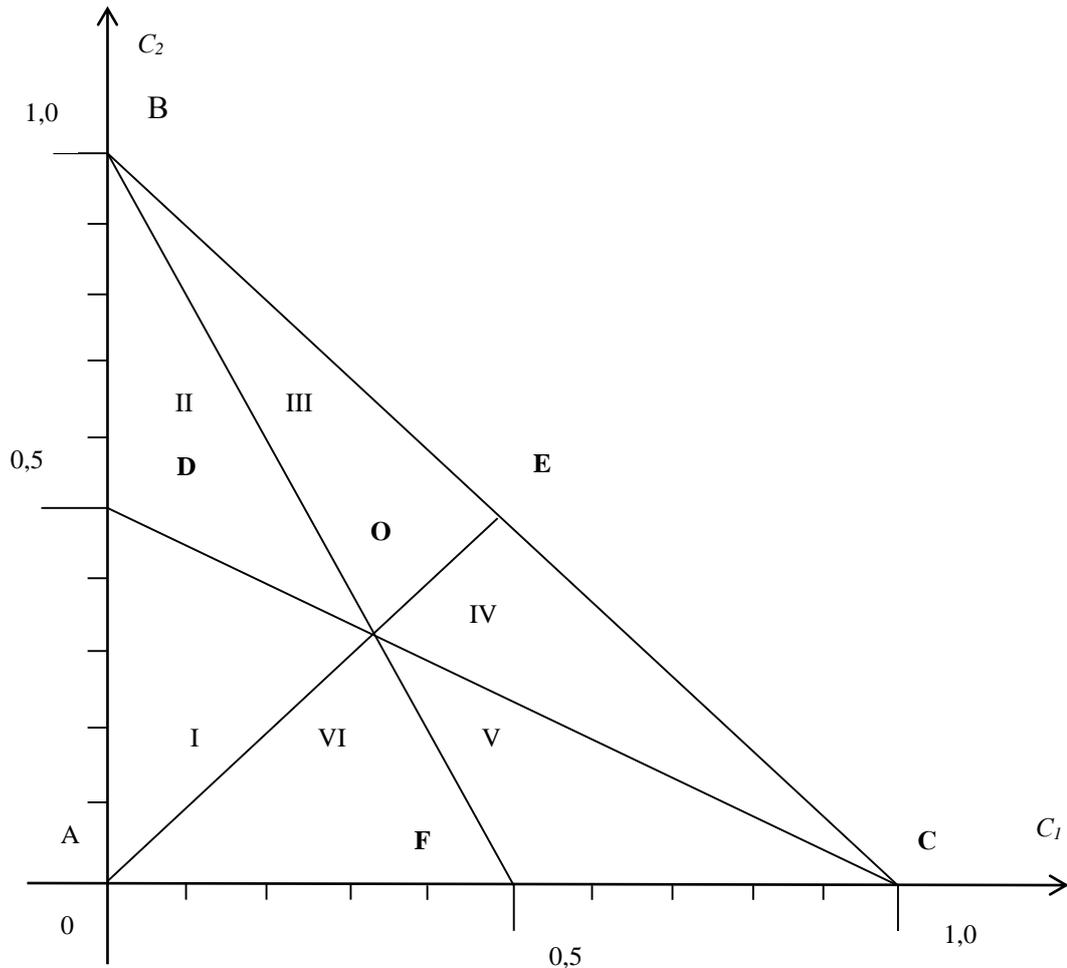


Рисунок 4.1 - Поле распределений коэффициентов c_i , $P_3 = 3! = 6$

Рассмотрим рис. 4.1. По осям координат отложены значения коэффициентов c_1 и c_2 , а прямоугольный треугольник ABC отражает распределение коэффициентов, описываемое системой

$$0 \leq c_i \leq 1; \quad i = 1,2,3; \quad c_1 + c_2 + c_3 = 1, \quad (4.3)$$

То есть все возможные решения системы (4.1) расположены внутри треугольника ABC и на его сторонах AB, BC и CA. В этом треугольнике проведены медианы AE, BF и CD, которые разбивают треугольник ABC на $3! = 6$ треугольников (AOD, DOB, BOE, EOC, COF и FOA). При $n = 4$ (рисунок 4.2) количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение между коэффициентами относительной важности показателей, равно $P_4 = 4! = 24$.

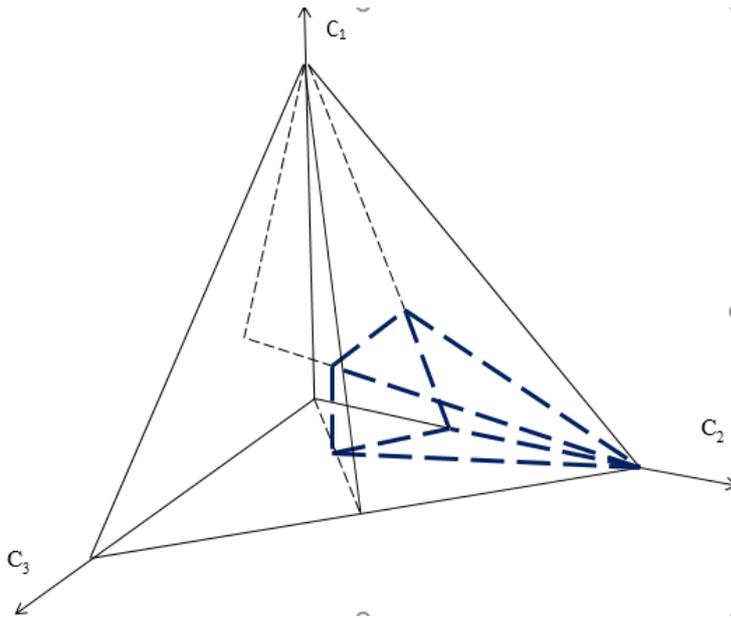


Рисунок 4.2 - Поле распределений коэффициентов C_i , $P_4 = 4! = 24$

Вернёмся к рисунку 4.1. Легко показать, что полученные на рисунке треугольники равны между собой, а площадь каждого из них равна $1/12$. При этом площадь большого треугольника равна $1/2$. Точка O является центром треугольника и делит каждую медиану в отношении $1:2$. В таблице 4.1 представлены уравнения сторон и медиан треугольника ABC , а в таблице 4.2 каждому из шести подмножеств поставлено в соответствие свое распределение КОВ показателей.

Таблица 4. 1 - Уравнения сторон и медиан треугольников

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 4.2 - Геометрическое поле распределения КОВ

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	$c_2 < c_1 < c_3$

Проанализируем содержание этих таблиц. Отрезок АВ описывается уравнением $c_2 + c_3 = 1$, при этом $c_1 = 0$. В таком же формате описываются остальные стороны большого треугольника. Медиане АЕ соответствует уравнение $c_1 = c_2$, при этом $c_1 + c_2 + c_3 = 1$. По аналогии описываются остальные медианы. Из табл. 4.2 видно, что каждому из шести возможных подмножеств поставлено в соответствие свое распределение коэффициентов важности. Например, все возможные решения системы уравнений и неравенств

$$0 \leq c_i \leq 1; i = 1, 2, 3; c_1 + c_2 + c_3 = 1; c_3 \leq c_2 \leq c_1 \quad (4.4)$$

находятся в подмножестве IV, т.е. в площади треугольника ЕОС. Точка (О) имеет координаты $c_1 = c_2 = c_3 = 1/3$.

Рассмотренный выше подход позволяет сформулировать алгоритм выбора оптимального варианта искомого решения (D_i), реализуемом при в методе районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды:

1. Относительные важности показателей C_j упорядочиваются в виде последовательности (4.2)
2. Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{cases} \quad (4.5)$$

Формулирование данная задача даёт возможность получить ряд аналитических решений, в частности:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (4.6)$$

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

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, & \text{если } j < k, \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, & \text{если } j > k \end{cases} \quad \text{где } \lambda = \frac{n-1}{n}. \quad (4.7)$$

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

Принципиальным отличием разработанного метода от ныне существующих является отсутствие субъективно формализованной связи между получаемыми значениями коэффициентов относительной важности по отдельным критериям и для отдельных вариантов решения.

Применим разработанный метод для решения примера рассматриваемого в главе 3. Решим пример для подмножества – **IV**, $c_3 < c_2 < c_1$.

для $i = 1: k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$:

$$D_1 = 0,20 \cdot 0,5 + 0,24 \cdot 0,5 = 0,22$$

для $i = 2: k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$:

$$D_2 = 0,76 \cdot 1 = 0,76$$

для $i = 3: k = 1; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$:

$$D_3 = 0,18 \cdot 0,5 + 0,80 \cdot 0,5 = 0,49$$

для $i = 4: k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$:

$$D_4 = 0,84 \cdot 1 = 0,84 - \text{оптимальный вариант решения.}$$

Представим графическое решение задачи (3.27) на рисунке 4.3.

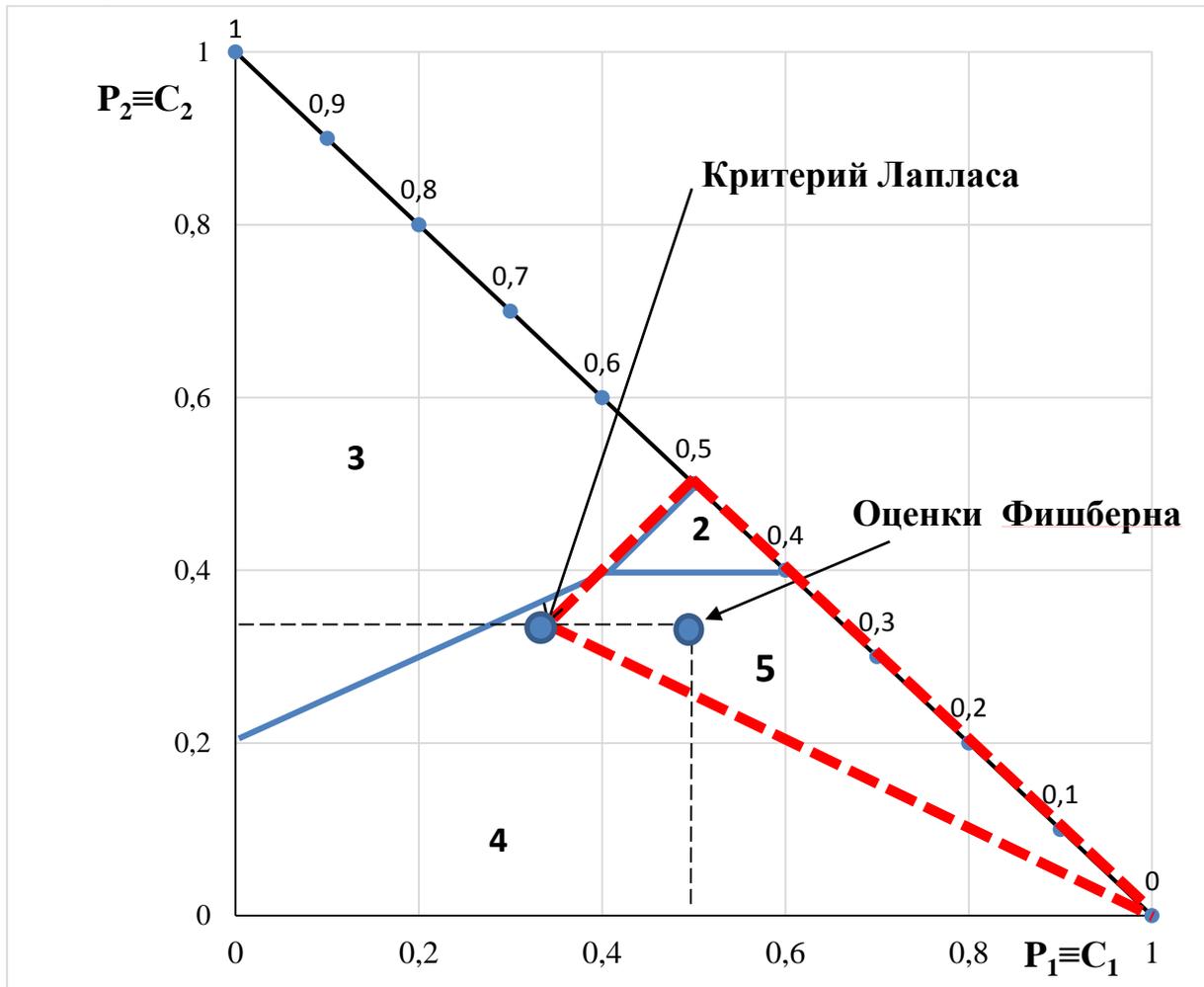


Рисунок 4.3 - Графическое решение задачи (3.27)

Проанализируем рисунок 4.3. Графическое решение сквозного примера позволяет сравнить результаты решений, полученных различными методами:

- 1) 2, 3 и 4 - области вероятностей наличия эффективных решений при применении метода районирования по принципу доминирования отдельных действий;
- 2) 5 – область вероятностей наличия эффективных решений при применении метода районирования по принципу сохранения заданного иерархического соотношения (IV) возможных состояний природы (для $n=3$);
- 3) Точка «оценки Фишберна» – точка, соответствующая эффективному решению, полученная по системе весов Фишберна;

- 4) Точка «Критерий Лапласа – точка, соответствующая эффективному решению, полученная при применении односоставного критерия Лапласа.

Полученный результат (разработанный метод) совпадает с решениями, полученными в случае применения метода оценок Фишберна и в случае применения критерия Лапласа. При этом значение **эффективного решения в количественных оценках является максимальным в случае применения метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды**. В таблице 4.3 приведено сравнение результатов применения различных методов снятия неопределённости, определяемой условиями среды эксплуатации автомобилей для отдельной ИС.

Таблица 4.3 - Сравнение результатов применения различных методов снятия неопределённости

Метод принятия решения	Вариант решения	Эффективность решения
Критерий Вальда	1	0,200
Критерий Сэвиджа	2	0,620
Критерий Гурвица для оптимистической оценки $\lambda = 0,8$ и пессимистической оценки ($\lambda = 0,3$)	3	0,676 (0,366)
Критерий Лапласа	4	0,440
Оценки Фишберна	4	0,503
Модификация метода районирования	4	0,840

Для решения поставленной задачи использовался математический аппарат, базирующийся на теориях вероятностей, линейной алгебры и математического программирования. Получение оптимального варианта искомого решения достигается решением задачи линейного программирования для каждого сравниваемого варианта. Наибольшую эффективность разработанный метод будет иметь при решении задач с относительно небольшим числом возможных состояний среды исследования СУСЭА, но существенных ограничений по числу возможных состояний внешней среды нет.

Разработанный метод решает важную научную проблему, связанную с поиском решений задач векторной оптимизации, а именно задач, решаемых по нескольким критериям эффективности. Данный подход к методу районирования, а именно выбор способа районирования позволяет вывести максимальное снятие неопределенности и уточнение информации о вероятностях состояний природы факторов на новый качественный уровень, то есть представляет собой объективный аппарат для принятия субъективного решения [174].

Принципиальными преимуществами разработанного метода являются:

1. Отсутствие формализованной связи между КОВ, получаемых для отдельных критериев и различных вариантов решения.
2. Для получения решения задачи принятия решения по нескольким критериям эффективности достаточно установить порядок приоритета между ними.
3. Полученное решение в количественных оценках является максимально возможным с учётом исходных значений показателей эффективности по рассматриваемым критериям.
4. Аппарат получения веса критерия формализован, то есть объективен в части получения веса отдельного критерия для каждого отдельного решения.

Таким образом, метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды позволяет при наличии минимальных сведений о состояниях («природы» факторов среды исследования, т.е. ИС в СУСЭА) построить алгоритм, обеспечивающий получение оптимального решения поставленной задачи.

Определим место метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды в общей структуре методов решения задач по снятию неопределённости (рисунок 4.4).

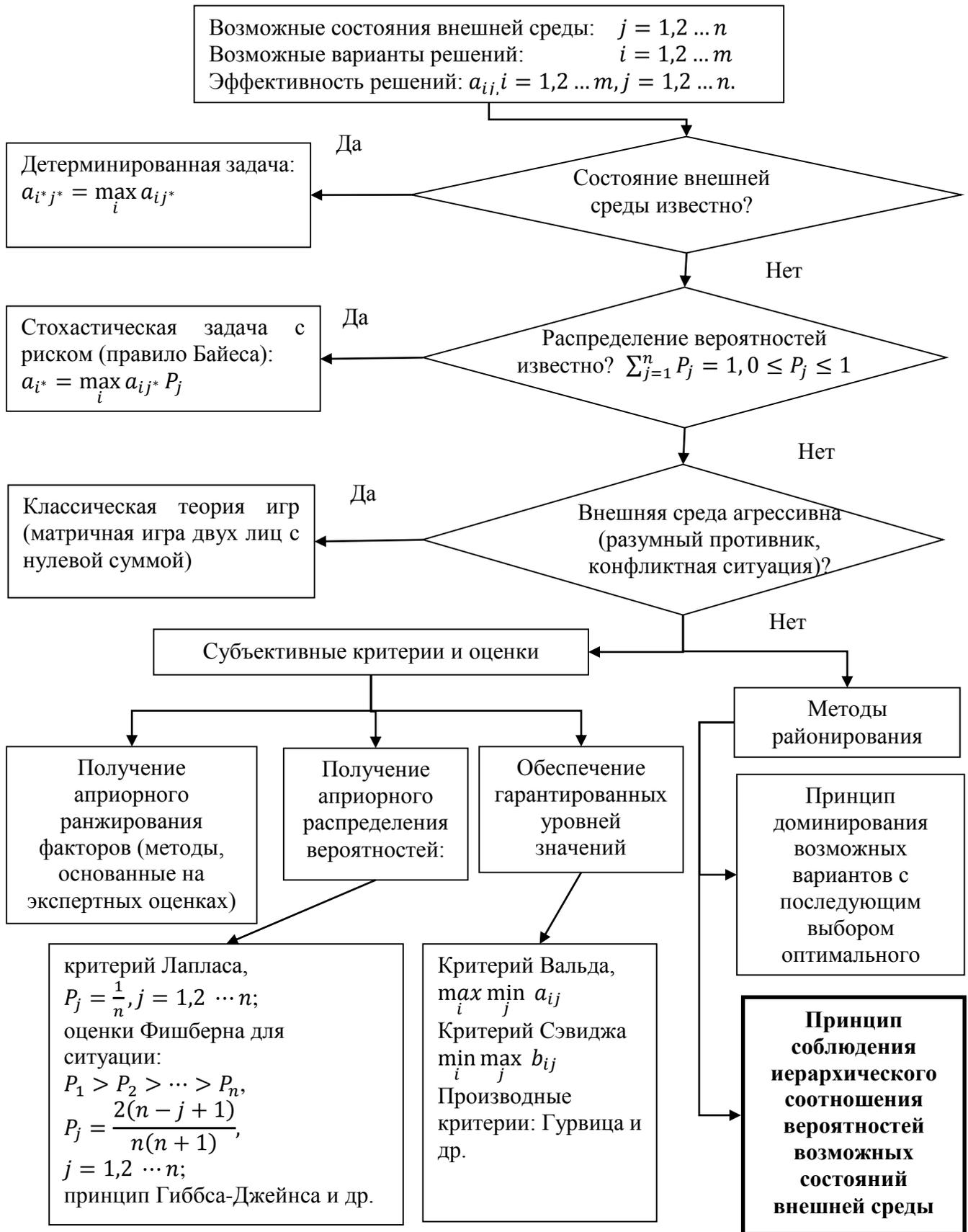


Рисунок 4.4 - Интегрирование разработанного метода в общую структуру методологии решения задач по снятию неопределённости

Область применения разработанного метода районирования достаточно широка. Перечислим лишь некоторые из возможных направлений:

- 1) игры с природой;
- 2) векторная оптимизация (многокритериальные задачи);
- 3) любые задачи, в которых решение ищется на основе экспертных оценок;
- 4) задачи, основанные на идее ранжирования;
- 5) задачи оптимального распределения ресурсов по объектам различной важности;
- 6) задачи оптимального распределения однородных или разнородных ресурсов в условиях неполноты информации;
- 7) задачи параметрического программирования;
- 8) задачи определения оптимальной структуры требуемых ресурсов (материальных, финансовых и др.).

Важно отметить, что в практической деятельности крупных АТП различных форм собственности или при применении автомобилей для перевозки грузов или пассажиров частными предпринимателями в зависимости от характера производимых работ, вида перевозимого груза, перечня действующих нормативных документов существует обязательный приоритет нескольких критериев, обусловленный условиями эксплуатации автомобилей, таких как:

- 1) соответствие требованиям безопасности при перевозке опасных эксплуатация автомобиля;
- 2) необходимость обеспечения требований безопасности при перевозках пассажиров;
- 3) соответствие автомобиля нормативным требованиям экологической безопасности при осуществлении международных перевозок и т.д.

Разработанный метод реализует научный подход, применимый в методологиях проектирования, управления, планирования и контроля процессов функционирования автомобиля и формирует теоретическую основу аналитического аппарата для получения алгоритмов, позволяющих не формально ограничивать сроки эксплуатации автомобиля, а обоснованно и

целенаправленно управлять сроками его эксплуатации. Поэтому можно констатировать, что на основе выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований **решена значимая научная проблема – разработан новый метод получения оптимального управляющего решения в условиях неопределённого состояния внешней среды (среды эксплуатации автомобиля). Практическое применение метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды в СУСЭА, как подсистеме ТЭА.**

4.2 Оценка динамики изменения показателей качества автомобиля в многокритериальной постановке

В процессе эксплуатации автомобиля при достижении им предельного состояния, или несоответствия его технических параметров нормативным значениям конструктивной или экологической безопасности, определяемых требованиями внешней среды на определённом этапе эксплуатации, возможны различные стратегии возобновления состояния автомобиля ($S_1, S_2, S_3 \dots S_n$). Эксплуатирующее предприятие может либо списать автомобиль по достижении предельного состояния по какому-либо критерию, или посредством технических воздействий (ТР или КР) поднять пониженное значение показателя качества (КТИ) до требуемого уровня, при этом увеличив затраты на его эксплуатацию. В любом случае необходим аналитический аппарат, позволяющий осуществлять управление показателями качества в процессе ТЭА.

Рассмотрим возможную динамику изменения КТИ автомобиля в зависимости от пробега с начала его эксплуатации автомобиля в нескольких вариантах. На рисунке 4.5 представлен наиболее общий из возможных вариантов изменения значений КТИ в зависимости от пробега автомобиля.

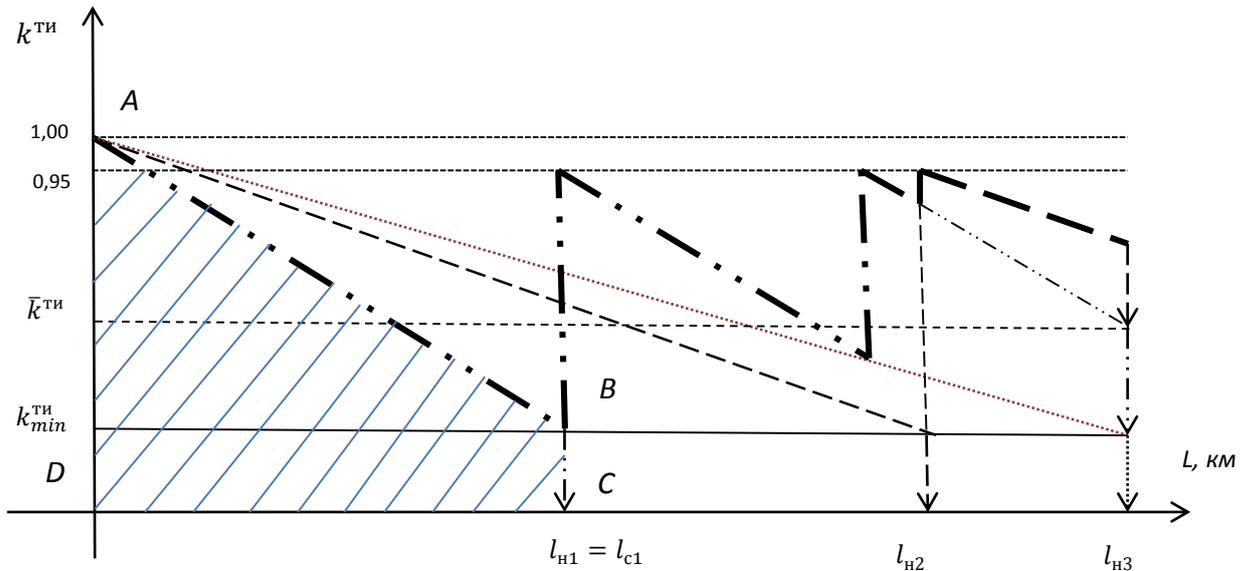


Рисунок 4.5 - Общий случай изменения значений КТИ в зависимости от пробега автомобиля

Доказано, что изменение значений КТИ в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации происходит по линейному закону [99].

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 1,0) – значение КТИ, до которого происходит восстановление параметра при технических воздействиях.

Уравнение зависимости КТИ в общем случае [174] подчиняется линейному закону:

$$k_i^{ти}(L) = \left(\frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_i} \right) L + 1, \quad (4.8)$$

где $k_{min}^{ти}$ – минимально допустимое значение КТИ по отдельному критерию.

Первый случай возможной стратегии эксплуатации (S₁), когда списание автомобиля произойдет при достижении им предельного состояния и дальнейшая эксплуатация его не допустима. При этом автомобиль постоянно проходил

регламентные ТО-1 и ТО-2, при которых производился необходимый сопутствующий ТР по нормативу (на рисунке 4.5 - l_{H1} , км).

Рассмотрим трапецию S_{ABCD} с учётом (4.7). В общем виде площадь трапеции определяется, как:

$$S_{ABCD} = \int_0^{l_{H1}} \left(\frac{k_{min}^{TI} - 1}{l_{H1}} \cdot l + 1 \right) dl = \int_0^{l_{H1}} \left(\frac{k_{min}^{TI} - 1}{l_{H1}} \right) dl + \int_0^{l_{H1}} dl = \left(\frac{k_{min}^{TI} - 1}{l_{H1}} \right) \cdot \frac{l_{H1}^2}{2} + l_{H1} \quad (4.9)$$

Для линейной зависимости:

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2}(1 - k_{min}^{TI}) \cdot l_{H1} + k_{min}^{TI} \cdot l_{H1} = \frac{1}{2}(1 + k_{min}^{TI}) \cdot l_{H1} = \frac{k_{min}^{TI} + 1}{2} \cdot l_{H1},$$

тогда:

$$S_{ABCD} = \frac{k_{min}^{TI} + 1}{2} \cdot l_{H1}. \quad (4.10)$$

Далее определим значение реализуемого КТИ автомобиля для одного произвольного критерия:

$$\bar{k}^{TI} = \frac{S_{ABCD}}{l_{H1}} = \frac{\left(\frac{k_{min}^{TI} + 1}{2} \cdot l_{H1} \right)}{l_{H1}}, \quad (4.11)$$

\bar{k}^{TI} – реализуемый показатель качества автомобиля;

$$\bar{k}^{TI}_{(1)} = \frac{k_{min}^{TI} + 1}{2} \quad (4.12)$$

Проведённое исследование первого случая стратегии эксплуатации позволяет сделать заключение, что значения реализуемого КТИ определяются его минимально допустимой величиной.

Второй случай стратегии эксплуатации (S_2), – автомобиль снимается с линии при необходимости восстановления работоспособности у неисправного

агрегата, узла или детали. При этом должно быть восстановлено значение КТИ до значения, близкого к исходному $k^{ти} = k_H^{ти}$ (рисунок 4.6). Такая ситуация возникает при проведении непланового ТР в случае аварийной ситуации с каким-либо конструктивным элементом автомобиля.

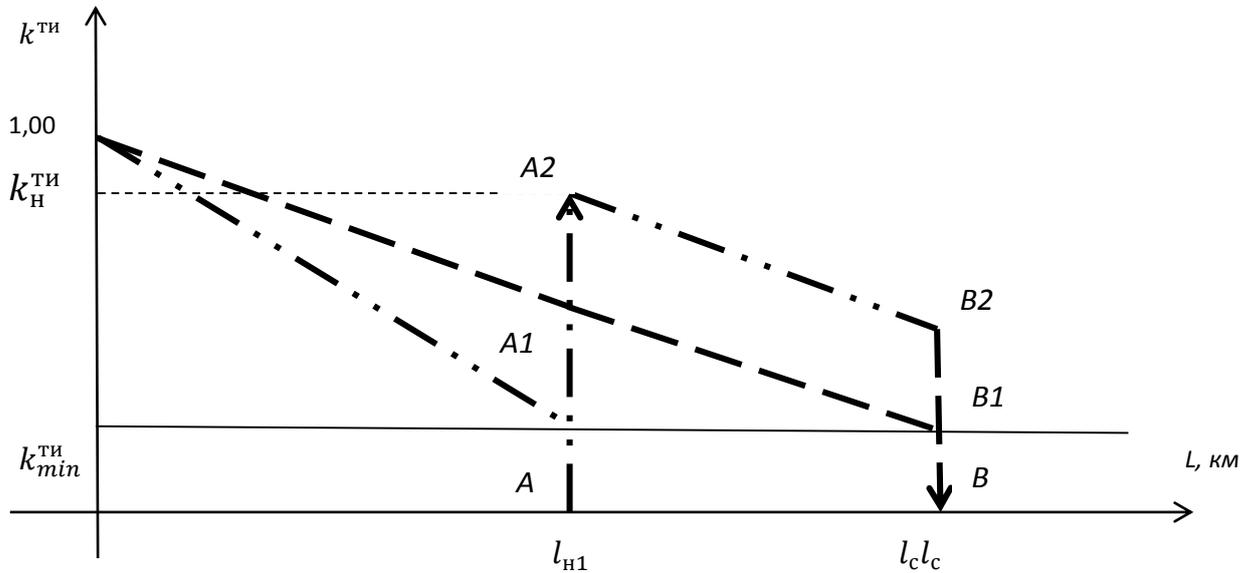


Рисунок 4.6 - Повышение показателя качества для продления работоспособного состояния автомобиля по одному из критериев

Первоначально установим значение $k^{ти}$ при l_{H1} . Определим площадь фигуры:

$$S_{A_1A_2B_2B_1} = S_{AA_2B_2B} - S_{AA_1B_1B}. \quad (4.13)$$

и произведём ряд преобразований:

$$S_{A_1A_2B_2B_1} = \frac{|AA_2| + |BB_2|}{2} \cdot |AB| - \frac{|AA_1| + |BB_1|}{2} \cdot |AB|$$

$$S_{A_1A_2B_2B_1} = (|AA_2| + |BB_2| - |AA_1| + |BB_1|) \cdot \frac{|AB|}{2} = 2 \cdot |AA_2| \cdot \frac{|AB|}{2},$$

тогда,

$$S_{A_1A_2B_1B_2} = |A_2A_1| \cdot |AB|.$$

Далее

$$|A_2A_1| = A_2 - A_1 = k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} - (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) \cdot \frac{l_{\text{H1}}}{l_{\text{c}}} - 1,$$

$$|AB| = l_{\text{c}} - l_{\text{H1}}.$$

Тогда

$$S_{A_1A_2B_1B_2} = \left[k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} - (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) \cdot \frac{l_{\text{H1}}}{l_{\text{c}}} - 1 \right] \cdot (l_{\text{c}} - l_{\text{H1}})$$

$$S_{A_1A_2B_1B_2} = k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} l_{\text{c}} - (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) l_{\text{H1}} - l_{\text{c}} - k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} l_{\text{H1}} + (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) \frac{(l_{\text{H1}})^2}{l_{\text{c}}} + l_{\text{H1}}$$

Таким образом,

$$f(l_{\text{H}}) = S_{A_1A_2B_1B_2} = k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} l_{\text{c}} - (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) l_{\text{H}} - l_{\text{c}} - k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} l_{\text{H1}} + (k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) \frac{(l_{\text{H1}})^2}{l_{\text{c}}} + l_{\text{H1}}.$$

Определим

$$f'(l_{\text{H1}}) = -(k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) l_{\text{H1}} - k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} + 2(k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1) \frac{l_{\text{H1}}}{l_{\text{c}}} + 1 = 0$$

Отсюда

$$l_{\text{H1}} = \frac{(k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} + k_{\text{H}}^{\text{ТИ}} - 2) \cdot l_{\text{c}}}{2(k_{\text{min}}^{\text{ТИ}} - 1)}. \quad (4.14)$$

Тогда при восстановлении работоспособности автомобиля до значения $k^{\text{ТИ}} = k_{\text{H}}^{\text{ТИ}}$, для **случая возможной стратегии эксплуатации (S₁)**, когда - автомобиль снимается с линии для списания, можно принять пробег равным:

$$l_{\text{H1}} = \frac{l_{\text{c}}}{2}. \quad (4.15)$$

Определим значение показателя качества ($k^{ти}$), при $l = l_{н1}$:

$$k^{ти}(l_{н1}) = \frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_c} \cdot l_{н1} + 1 = \frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_c} \cdot \frac{(k_{min}^{ти} + k_{н}^{ти} - 2) \cdot l_c}{2(k_{min}^{ти} - 1)} + 1 = \frac{k_{min}^{ти} + k_{н}^{ти} - 2}{2} + 1$$

$$k^{ти}(l_{н1}) = \frac{k_{min}^{ти} + k_{н}^{ти}}{2}. \quad (4.16)$$

Если значение $k_{н}^{ти} = 1$, то

$$k^{ти}(l_{н1}) = \frac{k_{min}^{ти} + 1}{2}. \quad (4.17)$$

Следовательно, значение показателя качества в данном случае также, как и в первом случае зависит от минимального значения КТИ.

Далее определим значение реализуемого показателя качества $\bar{k}^{ти}_{(2)}$ (среднее значение показателя качества за определенный период эксплуатации автомобиля). Для этого представим ещё один график (рисунок 4.7).

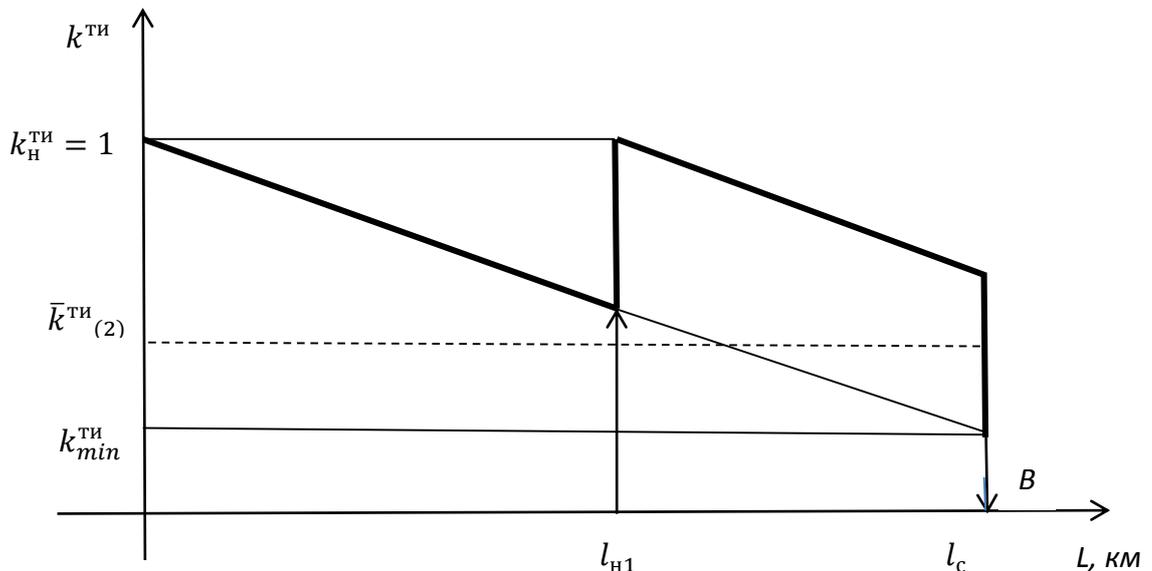


Рисунок 4.7 - Определение реализуемого показателя качества $\bar{k}^{ти}$

$$\bar{k}^{\text{ти}}_{(2)} = \frac{\left[\frac{1 + \left(\frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 1}{2} \right) \frac{l_c}{2}}{2} \right] \cdot 2}{l_c} = \frac{3 + k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4}. \quad (4.18)$$

Таким образом,

$$\bar{k}^{\text{ти}}_{(2)} = \frac{3 + k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4} \quad (4.19)$$

Сравним полученное значение $\bar{k}^{\text{ти}}_{(2)}$ с величиной $\bar{k}^{\text{ти}}_{(1)}$.

$$\Delta \bar{k} = \bar{k}^{\text{ти}}_{(2)} - \bar{k}^{\text{ти}}_{(1)} = \frac{3 + k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4} - \frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 1}{2} = \frac{1 - k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4}$$

$$\Delta \bar{k} = \frac{1 - k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4}. \quad (4.20)$$

Третий случай возможной стратегии (S₃). Наступает предельное состояние автомобиля по одному из показателей (ряду показателей) при пробеге $l_{\text{н1}}$. Принимается решение о восстановлении всех свойств автомобиля, включая технические воздействия по поддержанию общей работоспособности автомобиля до исходного значения $k^{\text{ти}} = 1$, либо близкого к исходному $k^{\text{ти}} = k_{\text{н}}^{\text{ти}}$ (рисунок 4.8). Как правило, это КР базовых агрегатов и механизмов двигателя, несущей системы, систем управления автомобиля и т.д.

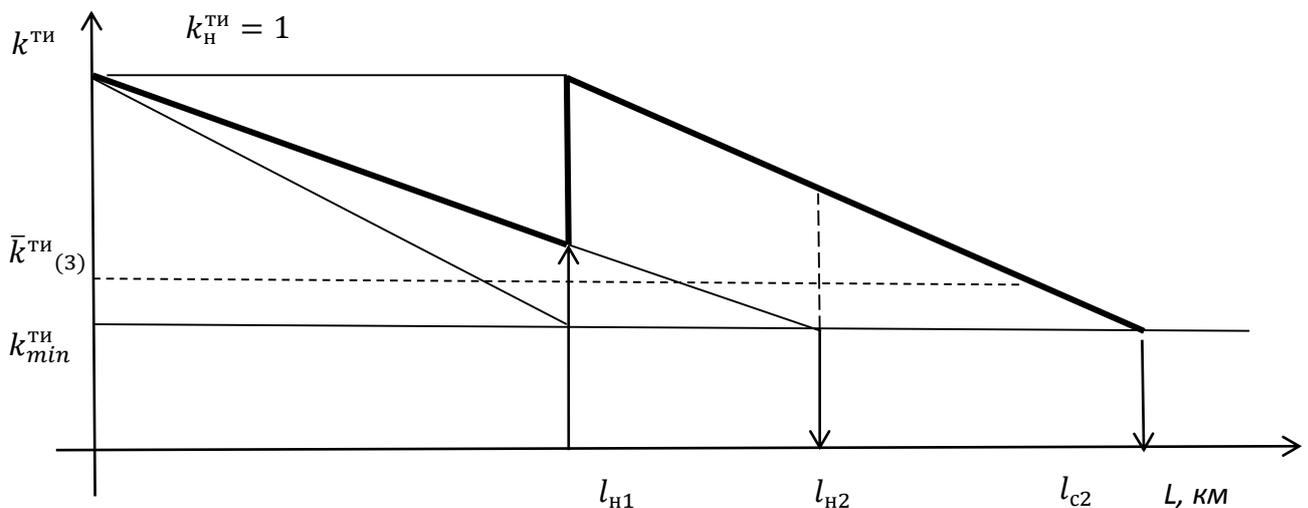


Рисунок 4.8 - Реализуемый показатель качества (стратегия 3)

Определим в данном случае значение реализуемого показателя качества автомобиля:

$$\bar{k}^{\text{ти}}_{(3)} = \left[\frac{1 + \left(\frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 1}{2}\right) \cdot l_c}{2} + \left(\frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 1}{2}\right) \cdot l_c \right] / \frac{3l_c^2}{2} = \frac{5k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 7}{2}. \quad (4.21)$$

$$\bar{k}^{\text{ти}}_{(3)} = \frac{5k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 7}{2}. \quad (4.22)$$

Мы рассмотрели некоторый спектр стратегий из возможных ($S_1, S_2, S_3 \dots S_p$), при реализации качества автомобиля с учётом различных случаев наступления предельного состояния и возможных моментов списания автомобиля (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Значение реализуемого показателя качества автомобиля при различных стратегиях восстановления его технического состояния

S_p	$\bar{k}_j^{\text{ти}}$
S_1 - автомобиль снимается с линии для списания при достижении предельного состояния по нормативному показателю и дальнейшая его эксплуатация недопустима	$\bar{k}^{\text{ти}}_{(1)} = \frac{k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 1}{2}$
S_2 - автомобиль снимается с линии при необходимости восстановления работоспособности у неисправного автомобиля агрегата, узла или детали	$\bar{k}^{\text{ти}}_{(2)} = \frac{3 + k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{4}$
S_3 - наступает предельное состояние автомобиля по одному из показателей (ряду показателей). Принимается решение о восстановлении всех свойств автомобиля, включая технические воздействия по поддержанию общей работоспособности автомобиля до исходного значения	$\bar{k}^{\text{ти}}_{(3)} = \frac{5k_{\text{min}}^{\text{ти}} + 7}{2}$

В каждом случае были определены $(k_{\text{min}}^{\text{ти}}, l_j, \bar{k}_j^{\text{ти}})$ а, также $\Delta \bar{k}$. Полученные результаты можно использовать для определения:

- 1) определения аналитических связей между различными стратегиями эксплуатации автомобиля ($S_1, S_2, S_3 \dots S_p$), при прогнозировании реализации качества автомобиля во времени (эксплуатационных свойств, в том числе конструктивной и экологической безопасности) с учётом различных случаев потери работоспособности;
- 2) динамики изменения значений реализуемого показателя качества автомобиля ($\bar{k}_j^{\text{ТИ}}$) по отдельным критериям в зависимости от пробега с начала эксплуатации автомобиля.

Выполненный во второй главе анализ показал, что решение задачи определения срока эксплуатации автомобиля с учётом обеспечения современных нормативов и ограничений, формируемых внешней средой его эксплуатации, требует оптимизации принимаемых решений в условиях многокритериальности. Для этого необходимо формирование многокритериальной структуры показателей качества, отражающих ряд требуемых эксплуатационных свойств автомобиля. Выше показано, что значение реализуемого показателя качества КТИ по отдельным критериям определяется его минимально допустимой величиной, поэтому следует признать справедливым выражение:

$$\bar{k}_j^{\text{ТИ}} = k_k^c \cdot k_{\min(i)}^{\text{ТИ}}, \quad (4.23)$$

где $k_{\min(i)}^{\text{ТИ}}$ – предельное состояние автомобиля по j – тому критерию, ($i = 1, 2 \dots n$);
 k_k^c – коэффициент, определяющий k – тую стратегию эксплуатации автомобиля ($k = 1, 2 \dots p$), то есть характер производимых технических воздействий

Используя полученные данные, представим многокритериальную структуру показателей качества (МСПК) автомобиля. На рис. 2.8 приведены значения суммы КТИ за весь период эксплуатации автомобиля: для первого критерия (k^{Σ}_1) – площадь фигуры, ограниченной точками (0), (1), (D), ($l_c^{(1)}$). Остальные принимаем по аналогии.

$$\begin{cases} k^{\Sigma_1} = \bar{k}_{(1)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(1)} \\ k^{\Sigma_2} = \bar{k}_{(2)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(2)} \\ k^{\Sigma_3} = \bar{k}_{(3)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(3)} \end{cases} \quad (4.24)$$

С учётом (4.21) получаем:

$$\begin{cases} k^{\Sigma_1} = k_k^c \cdot k_{\min(1)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(1)} \\ k^{\Sigma_2} = k_k^c \cdot k_{\min(2)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(2)} \\ k^{\Sigma_3} = k_k^c \cdot k_{\min(3)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(3)} \end{cases} \quad (4.25)$$

В частности, для (S₁):

$$\begin{cases} k^{\Sigma_1} = \frac{k_{\min(1)}^{\text{ти}} + 1}{2} \cdot l_c^{(1)} \\ k^{\Sigma_2} = \frac{k_{\min(2)}^{\text{ти}} + 1}{2} \cdot l_c^{(2)} \\ k^{\Sigma_3} = \frac{k_{\min(3)}^{\text{ти}} + 1}{2} \cdot l_c^{(3)} \end{cases} \quad (4.26)$$

В соответствии с (2.4) примем:

$$\frac{k^{\Sigma_i}}{\left(k_k^c k_{\min(j)}^{\text{ти}} \cdot l_c^{(j)}\right)} = \text{Const}, j = 1, 2, 3 \quad (4.27)$$

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_{33}	δ_{33}	...	δ_{3n}
...
A_m	δ_{m1}	δ_{m2}	δ_{m3}	...	δ_{mn}

Формирование данной структуры показателей качества, реализуемых через КТИ, предоставляет возможность планировать пробег автомобиля с учётом отдельных критериев, таких как: конструктивная безопасность, экологическая безопасность, надёжность автомобиля и др. Комплексная оценка эффективности эксплуатации автомобиля с ожидаемым изменением его параметров должна учитывать и затраты, связанные с технической эксплуатацией $R_{\text{ТО и ТР}}$ (затраты на ТО и ТР).

Введём следующие обозначения:

R_c – затраты на ТО и ТР, которые будут к моменту списания, руб/1000 км;

R_0 – затраты на ТО и ТР нового автомобиля, руб/1000 км.

R^Σ - общие затраты на эксплуатацию автомобиля, руб.

$R_j^{(1)}$ – затраты на ТО и ТР автомобиля по j -му критерию, руб/1000 км;

В [126] было доказано, что

$$R_c = \frac{R_0 l_c}{k_{\text{ти}}^{\text{min}}}. \quad (4.28)$$

Тогда, если принять, что затраты на ТО и ТР нового автомобиля по трём различным группам показателей качества отличаются незначительно $R_0^{(1)} = R_0^{(2)} = R_0^{(3)}$ и установить единый максимально возможный уровень затрат в момент списания автомобиля $R_c^{(1)} = R_c^{(2)} = R_c^{(3)}$ (рисунок 2.9), справедливо утверждение:

$$\frac{R_i^\Sigma}{\left(\frac{R_0+1}{2} \cdot l_c^{(j)}\right)} = Const, j = 1, 2, 3 \quad (4.29)$$

Выразим значения затрат до списания автомобиля, определяемых по отдельными критериям, в нормируемых значениях:

$$\rho_1 = \frac{R^\Sigma_1}{R^\Sigma_1 + R^\Sigma_2 + R^\Sigma_3}, \rho_2 = \frac{R^\Sigma_2}{R^\Sigma_1 + R^\Sigma_2 + R^\Sigma_3}, \rho_3 = \frac{R^\Sigma_3}{R^\Sigma_1 + R^\Sigma_2 + R^\Sigma_3}. \quad (4.30)$$

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 автомобиля 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_{33}	ρ_{33}	...	ρ_{3n}
...
A_m	ρ_{m1}	ρ_{m2}	ρ_{m3}	...	ρ_{mn}

Формирование данной структуры показателей качества и затрат на при эксплуатации 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 природой факторов внешней средой эксплуатации. Схема интеграции в комплекс СУСЭА в комплекс ТЭА с учётом выполненных разработок на этапах выбора автомобиля, эксплуатации и его списания приведена на рисунке 4.9.

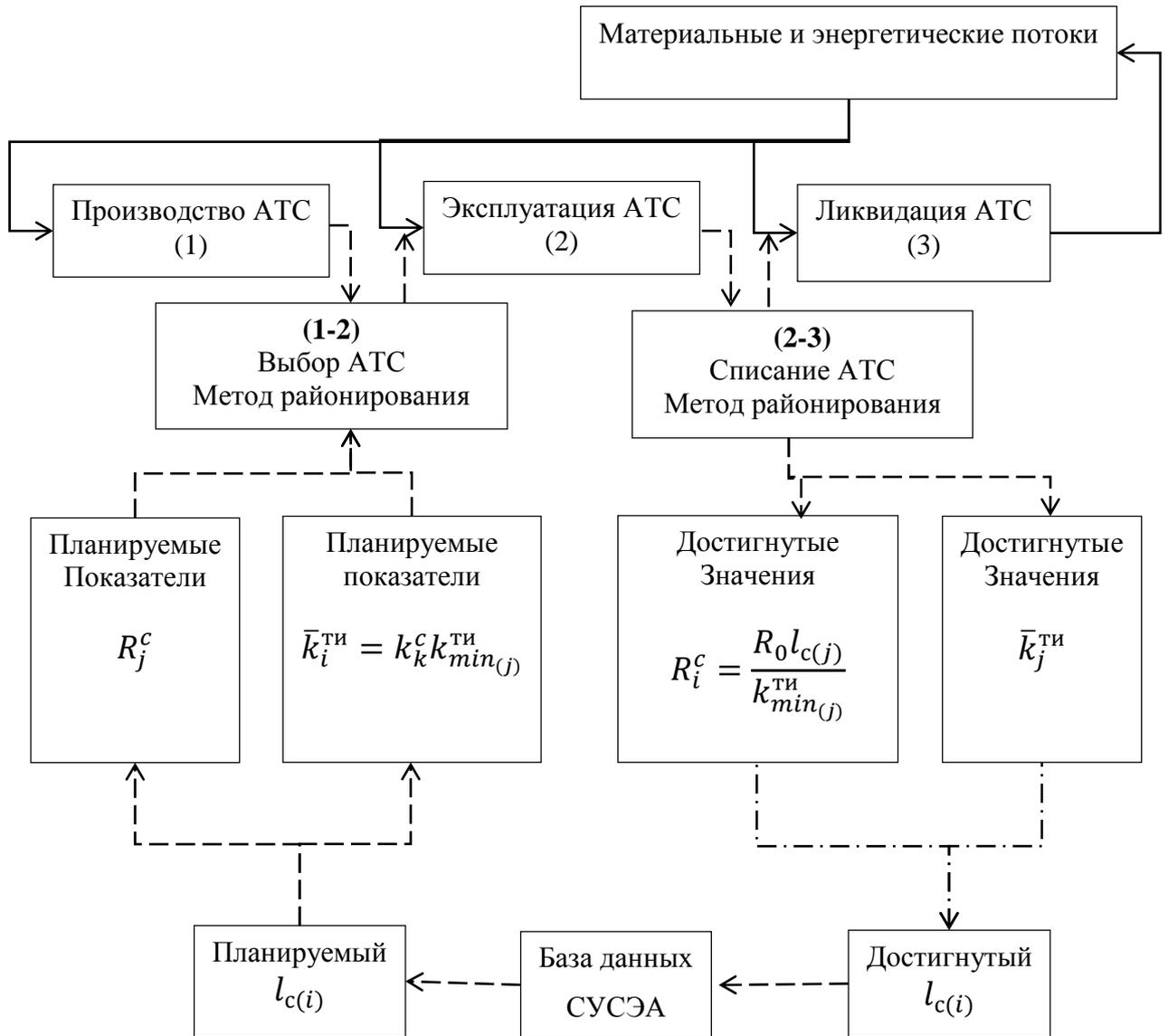


Рисунок 4.9 - Схема интеграции СУСЭА в структуру ЖЦА на этапе эксплуатации автомобиля

Ключевым элементом управления (обратная связь в системе) является пробег автомобиля до списания или эффективный срок эксплуатации автомобиля - $l_{c(i)}$. На этапе ввода в эксплуатацию $l_{c(i)}$ планируется на основании прогнозируемых значений срока эксплуатации автомобилей по нескольким критериям и планируемых затрат, которые корректируются в процессе эксплуатации. Фиксируются коэффициенты k_k^c , определяющие стратегию $(S_1, S_2, S_3 \dots S_p)$ эксплуатации автомобиля.

Разработанная система коэффициентов k_k^c , не вступает в противоречие с принятой системой корректирования показателей ТО и ТР (k_1, k_2, k_3 и k_4) [116] для отечественного подвижного состава, так как фиксирует неплановые воздействия ТР, связанные с поддержанием необходимого уровня качества автомобиля. Для подвижного состава импортного производства данная система коэффициентов также актуальна, несмотря на то, что гибкая система регламентации плановых ТО, устанавливаемых производителем автомобиля, снижает их значения. Момент списания автомобиля определяется с учётом накопленных затрат при эксплуатации автомобиля по нескольким критериям соответствия нормативным требованиям условий среды эксплуатации. При этом **оптимальный пробег автомобиля определяется в многокритериальной динамической системе с дискретными состояниями ТО и соответствующих им ИС**. Полученные результаты заносятся в статистическую базу данных СУСЭА на этапе эксплуатации, которая в свою очередь является исходными данными при дальнейшем планировании сроков эксплуатации автомобиля данной марки.

4.3 Разработка метода оперативного анализа показателей трудоёмкость технического обслуживания и текущего ремонта автомобиля

4.3.1 Алгоритм приведения показателя текущий ремонт автомобиля к интервалу технического обслуживания

В главе 2 были проанализированы основные характерные особенности процесса ТР автомобиля в современных условиях:

1. Работы по ТР подвижного состава не требуют большой трудоёмкости и высокой квалификации персонала, так как выполняются агрегатным методом ремонта, как правило, это дефекты и поломки, вызванные плохим состоянием дорожных покрытий и других факторов неблагоприятной эксплуатации

автомобилей. При этом стоимость запасных частей и заменяемых агрегатов достаточно велика

2. Существует значительное отличие величины работ по ТР для автомобилей зарубежного производства от отечественных автомобилей. Это значение, как правило, ниже автомобилей-аналогов отечественного производства и не регламентируется фирмой-производителем. Также зарубежными автопроизводителями не регламентируется КР, а устанавливается гарантийный пробег автомобиля, в пределах которого, осуществляется ТР на СТО автодилера.

В настоящее время определение значения - удельный показатель трудоёмкость ТР автомобиля (чел·час /1000 км) - осуществляется следующим образом: производится суммирование всего объёма работ по ТР за пробег до КР, далее эта полученная величина относится к значению пробега автомобиля до КР [20, 116, 101, 120]. Расчёт производится по формуле:

$$t_{\text{н}} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{\text{тр}j}}{L_{\text{кр}}} \cdot 1000, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000 \text{ км}, \quad (4.31)$$

где $t_{\text{тр}j}$ - трудоёмкость устранения j -го отказа в пределах принятого расчётного цикла, (пробег до КР), чел. час;

$L_{\text{кр}}$ – пробег автомобиля с начала эксплуатации до КР, км;

m – количество технических воздействий.

Корректирование значения показателя нормативной трудоёмкости ТР производится соответствии с [116]: в зависимости от условий эксплуатации автомобиля, пробега с начала эксплуатации автомобиля и т.д. Необходимость адаптации данного подхода к современным условиям эксплуатации автомобилей объяснима следующими обстоятельствами:

- 1) полнокомплектный КР практически не производится из-за отсутствия специализированных предприятий, а также его экономической нецелесообразностью;
- 2) для автомобилей, конструкция которых разработана за рубежом, показатель - удельная трудоёмкость ТР или КР не регламентируется;
- 3) система ТО и ТР большинства зарубежных автопроизводителей предполагает учёт условий эксплуатации автомобиля, его модификацию, величину пробега с начала эксплуатации и т.д. для каждой отдельной модели посредством величины цикла ТО и регламентом производимых работ ТО.

Основным недостатком подхода (4.31) является то, что значение фактической трудоёмкости работ по ТР усредняется для всего срока эксплуатации автомобиля с начала эксплуатации до проведения или планируемого КР. Применяемый в настоящее время метод расчёта показателя удельная трудоёмкость ТР имеет следующий вид:

$$T_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i} \sum_{j=1}^m t_{\text{тр}ji} \cdot 1000, \text{ чел}\cdot\text{час./1000 км}, \quad (4.32)$$

где $t_{\text{тр}ji}$ - трудоёмкость устранения j -го отказа в пределах i -го интервала ТО, чел. час;

L_i – пробег автомобиля с начала эксплуатации до j -го интервала ТО, км;

n – количество интервалов ТО;

m – количество технических воздействий в пределах одного интервала ТО.

Рассмотрим возможность иного способа определения показателя удельная трудоёмкость ТР. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является то, что период приведения объёма работ ТР – это интервал ТО автомобиля. Закономерно, что на различных по порядковым номерам ТО, значения удельного показателя трудоёмкость ТР будут отличаться. Это позволит дифференцировано

учитывать величину трудоёмкости ТР на протяжении всего срока эксплуатации автомобиля. Вычислительные аспекты, связанные с подобным подходом, упрощаются исходя из свойств непрерывной неубывающей функции. Принимая зависимость значения трудоёмкости ТР от пробега с начала эксплуатации автомобиля в виде непрерывной неубывающей функции $f_{\text{ТР}}(l)$:

$$\frac{\int_0^{l_i} f_{\text{ТР}}(l) dl}{l_i} < \frac{\int_{l_{(i-1)}}^{l_i} f_{\text{ТР}}(l) dl}{[l_i - l_{(i-1)}]}, \quad (4.33)$$

где l_2 – пробег автомобиля в момент проведения планового ТО, км;

$[l_i - l_{(i-1)}]$ – интервал между плановыми ТО.

Приведём график изменения значений показателя трудоёмкость ТР в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации (рисунок 4.10) в виде непрерывной неубывающей функции. Оценим значение показателя трудоёмкость ТР для каждого интервала между двумя последовательно проводимыми ТО. Тогда формула для определения показателя удельная трудоёмкость ТР примет вид [150, 151, 156, 158, 162, 164, 165, 173]:

$$T_{\text{ТР}i} = \frac{1}{\Delta l_i} \sum_{j=1}^m t_{\text{ТР}ji} \cdot 1000, \text{ чел.час. /1000 км}, \quad (4.34)$$

где $T_{\text{ТР}ji}$ – трудоёмкость ТР на j -м интервале пробега автомобиля;

Δl_i – пробег, соответствующий регламенту ТО, км. ;

m – количество воздействий.

Покажем аналитическую связь между двумя способами определения удельного значения показателя трудоёмкость ТР: традиционным и предлагаемым подходом и определим характер изменений, вытекающих из предложения.

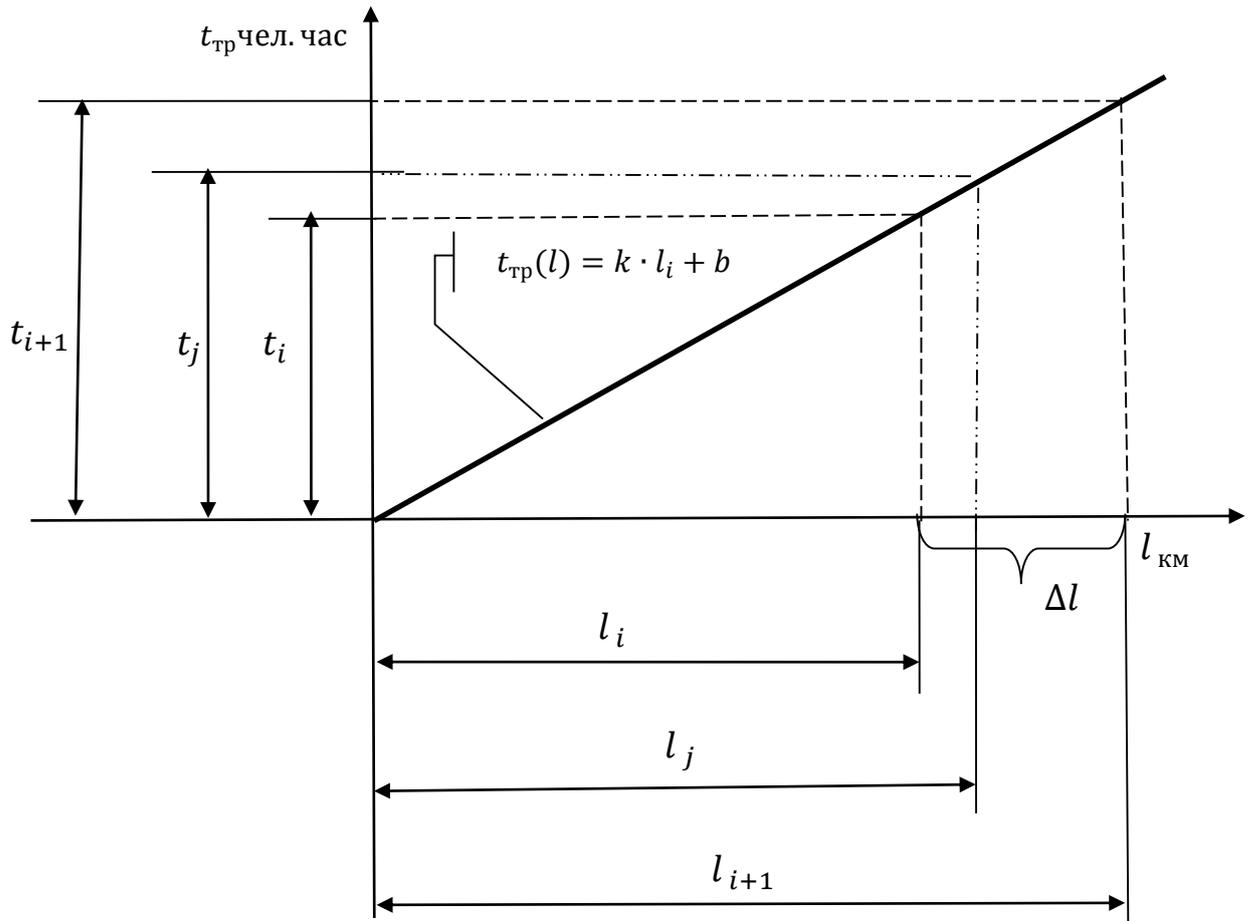


Рисунок 4.10 - График значений показателя трудоёмкость ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации автомобиля

Введём следующие обозначения (рисунок 4.10):

i – порядковый номер интервала последовательно производимых ТО;

Δl – пробег автомобиля, соответствующий интервалу ТО, км;

l_i – пробег автомобиля, соответствующий i -му интервалу ТО, км;

t_i – трудоёмкость воздействий ТР в пределах i -го ТО, чел. час;

t_i^{Σ} – суммарная трудоёмкость воздействий ТР, соответствующая пробегу l_i , чел. час.

Рассмотрим изменения значения показатель трудоёмкость ТР в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации. Как правило, данная зависимость хорошо аппроксимируются линейной функцией:

$$t_i = k \cdot l_i + b, \quad (4.35)$$

где k – угловой коэффициент определяется, как:

$$k = \frac{t_{i+1} - t_i}{l_{i+1} - l_i} = \frac{t_{i+1} - t_i}{\Delta l}. \quad (4.36)$$

С учётом сказанного выше пробег автомобиля, соответствующий i -му ТО, определяется как $l_i = i \cdot \Delta l$. Тогда суммарная трудоёмкость воздействий ТР, соответствующая пробегу l_i :

$$t_i^{\Sigma} = \sum_{j=1}^i t_j = \sum_{j=1}^i (k \cdot l_j + b) = k \sum_{j=1}^i l_j + b \cdot i. \quad (4.37)$$

Поскольку

$$\sum_{j=1}^i l_j = \frac{l_1 + l_i}{2} \cdot i = \frac{\Delta l + i \cdot \Delta l}{2} \cdot i = \frac{\Delta l}{2} \cdot i \cdot (i + 1), \quad (4.38)$$

тогда

$$t_i^{\Sigma} = k \cdot \frac{\Delta l}{2} \cdot i \cdot (i + 1) + b \cdot i. \quad (4.39)$$

Оценим значение показателя трудоёмкости ТР для каждого интервала между двумя последовательно производимыми ТО ($T_{\text{ТР}i}$) следующим образом (согласно предлагаемому методу оценки):

$$T_{\text{ТР}i} = \frac{t_i}{l_{i+1} - l_i} = \frac{t_i}{\Delta l} = \frac{k \cdot l_i + b}{\Delta l} = k \cdot \frac{l_i}{\Delta l} + \frac{b}{\Delta l} = k \cdot \frac{i \cdot \Delta l}{\Delta l} + \frac{b}{\Delta l} = k \cdot i + \frac{b}{\Delta l}$$

Таким образом:

$$T_{\text{ТР}i} = k \cdot i + \frac{b}{\Delta l} \quad (4.40)$$

В данной системе обозначений, согласно традиционному методу, определение показателя трудоёмкость ТР осуществляется по формуле:

$$T_{\text{тp}i}^{\Sigma} = \frac{t_i^{\Sigma}}{\ell_i} = \frac{\Delta\ell \cdot i \cdot (i+1) \cdot k}{2 \cdot i \cdot \Delta\ell} + \frac{b \cdot i}{i \cdot \Delta\ell} = \frac{k}{2} (i + 1) + \frac{b}{\Delta\ell} \quad (4.41)$$

Можно показать, что между значениями трудоёмкости $T_{\text{тp}i}$ и $T_{\text{тp}i}^{\Sigma}$ существуют аналитическая связь:

$$T_{\text{тp}i} - T_{\text{тp}i}^{\Sigma} = k \cdot i + \frac{l}{\Delta\ell} - \frac{k}{2} (i + 1) - \frac{l}{\Delta\ell} = k \cdot i - \frac{k}{2} \cdot i - \frac{k}{2} = k \left(\frac{i-1}{2} \right) = \frac{k}{2} (i - 1) \quad (4.42)$$

$$T_{\text{тp}i} - T_{\text{тp}i}^{\Sigma} = \frac{k}{2} (i - 1). \quad (4.43)$$

Если установить дополнительные условия:

$$1) \quad b = 0$$

$$2) \quad T_{\text{тp}i} = T_{\text{тp}i}^{\Sigma}$$

тогда:

$$T_{\text{тp}i} = k \cdot i; \quad (4.44)$$

$$T_{\text{тp}i}^{\Sigma} = \frac{k}{2} (j + 1). \quad (4.45)$$

Следовательно,

$$k \cdot i = \frac{k}{2} (j + 1) > 2i = j + 1 > j = 2i - 1. \quad (4.46)$$

Таким образом установлена аналитическая связь между возможными способами определения значения показателя удельная трудоёмкость ТР.

$$T_{\text{тp}i} = T_{\text{тp}i}^{\Sigma}, \text{ при } j = 2i - 1. \quad (4.47)$$

Определение значения показателя удельная трудоёмкость ТР для каждого интервала между двумя последовательно проводимыми ТО ($T_{\text{три}}$) **позволяет получить актуальный сегодня величину - показатель удельная трудоёмкость ТО и ТР, соответствующая каждому интервалу ТО (чел·час./1000 км).**

Значение показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР, соответствующая интервалу ТО определяется по формуле:

$$T_{\text{то и тр } i} = \left(\frac{t_{\text{toi}} + t_i}{\Delta \ell} \right) \cdot 1000, \text{ чел·час./1000 км} \quad (4.48)$$

Применение данного показателя целесообразно для определения значения КОГ автомобиля (пункт 1.3.1) [32], который можно трактовать как вероятность того, что автомобиль окажется в работоспособном состоянии в конкретный момент времени в течение заданного интервала ТО.

Среднее значение показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР соответствующее пробегу автомобиля пробегу l_i может быть определена по формуле:

$$T_{\text{то и тр } i}^{\Sigma} = \left(\frac{t_{\text{toi}}^{\Sigma} + t_i^{\Sigma}}{l_i} \right) \cdot 1000, \text{ чел·час./1000 км} \quad (4.49)$$

где t_{toi}^{Σ} накопленная трудоёмкость ТО за весь период эксплуатации автомобиля, соответствующий пробегу l_i , чел·час.

4.3.2 Разработка методики определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля

Величина пробега эффективной эксплуатации автомобиля традиционно определяется с применением технико-экономического критерия. Алгоритм расчёта величины пробега эффективной эксплуатации автомобиля выполним по двум

вариантам: традиционный **вариант (1)** определения удельной трудоёмкости ТО и ТР и предлагаемый **вариант (2)** определения удельной трудоёмкости ТО и ТР. Для этого введём дополнительно следующие экономические показатели и их обозначения:

$S_{a/m}$ - стоимость автомобиля, руб.

$\Pi_{\text{ТО и ТР}}$ - стоимость выполнения одного часа работ ТО и ТР, руб.

$R(T_{\text{ТО и ТР } i})$ - затраты на ТО и ТР в случае применения предлагаемого метода, руб/1000 км.

$R(T_{\text{ТО и ТР } i}^{\Sigma})$ - затраты на ТО и 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

С учётом формул (4.43) и (4.44) определим:

$$R_{(2)i} = \frac{S_{a/m}}{\ell_i} + S(T_i) = \frac{S_{a/m}}{i \cdot \Delta \ell} + k \Pi_{\text{ТР}} \cdot i = \frac{S_{a/m} + k \cdot \Delta \ell \cdot \Pi_{\text{ТО и ТР}} \cdot i^2}{i \cdot \Delta \ell}. \quad (4.50)$$

$$R_{(1)i} = \frac{S_{a/m}}{\ell_i} + S(T_i^c) = \frac{S_{a/m}}{i \Delta \ell} + \frac{k}{2} \Pi_{\text{ТО и ТР}} \cdot (i + 1). \quad (4.51)$$

Вычислим производную приведенных зависимостей по пробегу для определения экстремума (min) функции:

$$(R_{(2)i})' = -\frac{S_{a/m}}{i^2 \Delta \ell} + k \cdot \Pi_{\text{ТО и ТР}} = 0 \quad (4.52)$$

$$(R_{(1)i})' = -\frac{S_{a/m}}{i^2 \Delta \ell} + \frac{k}{2} \Pi_{\text{ТО и ТР}} = 0 \quad (4.53)$$

Отсюда

$$i_2 = \sqrt{\frac{S_{a/m}}{k \cdot \Delta \ell \cdot Ц_{ТО и ТР}}}. \quad (4.54)$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot S_{a/m}}{k \cdot \Delta \ell \cdot Ц_{ТО и ТР}}}. \quad (4.55)$$

Таким образом, интервалы пробега, которым соответствует \min суммарных приведённых затрат при различных способах оценки показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР будут различны. Сравнение этих формул показывает, что между ними существует следующая связь [164, 167, 203]:

$$i_{\text{вариант (1)}} = i_{\text{вариант (2)}} \cdot \sqrt{2} \quad (4.56)$$

Проиллюстрируем применение описанного выше метода числовым примером. Исходные данные представим в табл. 4.5.

Таблица 4.5 - Исходные данные

Параметр, ед. изм.	Значение параметра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , ед.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ℓ_i , тыс. км	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$t_{\text{ТО и ТР}i}$, чел·час	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

Решение:

$$k = \frac{4-2}{40-20} = 0,1; \quad k = 0,1; \quad b = 0; \quad \Delta \ell = 20$$

$$t_i = 0,1 \cdot \ell_i = 0,1 \cdot 20 \cdot i = 2 \cdot i, \quad t_i = 2 \cdot i$$

$$t_i^{\Sigma} = i \cdot (i + 1)$$

$$T_{\text{ТО и ТР}i} = 0,1 \cdot i,$$

$$T_{\text{ТО и ТР}i}^{\Sigma} = 0,05(i + 1)$$

Для определения \min суммарных приведённых затрат условно примем:

1. Стоимость автомобиля, $S_{a/m} = 3000 \cdot 10^3$ руб;
2. Цена выполнения ТР, $C_{ТО и ТР} = 100$ руб/чел.час.

Следовательно,

$$i_2 = \sqrt{\frac{3000 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^3}} = \sqrt{15} \approx 3,87 \approx 4$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 3000 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^3}} = \sqrt{30} \approx 5,48 \approx 6$$

Результатов расчёты представлены в таблице 4.5

Таблица 4.5 - Результаты расчётов

i	ℓ_i	t_i	t_i^c	$T_{то и тр i}$	$T_{то и тр i}^c$	$S(T_{то и тр i})$	$S(T_{то и тр i}^\Sigma)$	$S_{a/m}$	$S_{(1)}$	$S_{(2)}$
1	20	2	2	0,1	0,10	10	10	150	160	160
2	40	4	6	0,2	0,15	20	15	75	95	90
3	60	6	12	0,3	0,20	30	20	50	80	70
4	80	8	20	0,4	0,25	40	25	37,5	77,5	62,5
5	100	10	30	0,5	0,30	50	30	30	80	60
6	120	12	42	0,6	0,35	60	35	25	85	60
7	140	14	56	0,7	0,40	70	40	21,4	91,4	61,4
8	160	16	72	0,8	0,45	80	45	18,7	98,7	63,7
9	180	18	90	0,9	0,50	90	50	16,7	106,7	66,7
10	200	20	110	1,0	0,55	10	55	15	115	70

Вывод:

1. В первом случае минимум затрат достигается на 6-м интервале ТО, то есть при пробеге $\approx 110 \cdot 10^3$ км и составляет величину $\approx 60 \cdot 10^3$ руб.
2. Во втором случае (предлагаемый метод определения показателя - трудоёмкость ТО и ТР) минимум суммы удельной стоимости автомобиля и удельных затрат на ТО и ТР достигается на 4-м интервале ТО, то есть при пробеге $\ell = 80 \cdot 10^3$ км и составляют величину $77,5 \cdot 10^3$ руб.

Иллюстрации для сравнения методов расчёта значений показателя удельная трудоёмкость ТР приведены на рисунках 4.11 и 4.12.

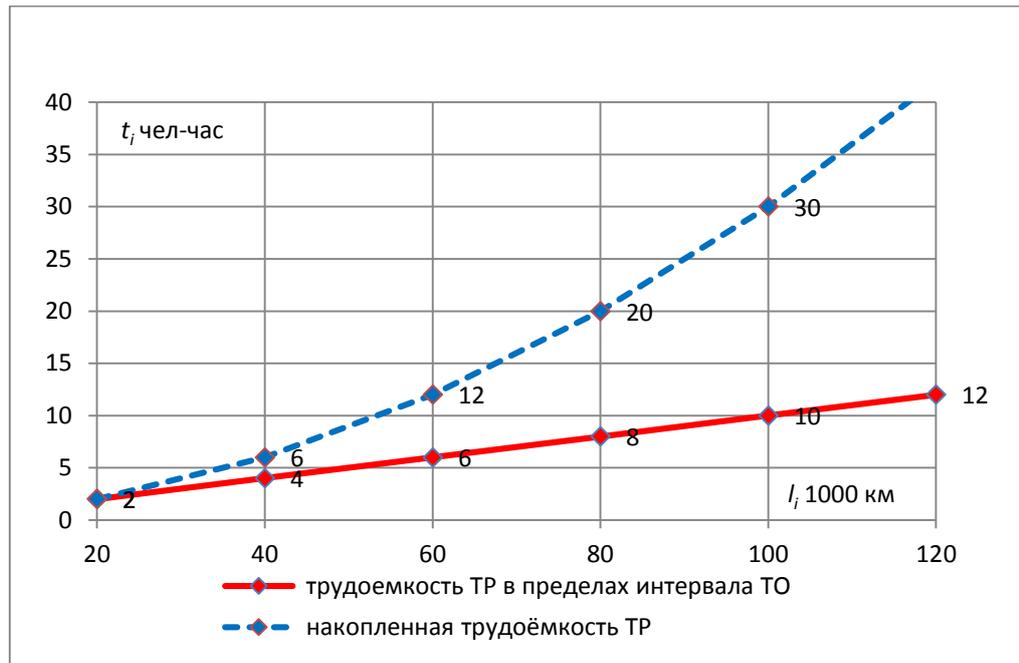


Рисунок 4.11 - Трудоемкость ТР (исходные данные)

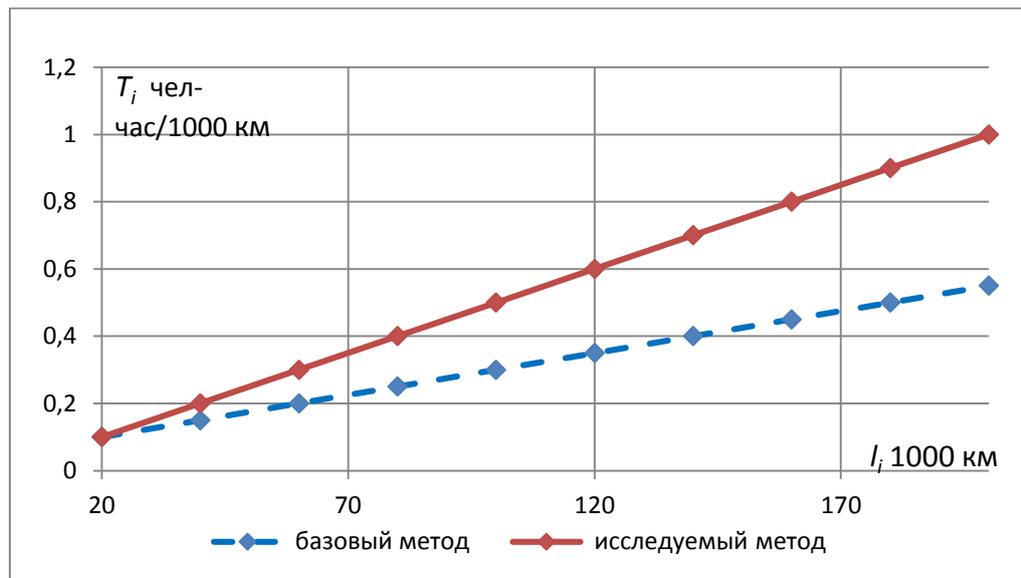


Рисунок 4.12 - Трудоемкость ТР, приходящиеся на 1000 км пробега (результаты расчёта)

Применение технико-экономического критерия для определения эффективного срока эксплуатации автомобиля с применением традиционного и предлагаемого методов расчёта удельного показателя трудоемкость ТО и ТР представлено на рисунке 4.13.

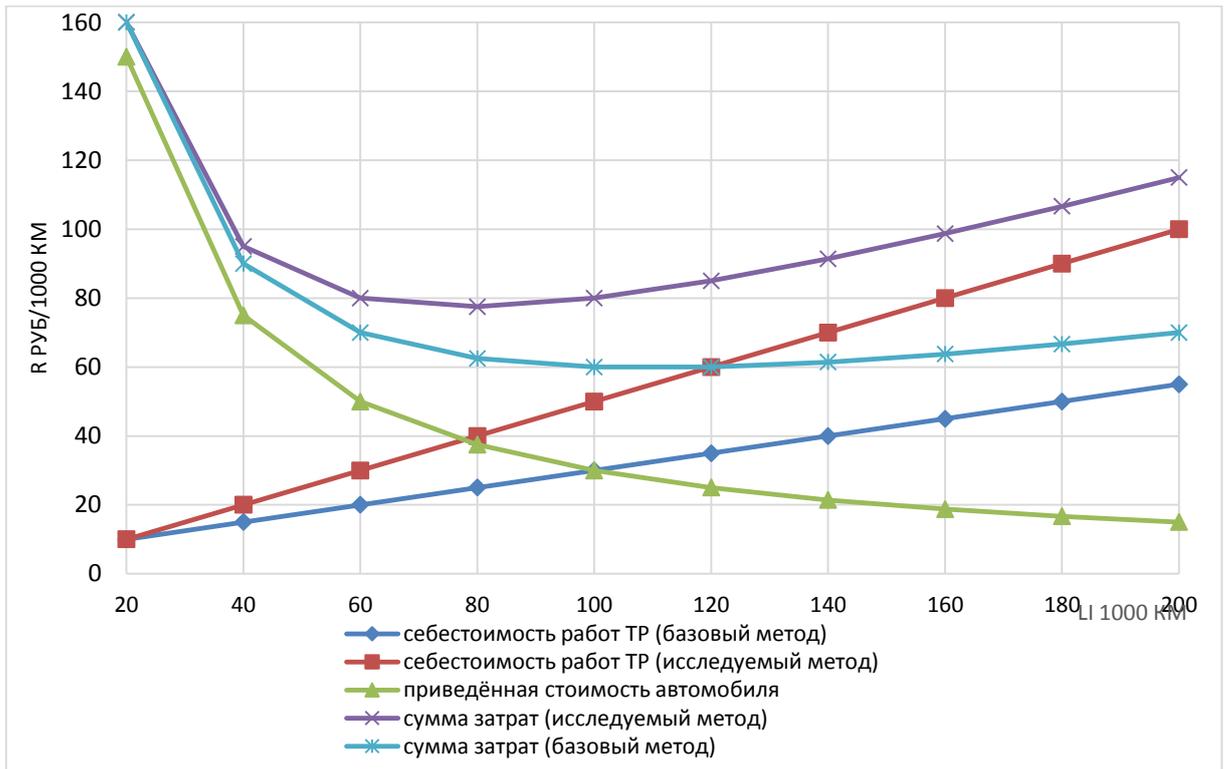


Рисунок 4.13 - Определение минимума затрат на эксплуатацию автомобиля

Предлагаемый метод расчёта значений показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР, (чел.час. /1000 км) можно определить, как «метод оперативного анализа показателя трудоёмкости ТО и ТР» [165]. Данный метод применим в первую очередь для фактического учёта значений показателя трудоёмкость ТР на различных этапах эксплуатации автомобиля, так как показатель трудоёмкость ТО регламентирован большинством автопроизводителей.

Принципиальным достоинством данного метода по сравнению с применяемым сегодня является возможность оперативно отслеживать состояние автомобиля по отдельным критериям с учётом его экономической эффективности. В свою очередь определение оптимального срока эксплуатации автомобиля — это совокупная оценка качества автомобиля по нескольким критериям эффективности, осуществляемая с применением метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды в рамках СУСЭА.

4.4 Аналитическая модель динамической многокритериальной системы управления сроком эксплуатации автомобиля с дискретными состояниями технического обслуживания

4.4.1 Интеграция системы управления сроком эксплуатации автомобиля в процесс его технической эксплуатации

Алгоритм управления в СУСЭА (рисунок 4.14) базируется на следующих основных положениях.

1. Алгоритм управления является совокупностью решений обоснованного множества частных задач, связанных общей целью – формализацией задач в СУСЭА, позволяющей оптимизировать срок эксплуатации автомобиля.
2. Неотъемлемой частью управления является обязательное наличие технологий контроля за состоянием параметров и показателей обратной связи. Информационная связь обеспечивается единым информационным центром (сервером), что позволяет своевременно передавать и получать информацию и управлять процессом оперативного планирования сроком эксплуатации автомобиля, в том числе при возникновении изменений и сбоях на отдельных участках системы.
3. Цикл процесса ТЭА (интервал ТО) следует рассматривать не как систему многофазового массового обслуживания дискретного типа с конечным множеством состояний, а как элемент дискретной динамической системы, функционирующей в условиях недостаточности информации или неопределённого состояния среды, требующую для оценки её эффективности применения аналитических методов теории принятия решений.
4. В зависимости от целей, а, соответственно, задач прогнозирования процессов в ТЭА критерии эффективности в СУСЭА могут принципиально отличаться как для различных типов АТП, так для одного АТП при изменении ИС внешней среды для дискретных состояний.

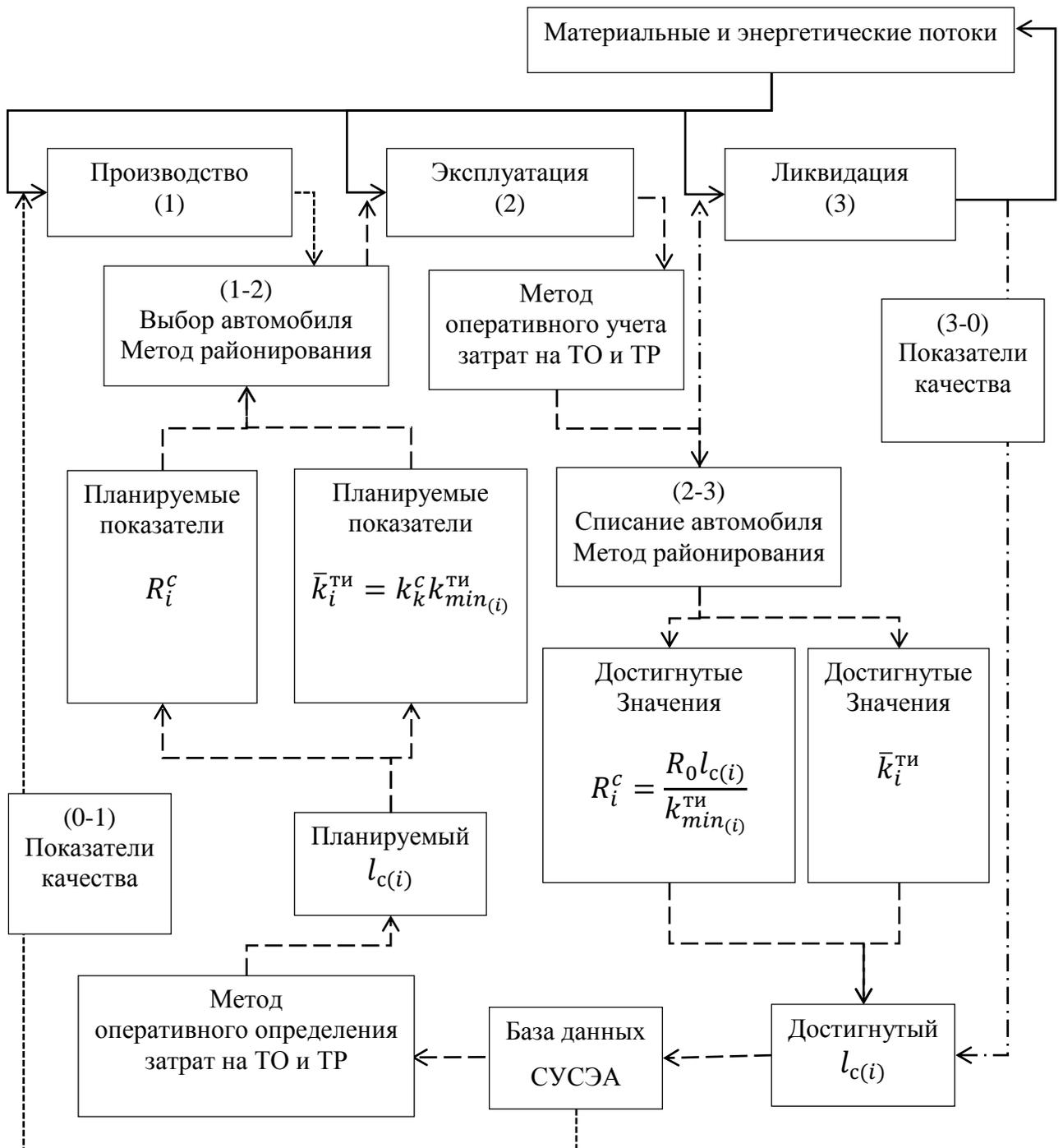


Рисунок 4.14 – Схема связей в СУСЭА с состояниями ЖЦА

Схема интеграции аналитической модели СУСЭА в организационно-технологический процесс ТЭА приведена на рисунке 4.15.

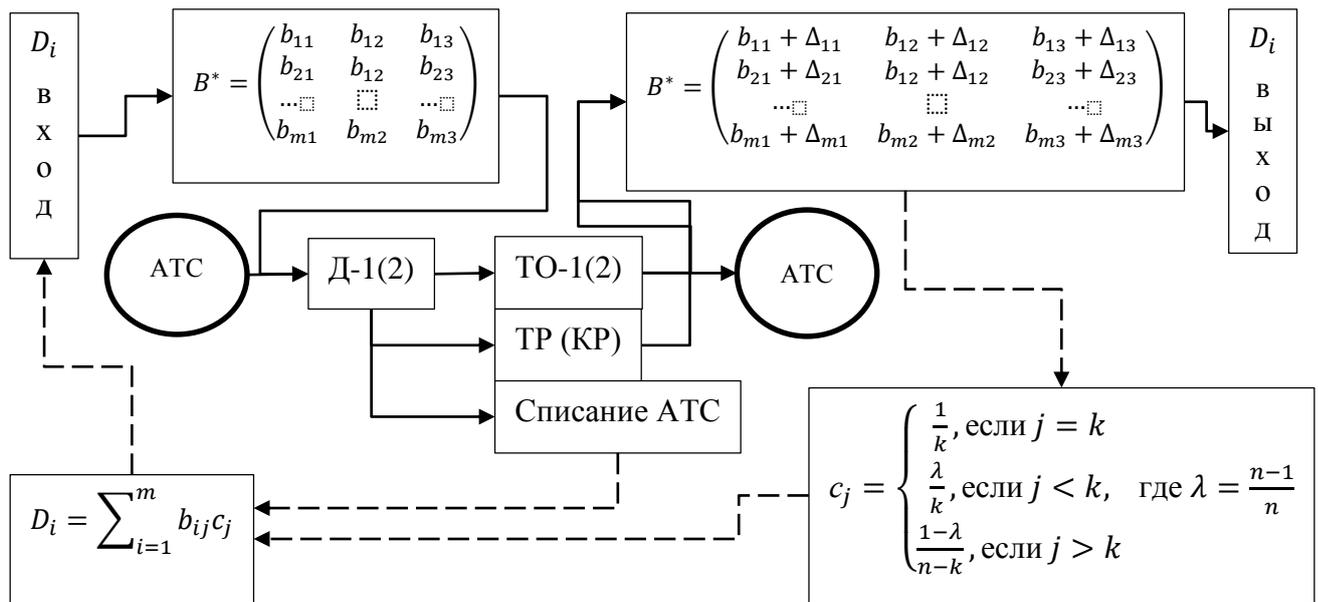


Рисунок 4.15 – Интеграция СУСЭА в процесс ТЭА:

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

Основное назначение СУСЭА – управление состоянием качества автомобиля: оценка исходного состояния на этапе ввода (выбора) в эксплуатацию автомобиля, оценка исправного состояния автомобиля в процессе эксплуатации и оценка предельного состояния для рекомендации списания автомобиля. Параметрические данные СУСЭА служат базой, позволяющей формировать цифровую платформу PLM-системы автомобиля, как информационной стратегии, опирающейся на соблюдение требований внешней среды эксплуатации автомобиля и поддерживающей необходимый уровень его качества.

4.4.2 Аналитическая модель функционирования системы управления сроком эксплуатации автомобиля

Рассмотрим полный цикл работы СУСЭА. Последовательность решений или модель действий в СУСЭА представлен на рисунке 4.16.

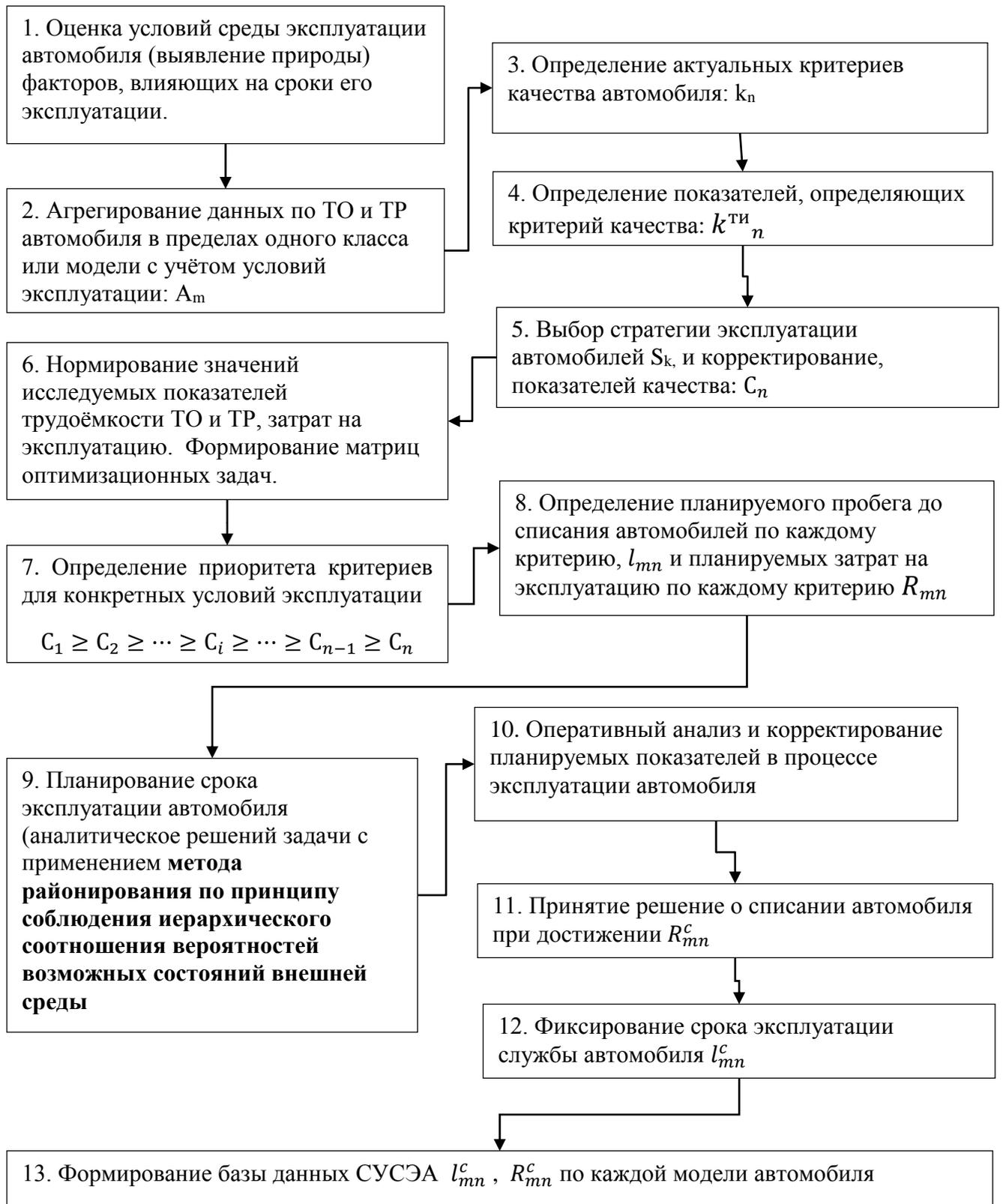


Рисунок 4.16 - Алгоритм работы СУСЭА

Детализация аналитической модели функционирования СУСЭА приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Описание аналитической модели функционирования СУСЭА

№ этапа	Описание этапа
1	2
1. Оценка внешней среды эксплуатации автомобиля	1.1. Оценка требований и ограничений среды эксплуатации автомобиля. 1.2. Определение степени определённости информационной ситуации и состояния внешней среды 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 в соответствии с условиями эксплуатации по ряду показателей с применением метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения значимости показателей (пункт 4.3) 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 предприятия
3. Определение актуальных критериев качества автомобиля.	3.1 П ⁽¹⁾ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля конструктивная безопасность эксплуатации; 3.2 П ⁽²⁾ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля экологическая безопасность; 3.3 П ⁽³⁾ – показатель качества, отражающий свойство автомобиля надёжность;
4. Выбор показателей, определяющих критерии качества	4.1 Определение функции показателя качества автомобиля ($k^{ти}$) в зависимости от пробега с начала эксплуатации (пункт 2.4.2) $\begin{cases} k^{ти}_1(L) = 1 - \alpha_1 L \\ k^{ти}_2(L) = 1 - \alpha_2 L \\ k^{ти}_3(L) = 1 - \alpha_3 L \end{cases}$ 4.2 Определение значение реализуемого показателя качества автомобиля $k_i^{ти}(L) = \frac{k_{min}^{ти} - 1}{l_i}(L) + 1$
5. Выбор стратегии технической эксплуатации автомобилей	5.1 (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 одним из показателей предельного значения. $\bar{k}^{ти} = \frac{3 + k_{min}^{ти}}{4}$ (S ₃). Восстановлении всех свойств автомобиля, общей работоспособности автомобиля до близкого к исходному $\bar{k}^{ти} = \frac{5k_{min}^{ти} + 7}{2}$ 5.2 Фиксируются коэффициенты k_k^c , определяющие стратегию (S ₁ , S ₂ , S ₃ ...S _p) эксплуатации автомобиля $\bar{k}_i^{ти} = k_k^c k_{min(i)}^{ти}$

Продолжение табл. 4.6

1	2																																																
6. Нормирование значений исследуемых показателей	<p>6.1 Определяется значение КТИ за весь период 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 (пункт 4.2) и используя аналитическую связь между l_{mn} и R_{mn} нормируются значения затрат на эксплуатацию автомобилей</p> $R_c = \frac{R_0 l_c}{k_{\min}^{\text{ти}}}$																																																
7. Определение приоритета критериев	$C_1 \geq C_2 \geq \dots \geq C_i \geq \dots \geq C_{n-1} \geq C_n$																																																
8. Определение планируемого пробега до списания автомобилей по каждому критерию и планируемых затрат на эксплуатацию критерию	<p>8.1 Составляется матрица планируемых пробегов различных автомобилей в многокритериальной структуре показателя качества</p> <table border="1" data-bbox="544 1070 1453 1305"> <thead> <tr> <th></th> <th>C_1</th> <th>C_2</th> <th>C_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A_1</th> <td>δ_{11}</td> <td>δ_{12}</td> <td>δ_{13}</td> </tr> <tr> <th>A_2</th> <td>δ_{21}</td> <td>δ_{22}</td> <td>δ_{23}</td> </tr> <tr> <th>A_3</th> <td>δ_{31}</td> <td>δ_{33}</td> <td>δ_{33}</td> </tr> <tr> <th>...</th> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <th>A_m</th> <td>δ_{n1}</td> <td>δ_{n2}</td> <td>δ_{n3}</td> </tr> </tbody> </table> <p>8.2 Формируется матрица планируемых затрат для различных автомобилей в многокритериальной структуре затрат с учётом</p> <table border="1" data-bbox="544 1375 1453 1612"> <thead> <tr> <th></th> <th>C_1</th> <th>C_1</th> <th>C_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A_1</th> <td>ρ_{11}</td> <td>ρ_{12}</td> <td>ρ_{13}</td> </tr> <tr> <th>A_2</th> <td>ρ_{21}</td> <td>ρ_{22}</td> <td>ρ_{23}</td> </tr> <tr> <th>A_3</th> <td>ρ_{31}</td> <td>ρ_{33}</td> <td>ρ_{33}</td> </tr> <tr> <th>...</th> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <th>A_m</th> <td>ρ_{n1}</td> <td>ρ_{n2}</td> <td>ρ_{n3}</td> </tr> </tbody> </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}																																														
9. Планирование срока эксплуатации автомобилей: (разработанный метод)	<p>Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования: $\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n (\delta)_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, i = \overline{1, m-1} \end{cases}$</p> <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. 4.6

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> $T_{\text{ТО и ТР}i} = \frac{1}{\Delta l_i} \sum_{j=1}^n t_{\text{ТО и ТР}ji} \cdot 1000, \text{ чел.час}/1000$ <p>10.2 Определяется удельная суммарная стоимость ТО и ТР.</p> $R_i = \frac{S_{\text{а/м}}}{l_i} + S(T_{\text{ТО и ТР}i}) = \frac{S_{\text{а/м}}}{i \cdot \Delta l} + k C_{\text{ТО и ТР}} \cdot i = \frac{S_{\text{а/м}} + k \cdot \Delta l \cdot C_{\text{ТО и ТР}} \cdot i^2}{i \cdot \Delta l}$ <p>10.3 Применяется технико-экономический критерий. Определяется экстремум (min) функции:</p> $(R_i)' = -\frac{S_{\text{а/м}}}{i^2 \Delta l} + k \cdot C_{\text{ТР}} = 0$ <p>10.4 Определяется интервал ТО, которому соответствует <i>min</i> суммарных затрат на эксплуатацию R_{min} автомобиля.</p> $i = \sqrt{\frac{S_{\text{а/м}}}{k \cdot \Delta l \cdot C_{\text{ТР}}}}$ <p>На определённом интервале ТО $R_{\text{min}} = R_c$</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</p>	<p>11.1 Формируется матрица фактических пробегов эффективной эксплуатации автомобилей по достижении $k_{\text{min}(i)}^{\text{ти}}$.</p> <p>11.2 Формируется матрица фактических затрат на эксплуатацию автомобилей по достижении $k_{\text{min}(i)}^{\text{ти}}$.</p> <table border="1" data-bbox="560 1189 1469 1424"> <thead> <tr> <th></th> <th>C_1</th> <th>C_1</th> <th>C_1</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_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_n	ρ_{n1}	ρ_{n2}	ρ_{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_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 линейного программирования:</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 $k_{\text{min}}^c, l_{\text{mn}}^c, R_{\text{mn}}^c$ по каждой модели автомобиля. Результаты поступают в базу данных СУСЭА</p>																								

4.5 Выводы по четвёртой главе

В четвёртой главе сформирован комплексный научный подход к решению многокритериальных задач в условиях неопределённого состояния условий среды эксплуатации автомобиля, позволяющий увеличить надёжность принимаемых решений в информационных ситуациях, характерных для СУСЭА.

1. Разработан метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды. Данный метод решает важную научную проблему, связанную с поиском решений задач векторной оптимизации - задач, решаемых по нескольким критериям эффективности. Метод по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды позволяет при наличии минимальных сведений об информационной ситуации формировать алгоритмы, обеспечивающие получение оптимального решения в многокритериальных системах. Данный подход к принципам районирования, а именно выбор способа районирования, позволяет вывести максимальное снятие неопределённости и уточнение информации о вероятностях состояний среды исследования на новый качественный уровень, то есть представляет собой **объективный, аналитический аппарат для получения Парето-оптимальных решений**. 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 неопределенности и уточнение информации о вероятностях состояний среды эксплуатации автомобиля на новый качественный уровень.

2. Определено место разработанного метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней в общей структуре методологии решения задач по снятию неопределённости и область применения разработанного метода.
3. В качестве состояний среды эксплуатации автомобиля рассматриваются соответствующие им отдельные критерии качества автомобиля на базе комплексного показателя – КТИ (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 в СУСЭА. Аналитически подтверждено, что значение реализуемого показателя качества автомобиля во всех случаях определяется его минимально допустимой величиной КТИ.
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. Применение данного метода целесообразно для определения значения КОГ автомобиля, который можно трактовать как вероятность того,

что автомобиль окажется в работоспособном состоянии в конкретный момент времени в течение заданного интервала ТО.

5. Сравнение оценок, получаемых с помощью метода «оперативного анализа показателя неплановый текущий ремонт» с традиционными оценками показало, что между ними существует аналитическая связь. В частности, интервалы пробега, которым соответствует \min суммарных приведённых затрат при различных способах оценки трудоёмкости ТО и ТР будут различны.

$$i_{\text{ТО}} (\text{существующие оценки}) = i_{\text{ТО}} (\text{оценка по разработанному методу}) \cdot \sqrt{2}$$

6. Сформирован алгоритм работы системы СУСЭА на базе многокритериальный структуры показателей качества автомобиля, позволяющий дифференцированно учитывать ухудшение свойств автомобиля до наступления предельного состояния. В качестве теоретического аппарата принятия управляющих решений в СУСЭА применяется метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды, позволяющий оптимизировать затраты на эксплуатацию автомобиля с учётом нескольких критериев: экологической безопасности, конструктивной безопасности, надёжности. Разработанный алгоритм позволяет реализовать основное назначение СУСЭА - управление состоянием качества автомобиля: оценка исходного состояния на этапе ввода (выбора) в эксплуатацию автомобиля; оценка состояния автомобиля в процессе эксплуатации и оценка предельного состояния для рекомендации списания автомобиля, то есть определение оптимального срока эксплуатации автомобиля.

Разработанные в четвёртой главе положения реализуют научный подход к методологии проектирования, управления, планирования и контроля процессов ТЭА автомобиля и формирует теоретическую основу в виде математического аппарата не формального ограничения сроков эксплуатации автомобиля, а как

обоснованного системного и целенаправленного управления сроками его эксплуатации. Поэтому можно констатировать, что на основе выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований решена крупная научная проблема – разработаны новые методы получения оптимального управляющего решения в условиях неопределённого состояния внешней среды (среды эксплуатации автомобиля). Практическое применение СУСЭА, как подсистемы ТЭА, обеспечит повышение эффективности и безопасности процессов в автотранспортной отрасли РФ.

5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

Наличие разработанного нового научного аппарата исследования закономерностей взаимодействия комплекса ТЭА с подсистемами более высокого уровня (внешние связи, определяемые средой эксплуатации автомобиля) требует адаптации ряда существующих методических подходов к решению задач ТЭА, необходимых для последовательной реализации этапов работы СУСЭА.

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

Методам оценки эффективности эксплуатации автомобиля по ряду свойств посвящено достаточное большое количество исследований [12, 60, 66, 67]. В них справедливо отмечаются две основные сложности при решении поставленной задачи.

1. Сложность выбора номенклатуры показателей качества автомобиля. В зависимости от типа, условий эксплуатации и назначения автомобиля количество оцениваемых свойств (оценочных показателей) может быть достаточно большим. Естественно, что с увеличением количества показателей качества автомобиля трудоемкость их совокупной оценки возрастает (нередко можно встретить оценку качества автомобиля, включающую несколько десятков показателей), при этом одновременно повышается и субъективизм принимаемого решения. Поэтому в состав оценочных показателей рекомендуется вводить только наиболее весомые показатели с точки зрения эксплантатов автомобиля, обусловленные условиями среды эксплуатации,

предъявляемыми нормативными требованиями и т.д., то есть определяется необходимость выявления приоритета критериев оценки.

2. Еще одна проблема оценки качества автомобиля – это процедура корректного сравнения альтернативных вариантов свойств (по одному единственному показателю выполнить это практически невозможно), поэтому формируется многокритериальная задача оценки качества. Здесь наиболее уязвимым местом с точки зрения объективности принимаемого решения является определение веса рассматриваемых критериев.

Чаще всего для решения приведённых задач применяются методы многокритериальной оптимизации, которые условно можно разделить на две большие группы:

Методы, в той или иной степени основанные на экспертной оценке для получения значений весов или их приоритета по значимости. Решение поставленной задачи, как правило, опирается на определение важности отобранных частных показателей по каждому критерию, исходя из интуитивного представления сравнительной важности критериев экспертами. Для этого разработано немало различных способов, имеющих свои достоинства и недостатки: метод ранжирования; метод приписывания баллов; МАИ и т.д.

Методы снятия неопределённости при решении многокритериальных автотранспортных задач, опирающиеся на вынужденную экспертную оценку изложены в третьей главе. Если проанализировать и сравнить перечисленные методы (см. пункт 3.2), то следует выделить метод МАИ. Его применение не требует опроса экспертов, то есть не обязательно знать конкретные значения весовых коэффициентов, но надо ответить на вопрос, во сколько раз один показатель важнее другого, чтобы построить матрицу парных сравнений, а далее проверять её согласованность, что довольно трудоёмко, хотя и здесь существуют подходы по упрощению этой процедуры. Основным недостатком методов данной группы является значительная степень субъективизма принимаемого решения в силу того, что человек (эксперт) не способен объективно назначать критериям корректные численные веса.

Например, в задаче выбора типа автомобиля по нескольким критериям:

- несколько типов автомобилей — это множество возможных решений;
- несколько критериев — это состояния среды эксплуатации.

Пусть известна эффективность использования любого типа автомобиля по каждому из этих показателей. Рассмотрим случай, когда принятие решения осуществляется методом ранжирования экспертами показателей какого-либо критерия.

Введём следующие обозначения:

n – количество показателей, по которым принимается решение;

m – количество сравниваемых автомобилей A_m ;

a_{ij} – численное значение по i -му варианту для j -го показателя,

$i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$;

r_j – ранг j -го показателя по отдельным показателям, $j = \overline{1, n}$.

Наиболее распространённый алгоритм решения задачи выбора автомобиля методом ранжирования следующий:

1. Определяются элементы матрицы эффективности δ_{ij} :

Поскольку показатели могут иметь различную размерность и несопоставимые по абсолютному значению величины их необходимо представить в относительных единицах, при этом важно помнить, что часть показателей может стремиться к максимуму (например, грузоподъемность, если сравниваются различные типы автомобилей), а часть – к минимуму (например, стоимость подвижного состава).

С учетом сказанного элементы матрицы δ_{ij} численных значений показателей, представленные в относительных единицах, вычисляются по следующим формулам [29] и формируются в виде матрицы эффективностей:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, & \text{если } i \text{ – й показатель максимизируется,} \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{если } i \text{ – й показатель минимизируется.} \end{cases} \quad (5.1)$$

	C_1	C_2	C_3	...	C_n
	r_1	r_2	r_3	...	r_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}

2. Далее вычисляются величины

$$d_i = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_{ij}}{r_j}, i = \overline{1, m} \quad (5.2)$$

3. Определяется оптимальный тип сравниваемого автомобиля по нескольким критериям варианта f из соотношения

$$d_f = \max_{1 \leq i \leq m} d_i \quad (5.3)$$

Достоинством описанного метода является его простота. Но у данного метода есть и перечисленные выше недостатками, присущие любому методу при использовании экспертной оценки. Основным из этих недостатков является необходимость определения численных значений рангов r_0 . Например, если для s -го и t -го критерия приняты ранги $r_s = 2$ и $r_t = 6$, то фактически это означает, что между этими критериями установлена строго формализованная связь (s -й показатель признается важнее t -го ровно в 3 раза). Очевидно, что такой вывод субъективен и, чаще всего, не может быть обоснован.

Методы, основанные на специальных процедурах получения весов или формальные методы получения весовых коэффициентов. Перечислим некоторые из них: метод уступок, метод идеальной точки, метод свертывания критериев, оценки Фишберна, критерий Лапласа и т.д. Из перечисленных методов наиболее простым и не требующим сложных дополнительных исследований является метод расчета весовых коэффициентов по формулам Фишберна. Основным недостатком, присущим этим методам в той или иной степени, является то, что между частными

показателями устанавливается строго формализованная связь (s -й показатель признается важнее t -го в p раз). Очевидно, что такой вывод субъективен и чаще всего не может быть обоснован [125]. Таким образом, можно сформировать основные требования, предъявляемые к методике аналитического определения весовых коэффициентов в многокритериальных задачах выбора автомобиля для заданных условий эксплуатации:

- 1) метод должен учитывать наличие приоритета рассматриваемых критериев;
- 2) полученное решение должно быть максимально эффективным с учётом показателей эффективности по заданным критериям;
- 3) аппарат получения веса критерия должен быть формализован, то есть объективен в части получения веса отдельного критерия для каждого отдельного решения.

Разработанный метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды позволяет найти решение поставленной задачи. Алгоритм решения при применении разработанного метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды следующий [125]:

1. По формулам (5.1) определяются элементы матрицы δ_{ij} ;
2. Производится нормализация значения δ_{ij} по столбцам:

$$b_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{\sum_{k=1}^n \delta_{ik}} \quad (5.4)$$

3. Относительные важности показателей C_j упорядочиваются в виде последовательности в зависимости от приоритетов среды эксплуатации автомобиля:

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_i \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n$$

4. Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{array} \right.$$

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

где индекс k определяется из условия $b_{kj} = \max_j b_{ij}$;

5. Далее вычисляются:

$$d_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}c_j, i = \overline{1, m} \quad (5.5)$$

6. Далее по формуле (5.3) определяется оптимальный тип автомобиля.

Достоинством описанного метода является отсутствие формализованной связи между оцениваемыми показателями при выборе автомобиля, что повышает объективность принимаемого решения, то есть метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды эксплуатации автомобиля является объективным средством принятия субъективного решения.

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

Разработанный метод оперативного учёта показателей трудоёмкость ТО и ТР предполагает рассматривать в качестве расчётного цикла пробег автомобиля за полный цикл ТО ($L_{ц} = L_{ТО}$), поэтому методика определения производственной программы по ТО и ТР должна быть адаптирована к этому условию [155,157,159,167]. Рассмотрим два возможных варианта, если:

- 1) нормативная периодичность работ ТО принимается в соответствии с регламентом фирмы-производителя (рисунок 5.1) для автомобилей, конструкция которых не предусматривает проведение КР, в частности автомобили импортного производства SCANIA;
- 2) за цикл принимается пробег между ТО-2, для автомобилей отечественного производства.

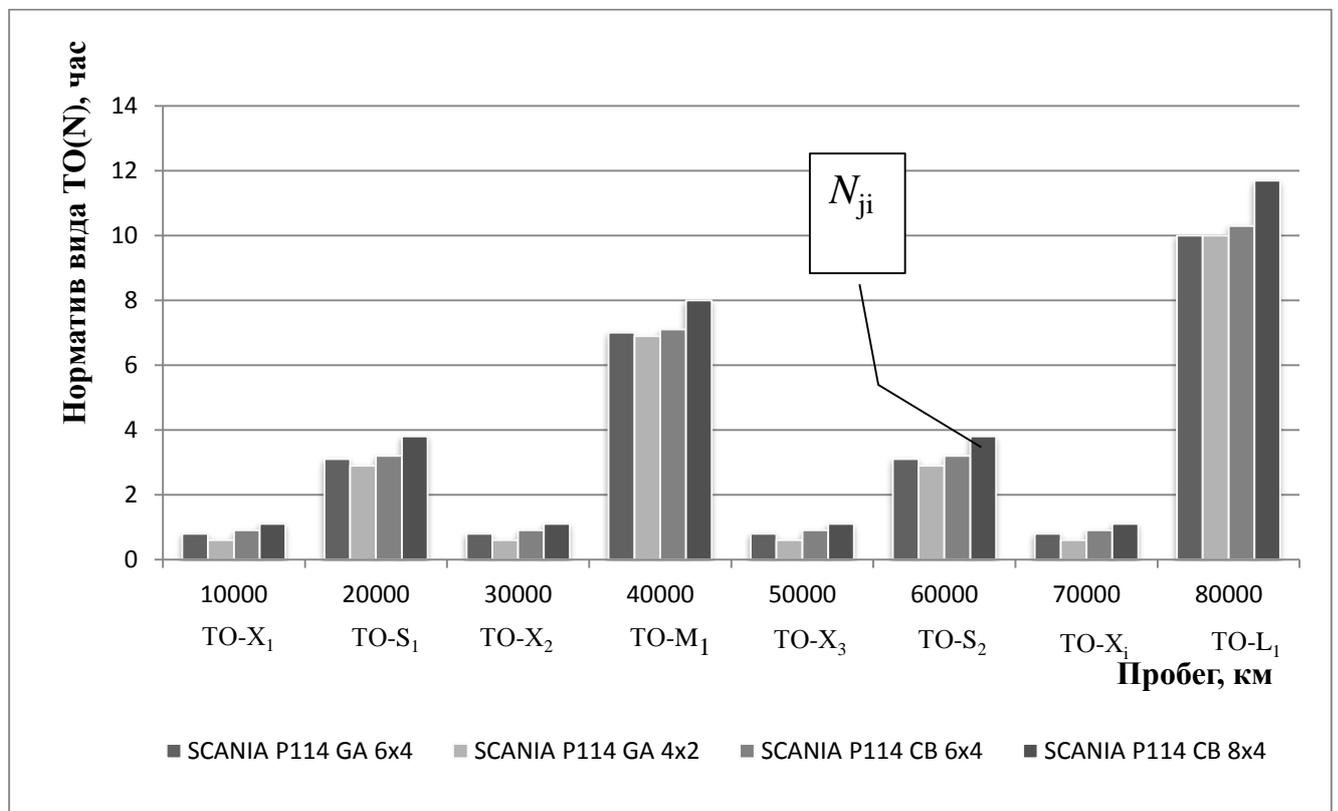


Рисунок 5.1 – Регламенты трудоемкости ТО автомобилей SCANIA

В первом случае корректирование (изменение) нормативов ТО в зависимости от различных факторов среды эксплуатации производится за счет изменения видов и количества обслуживаний в рамках принятого цикла, и определяется регламентом, разработанным фирмой-производителем автомобилей.

Во втором случае корректирование нормативов производится в соответствии с действующими положениями системы планово-предупредительной системы ТО и ремонта автомобилей.

Для выделения основных моментов методики опускается ряд вытекающих из них следствий, например, в работе учитываются только работы ЕО, выполняемые перед ТО и ТР.

Ежедневное обслуживание, проводимое перед ТО и ТР (EO_T). Как правило, трудоемкость ЕО, проводимого перед ТО и ТР, составляет определённый % от трудоемкости общего ежедневного обслуживания (EO_C), проводимого при возвращении автомобиля на АТП. Кроме этого, нормативы трудоемкости УМР учитывают либо применение механизации, либо проведение работ ручным способом и должны учитываться K_m или K_p . Таким образом, определение нормативной трудоемкости общего ЕО (чел. час) автомобилей практически не изменится. Расчетная нормативная (скорректированная) трудоемкость ежедневного обслуживания, проводимого перед ТО и ТР, определяется по формуле:

$$t_{EO_T} = P_{EO_T} \cdot t_{EO_C}^H \cdot K_2 \cdot K_m, \text{ чел.ч.}, \quad (5.6)$$

где P_{EO_T} – процент количества ЕО, производимого перед ТО или ТР от ЕО, производимого при возвращении автомобиля с линии, %;

$t_{EO_C}^H$ – нормативная трудоемкость общего ежедневного обслуживания, чел.ч;

K_2 – коэффициент, учитывающий модификацию подвижного состава.

Суммарные простои в ТО за цикл одного автомобиля определяются по формуле:

$$N_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n (N_{ji}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}), \text{ час}, \quad (5.7)$$

где $N_{ij}^{\text{ТО}}$ – норма простоя автомобиля в ТО согласно регламенту фирмы-производителя;

i – порядковый номер вида ТО в цикле (вид ТО определяется в соответствии с регламентом фирмы-производителя);

j – порядковый номер модели подвижного состава;

$m_{ij}^{\text{ТО}}$ – количество обслуживаний одного вида за цикл.

Здесь и далее к ТО относятся все его виды, включая ЕО_Т, проводимое только перед ТО (без ЕО_Т, проводимого перед ТР). Все данные, относящиеся к циклу, определяются для каждой модели автомобиля отдельно и не суммируются по всему парку, так как продолжительность цикла у каждой модели автомобиля различна.

Суммарное количество ТО каждого вида для всех автомобилей парка одной марки за цикл определяется по формуле:

$$M_{ij}^{\text{ТО}} = A_j^{\text{сп}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ ед.} \quad (5.8)$$

где $A_j^{\text{сп}}$ - списочное количество автомобилей одной модели, ед.

Время простоя в каждом виде ТО всех автомобилей одной модели за цикл, определяется по формуле:

$$T_{ij}^{\text{ТО}} = M_{ij}^{\text{ТО}} \cdot N_{ji}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (5.9)$$

Суммарное время простоев во всех видах ТО автомобилей одной модели за цикл определяется по формуле:

$$T_j^{TO} = \sum_{i=1}^n T_{ij}^{TO}, \text{ час.} \quad (5.10)$$

Для расчета производственной программы далее необходимо знать нормы простоя автомобилей в ТР (час/1000 км пробега). Однако, они не регламентируются фирмой-производителем, но фиксируются по каждому автомобилю в информационной базе СУСЭА.

Количество дней простоя в ТР за цикл в зависимости от нормы простоя определяется по формуле:

$$D_j^{TR} = \frac{N_{ji}^{TR} \cdot L_{ц}}{1000}, \text{ дн/1000 км,} \quad (5.11)$$

где N_{ji}^{TR} – простоя автомобилей в текущем ремонте, дней/1000 км;

$L_{ц}$ – пробег автомобиля за цикл, км., (при расчете производственной программ по ТО и ТР это значение должно возрастать и быть кратным комплексу работ по ТО, по мере достижения подвижным составом соответствующих пробегов).

Годовой объем постовых работ ТР определяется, опираясь на значение удельной трудоемкости работ по ТР, рассчитываемую в соответствии с методом оперативного анализа показателей ТО и ТР: Тогда формула для определения трудоёмкости ТР, приходящейся на 1000 км пробега пределах одного цикла (цикловая удельная трудоёмкость ТР), будет выглядеть следующим образом (чел·час /1000):

$$T_{tpi} = \frac{\sum_{k=1}^p t_{tpki}}{\Delta l_i} \cdot 1000, \text{ чел·час/1000 км} \quad (5.12)$$

$$T_{\text{тp}i} = \frac{10^3}{L_{\text{ц}i}^{\text{тo}}} \cdot \sum_{k=1}^p t_{\text{тp}ki}, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000 \text{ км} \quad (5.13)$$

где p – количество воздействий ТР в пределах цикла ТО;

i – порядковый номер цикла ТО;

$L_{\text{ц}i}^{\text{тo}}$ – цикл ТО;

$t_{\text{тp}ki}$ – трудоёмкость необходимая для устранения отказа, чел·час или норма-час.

Если необходимо получить среднее значение удельной трудоёмкости ТР, приходящейся на 1000 км на более значительном интервале пробега автомобилей, можно применить следующую формулу:

$$\bar{T}_{\text{тp}} = \frac{1}{v} \cdot \sum_{i=1}^v T_{\text{тp}i} \text{ чел}\cdot\text{час}/1000 \text{ км} \quad (5.14)$$

где v – количество циклов ТО в пределах исследуемого пробега автомобиля, ед.

После постановки формулы (5.13) в (5.14) получим:

$$\bar{T}_{\text{тp}} = \frac{10^3}{v} \cdot \sum_{i=1}^v \sum_{k=1}^p \frac{t_{\text{тp}ki}}{L_{\text{ц}i}^{\text{тo}}}, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000 \text{ км} \quad (5.15)$$

Можно рассмотреть частный случай применения формулы (5.15) для однотипного подвижного состава, когда $L_{\text{ц}}^{\text{тo}} = \text{const}$:

$$\bar{T}_{\text{тp}} = \frac{10^3}{v L_{\text{ц}}^{\text{тo}}} \cdot \sum_{i=1}^v \sum_{k=1}^p t_{\text{тp}ki}, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000 \text{ км}. \quad (5.10)$$

Общая цикловая удельная трудоемкость работ по ТР для всех автомобилей одной одели определяется по формуле:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТР}} = T_{\text{тp}i}(t_i^{\text{ТР}}) \cdot A_j^{\text{сп}}, \text{ чел}\cdot\text{час.} \quad (5.17)$$

Для определения годового объема работ ТР необходимо перейти от цикла к году. Цикловая удельная трудоемкость работ ТР за год по моделям автомобилей определяется по формуле:

$$t_{\Gamma j}^{\text{ТР}} = t_{\text{Ц}j}^{\text{ТР}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ чел}\cdot\text{час.} \quad (5.18)$$

Продолжительность цикла в днях равна сумме дней работы автомобилей на линии, дней простоя в ТО и в ремонте в течение цикла:

$$D_j^{\text{Ц}} = D_j^{\text{рц}} + D_j^{\text{ТО}} + D_j^{\text{ТР}}, \text{ дн.} \quad (5.19)$$

Число дней работы автомобиля на линии за цикл:

$$D_j^{\text{рц}} = \frac{L_{\text{Ц}}}{l_j^{\text{сц}}}, \text{ дн.} \quad (5.20)$$

где $l_j^{\text{сц}}$ – среднесуточный пробег автомобиля, км.

Число дней простоя автомобиля в ТО за цикл:

$$D_j^{\text{ТО}} = \frac{N_j^{\text{ТО}}}{T_{\text{сут}}^{\text{зто}}}, \text{ дн.}, \quad (5.21)$$

где $T_{\text{сут}}^{\text{зто}}$ – время работы зоны ТО в сутки.

Для дальнейшего расчета производственной программы по ТО и ТР необходимо перейти от цикла к году, т.е. определить количество циклов за год для каждой марки автомобилей. Коэффициент перехода от цикла к году определяется по формуле:

$$\eta_j^{\text{Ц}} = \frac{D_{\text{рг}}^{\text{ПС}}}{D_j^{\text{Ц}}}, \quad (5.22)$$

где $D_{\text{рг}}^{\text{ПС}}$ – дни работы в году подвижного состава, дн.

Определение коэффициента технической готовности. Расчетный КТГ для каждой модели автомобилей определяется по формуле:

$$\alpha_j^{\text{Т}} = \frac{D_j^{\text{рц}}}{D_j^{\text{Ц}}}, \quad (5.23)$$

где $D_j^{\text{Ц}}$ и $D_j^{\text{рц}}$ – длительность цикла и количество дней работы автомобилей на линии соответственно.

Средний по всему парку автомобилей КТГ определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{Т}} = \frac{\sum_{j=1}^m (\alpha_j^{\text{Т}} \cdot A_j^{\text{сп}})}{\sum_{j=1}^m A_j^{\text{сп}}}. \quad (5.24)$$

КТГ можно суммировать по всему парку, так как его значение за цикл и за год совпадают. Дальнейший расчёт производственной программы по ТО и ТР подразумевает определение количества постов ЕО, ТО и ТР. Принципиальные отличия предлагаемого метода от действующих методик не значительны и заключаются в применении определенных представленных показателей, поэтому дальнейшая последовательность расчёта вынесена в **приложение А**.

Сравнение существующей методики расчёта производственной программы по ТО и ТР и адаптированной к изменению величины расчётного цикла и условиям эксплуатации подвижного состава, регламенты которого не предусматривают КР представлено в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Сравнение методик расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей

Существующая методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей	Предлагаемая методика расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей
Выбор значения цикла (пробег до КР или до списания) $L_{ц} = L_{кр}$	Выбор значения цикла (пробег за полный комплекс работ ТО) $L_{ц} = L_{ТО}$
1. Выбор периодичности ТО-1, ТО-2	1. Принимается согласно регламенту предприятия
2. Корректирование периодичности ТО-1, ТО-2, L_p	2. Корректирование производится регламентированным изменением величины $L_{ТО}$
3. Определение числа списаний и числа ЕО, ТО-1, ТО-2	3. Определение продолжительности цикла, дн. 3.1. Определение времени простоя в ТО автомобиля одной модели за цикл, час (дн.) 3.2. Определение времени простоя в ТР автомобилей одной модели за цикл, час (дн.) 3.3. Определение времени работы на линии автомобилей одной модели за цикл, дн.
4. Определение коэффициента технической готовности, α_T 4.1. $D_{р.ц.} = D_k + D_{ТО,ТР} \cdot L_{кр} K_4/1000$ 4.2. $D_{э.ц.} = L_p/l_{сс}$ 4.3. $\alpha_T = D_{э.ц.} / (D_{р.ц.} + D_{э.ц.})$	4. Определение: 4.1. Коэффициента технической готовности: $\alpha_T = D_{э.ц.} / (D_{р.ц.} + D_{э.ц.})$ 4.2. Коэффициента перехода от цикла к году: $\eta = D_{раб.г.} / D_{ц}$
5. Определение годового пробега автомобиля: $L_T = D_{раб.г.} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_T$	6. Определение годового пробега автомобиля: $L_T = D_{раб.г.} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_T$
6. Определение годового числа ЕО, ТО-1, ТО-2	7. Определение годового объёма работ ТО, ТР, час/год.
7. Выбор и корректирование нормативных трудоёмкостей: $t_{ЕО}, t_{ТО-1}, t_{ТО-2}, t_{ТР}$	8. Определение количества постов: ЕО, ТО, ТР
8. Определение годового объёма работ ТО и ТР	-
9. Определение количества постов: ЕО, ТО, ТР	-

5.3 Методика оперативного анализа коэффициента технического использования для определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля

Коэффициент технического использования (КТИ), определяется как отношение математического ожидания суммарного времени пребывания исследуемого объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период. Как правило, для определения КТИ в качестве периода эксплуатации рассматриваются временные интервалы, выраженные в часах, либо автомобиле-часах использования подвижного состава. Предлагаемая методика предполагает применение КТИ для анализа состояния автомобиля и организации управляющих воздействий в СУСЭА. Поэтому, с учётом представленного выше материала определение КТИ содержит ряд особенностей:

- 1) в качестве измерителя периода эксплуатации автомобиля используется значение его пробега с начала эксплуатации, км;
- 2) в качестве интервала измерения рассматривается пробег автомобиля за период регламентного ТО, км.

Данные изменения позволят достичь сопоставимости результатов определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля в процессе его планирования, корректирования и конкретизации для различных моделей исследуемого подвижного состава.

Последовательность расчёта по данной методике:

1. Определяются математические ожидания суммарного времени пребывания автомобиля в работоспособном состоянии, суммарного времени пребывания простоев, обусловленных ТО и ремонтом за период регламентного ТО (неплановый ТР). Для этого по результатам обработки статистического материала (база данных СУСЭА) фиксируются следующие данные:

T – математическое ожидание продолжительности планируемого технической эксплуатации автомобиля, час;

\bar{t}^P – математическое ожидание (МО) рабочего времени автомобиля, час;

\bar{t}^H – МО нерабочего времени автомобиля, час;

\bar{t}^{Pi} – МО периода пребывания автомобиля в исправном состоянии в рабочее время, час;

\bar{t}^{PH} – МО периода пребывания автомобиля в неисправном состоянии в рабочее время. час;

\bar{t}^{Hi} – МО период пребывания автомобиля в исправном состоянии в нерабочее время, час;

\bar{t}^{HH} – МО периода пребывания автомобиля в неисправном состоянии в нерабочее время, час;

$\bar{t}^{Pi\varepsilon}$ – МО интервала рабочего времени, когда автомобиль в исправном состоянии и эксплуатируется, час;

\bar{t}^{PiH} – МО интервала рабочего времени, когда автомобиль в исправном состоянии, но не эксплуатируется, час;

$\bar{t}^{PH\Pi}$ – МО интервала рабочего времени, когда автомобиль находится в плановом ТО и ремонте, час;

$\bar{t}^{HH\Pi}$ – МО интервала рабочего времени, когда автомобиль находится в не плановом ТО и ремонте, час;

$\bar{t}^{H\Pi P}$ – МО интервала нерабочего времени, когда автомобиль находится в плановом ТО и ремонте;

$\bar{t}^{HH\Pi P}$ – МО интервала нерабочего времени, когда автомобиль находится в не плановом ТО и ремонте.

1. Устанавливается интервал приведения временных показателей:

1.1. **Вариант 1.** t_l – период с начала эксплуатации автомобиля, соответствующий пробегу l_j , км.

1.2. **Вариант 2.** t_c – период регламентного ТО автомобиля, Δl_i км.

2. Определяется МО суммарного времени пребывания автомобиля в ТО и ремонте.

$$2.1. \bar{T}_l^{\text{ТО и тр}} = \bar{t}_l^{\text{рнп}} + \bar{t}_l^{\text{рнн}} + \bar{t}_l^{\text{ннр}} + \bar{t}_l^{\text{ннн}}, \text{ час} \quad (5.25)$$

$$2.2. \bar{T}_c^{\text{ТО и тр}} = \bar{t}_c^{\text{рнп}} + \bar{t}_c^{\text{рнн}} + \bar{t}_c^{\text{ннр}} + \bar{t}_c^{\text{ннн}}, \text{ час} \quad (5.26)$$

3. Определяются удельные значения времени пребывания автомобиля в ТО и ремонте:

$$3.1. \bar{t}_l^{\text{ТО и тр}} = \frac{\bar{T}_l^{\text{ТО и тр}}}{l_j}, \text{ час/1000 км} \quad (5.27)$$

$$3.2. \bar{t}_c^{\text{ТО и тр}} = \frac{\bar{T}_c^{\text{ТО и тр}}}{\Delta l_i}, \text{ час/1000 км} \quad (5.28)$$

4. Определяется МО времени нахождения автомобиля в работоспособном состоянии за период эксплуатации T , час:

$$4.1. \bar{T}_l^p = \bar{t}^p + \bar{t}^h - l_j \bar{t}_l^{\text{ТО и тр}}, \text{ час.} \quad (5.29)$$

$$4.2. \bar{T}_c^p = \bar{t}^p + \bar{t}^h - \Delta l_i \bar{t}_c^{\text{ТО и тр}}, \text{ час.} \quad (5.30)$$

5. Определяется МО продолжительности планируемого периода технической эксплуатации автомобиля, час.

$$5.1. \bar{T}_l^{\text{э}} = \frac{t_l}{l_{cc}} \cdot t_{\text{сут}}, \text{ час} \quad (5.31)$$

$$5.2. \bar{T}_c^{\text{э}} = \frac{t_c}{l_{cc}} \cdot t_{\text{сут}}, \text{ час} \quad (5.32)$$

где l_{cc} – среднесуточный пробег автомобиля, км; $t_{\text{сут}}$ – 24 часа, время суток.

6. Определяется КТИ

$$6.1. K_c^{ТИ} = \frac{\bar{T}_l^p}{\bar{T}_l^э} \quad (5.33)$$

$$6.1. K_l^{ТИ} = \frac{\bar{T}_c^p}{\bar{T}_c^э} \quad (5.34)$$

5.4 Методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля

Анализ данных по фактическому распределению затрат, связанных с эксплуатацией автомобилей, говорит о том, что наибольший удельный вес составляют затраты на топливо, ТО и ремонт, а также заработную плату водителей. Причём, максимальная динамика изменения свойственна затратам на ТО и ремонт в зависимости от времени или пробега с начала эксплуатации автомобиля. Как правило, для оптимизации сроков эксплуатации автомобиля с учётом удельных затрат используют целевую функцию, позволяющую минимизировать удельные приведенные затраты $d(t)$ на содержание автомобиля в зависимости от его возраста или пробега:

$$d(t) = \frac{R^c + S}{t_c} \rightarrow \min, \quad (5.35)$$

где R^c - суммарные затраты на ТО и ТР автомобиля, руб.;

S - стоимость нового автомобиля, руб.;

t_c - оптимальное время списания автомобиля, км.

То есть, определяются удельные суммарные затраты в отношении к планируемому или фактическому пробегу автомобиля до списания, тем самым усредняя значения всех компонентов структуры затрат.

В целях управления процессами «старения» или анализа потерь эффективности автомобиля целесообразно дифференцированно оценивать затраты на эксплуатацию автомобиля в зависимости от времени или его пробега с начала эксплуатации. Это возможно, если применить для оценки динамики изменения структуры затрат автомобиля метод оперативного учёта затрат при его эксплуатации.

Примем следующие условия:

- 1) изменение показателя удельные затраты на эксплуатацию автомобиля R_c является непрерывной возрастающей функцией $R_3(l)$;
- 2) зависимость изменения затрат $R_3(l)$ на эксплуатацию автомобиля в зависимости от его пробега с начала его эксплуатации аппроксимируются линейной функцией:
- 3) в качестве интервала приведения затрат используется пробег в пределах регламентного ТО автомобиля.

Тогда методика выглядит следующим образом:

1. Определяются затраты в пределах каждого ТО:

$$R_{эi} = \sum_{j=1}^m r_{ij}, \text{ руб.}, \quad (5.36)$$

где $R_{эi}$ – затраты на i -м интервале ТО пробега автомобиля, руб.;

r_{ij} – затраты по j -той статье в пределах i -го интервала ТО, руб.

2. Определяются удельные затраты на эксплуатацию автомобиля:

$$R_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{\Delta l_i} \cdot 1000, \text{ руб./1000 км}, \quad (5.37)$$

где R_{ci} – удельные затраты в пределах i -го интервала ТО руб./1000 км;

r_{ij} – затраты по j -той статье в пределах i -го интервала ТО, руб;

Δl_i – пробег, соответствующий регламенту ТО, км.

Для сравнения удельные затраты на эксплуатацию автомобиля с учётом пробега с начала его эксплуатации определяются

$$R_{lj} = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{l_j} \cdot 1000, \text{ руб./1000 км,} \quad (5.38)$$

где R_{lj} – удельные затраты на i -м интервале пробега с начала эксплуатации автомобиля, руб./1000 км;

r_{ij} – затраты по j -той статье на i -том интервале ТО пробега автомобиля с начала эксплуатации, руб.;

l_j – пробег с начала эксплуатации, соответствующий регламенту ТО, км.

Статистические данные показывают, что функция увеличения затрат на каждом интервале ТО в общем случае носит полиномиальный характер, но хорошо аппроксимируется в линейную зависимость. Проиллюстрируем (рисунок 5.2) изменение суммарных затрат на эксплуатацию автомобилей:

- а) суммарные затраты с начала эксплуатации (R_i^Σ);
- б) суммарные затраты в пределах интервала ТО (R_{TO}^Σ).

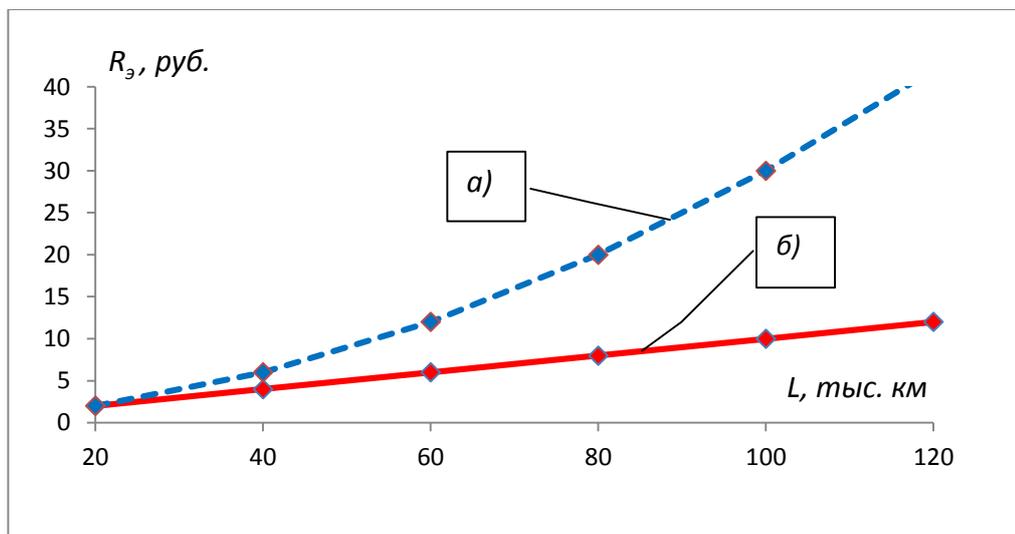


Рисунок 5.2 - Суммарные затраты на эксплуатацию автомобиля

Приведём на рисунке 5.3 изменение значений удельных затрат на эксплуатацию автомобиля, определяемое применяемой методикой:

- а) удельные затраты R_{lj} ;
- б) удельные затраты (R_{cj}).

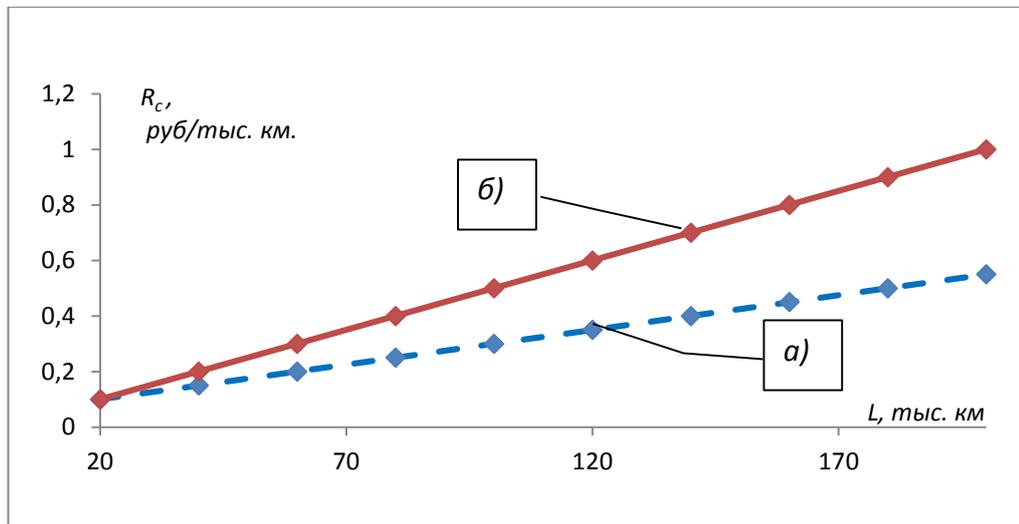


Рисунок 5.3 - Удельные затраты на эксплуатацию автомобиля

3. Определяется условная остаточная стоимость автомобиля (УОС)

$$S_0(l) = \frac{S_{a/m}}{l_j}, \text{ руб./1000, км,} \quad (5.39)$$

где $S_{a/m}$ - стоимость автомобиля, руб.

Применение параметра УОС обуславливается его нейтральностью по отношению к сроку эксплуатации автомобиля. В случае определения остаточной стоимости автомобиля с помощью метода начисления амортизации, как правило, устанавливается планируемый срок службы автомобиля. В данном случае срок службы автомобиля определяется исходя из затрат на его эксплуатацию. По характеру сокращения остаточная стоимость УОС соответствует методу начисления амортизации – уменьшающегося остатка [184].

Для того, чтобы перейти к данному способу определения остаточной стоимости автомобиля достаточно применить коэффициент, учитывающий процент амортизационных отчислений.

$$S_{0\text{ам}} = k_{\text{ам}} \frac{S_{\text{а/м}}}{l_j}, \text{ руб./1000, км,} \quad (5.40)$$

где $k_{\text{ам}}$ – коэффициент перехода к методу определения остаточной стоимости автомобиля через амортизационные отчисления – методу уменьшающегося остатка.

4. Устанавливаются графические и аналитические связи между показателями: R_{cj} , $S_{0\text{ам}}$.

5. Определяется параметр эффективности автомобиля (P_3) в СУСЭА, как функция суммы удельных затрат и УОС от пробега автомобиля с начала эксплуатации.

$$P_3^{(k)} = R_l(l) + S_{0\text{ам}}(l), \text{ руб./1000 км.} \quad (5.41)$$

6. Определяется минимальное значение (P_3^k) и соответствующее ему значение пробега автомобиля до его списания l_c :

$$P_3(l) = k_{\text{ам}} \frac{S_{\text{а/м}}}{l} + k \cdot l + b \quad (5.42)$$

$$P_3'(l) = -\frac{k_{\text{ам}} S_{\text{а/м}}}{l^2} + k = 0$$

$$l_c = \sqrt{\frac{k_{\text{ам}} S_{\text{а/м}}}{k}}, \quad (5.43)$$

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

В настоящее время наиболее перспективным направлением реализации методов численного моделирования является компьютерное моделирование. Особенно удобно применять компьютерное моделирование в случаях перспективного проектирования сложных систем. Формирование компьютерной модели СУСЭА содержит два основных этапа:

- 1) формирование многокритериального аппарата СУСЭА (качественная модель системы);
- 2) формирование аналитических связей в системе (количественная модель системы).

Компьютерное моделирование представляет собой ряд численных экспериментов с целью аналитической интерпретации СУСЭА с последующим уточнение модели. Уточнение модели производится при изменении дискретных состояний объектов СУСЭА при выявления новых закономерностей в её связях. Метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды может быть представлен в виде программного обеспечения, обеспечивающей минимальное участие оператора.

Приведём в виде блок-схем ряд процедур работы СУСЭА (рисунки 5.4, 5.5 и 5.6). На начальном этапе определяется класс автомобиля и список приоритетных критериев качества, в виде комплексных показателей. Далее указывается числовой диапазон, в котором возможны колебания значений выбранных критериев. Затем устанавливается их приоритетный ряд, при этом указывать коэффициенты весомости нет необходимости.

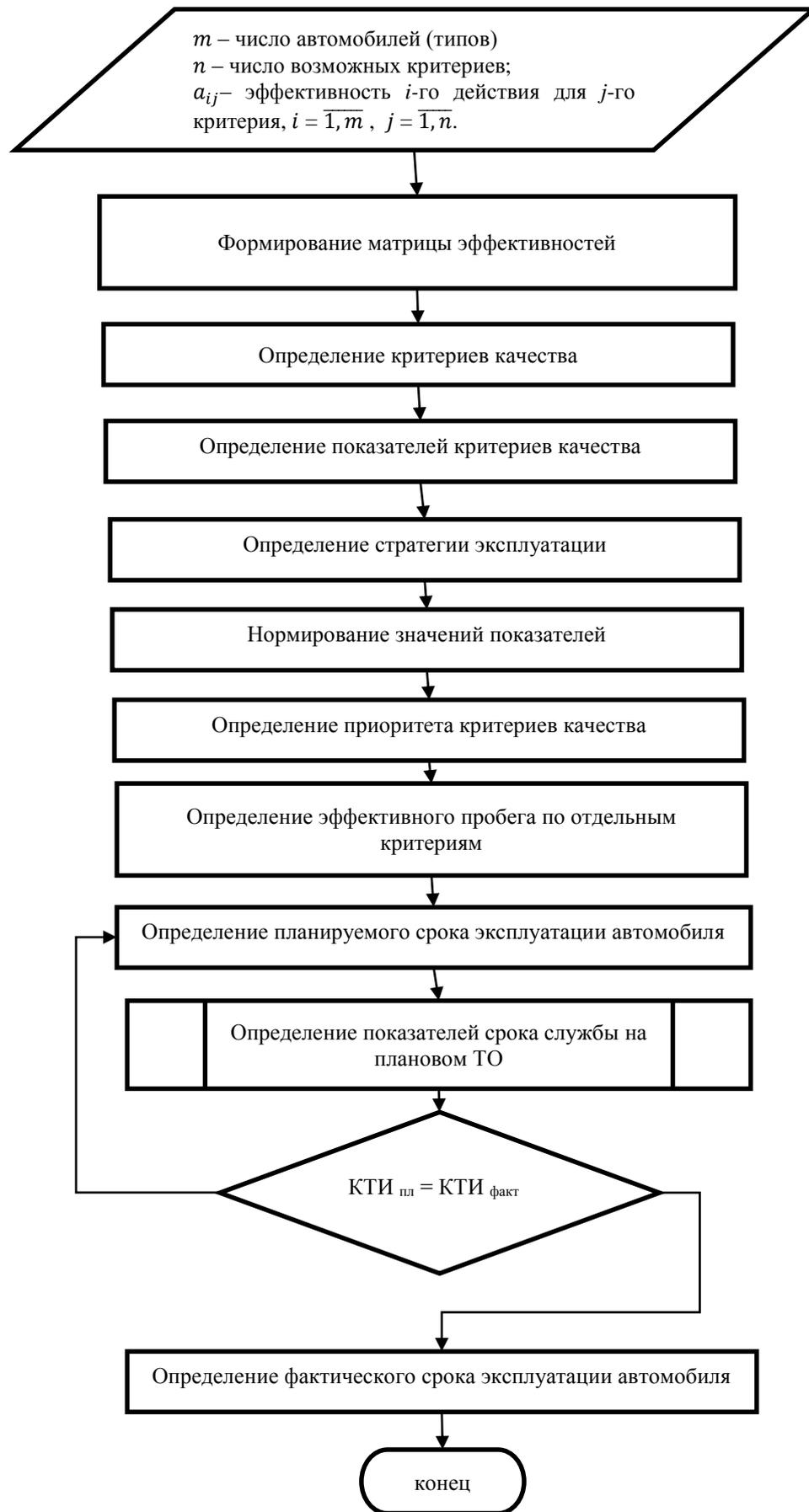


Рисунок 5.4 – Блок схема работы СУСЭА

На дальнейшем этапе программа выполняет расчёт решения в соответствии с методом районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды (пункт 4.3). На блок-схеме, представленной на рисунке 5.6 приведена служебная процедура, реализующая алгоритм метода, которая вызывается основной процедурой расчета (рисунок 5.5) [12, 13].

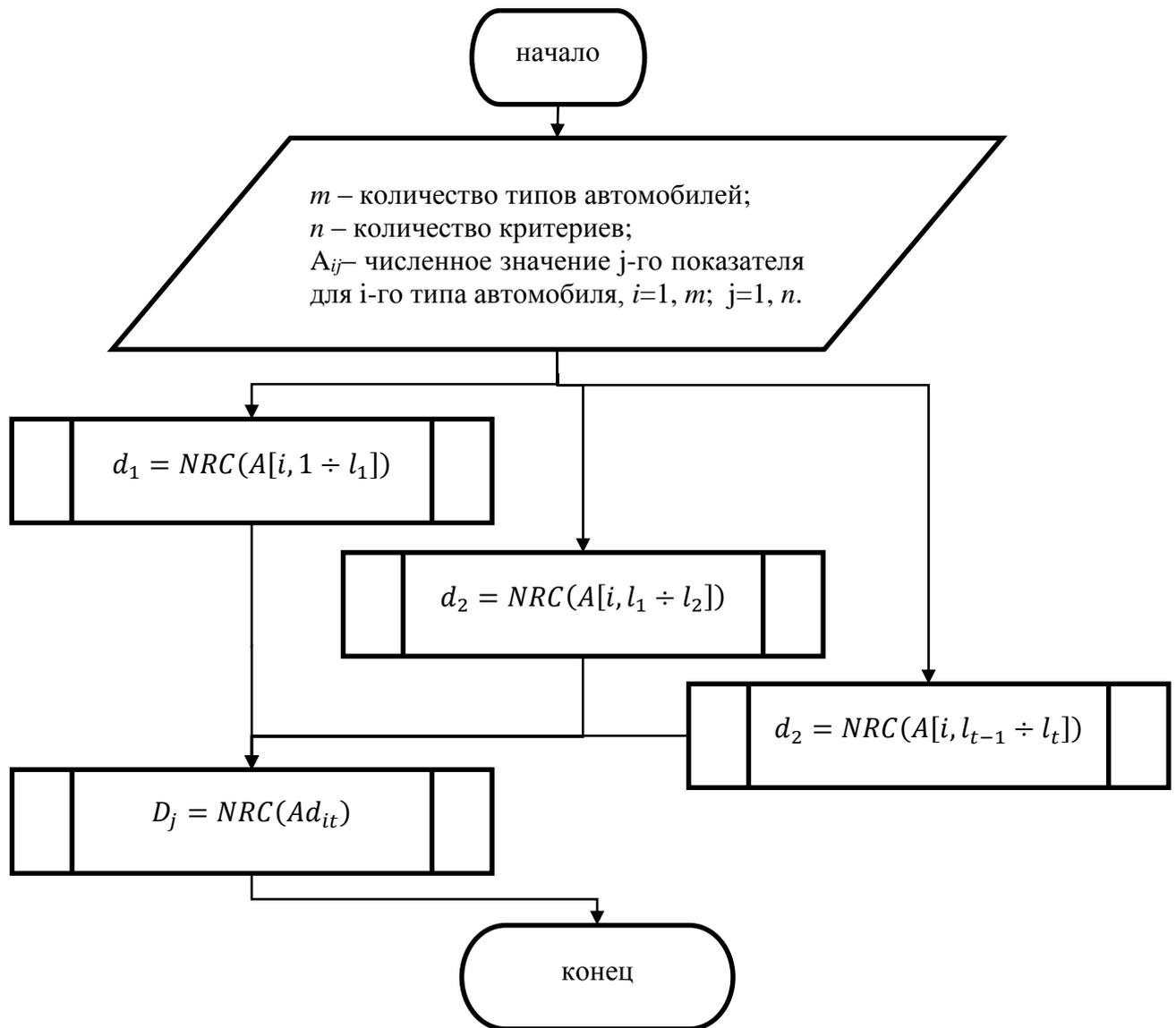


Рисунок 5.6 - Блок-схема основной процедуры расчёта

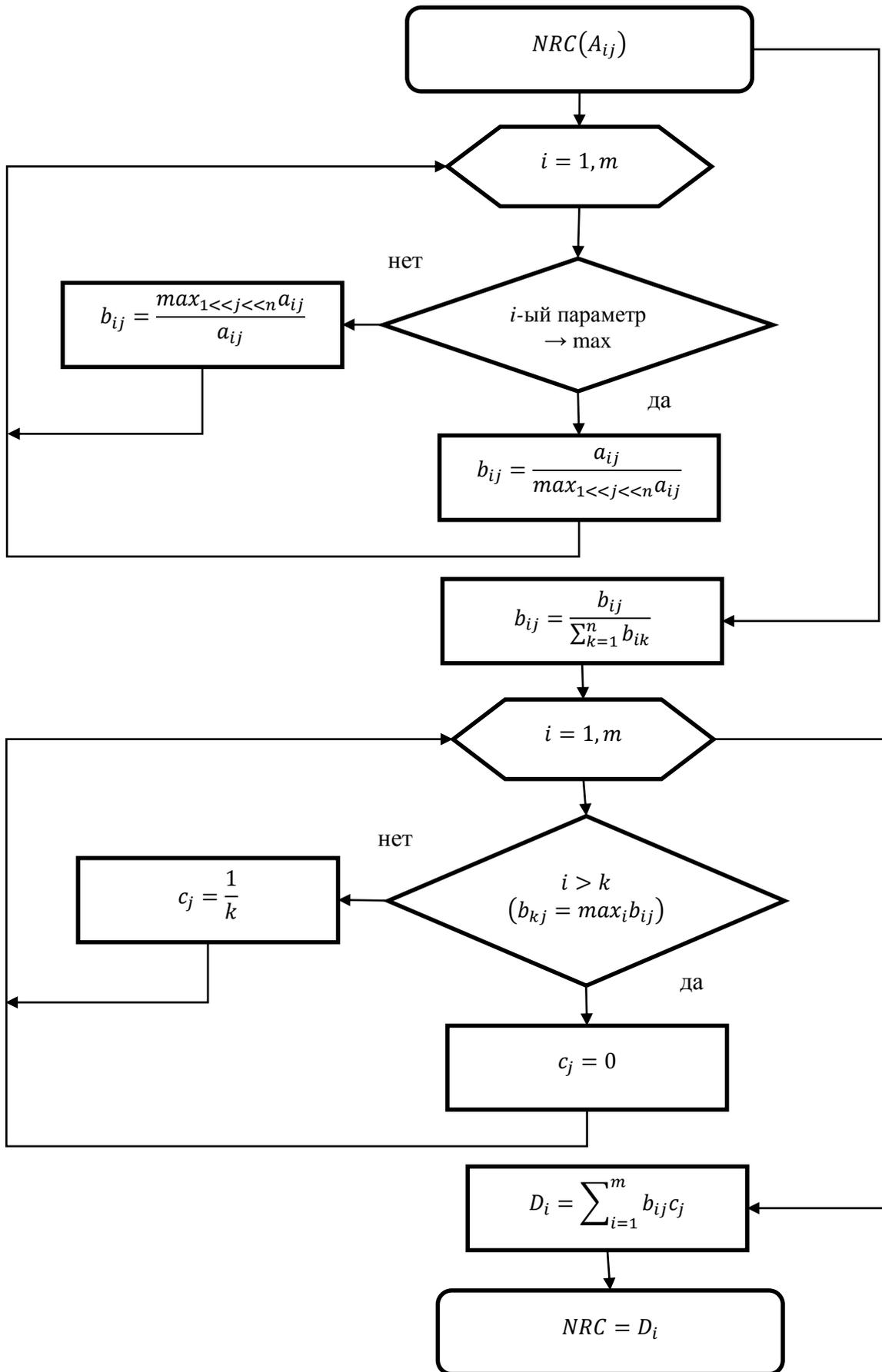


Рисунок 5.6 - Блок-схема служебной процедуры расчета

Практическая значимость результатов исследования подтверждена 2-мя свидетельствами государственной регистрации программ для ЭВМ: «Система определения рационального срока службы подвижного состава автотранспортного предприятия» (зарег. 11.07.2017 г.) и «Система определения оптимальных моделей автомобилей для парка автотранспортного предприятия» (зарег. 21.07.2017 г.)

5.6 Выводы по пятой главе

В пятой главе представлен ряд методик, необходимых для обеспечения работы СУСЭА, позволяющих установить пробег эффективной эксплуатации автомобилей по отдельным критериям и определять оптимальный срок эксплуатации автомобиля с применением многокритериальной структуры показателей качества автомобиля:

1. Методика расчёта весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автомобиля. Достоинством методики является отсутствие формализованной связи между показателями качества при многокритериальной оценке автомобиля, что повышает объективность принимаемого решения, то есть метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды в СУСЭА является объективным средством принятия субъективного решения.
2. 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 автомобилей для отечественных автомобилей). Это даёт возможность рассчитывать ряд

показателей СУСЭА: 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) оценивать необходимые объёмы технических воздействий для поддержания работоспособного состояния автомобиля и коэффициент оперативной готовности автомобиля.

3. Методика оперативного анализа КТИ при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля. Данная методика предполагает применение КТИ для анализа состояния автомобиля и организации управляющих воздействий в СУСЭА. Определение КТИ содержит ряд особенностей, а именно: использование в качестве измерителя периода эксплуатации автомобиля его пробег с начала эксплуатации, а в качестве интервала измерения рассматривается пробег автомобиля за период регламентного ТО. Это позволит повысить оперативность результатов определения пробега эффективной эксплуатации автомобиля в процессе его планирования, корректирования и конкретизации.
4. 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 (в качестве интервала приведения затрат используется пробег в пределах регламентного ТО автомобиля) на эксплуатацию автомобиля. В данной методике применяется показатель УОС. По характеру сокращения УОС соответствует методу начисления амортизации – уменьшающегося остатка, что обуславливает его нейтральность по отношению к сроку эксплуатации автомобиля и позволяет определять индивидуальный параметр эффективности автомобиля в СУСЭА, как функция суммы удельных затрат и УОС от пробега автомобиля с начала его эксплуатации.

5. Алгоритм автоматизированной реализации метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды необходимый для реализации в СУСЭА в условиях АТП.

Разработанные методики объединяются в комплексную методику определения оптимального срока эксплуатации автомобилей, обобщающую вышеперечисленные методики, функционально связанные между собой целью – оптимизацией процессов в СУСЭА.

6 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

6.1 Апробация комплексной методики многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобилей

Разработанные методики апробировались на экспериментальных данных полученных в ходе реализации НИОКР «Разработка методики расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта» по заказу ЦОГ «Грузавтотранс», а также госбюджетной НИР: «Оптимизация структуры парка автомобилей в мегаполисе», выполняемой в инициативном порядке на кафедре транспортно-технологических процессов и машин ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». Данные для апробации разработанных методик были предоставлены компаниями, входящими в ЦОГ «Грузавтотранс», а также ООО «ИТС Логистик». Экспериментальные исследования опираются на данные регламентных работ ТО и значений трудоёмкости неплановых работ ТР по восстановлению узлов и агрегатов автомобилей в течение всего срока эксплуатации.

Апробация методик производилась на двух группах грузовых автомобилей (таблица 6.1) и двух группах легковых автомобилей (таблица 6.2).

Таблица 6.1 - Исследуемые группы грузовых автомобилей

Тип автомобиля	Регион эксплуатации	Характер эксплуатации	Кол-во	Марка АТС
Грузовой автомобиль - самосвал	г. Санкт-Петербург, Ленинградская область	Перевозка навалочных грузов (щебень)	69	Scania
Грузовой автомобиль седельный тягач	Региональные и Междугородные перевозки	Перевозки тарно-штучных грузов	72	Scania

Таблица 6.2 - Исследуемые группы легковых автомобилей

Тип автомобиля	Условия эксплуатации	Условия перевозки	Кол-во	Марка АТС
Легковой автомобиль	г. Санкт-Петербург,	Использовался в качестве автомобиля-такси	90	Chevrolet
Легковой автомобиль	г. Санкт-Петербург,	Использовался для частных поездок	75	BMW

Ниже приведены исходные данные для экспериментальных исследований:

1. Седельный тягач - Scania P114 GA 6x4 NZ 340 (максимальная нагрузка на заднюю тележку 21 000 кг). В исследуемых условиях величина расчётного цикла (пробег между регламентными ТО) составляет 80 000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля: 0...1100000 км.
2. Седельный тягач - Scania P114 GA 4x2 NA 330 (максимальная нагрузка на заднюю ось 11 500 кг). В исследуемых условиях величина расчётного цикла (пробег между регламентными ТО) составляет 80000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля: 0...1100000 км.
3. Автомобиль самосвал - Scania P114 CB 6x4 NZ 380 (грузоподъёмность 26500 кг). В исследуемых условиях величина расчётного цикла (пробег между регламентными ТО) составляет 80000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля 0...800000 км.
4. Автомобиль самосвал Scania P114 CB 8x4 NZ 380 (грузоподъёмность 32000 кг). В исследуемых условиях величин расчётного цикла (пробег между регламентными ТО) составляет 80000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля 0...800000 км.

5. Легковые автомобили Chevrolet (вместимость – 5 чел.), эксплуатируемые в качестве автомобиля такси. В исследуемых условиях величина интервала ТО составляет 15000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля: 0...150000 км.
6. Легковые автомобили BMW (вместимость – 5 чел.), эксплуатируемые частными лицами. В исследуемых условиях величина интервала ТО, составляет 20000 км. Значения требуемой трудоёмкости ТР для устранения возникающих отказов автомобиля определялись при пробеге автомобиля 0...250000 км.

При проведении экспериментальных исследований объём выборки определяется с учётом двух условий: экономичности (объём выборки должен быть минимальным) и получения достоверных данных об изучаемом явлении. Перед определением объёма выборки проводилась проверка нормальности распределения значений трудоёмкости ТР в пределах интервала ТО [19, 24, 26, 45, 46]. Полученные экспериментальные данные значений трудоёмкости ТР (чел. час) были агрегированы по интервалам регламентного ТО и являются входным потоком данных в СУСЭА. Форма для обработки исходных данных в СУСЭА представлена на примере 15 единиц автомобилей-такси (рисунок 6.1). Аналогичным образом фиксировались данные по всем группам автомобилей и на всём пробеге с начала их эксплуатации.

На следующем этапе обработки экспериментальных данных применялся метод корреляционно-регрессионного анализа. Статистические связи экспериментальных данных устанавливались с помощью аппарата корреляционного анализа [51]. Рассчитывались основные статистические характеристики математических зависимостей. Для получения полиномиальных зависимостей использовался метод регрессионного анализа [11, 24]. Для получения линейных зависимостей использовался метод наименьших квадратов (определения оценок коэффициентов в статистических уравнениях регрессии) [11, 24].

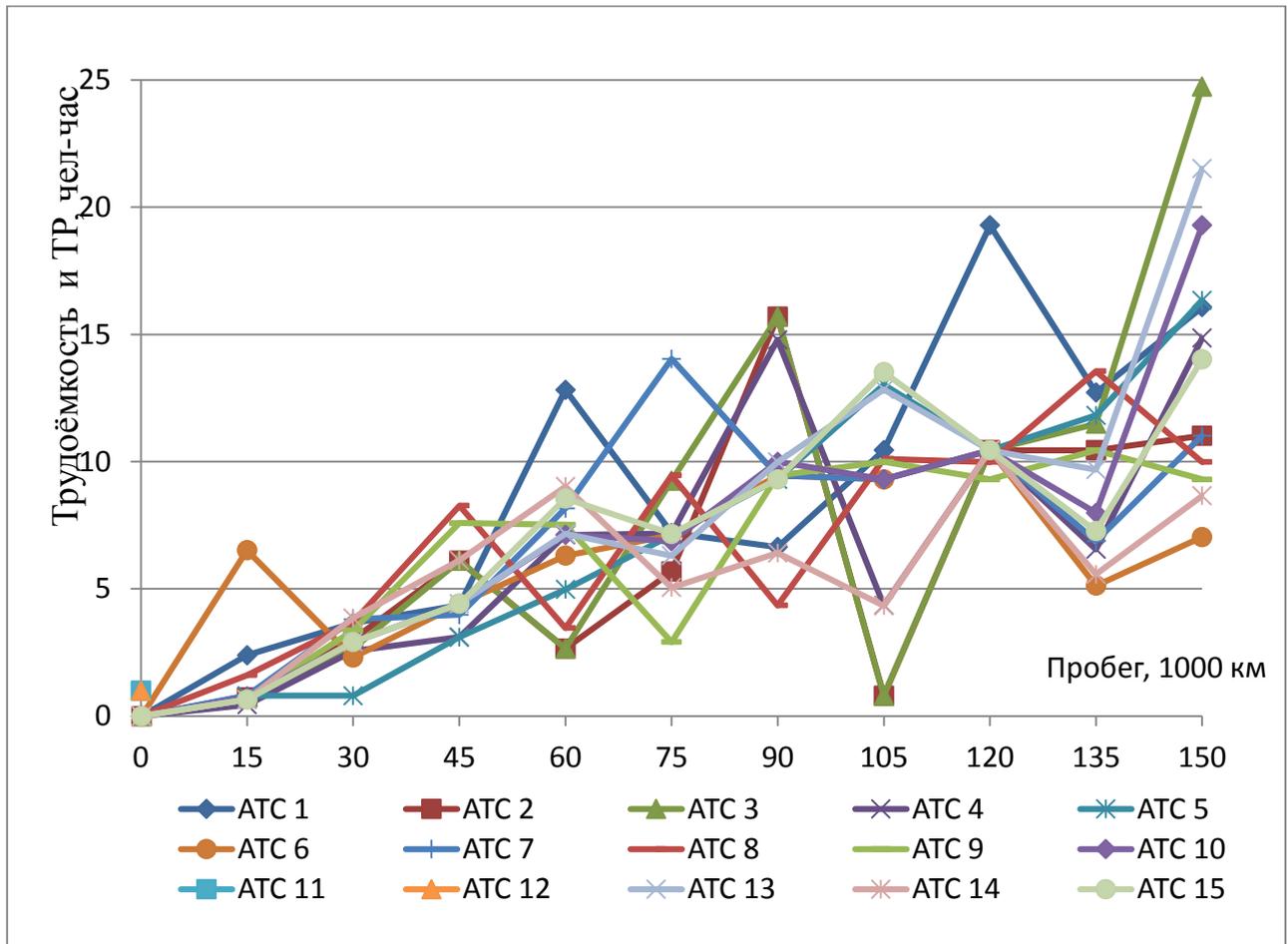


Рисунок 6.1 – Экспериментальные данные значений трудоёмкости ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации для автомобиля-такси

Далее в соответствии с **методикой оперативного анализа показателей трудоёмкости ТО и ТР автомобилей** произведены расчёты значений показателя удельная трудоёмкости ТР по двум вариантам (вариант 1 и вариант 2)

Вариант 1:

$$T_{\text{тр}} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{\text{тр} ij}}{L_j} \cdot 1000, \text{ чел.час}/1000, \quad (6.1)$$

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

Вариант 2:

$$T_{\text{тр}j} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{\text{тр}ij}}{\Delta l_i} \cdot 1000, \text{ чел}\cdot\text{час}/1000; \quad (6.2)$$

где $T_{\text{тр}j}$ – трудоёмкость ТР на i -м интервале пробега АТС, чел. час; Δl_i – пробег, соответствующий регламенту ТО, регламентируемому производителем автомобиля, км.

В результате были получены аналитические (таблица 6.3) и графические зависимости (рисунки 6.2 и 6.3), позволяющие определять интенсивность изменения технического состояния автомобилей по значению показателя удельная трудоёмкость непланового ТР (чел. час).

Таблица 6.3 - Изменение значения показателя удельная трудоёмкость непланового ТР (чел. час/1000 км) в процессе эксплуатации автомобиля

Группа автомобилей (обозначение)		Аналитическая зависимость $f_{\text{ТР}}(L)$
Легковой автомобиль (ЛА 1)	Вариант 1 (В1)	$y = 7\text{E}-08x^3 - 2\text{E}-05x^2 + 0,003x + 0,0011$
Легковой автомобиль-такси (ЛАТ 1)		$y = -1\text{E}-05x^2 + 0,0051x + 0,0047$
Грузовой автомобиль – самосвал (СС 1)		$y = 4\text{E}-10x^3 - 7\text{E}-07x^2 + 0,0005x + 0,0404$
Грузовой автомобиль седельный тягач (СД 1)		$y = 6\text{E}-10x^3 - 1\text{E}-06x^2 + 0,001x + 0,0311$
Легковой автомобиль (ЛА 2)	Вариант 2 (В2)	$y = 1\text{E}-08x^4 - 4\text{E}-06x^3 + 0,0003x^2 + 0,0011x + 0,0069$
Легковой автомобиль-такси (ЛАТ2)		$y = 3\text{E}-09x^4 - 8\text{E}-07x^3 + 5\text{E}-05x^2 + 0,0027x - 0,0082$
Грузовой автомобиль – самосвал (СС 2)		$y = -2\text{E}-12x^4 + 5\text{E}-09x^3 - 5\text{E}-06x^2 + 0,0023x - 0,0166$
Грузовой автомобиль седельный тягач (СД 2)		$y = -9\text{E}-13x^4 + 3\text{E}-09x^3 - 2\text{E}-06x^2 + 0,001x + 0,0246$

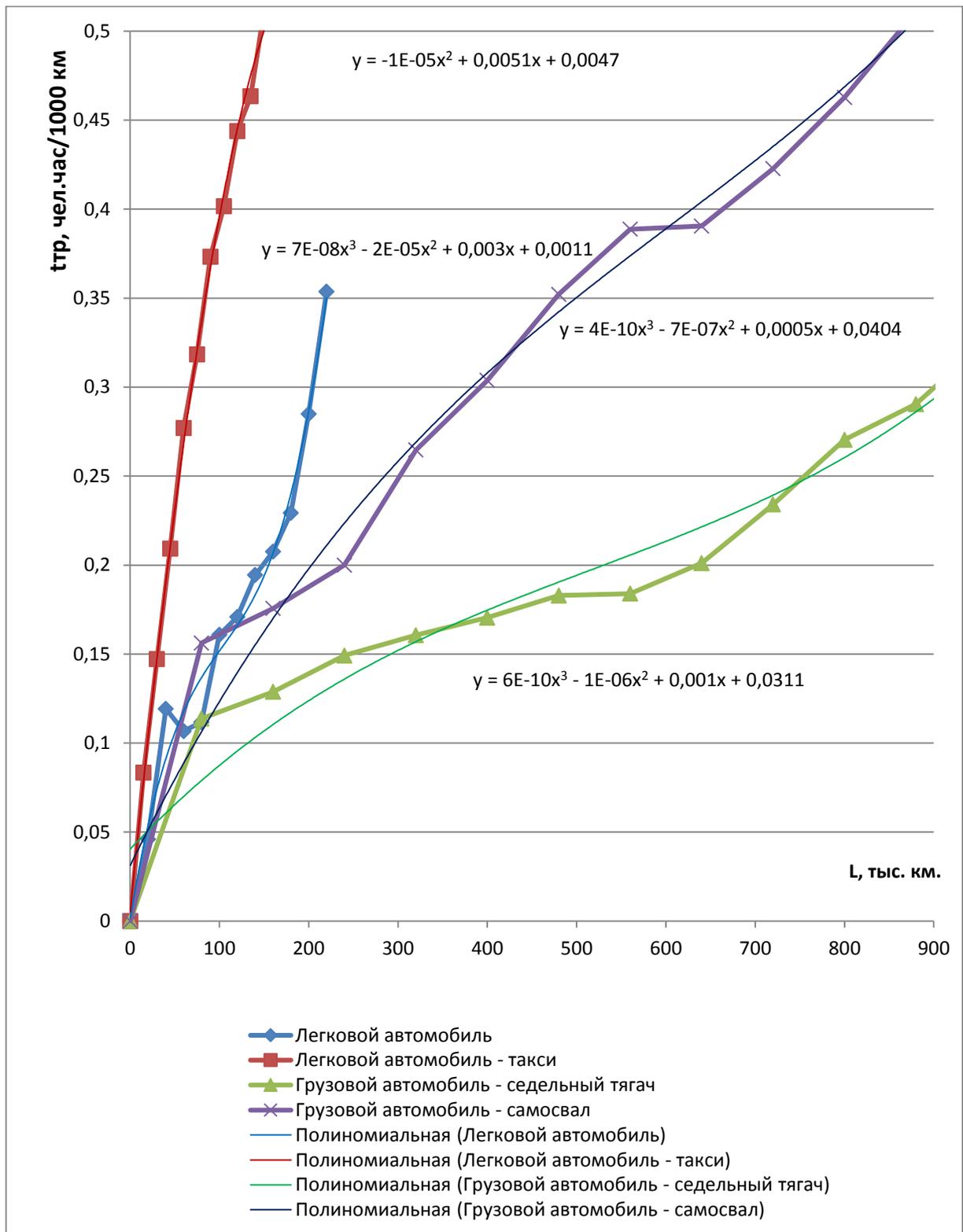


Рисунок 6.2 - Зависимости изменения значения показателя удельная трудоёмкость непланового ТР (чел. час/1000 км) от пробега автомобиля с начала эксплуатации (вариант 1)

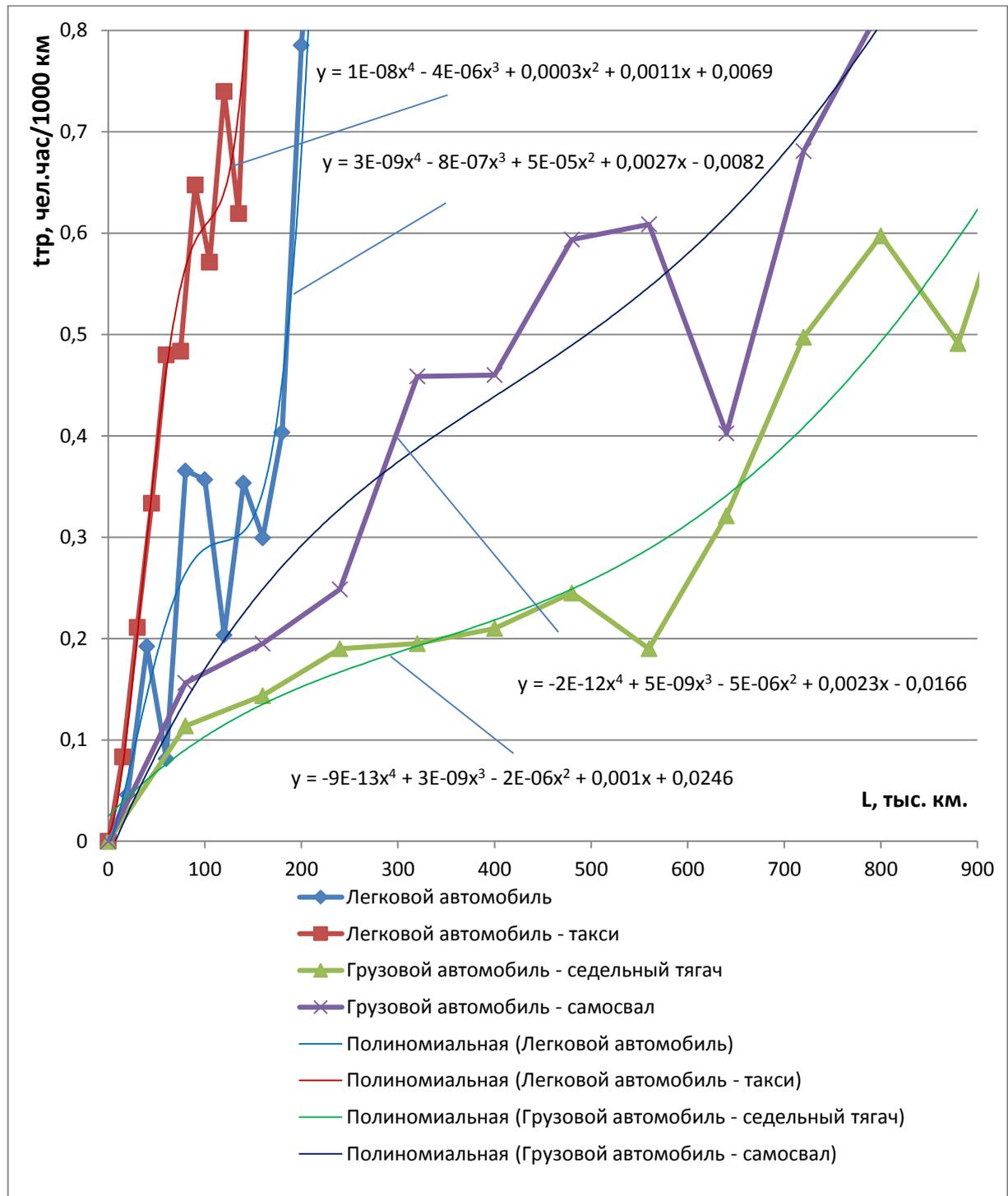


Рисунок 6.3 - Зависимости изменения значения показателя удельная трудоёмкость непланового ТР (чел. час/1000 км) от пробега автомобиля с начала эксплуатации (вариант 2)

В результате проведенных исследований для всех четырёх групп подвижного состава получены статистические математические модели,

показывающие, что изменение показателя удельная трудоёмкость непланового ТР аппроксимируется в полином четвёртой степени. Применение метода оперативного анализа показателя трудоёмкости ТР позволяет более определить изменение интенсивности приращения исследуемого параметра в зависимости от пробега с начала эксплуатации. При $f_{тр}''(L) = 0$ (таблица 6.4), получаем значение пробега автомобиля с начала эксплуатации, при увеличении которого:

- 1) происходит увеличение интенсивности приращения значения показателя трудоёмкость неплановых работ по ТР (выходят из строя и требуют замены сложные, дорогостоящие узлы и агрегаты);
- 2) комплекс работ ТО не обеспечивает поддержание необходимых требования работоспособности автомобиля и безопасность его эксплуатации.

Таблица 6.4 - Результаты исследования полученных функциональных зависимостей для всех групп исследуемых автомобилей

Тип подвижного состава	Коэф-ты	Значения коэффициентов при			L при $f''(L)=0$ тыс. км.
		$f_{тр}(L)$	$f_{тр}'(L)$	$f_{тр}''(L)$	
Легковой автомобиль	a_4	1,00E-08	4E-08	1,2E-07	170,71
	a_3	-4,00E-06	-1,2E-05	-2,4E-05	
	a_2	0,0003	0,0006	0,0006	
	a_1	0,0011	0,0061		
	a_0	0,0069			
Легковой автомобиль-такси	a_4	3E-09	1,2E-08	3,6E-08	107,49
	a_3	-8,00E-07	-2,4E-06	-4,8E-06	
	a_2	5,00E-05	0,0001	0,0001	
	a_1	0,0027	0,0061		
	a_0	0,0082			
Грузовой автомобиль самосвал	a_4	-3,00E-12	-1,2E-11	-3,6E-11	500,00
	a_3	7,00E-09	2,1E-08	4,2E-08	
	a_2	-6,00E-06	-1,2E-05	-1,2E-05	
	a_1	0,0022	0,0061		
	a_0	0,0065			
Грузовой автомобиль седельный тягач	a_4	-3E-14	-1,2E-13	-3,6E-13	695,70
	a_3	1,00E-09	3E-09	6E-09	
	a_2	-2,00E-06	-4E-06	-4E-06	
	a_1	0,001	0,0061		
	a_0	0,0128			

Полученные статистические математические модели изменения значения показателя трудоёмкость непланового ТР в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации хорошо аппроксимируются линейной функцией:

$$t_i = k \cdot l_i + b. \quad (6.3)$$

На рисунке 6.4 и в таблице 6.5 приведены линейные функции изменения значения показателя удельная трудоёмкость ТР для легковых автомобилей, определяемые с учетом (6.1) и (6.2) по варианту (В1) и по варианту (В2).

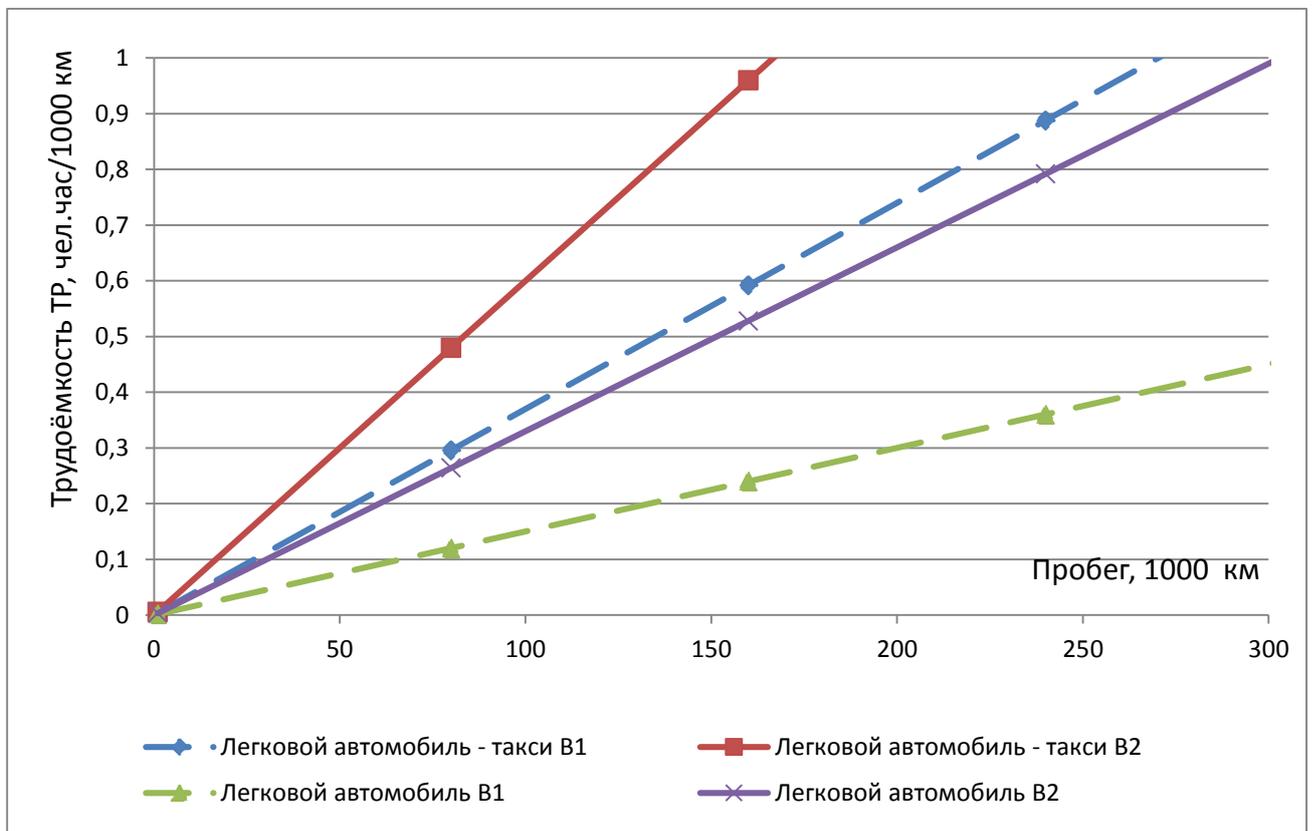


Рисунок 6.4 - Линейные функции изменения значения показателя удельная трудоёмкости ТР для легковых автомобилей

На рисунке 6.5 и в таблице 6.5 приведены линейные функции изменения значений показателя удельная трудоёмкости ТР для грузовых автомобилей, определяемые с учетом (6.1) и (6.2) по варианту (В1) и по варианту (В2).

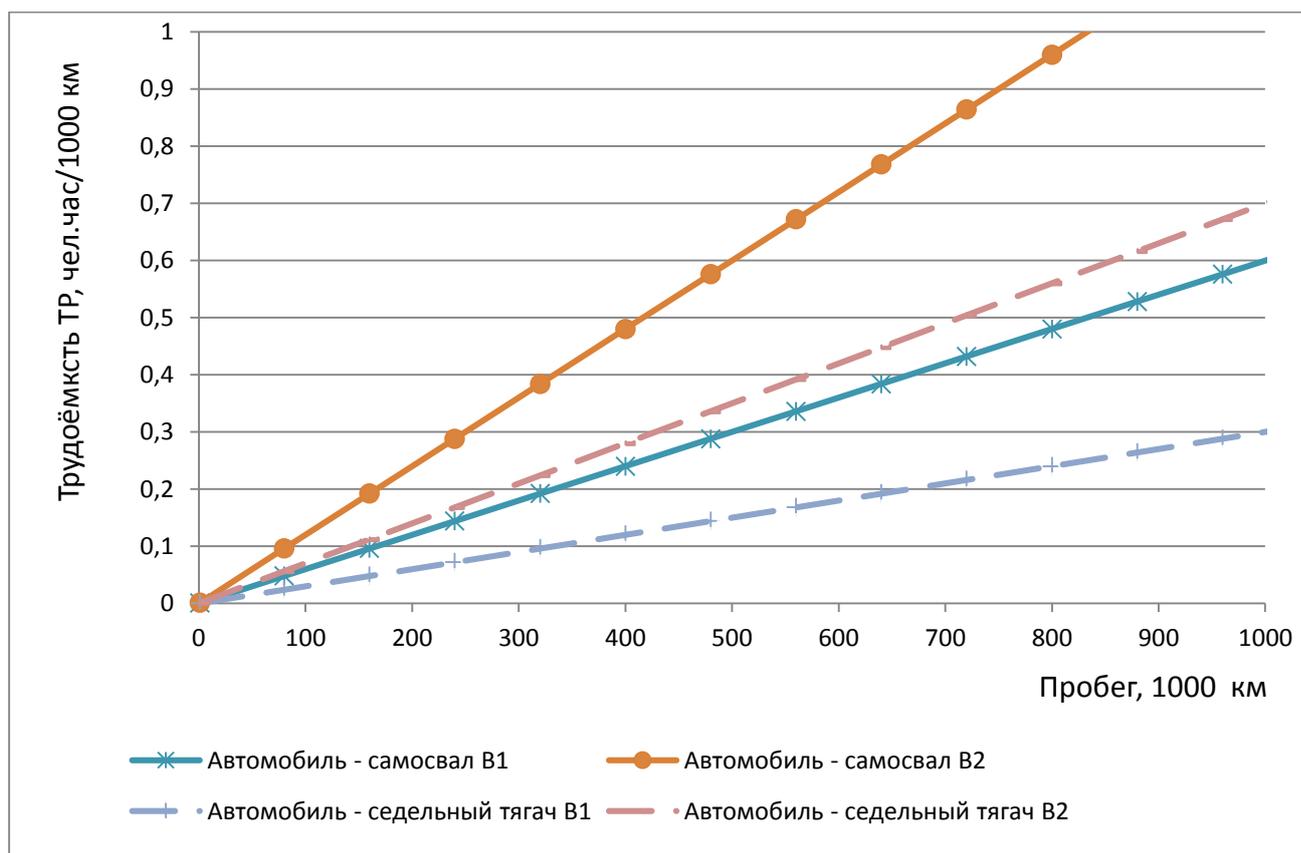


Рисунок 6.5 - Линейные функции изменения значений показателя удельная трудоёмкости ТР для грузовых автомобилей

Таблица 6.5 - Линейные функции изменения значений показателя удельная трудоёмкости ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации автомобиля

Тип автомобиля	Вариант 1	Вариант 2
Легковой автомобиль - такси	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0037 \cdot l$	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0060 \cdot l$
Легковой автомобиль	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0015 \cdot l$	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0033 \cdot l$
Автомобиль – самосвал	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0006 \cdot l$	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0012 \cdot l$
Автомобиль – седельный тягач	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,0003 \cdot l$	$f_{\text{ТР}}(L) = 0,00079 \cdot l$

Для учёта регламентных работ по ТО автомобилей в общем объёме работ по ТО и ТР достаточно определить их значения их удельную трудоёмкость, то есть привести к значению расчётного цикла. Графики функций изменения значений показателя удельная трудоёмкости ТО и ТР исследуемых групп автомобилей приведены на рисунке 6.6.

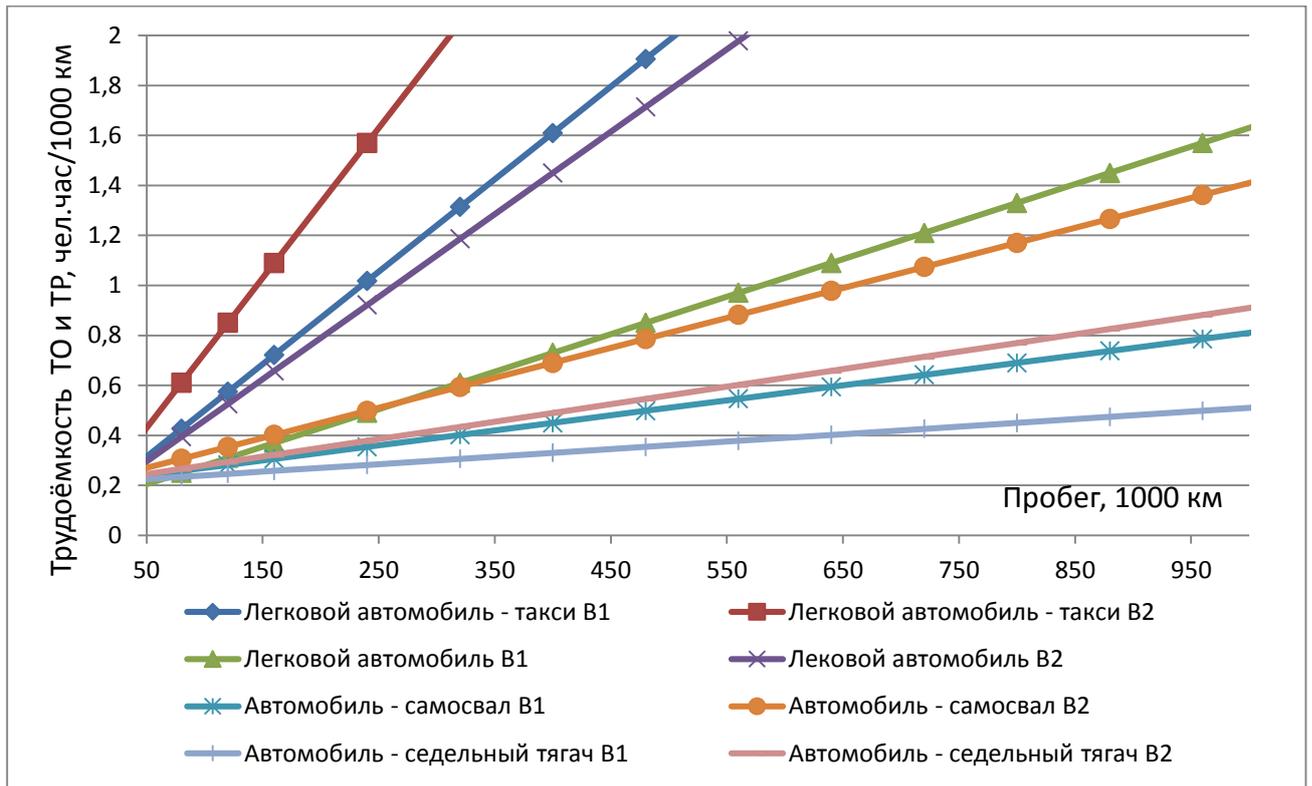


Рисунок 6.6 - Графики функций показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР для исследуемых групп автомобилей

Накопление оперативной информации об изменении значений показателя удельной трудоёмкости работ ТО и ТР (чел. час / 1000 км) индивидуально по каждому автомобилю и обработка их данных с использованием метода оперативного анализа позволяет:

- 1) определять точки изменения интенсивности приращения исследуемого показателя (удельная трудоёмкость работ ТО и ТР) для каждого автомобиля индивидуально.
- 2) сопоставлять данные исследуемого показателя (удельная трудоёмкость работ ТО и ТР) для одинаковых интервалов ТО различных моделей автомобилей в пределах своего класса.
- 3) разрабатывать базу данных СУСЭА, позволяющей вырабатывать рекомендации по значению показателя срок эффективной эксплуатации автомобилей.

Методика оперативного анализа КТИ при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля (пункт 5.3) позволяет получить аналитические данные по изменению КТИ в процессе эксплуатации автомобиля. Графические и аналитические результаты применения методики для двух групп легкового подвижного состава приведены на рисунке 6.7. и в таблице 6.6.

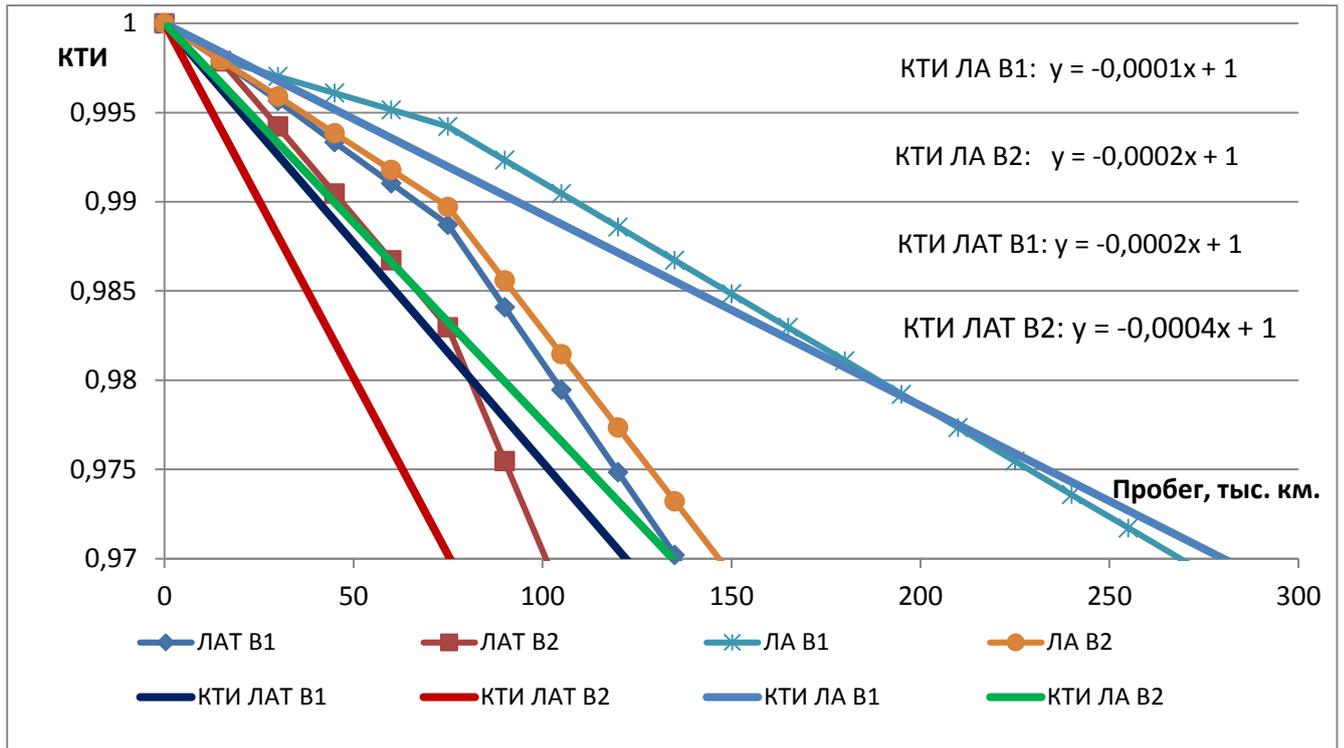


Рисунок 6.7 - Графические зависимости, отражающие изменение КТИ в процессе эксплуатации автомобиля для двух групп легкового подвижного состава

В таблице 6.6 приведены значения КТИ при различных методах его определения (Вариант 1) и (Вариант 2), соответствующие прогнозируемому пробегу до списания l_c .

Таблица 6.6 - Результаты расчёта КТИ для двух групп легковых автомобилей

Тип АТС	Обозначение	Вариант 1		Вариант 2	
		l_c	КТИ	l_c	КТИ
Легковой автомобиль - такси	ЛАТ	248	0,951	195	0,922
Легковой автомобиль	ЛА	719	0,928	465	0,856

Методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля (пункт 5.4) позволяет аналитически определить параметр эффективности эксплуатируемого автомобиля. Рассмотрим частный случай применения методики на примере легковых автомобилей.

Аналитически:

$$P_3(l) = k_{\text{ам}} \frac{S_{\text{а/м}}}{l} + k \cdot l + b. \quad (6.4)$$

$$P'_3(l) = -\frac{k_{\text{ам}} S_{\text{а/м}}}{l^2} + k = 0$$

$$l_c = \sqrt{\frac{k_{\text{ам}} S_{\text{а/м}}}{k}}, \quad (6.5)$$

$$l_{c2} = 195 \text{ тыс. км.}$$

$$l_{c1} = 248 \text{ тыс. км.}$$

$$P_3^2 = 8652 \text{ руб./1000 км}$$

$$P_3^1 = 6892 \text{ руб./1000 км}$$

Далее устанавливаются графические зависимости изменения значений R_{cj} , $S_{0\text{ам}}$ в зависимости от пробега с начала эксплуатации. Статистическая математическая модель параметра эффективности легкового автомобиля – такси, работающего в условия г. Санкт-Петербурга приведена на рисунке 6.8.

Графически:

$$P_3^1 \approx 8500 \text{ руб./1000 км при } l_c \approx 160 \text{ тыс. км.}$$

$$P_3^2 \approx 6500 \text{ руб./1000 км при } l_c \approx 240 \text{ тыс. км.}$$

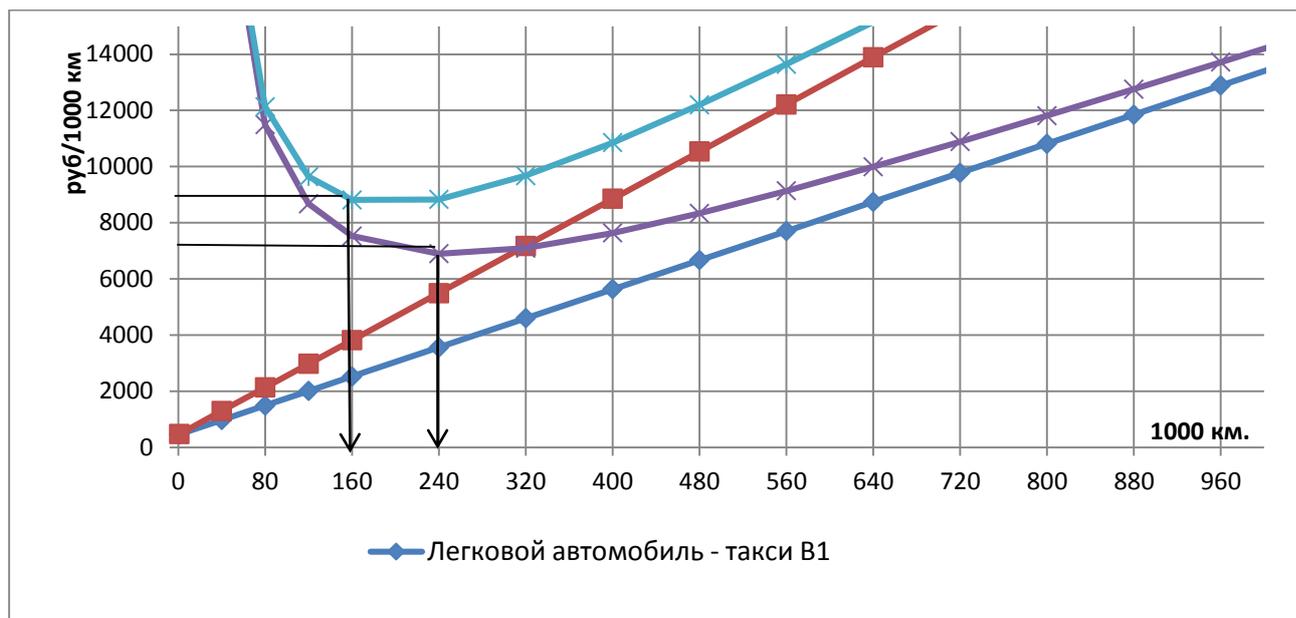


Рисунок 6.8 - Графические зависимости изменения показателей R_{cj} , $S_{0ам}$, для легкового автомобиля – такси

Аналогичным образом определяются графические и аналитические данные по четырём группам грузовых и легковых автомобилей. Результаты применения методики для получения значения параметра эффективности автомобиля приведены на рисунке 6.9 и в таблице 6.7.

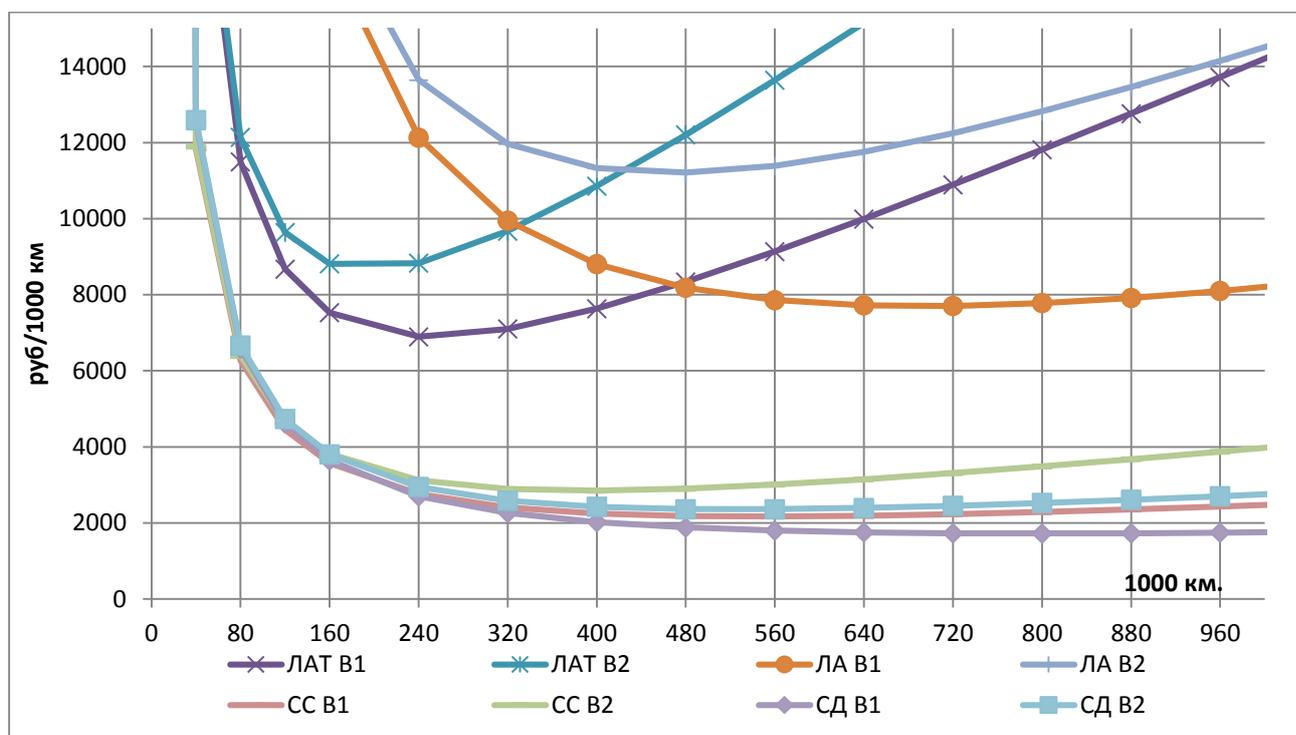


Рисунок 6.9 - Графические зависимости, определяющие параметр P_3 для четырёх групп исследуемых автомобилей

Таблица 6.7 - Результаты анализа полученных значений параметра P_3 для всех групп автомобилей

Тип автомобиля	Обозначение	Традиционные методы (Вариант 1)		Комплекс методик СУСЭА (Вариант 2)	
		l_c	P_3	l_c	P_3
Легковой автомобиль - такси	ЛАТ	248	6892	195	8652
Легковой автомобиль	ЛА	719	6956	465	11230
Грузовой автомобиль - самосвал	СС	575	2235	431	2987
Грузовой автомобиль – седельный тягач	СД	831	1875	625	2345

Экспериментальные данные обработанные с помощью представленных методик интегрируются в аналитическую модель динамической многокритериальной системы принятия решений с дискретными состояниями ТО в СУСЭА (таблица 4.6). Результаты работы СУСЭА в виде оценки влияния среды эксплуатации на значение оптимального пробега автомобиля приведены на рисунке 6.10.

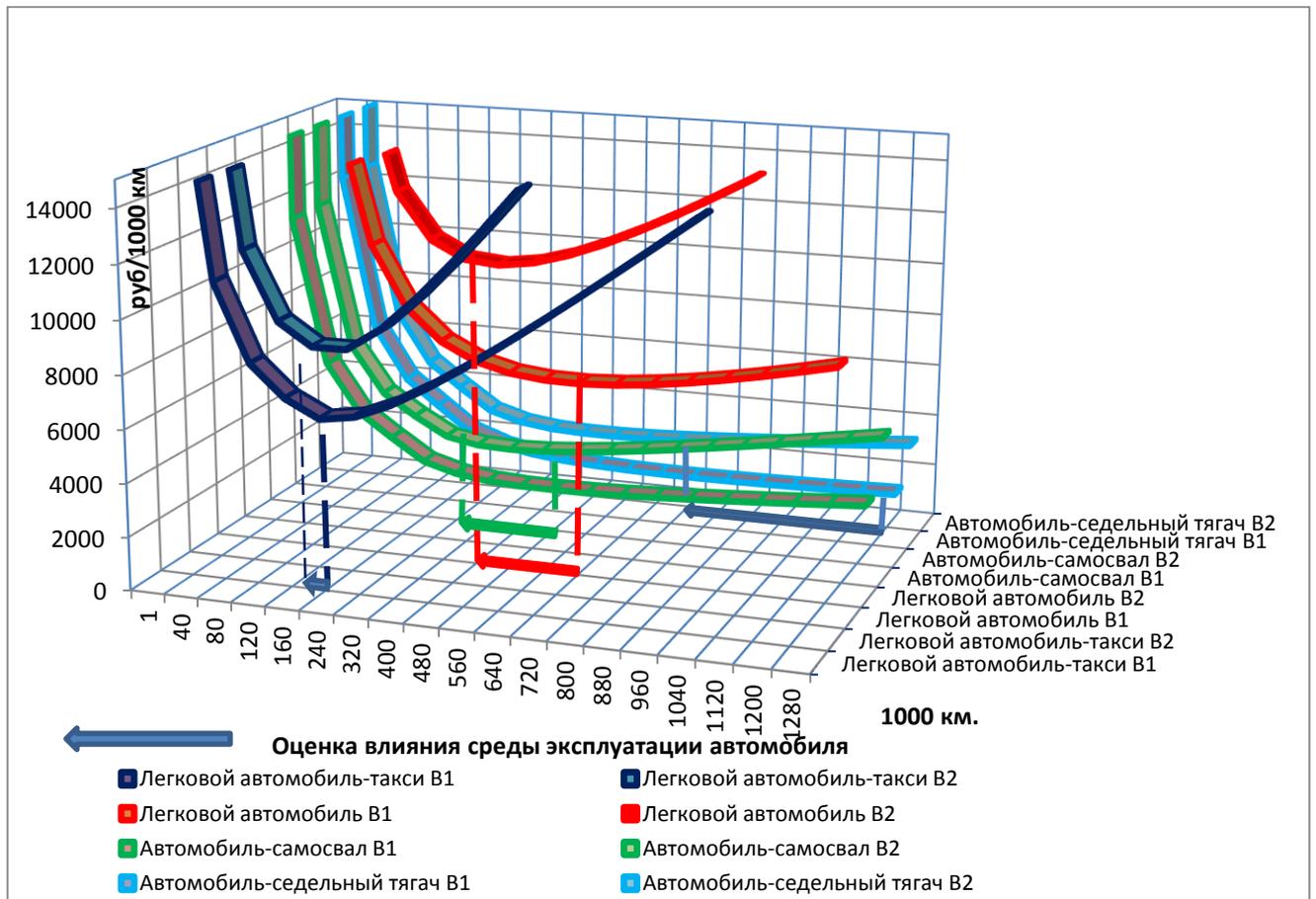


Рисунок 6.10 - Оценки влияния среды эксплуатации на значение оптимального пробега автомобиля для четырёх групп исследуемых автомобилей

6.2 Оценка экономической эффективности применения системы управления сроком эксплуатации автомобиля

Для оценки экономической эффективности разработок исследования сравним расчёта финансовых показателей эксплуатации автомобиля при реализации СУСЭА и традиционных подходов. Рассмотрим частный случай эксплуатации седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340 в компаниях, входящих в ЦОГ «Грузавтотранс». В главе 3 была определена аналитическая связь между КТИ и пробегом автомобиля с начала эксплуатации.

$$k^{\text{ТИ}}(L) = 1 - \alpha L. \quad (6.6)$$

Пробег до списания автомобиля будет определяться выражением

$$k_{\text{min}}^{\text{ТИ}}(L) = 1 - \alpha L_c. \quad (6.7)$$

где L_c – планируемый пробег до списания автомобиля

Проведённые экспериментальные исследования определили, что изменение значения КТИ починяется линейному закону (табл. 6.5).

$$k^{\text{ТИ}}(L) = 1 - 0,000079 L. \quad (6.8)$$

С учетом аналитической связи между КГ и КТИ [99] и данных исследуемого предприятия определим зависимость между КТГ и пробегом автомобиля (рисунок 6.11)

$$k^{\text{ТИ}} = k^{\text{ТГ}} k^{\text{ПП}}. \quad (6.10)$$

где $k^{\text{ПП}}$ – коэффициент планируемого применения автомобиля

тогда:

$$k^{TP}(L) = 1 - 0,000125 L \quad (6.11)$$

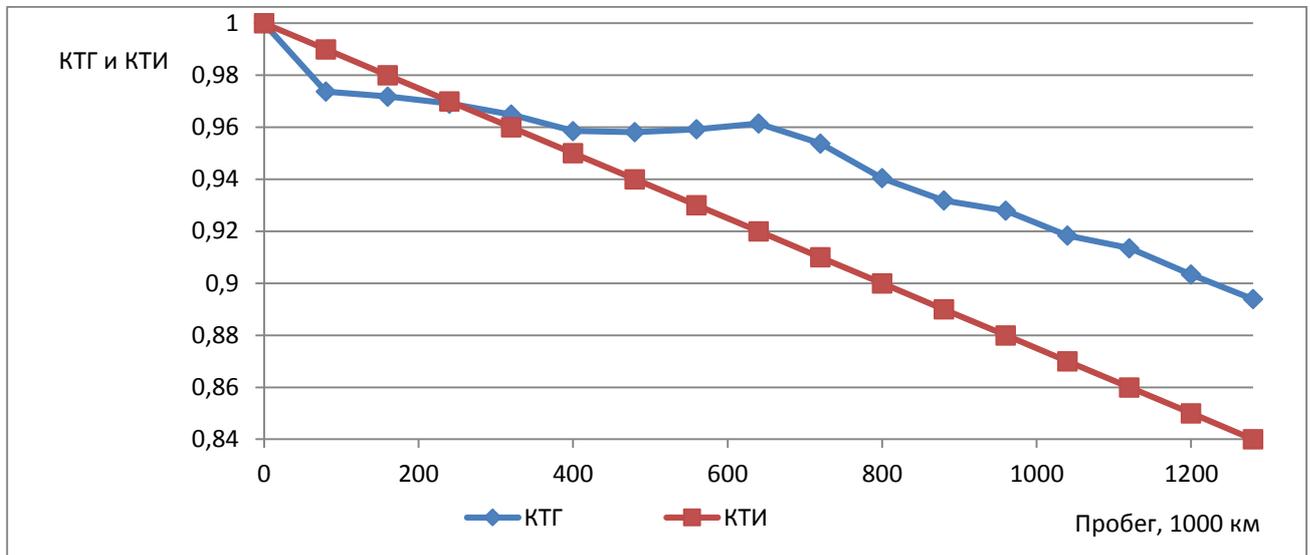


Рисунок 6.11 - Изменение значений КТГ и КТИ в зависимости от пробега с начала эксплуатации для седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340

На рисунке 6.11 приведены данные по распределению эксплуатационных затрат (ЦОГ «Грузавтотранс»), показывающие высокий удельный вес затрат на топливо, ТО и ремонт и на заработную плату водителей. В себестоимости перевозок доля затрат по переменным статьям составляет более 75 %.

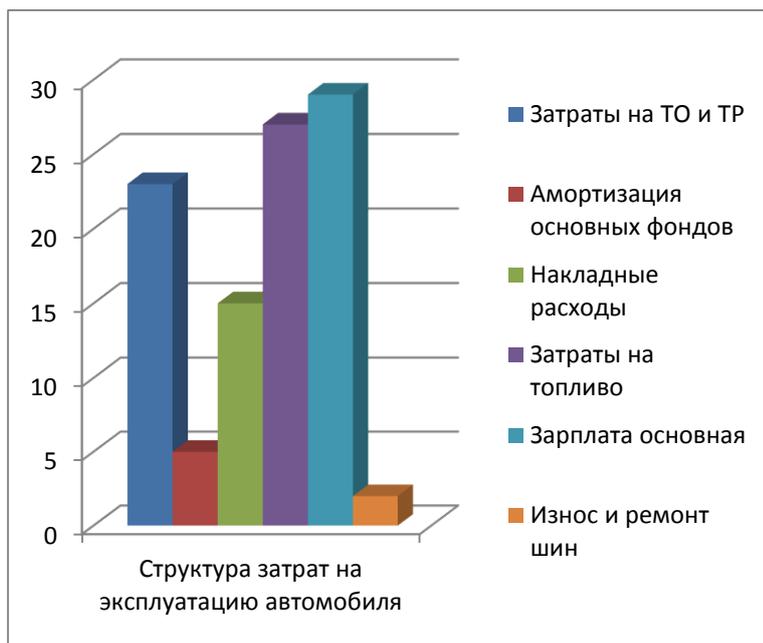


Рисунок 6.10 - Распределение эксплуатационных затрат

Если решаются задачи, связанные с расходами (затратами) на обеспечение эффективной работы автомобилей, в качестве показателя экономической эффективности можно принять суммарные удельные затраты на 1000 км пробега автомобиля, т.е.

$$C_{уд} = \frac{C_{ш} + C_{т} + C_{то} + C_{тр} + C_{з}}{L}, \text{ руб./1000 км.} \quad (6.12)$$

где $C_{ш}$ – затраты на шины;

$C_{т}$ – затраты на топливо и эксплуатационные материалы;

$C_{то}$ – затраты на ТО; $C_{тр}$ - затраты на ТР;

$C_{з}$ – амортизационные отчисления;

L – пробег автомобиля в 1000 км.

Определим функции изменения значений удельных затрат на эксплуатацию автомобиля в зависимости от пробега с начала эксплуатации без учёта стоимости запасных частей и агрегатов, используемых при проведении работ непланового ТР (рисунок 6.12)

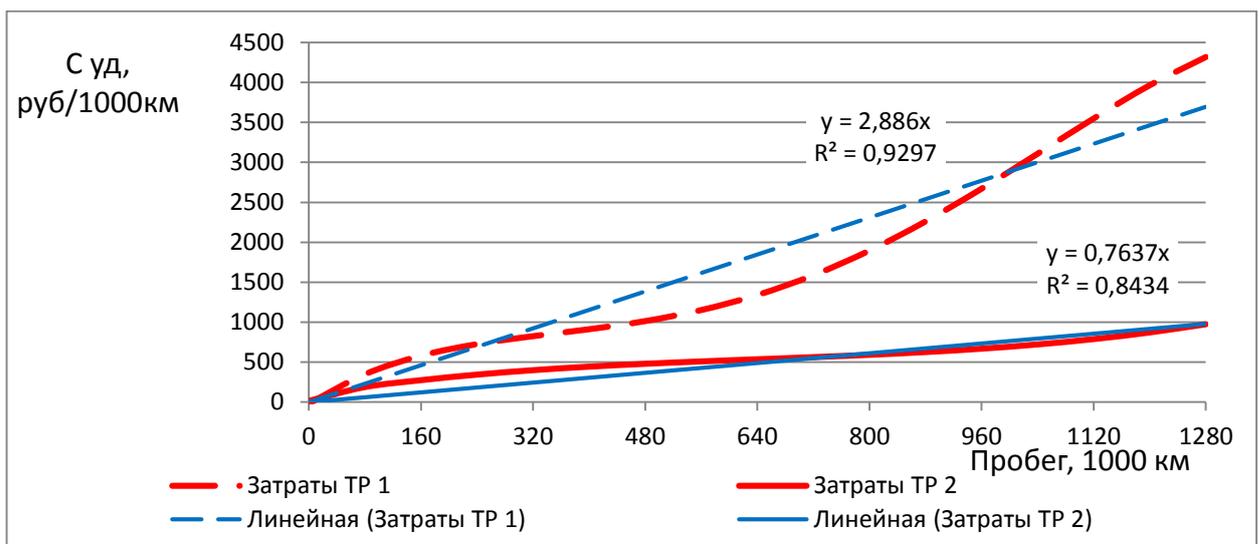


Рисунок 6.11 –Зависимости изменения затрат на эксплуатацию седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340

1. Затраты $ТР_1$ - затраты, определяемые при реализации метода оперативного анализа удельной трудоёмкости ТО и ТР, руб./1000 км.
2. Затраты $ТР_2$ – затраты определяемые в случае применения в качестве расчётного цикла пробега автомобиля с начала эксплуатации до момента фиксации значения удельной трудоёмкости ТО и ТР, руб./1000 км (комплекс методик СУСЭА)

Здесь следует отметить два существенных обстоятельства:

1. Экспериментальные данные относятся к одной той же группе автомобилей, но рассматриваются два различных метода определения удельной трудоёмкости работ по ТР, поэтому принимаются следующие допущения: затраты на ТО, затраты на шины, топливо и эксплуатационные материалы и амортизационные отчисления принимаются равными как для первого, так и для второго случая.
2. Текущий ремонт автомобилей на предприятии осуществляется агрегатным способом, поэтому трудоёмкость работ по ТР (чел·час/1000 км) автомобилей относительно невелика. При этом затраты на запасные части и агрегаты высоки и выделяются на предприятии в отдельную статью затрат. Удельный вес затрат на запасные части и агрегаты составляет 37,4 % от переменных затрат на эксплуатацию автомобиля. Приведённые данные хорошо коррелируется с данными различных источников по эксплуатации грузовых автомобилей иностранного производства.

Далее (рисунок 6.13), приведены изменения показателя удельные затраты на эксплуатацию автомобиля с учётом стоимости запасных частей и агрегатов, используемых на автомобиле при проведении ремонтных работ:

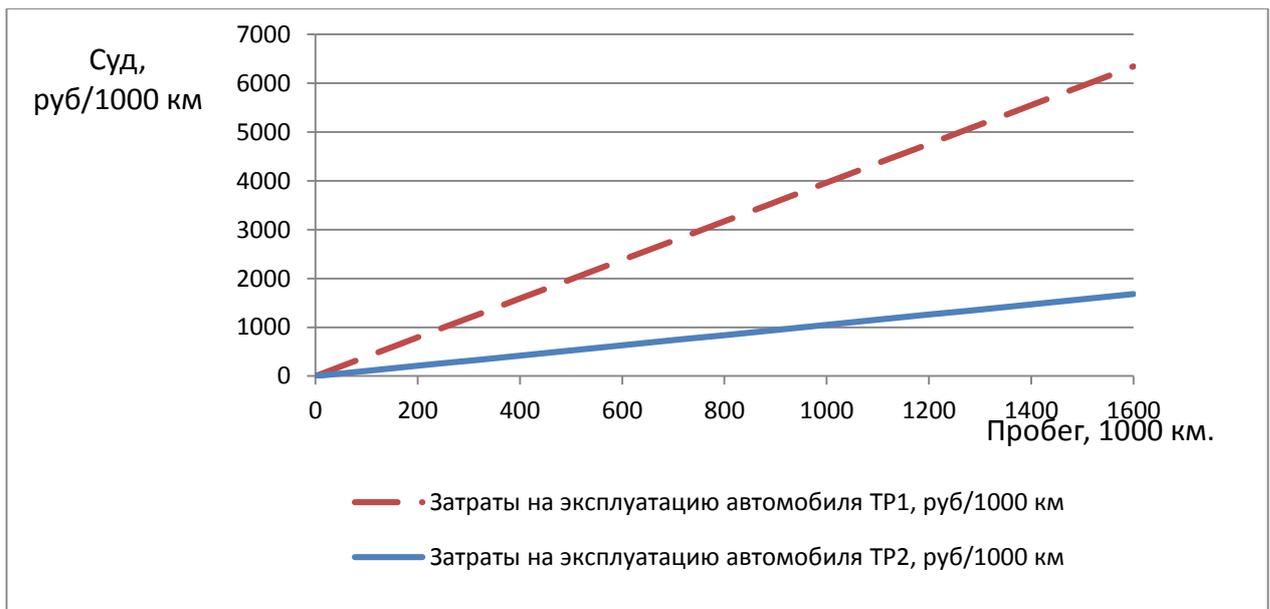


Рисунок 6.13 - Затраты на эксплуатацию автомобиля с учётом стоимости запчастей седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340

Определим минимальные затраты на ТО и ТР с учетом рыночной стоимости автомобиля, приведённой к значению пробега с начала эксплуатации.

$$\bar{C} = \frac{C_a}{L}. \quad (6.13)$$

где C_a – рыночная стоимость нового автомобиля, руб.

Для определения оптимального значения пробега автомобиля при его списании, обеспечивающего минимум затрат на его техническую эксплуатацию, необходимо определить функцию $d(L_c)$, (рисунок 6.14).

$$d(L_c) = \frac{C_a}{L} + C_{уд}(L_c). \quad (6.15)$$

Эта функция является выпуклой вниз [$d''(L_c) > 0$]. Определим первую производную функции и приравняем её к нулю, т.е. значения экстремума функции в первом и во втором случае.

$$L_c^{(1)} = 710 \text{ км и } L_c^{(2)} = 1380 \text{ км}$$

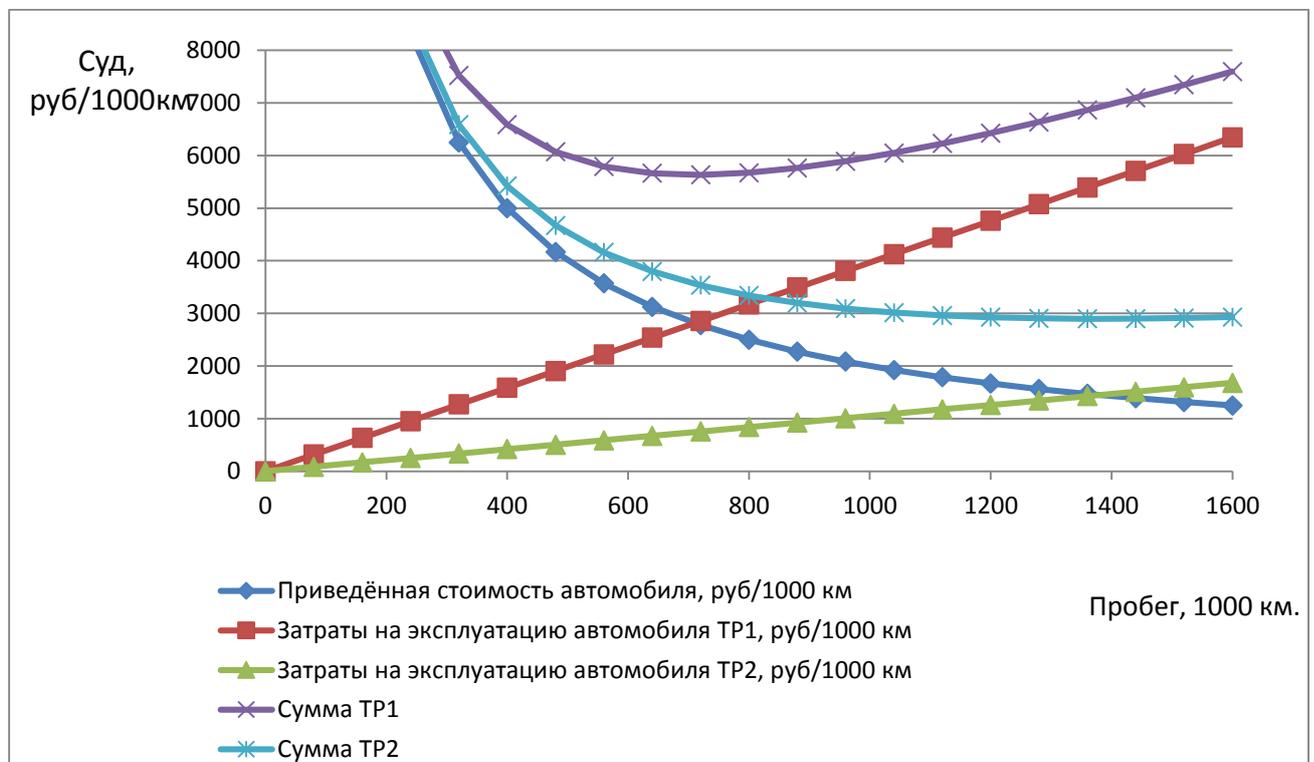


Рисунок 6.14 – Определение минимума затрат на ТО и ТР с учетом стоимости седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340

Экономия удельных затрат на эксплуатацию автомобиля определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{уд} = C_{уд}^1 (L_c^2 - L_c^1), \text{ руб./1000 км.} \quad (6.16)$$

$$\mathcal{E}_{уд} = 3,965 \cdot (1380 - 710) = 2656, \text{ руб./1000 км}$$

Определим значения доходов от эксплуатации автомобиля с учётом значений КТИ и построим график безубыточности эксплуатации автомобиля седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340 (рисунок 4.15).

$$D_{уд} = \frac{T_{100км} \cdot k^{ТИ} \cdot 1000}{100}, \text{ руб./1000 км.} \quad (6.17)$$

где $T_{100км}$ – платный тариф за 1000 км пробега автомобиля (руб./1000 км), по данным ЦОГ «Грузавтотранс» на момент проведения исследования

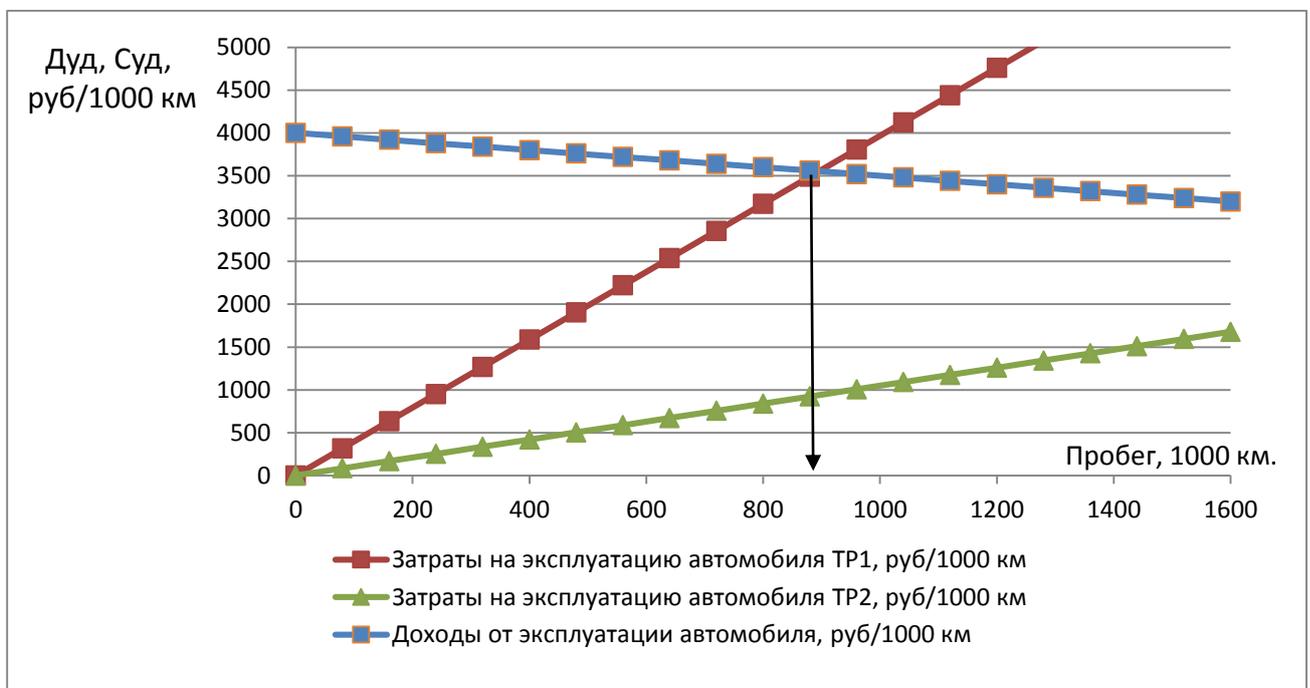


Рисунок 6.15 – График безубыточности эксплуатации автомобиля седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340

Определим значение рентабельности эксплуатации автомобиля.

$$R = \frac{D_{уд} - C_{уд}}{C_{уд}} \cdot 100, \% \quad (6.18)$$

Общие результаты автоматизированного расчёта технико-экономических показателей работы седельных тягачей Scania P114 GA 6x4 NZ 340, выполненных в пункте 6.2 сведём в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Техничко-экономические показатели работы седельных тягачей Scania P114 GA 6x4 NZ 340

Пробег, 1000 км	КТИ	C	C _{уд} ¹	C _{уд} ²	D _{уд}	R ₁	R ₂
400	0,95	5000	1586,14	419,72	3800	139,57	805,36
480	0,94	4166	1903,37	503,67	3760	97,54	646,52
560	0,93	3571	2220,60	587,62	3720	67,52	533,06
640	0,92	3125	2537,83	671,56	3680	45,00	447,97
720	0,91	2777	2855,06	755,51	3640	27,49	381,79
800	0,9	2500	3172,29	839,45	3600	13,48	328,85
880	0,89	2272	3489,52	923,40	3560	2,01	285,53
960	0,88	2083	3806,74	1007,35	3520	-	249,43
1040	0,87	1923	4123,97	1091,29	3480	-	218,88
1120	0,86	1785	4441,20	1175,24	3440	-	192,70
1200	0,85	1666	4758,43	1259,18	3400	-	170,01
1280	0,84	1562	5075,66	1343,13	3360	-	150,16
1360	0,83	1470	5392,89	1427,08	3320	-	132,64

Результаты расчётов экономической эффективности эксплуатации автомобилей (в таблице 6.8 данные приведены для седельного тягача Scania P114 GA 6x4 NZ 340) показывают, что при пробеге 880 тыс. км. (L_{Rmin}) достигается минимально возможное значение рентабельности (2...3%), в том если затраты на эксплуатацию автомобиля определяются с использованием метода оперативного анализа показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР (комплекс методик СУСЭСА). При этом минимум затрат на эксплуатацию автомобилей приходится на пробег $L_c^{(1)} = 710$ км.

Если же затраты на эксплуатацию автомобиля определяется с применением в качестве расчётного цикла величины пробега автомобиля с начала эксплуатации и до момента фиксации значения удельной трудоёмкости ТО и ТР, то есть при использовании традиционных подходов – рентабельность эксплуатации автомобилей остаётся высокой вплоть до пробега в 1600 тыс. км. При этом минимум затрат на эксплуатацию автомобилей приходится на пробег $L_c^{(2)} = 1380$ км. Данная модель расчёта не может быть признана адекватной из-за явного несоответствия практическим данным исследуемых предприятия ЦОГ «Грузавтотранс» и ООО «ИТС Логистик» на эксплуатацию автомобилей.

Данное расхождение в применении существующих теоретических подходов и практических данных определяется в первую очередь влиянием внешней среды эксплуатации автомобилей или группы неучтённых факторов неизвестной «природы». Разработанный в исследовании и апробированный программно-методологический комплекс 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.

Данное утверждение подтверждают приведённые в таблице 6.9 изменения значений комплекса показателей для исследуемых групп автомобилей, которые являются оценкой влияния внешней среды, дифференцируемого по трём критериям качества автомобиля (экологическая, конструктивная безопасность и надёжность автомобиля) на сроки эксплуатации автомобиля. Полученные результаты подтверждают экономическую эффективность применения на практике разработанного научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля в виде аналитического аппарата СУСЭА и обоснованность интеграции методологического обеспечения СУСЭА в процессы ТЭА на предприятиях автомобильного транспорта РФ.

Таблица 6.9 - Результаты расчёта изменения значений комплекса параметров для исследуемых групп автомобилей при использовании СУСЭА.

Тип автомобиля	Традиционные методы (Вариант 1)				Комплекс методик СУСЭА (Вариант 2)				$\mathcal{E}_{уд}$, руб./1000 км
	l_c	$P_э$	L_{Cmin}	L_{Rmin}	l_c	$P_э$	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 эксплуатации

6.3 Выводы по шестой главе

В шестой главе апробирован ряд методик на экспериментальных данных, полученных в ходе реализации НИОКР «Разработка методики расчёта производственной программы по ТО и ТР автомобилей, регламенты которого не предусматривают проведение капитального ремонта» и обеспечивающих работу СУСЭА.

Исходные данные для апробации разработанных методик были предоставлены компаниями, входящими в ЦОГ «Грузавтотранс», а также ООО «ИТС Логистик». В качестве экспериментальных данных использовались показатели: трудоёмкость непланового ТР (чел·час./1000 км), трудоёмкость ТО (чел·час). В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Аналитические и графические зависимости, позволяющие определять интенсивность изменения технического состояния автомобилей по показателю удельная трудоёмкость непланового ТР (чел·час /1000 км) и удельная трудоёмкость ТО (чел·час./1000 км).
2. Линейные функции изменения значения показателей удельная трудоёмкость непланового ТР (чел·час./1000 км) и удельная трудоёмкость ТО (чел·час./1000 км) для грузовых и легковых автомобилей, а также графики функций изменения показателя удельная трудоёмкость ТО и ТР (чел·час/1000 км) в зависимости от пробега с начала эксплуатации исследуемых групп автомобилей.
3. Графические и аналитические данные по изменению КТИ и КТГ в процессе эксплуатации различных типов автомобилей в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области.
4. Статистическая математическая модель на базе программно-методологического комплекса (ПМК) СУСЭА, позволяющая определить эффективный срок эксплуатации для всех групп исследуемых автомобилей с учётом многокритериальной оценки влияния внешней среды эксплуатации автомобиля.
5. Подтверждена экономическую эффективность применения на практике разработанного научно-методического подхода к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля в виде аналитического аппарата СУСЭА и обоснованность интеграции методологического обеспечения СУСЭА в процессы ТЭА на предприятиях автомобильного транспорта РФ.

Получение аналитические и графические зависимости показывают, что применение ПМК СУСЭА позволяет определять изменение интенсивности приращения исследуемого параметра в зависимости от пробега автомобиля с начала эксплуатации при увеличении значения которого происходит повышение уровня сложности проводимых работ ТО и ТР, приводящее к ситуации, когда комплекс ТО не способен обеспечить необходимые требования обеспечения работоспособности автомобиля и обеспечивать безопасность его эксплуатации.

Также в шестой главе на основе экспериментальных исследований доказано, что:

- 1) существует существенное расхождение в применении традиционных теоретических подходов к практическим данным АТП, определяемое в первую очередь влиянием неучтённой группы факторов неизвестной «природы» внешней среды эксплуатации автомобилей.
- 2) 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.

Для определения оптимального значения пробега автомобиля в ПМК СУСЭА, обеспечивающего минимум затрат на техническую эксплуатацию, были определены функции затрат, доходов, рентабельности. Получены значения параметров эффективности автомобилей и пробегов эффективной эксплуатации, определена экономия удельных затрат на эксплуатацию автомобилей. Результаты исследования доказывают эффективность применения ПМК СУСЭА. В частности значения удельной экономии затрат ($\mathcal{E}_{уд}$, руб./1000 км) при эксплуатации в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской обл. составит для:

- 1) легкового автомобиля такси – 3508 руб./1000 км.
- 2) частного легкового автомобиля – 5484 руб./1000 км
- 3) грузового автомобиля – самосвала – 3015 руб./1000 км.
- 4) грузового автомобиля – седельного тягача – 2656 руб./1000 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квалификация работы. Осмысление автором целостности процессов взаимовлияния при функционирования 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 неопределенности 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 энергетическим потоками как в системе ТЭА, так и на всех этапах жизненного цикла автомобиля.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АТО – автотранспортные отходы
АТП – автотранспортное предприятие
ДТП – дорожно-транспортное происшествие
ЖЦА – жизненный цикл автомобиля
ИЖЦ – индивидуальный жизненный цикл
ИС – информационное состояние
КГ – коэффициент готовности
КНГ – коэффициент неготовности
КОГ – коэффициент оперативной готовности
КОВ – коэффициент относительной важности
КР – капитальный ремонт
КСЭ – коэффициент сохранности эффективности
КТГ – коэффициент технической готовности
КТИ – коэффициент технического использования
ЛОС – летучие органические соединения
ЛПР – лицо, принимающее решение
МСПК – многокритериальную структура показателей качества
НИОКР – научно-исследовательская опытно-конструкторская разработка
ОЖЦ – оценка жизненного цикла
ПТБ – производственно-техническая база
СВС – состояние внешней среды
СТО – станция технического обслуживания
СУСЭА – система управления сроком эксплуатации автомобиля
ТО – техническое обслуживание
ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт
ТР – текущий ремонт
ТЭА – техническая эксплуатация автомобилей

- ТЭК – транспортно-экспедиционная компания
- УМР – уборочно-моечные работы
- УТЗ – условно технические затраты
- ABS – антиблокировочная система
- ASR – Anti-Slip Regulator (регулятор антискольжения)
- ESC – система электронного контроля устойчивости
- ELV – End of Life Vehicle (конец жизни автомобиля)
- EGR – Exhaust Gas Recirculation (система рециркуляции выхлопных газов)
- EVAP - Evaporative Emission Control (система контроля за парами топлива)
- PLM – Product Lifecycle Management (управление жизненным циклом изделия)
- SCR – Selective Catalytic Reduction (систем селективной каталитической нейтрализации)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин, Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1993. -350 с.
2. Александров, В.Ю. Экологические проблемы автомобильного транспорта / В.Ю. Александров, Л.И. Кузубова, Е.П. Яблокова // Аналитический обзор. - Новосибирск: ГПНТВ СО РАН, 1995. -113 с.
3. Андреева, О.Д. Технология бизнеса: маркетинг / О.Д. Андреева. - М.: ИНФРА.М-НОРМА, 1997. - 224 с.
4. Антонова, А.С. Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов [Электронный ресурс] / А.С. Антонова, К.А. Аксёнов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4(2), - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466>.
5. Аринин, И.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / И.Н. Аринин, СИ. Коновалов. - Владимир: Владимирский политехнический институт, 1991. - 86 с.
6. Аринин, И.Н. Оптимизация срока службы городских автобусов мегаполиса / И.Н. Аринин, В.Н. Прохоров // Известия вузов. Машиностроение: журнал. - 2007. -№ 4. -С.40-46.
7. Базилевский, М.П. Программно-математическое обеспечение автоматизации многокритериального выбора регрессионных моделей: автореф. дис. к-та. техн. наук: 05.13.18 / Базилевский Михаил Павлович. – Иркутск, 2012. -19 с.
8. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гуревич. – М.: Статистика, 1974. -159 с.
9. Бондаренко, Е.В. Критериальная характеристика экологической безопасности и технического совершенства автотранспортных средств / Е.В. Бондаренко, М.В. Коротков // Вестник ОГУ, № 3, 2002. - С. 25-28.

10. Бондаренко, В.А. Концепция и технологические основы ремонта транспортных средств в условиях постиндустриальной экономики: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 05.20.03 / Бондаренко Виктор Анатольевич. – Оренбург, 1996. -84 с.
11. Боровиков, В.А. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере / В.А. Боровиков. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2003. - 688 с.
12. Бородина, Ю.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
13. Бородина, Ю.В. Kurzanalyse der vorhandenen methoden der fuhrparkwahl / Ю.В. Бородина, Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Scientific Reports on Resource Issues. Volume 1, 2014 г. – С.427-430
14. Бобович Б.Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов: учеб. пособие / Б.Б. Бобович. – М.: ФОРУМ, 2011. – 168 с.
15. Бондаренко Е.В. Дорожно-транспортная экология: учеб. пособие / Е.В. Бондаренко, Г.П. Дворников. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004, -113 с.
16. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 395 с.
17. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель - М.: «Советское радио», 1972. - 552с.
18. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. - М.: Высшая школа, 2001. - 208 с.
19. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель — 6-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 1999. - 576 с.
20. Власов, В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник / В.М. Власов, С.В. Жанказиев, С.М. Круглов; под общ. ред. В.М. Власова. - 13-е изд, стер. - Москва: Академия, 2017. – 427 с.
21. Власов, В.М. Транспортная телематика в дорожной отрасли: учебное пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. Под ред. В.М. Власова. – М.: МАДИ, 2013. – 100 с.

22. Влияние автотранспорта на состояние окружающей среды [Электронный ресурс]/ VTOROTHODI. Утилизация и переработка отходов. – Режим доступа: <https://vtorothodi.ru/ecology/vliyanie-transporta-na-okruzhayushhuyu-sredu>
23. Воронцов, Ю.М. Авторециклинг – новая индустрия России? / Ю.М. Воронцов // Рециклинг отходов: журнал. – СПб: ООО «Группа М» № 1, 2006. – С. 4-7.
24. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учеб. пособие / Э.А. Вуколов. 2-е изд., испр. и доп. / - М.: ФОРУМ, 2008. 464 с.
25. Гличев, А.В. Прикладные вопросы квалитметрии [Электронный ресурс] / А.В. Гличев, Г.О. Рабинович, М.И. Примаков. – М.: Издательство стандартов, 1983. -136 с. – Режим доступа: https://нэб.рф/catalog/002744_00005/
26. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. - М.: Высш. шк., 2001. - 479 с.
27. Говорущенко, Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1970. - 239 с
28. Гольштейн, Е.Г. Новые направления в линейном программировании / Е.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин. - М.: «Советское радио», 1966. -524 с.
29. Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов / А.Э. Горев. – М.: Академия, 2008. -287с.
30. ГОСТ 27.002-89. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
31. ГОСТ Р 53480-2009. Национальный стандарт РФ. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2010.
32. ГОСТ 27.002 - 2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2016.
33. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Национальный стандарт РФ. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структуры. – М.: Стандартиформ, 2010.

34. ГОСТ 4.396 – 88. Государственный стандарт СССР. Система показателей качества продукции. Автомобили легковые. Номенклатура показателей. –М.: Государственный комитет по стандартам, 1988.
35. ГОСТ 30772-2001. Международный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200028831>
36. ГОСТ 18322-78. Международный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006868>
37. Графкина, М.В. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. -М.: ФОРУМ, 2009, -320 с.
38. Григорьев, М.А. К вопросу технико-экономической эффективности двигателей и управления их качеством / М.А. Григорьев, В.А. Долецкий // Автомобильная промышленность: журнал. 1976. №3. - С.1-3.
39. Гурбанов, И.В. Система «Авторециклинг» в городе Москве / И.В. Гурбанов // Авто-грин: журнал, № 1, 2005. - С. 4-10
40. Денисов, В.Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта / В.Н. Денисов. В.А. Рогалев. Изд. 2-ое. - СПб.: МАНЭБ, 2005. - 312 с.
41. Денисов, И.В. Разработка методики управления техническим состоянием систем автомобиля, влияющих на безопасность движения: автореф. дисс. ... к-та техн. наук: 05.22.10 / Денисов Иван Владимирович. – Владимир: Изд-во ВГУ, 2011. -19 с.
42. Денисов, И.В. Разработка методики оценки технического состояния систем автомобиля, влияющих на безопасность движения / И.В. Денисов, И.В. Денисов, Ю. В. Баженов // Транспорт, экология – устойчивое развитие: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Болгария: Изд-во Технический ун-т. – Варна, 2010. – С.401-406.
43. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. 4-е изд.: Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. - 1152 с.

44. Джексон, П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. 3-е изд. -М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624 с.
45. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Издательство «Мир», 1980. - 610 с.
46. Джонсон, Н. Статистика и планирование в технике и науке: Метод планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. -520 с.
47. Динер, И.Я. Исследование операций / И.Я. Динер. – Ленинград: ВМОЛУА, 1969. – 606 с.
48. Дюков, Е.О. Экологическая безопасность направление стратегическое / Е.О. Дюков //Автомобильный транспорт: журнал, № 4, 1995. - С. 40-42.
49. Дьяченко, И.И. Принципы упорядочивания обращения с отходами на этапе эксплуатации автотранспортных средств: автореф. дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10 / Дьяченко Ирина Игоревна. - М.: МАДИ, 2002. -19 с.
50. Евланов, Л.Г. Теория и практика принятия решения / Л.Г. Евланов. - М.: Экономика, 1984. - 176 с.
51. Ермаков, С.М. Математическая теория планирования эксперимента / С.М. Ермаков и др. - М.: Наука, 1983. - 291с.
52. Захаров, Н.С. Повышение эффективности проектирования, исследования, эксплуатации автомобилей и строительно-дорожных машин: тезисы докладов / Н.С. Захаров// – Горький, 1988. – 74 с.
53. Звонов, В.А. Концепция специального технического регламента / В.А. Звонов, В.Ф. Кутенев, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Утилизация вышедшей из эксплуатации автомобильной техники. Авто-грин: журнал, № 3, 2004. - С. 7-11.
54. Звонов, В.А. Оценка жизненного цикла – основа совершенствования АТС/ В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко//Автомобильная промышленность: журнал. – М: Машиностроение. 2003 г. №11, стр. 9-12.

55. Звонов, В.А. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле / В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев. – М.: НАМИ, 2001. - 248 с
56. Зобнин, В.А. Расчёт и оптимизация стоимости владения легковым автомобилем в некоммерческой эксплуатации/ В.А. Зобнин. – М.: 2012, -74 с.
57. Иголкин, А.Н. Определение ресурса городских автобусов: автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.22.10. / Иголкин Андрей Николаевич. - Владимир: Изд-во ВГУ, 2010. – 165 с.
58. Калестыньский, М.М. Системный подход к рециклингу автотранспорта / М.М. Калестыньский // Рынок вторичных металлов: журнал. 2007. № 1/33. - С. 52-54.
59. Карташов, В.П. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий: учеб. пособие/ В.П. Карташов. – М.: Транспорт, 1981. – 175с.
60. Капустин, А.А. Автомобилизация и автомобиль / А.А. Капустин //Энергетика и промышленность России: журнал. 2015 г. № (05)265, - С. 38-39.
61. Колесов, Ю.Б. Компонентные технологии математического моделирования: учеб. пособие / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Синиченков. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2013. - 233 с.
62. Колесов, Ю.Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход: учеб. пособие / Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 192 с.
63. Колотырин, К.П. Организационно-экономические инструменты в сфере обращения с отходами потребления: монография / К.П. Колотырин. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. - 224 с
64. Корогодский М.В. Методологические основы оптимизации надёжности автомобиля / М.В. Корогодский. - Киев: «Вища школа», 1976. – 139 с.
65. Коротков, М.В. Оценка влияния пробега на экологическую безопасность автомобиля ВАЗ-21102 / В.В. Коротков, Ю.И. Ямолон // Вестник ОГУ. №1. 2003 г. – С. 70-73.

66. Коротков, М.В. Ранжирование автомобилей разных марок с позиции экологической безопасности /М.В. Коротков// Автомобильная промышленность: журнал. № 1, 2003. - С. 17-19.
67. Крахмалова, А.В. Методика оценки качества автомобилей/ А.В. Крахмалова, Ф.А. Фасхиев // Маркетинг в России и за рубежом: журнал. 2005 г. № 4.
68. Кудряшов, Ю.А. Автоматизированные методы управления технической эксплуатацией автомобилей / Ю.А. Кудряшов, Б.Д. Прудовский, В.В. Ухарский. –Ленинград: ЛДНТП, 1989 – 63 с.
69. Кузнецов, Е.С. Методический подход к определению нормативных значений трудоемкости технического обслуживания и ремонта автотранспортной техники в условиях ограниченной информации / Е.С. Кузнецов, В.А. Максимов, И.В. Конин - М., ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1989. – 29с.
70. Кузнецов, Е.С. Направление НТП и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Е.С. Кузнецов. – М.: Изд-во МАДИ, 1987. – 90с.
71. Кузнецов, Е.С. Основные направления совершенствования ТО и ремонта подвижного состава автомобильного транспорт/Е.С. Кузнецов//Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Обзорная информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР.- М., ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1979. Вып.1 – 53с.
72. Кузнецов, Е.С. Оценка качества и надежности автомобилей в Швеции по результатам инспекторских осмотров и опыта в эксплуатации / Е.С. Кузнецов // Автомобильный транспорт: Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для применения на автомобильном транспорте. Информ. Сборник. - М.: Информавтотранс 1999. – Вып.1. – 36 с
73. Кузнецов, Е. Оценка эксплуатационной надёжности / Е. Кузнецов, П. Гринберг, Г. Кривошенин и др. // Автомобильный транспорт: журнал. 1980. №12, -С. 49-51.
74. Кузнецов, Е.С. Производственная база автомобильного транспорта: состояние перспективы / Е.С. Кузнецов, И.П. Курников. – М.: Транспорт, 1990. – 231с.

75. Кузнецов, Е.С. Состояние и тенденции развития технической эксплуатации и сервиса автомобилей в России / Е.С. Кузнецов. - М.: Информавтотранс, 2000. - 46 с.
76. Кузнецов, Е.С. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей в условиях научно-технического прогресса и нового хозяйственного механизма / Е.С. Кузнецов // Автомобильный транспорт: Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для применения на автомобильном транспорте. – М.: 1989. ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, Вып. 19. – 47 с.
77. Кузнецов, Е.С. Техническое обслуживание и надёжность автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1972, -223 с.
78. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей в США/ Е.С. Кузнецов. -М.: Транспорт, 1992. - 352 с.
79. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: учебн. пособ. / Е.С. Кузнецов. - М.: МАДИ, 2003. - 247 с.
80. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1982. - 224 с.
81. Кутенев, В.Ф. Состояние и перспективы создания системы утилизации АТС в России / В.Ф. Кутенев, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность: журнал. № 10, 2008. - С. 7-9.
82. Лапина, Н.В. Резервы повышения качества сервисного обслуживания автомобилей / Н.В. Лапина, Р.А. Шишканов. – Саратов: изд-во «Новый ветер», 2009. – 150 с.
83. Ложкин, В.Н. Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом / В.Н. Ложкин. -СПб.: НПК «Атмосфера», 2001. - 297 с.
84. Ляско, В.И. Оптимизация размещений предприятий технического обслуживания и ремонта подвижного состава / В.И. Ляско, Б.Д. Прудовский. – М.: Транспорт, 1977. - 96 с.
85. Макаров, А.В. Математическое моделирование систем авторециклинга с учётом оптимизации логистических процессов [Электронный ресурс] / А.В.

- Макаров, П.П. Володькин: электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2013, Том 4, № 4, С. 1369 – 1374.
86. Макаров, И. Целевые комплексные программы / И. Макаров, В. Соколов, А. Абрамов. – М.: Знание, 1980. -135 с.
87. Максимов, В.А. Расчет и прогнозирование возрастной структуры автомобильного парка / В.А. Максимов. – М.: МАДИ, 1995. – 24 с.
88. Мартино, Д.П. Технологическое прогнозирование /Д.П. Мартино. – М.: Прогресс, 1987. – 280 с.
89. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование/ Мартино Дж. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.
90. Масуев, М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учеб. пособие / М.А. Масуев. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 224 с.
91. Методика определения основных показателей использования автомобильной техники в народном хозяйстве. – М.: НАМИ, 1978. – 48с.
92. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции. РД 50-149-79. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
93. Методы оценки и выбора грузовых автомобилей [Электронный ресурс] / Х.А. Фасхиев [и др.]// Платформа для публикаций Pandia.ru. – Режим доступа: <http://pandia.ru/889360/>
94. Мигачёв, В.А. Повышение эффективности использования грузовых автомобилей на основе выбора наиболее рационального парка подвижного состава: автореф. дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10. / Мигачёв Виктор Анатольевич; – Орёл: 2012. -16 с.
95. Минин, Б.А. Уровень качества. Социально-экономические вопросы оценки качества и защита потребителей / Б.А. Минин – М.: Издательство стандартов, 1989. -184 с.
96. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

97. Мороз, С.М. Методологические основы диагностирования автотранспортных средств по критериям безопасности: автореферат дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. / Мороз Сергей Маркович. – М.: 2004. – 41с.
98. Мороз, С.М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: учебник / С.М. Мороз. – М.: МАДИ, 2015. – 204 с.
99. Мушик, Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. -208 с.
100. Надежность нового подвижного состава. Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей: обзорн. информ. – М.: Информавтотранс. Вып. 2. 1990. – 36 с.
101. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учебник для вузов / Г.М. Напольский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт. 1993. -271 с.
102. Новиков, Е.Д. Комплексные народно-хозяйственные программы / Е.Д. Новиков, Ю.М. Самохин. – М.: Наука, 1976. -162 с.
103. Ногин, В.Д. Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин. И.О. Протоdjяконов, И.И. Евлампиев. - М.: Высшая школа, 1986. - 383 с.
104. Окрепилов, В.В. Управление качеством: учебник/ В.В. Окрепилов. 2-е изд. доп. и перераб. - М.: Экономика, 1998.
105. ОНТП 01-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. Утверждены протоколом концерна «Росавтотранс» от 07.08 1991 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/ontp-01-91-rd-3107938-0176-91>
106. Определение стоимости, затрат на восстановление и утраты товарной стоимости автотранспортных средств. Методическое руководство для экспертов. - М.: Министерство юстиции РФ, 1998 г.
107. ОСТ 37.001.426–85 Система показателей качества продукции. Автомобили многоцелевого назначения. Номенклатура показателей и методы оценки технического уровня и качества. - М.: Министерство автомобильной промышленности, 1999, -15 с.

108. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -798 с.
109. Переработка автомобилей. Вызов полной переработке ELV [Электронный ресурс]/MATIC in Recycling, in Japan. – Режим доступа: <http://www.matec-inc.co.jp/russian/elv/>
110. Перечень основной действующей законодательной, нормативной, технической и методической документации по организации транспортного процесса на автомобильном транспорте (по состоянию на 01.01.2008 г). – СПб: ООО «ЦЭС Автотранс», 2008 г. – 17 с.
111. Петров, Р.Л. О мировом опыте организации национальных систем Авторециклинга/Р.Л. Петров//Рециклинг отходов: журнал. №5, 2008, -С.2-11.
112. Петров, Р.Л. Рециклирование, как составная часть проектирования АТС. Опыт «АВТОВАЗа» / Р.Л. Петров //Авто-грин: журнал, № 1, 2005. - С. 20-24.
113. Петров Р.Л. Системы утилизации легковых автомобилей / Р.Л. Петров // Автомобильная промышленность: журнал. № 7, 2007. - с.3-5.
114. Петров, Р.Л. Экономические аспекты утилизации старых автомобилей / Р.Л. Петров // Авто-грин: журнал. № 3, 2004. -С. 2-6.
115. Плиев, И.А. Методика оценки технического уровня АТС многоцелевого назначения /И.А. Плиев, А.Н. Вержбицкий //Автомобильная промышленность: журнал. -1999. - № 11. -С. 34-36.
116. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Министерство автомобильного транспорта РСФСР – М.: Транспорт, 1986. – 72 с.
117. Постановление Правительства РФ № 609 от 12.10.2005 г. «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории РФ, вредных (загрязняющих) веществ» [дата подписания 12 октября 2005 г.]. Российская газета – Федеральный выпуск № 3906 (0) от 21 октября 2005 г.
118. Приказ Минпромторга России от 23.04.2010 N 319 (ред. от 27.12.2013) «Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2020 года» [Электронный ресурс/

- Законы, кодексы и нормативно-правовые акты РФ// Актуальные документы по состоянию на 25 ноября 2018 г. – Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minpromtorga-rossii-ot-23042010-n-319/>
119. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов и др.; отв. ред. А.Н. Борисов. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
 120. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автосервиса: учебник / Н.И. Верёвкин, А.Н. Новиков, Н.А. Давыдов; под ред. Н.А. Давыдова. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. - 400 с.
 121. Прохоров, В.Н. Научные основы управления эффективностью эксплуатации городских автобусов: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. / Прохоров Виктор Николаевич. - Владимир: 2008. – 40 с.
 122. Постолиит, А.В. Совершенствование информационного обеспечения технической эксплуатации автомобилей: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. / Постолиит Анатолий Владимирович. – М.: 1998. – 423 с.
 123. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. - М.: Наука, 1982. - С.9-64.
 124. Прудовский, Б.Д. Векторная оптимизация / Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Сб. трудов 2-ой международной научно-практической конференции Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. Том 1. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. - С 64-66.
 125. Прудовский, Б.Д. Выбор типа автотранспортных средств для перевозки грузов и пассажиров/ Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Материалы 2-ой международной научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 67-70
 126. Прудовский, Б.Д. Количественные методы управления автомобильным транспортом/ Б.Д. Прудовский. – М.: Транспорт, 1976. – 88 с.
 127. Прудовский, Б.Д. 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. 89-90
128. Прудовский, Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –2(49), -С.154-159.
129. Прудовский, Б.Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. –М.: Транспорт, 1990 г. – 239 с.
130. Разработка программных мероприятий и проекта городской целевой программы города Москвы «Создание системы управления автотранспортными средствами, подлежащими утилизации на период 2009-2011 годы («Авторециклинг»). Отчет НИР - М.: МАДИ, 2008. - 64с.
131. Резник, Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Г. Чарков. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
132. «Рынок автосервисных услуг в России в 2012-2017 гг. и прогноз на 2018-2022 гг.» Маркетинговые исследования – консалтинговая компания «АМИКО». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bsplan.ru/avto/rynok-avtoservisov>
133. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.
134. Саати, Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Л. Саати. Пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
135. Система вентиляции топливного бака. [Электронный ресурс]/ Глобальная Научно-Техническая Информация (ГНТИ). Актуальные сюжеты – Режим доступа:<http://gnti.ru/Mazda+SKYACTIV+AT+http%3A/mazdaservice.org/sCYxVf-wsAA>

136. Система EGR. Назначение и принцип действия. [Электронный ресурс] – Techautoport.ru. Система рециркуляции отработавших газов. - Режим доступа: <https://techautoport.ru/dvigatel/vypusknaya-sistema/sistema-egr.html>
137. Системный анализ и структуры управления (книга восьмая) / Под общей редакцией проф. В.Г. Шорина. - М.: Знание, 1975. – 304 с.
138. Соколов, В.С. Пути развития систем технического обслуживания и ремонта автомобилей / В.С. Соколов, О.Н. Филинов, // В кн. Опыт повышения качества ремонта и надежности транспортных средств. - Л.: ЛДНТП, 1982. – С. 4-8.
139. Статистические методы анализа экспертных оценок / АН СССР. ЦЭМИ. – М.: Наука, 1977. -384 с.
140. Суслов, И.Е. Метрологическое обеспечение прогнозирования технического состояния автотранспортных средств / И.Е. Суслов, А.Г. Сергеев, А.К. Суцев //Автотранспортное предприятие: журнал. – М: НПП «Транснавигация», Минтранс России, 2013 г. №10, – С. 46-49.
141. Сытник, В.Ф. Математические модели в планировании управления предприятия / В.Ф. Сытник, Е.А. Карагодов. – Киев: Высшая школа, 1985. – 214 с.
142. Тарасов, Р.В. К вопросу применения экспертных методов в прогнозировании процессов, оценке уровня качества и принятии управленческих решений [Электронный ресурс] / Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, О.Ф. Акжигитова. Современные научные исследования и инновации. – Апрель 2014. - № 4. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues>.
143. Таха. Введение в исследование операций / Таха, А. Хэмди. – М.: Мир, 2001, – С. 354-370.
144. Таха. Введение в исследование операций / Таха, Хемди А. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 912 с.
145. Терентьев, А.В. Алгоритм управления жизненным циклом автомобиля на стадии его эксплуатации / А.В. Терентьев // Материалы 3-ой международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в

- машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 117-120
146. Терентьев, А.В. Анализ методов определения показателя – срок эффективной эксплуатации автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 1-ой Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – С. 68-72
147. Терентьев, А.В. Исследование закономерностей изменения величины трудоёмкости ТР в процессе эксплуатации автомобиля / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 1-ой 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
148. Терентьев, А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Записки Горного института. Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 89-90.
149. Терентьев, А.В. Многокритериальный показатель качества автомобиля / А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –1(48), - С. 201-204.
150. 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 // Сб. науч. трудов. Технология и эффективность систем управления обеспечением безопасности дорожного движения. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С.98-103.
151. Терентьев, А.В. Исследование величины трудоёмкости текущего ремонта для автомобилей SKANIA, эксплуатирующихся на предприятиях г. Санкт-Петербурга / А.В. Терентьев, А.Б.Егоров, Е.В. Берёзкина. // Сб. научно-

- практических статей. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – С. 79-84.
152. Терентьев, А.В. О необходимости комплексного подхода при определении мощности предприятий, утилизирующих автомобили/ А.В. Терентьев, А.Б. Егоров, Ю.Н. Кацуба, В.И. Костенко // Труды Международной науч.-техн. конференции. Системы и процессы управления и обработки информации. – СПб.: СЗТУ, 2010. – С. 595-602.
153. Терентьев, А.В. Организационные формы технического обслуживания и ремонта автомобилей за рубежом/ А.В. Терентьев, Т.К. Екшикеев // Сб. научно-практических статей. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – С. 75-78.
154. 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). – С34-36.
155. Терентьев, А.В. Определение количества постов ЕО, ТО и ТР автомобилей «Скания» (Skania) / А.В. Терентьев, Т.К. Екшикеев // Сб. науч. трудов. Транспортный комплекс в условиях рыночных отношений. – Ташкент: ТАДИ, 2007. – С. 201-204.
156. Терентьев, А.В. Определение коэффициента технической готовности парка подвижного состава (на примере автомобилей Skania) / А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Актуальные проблемы управления техническими, информационными и транспортными системами. – СПб.: СЗТУ, 2007. – С. 55-62.
157. Терентьев, А.В. Определение размеров проездов в зоне ТР / А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Актуальные проблемы управления транспортными и техническими системами. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С. 66-69.
158. Терентьев, А.В. К вопросу определения производственной программы по ТО и ТР для подвижного состава/ А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Социально-

- экономическое развитие современного общества в условиях реформ. – Саратов: СГУ, 2008. – С. 237-239.
159. Терентьев, А.В. Схемы и последовательность определения размеров проездов в зонах ТО и ТР / А.В. Терентьев // Сб. науч. трудов. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С. 19-25.
160. Терентьев, А.В. Пробег эффективной эксплуатации автомобиля – базовый элемент его индивидуального жизненного цикла / А.В. Терентьев // Монография. - СПб.: СЗТУ, 2011. – 116 с.
161. Терентьев, А.В. К вопросу эффективности эксплуатации автомобилей / А.В. Терентьев, Ю.Н. Кацуба, Л.В. Григорьева // Горная механика и машиностроение - Республика Беларусь: ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», 2013. №1. – С. 80-86
162. Терентьев, А.В. Методы анализа показателя «трудоемкость текущего ремонта» / А.В. Терентьев // Бюллетень транспортной информации. – М.: ИТАР-ТАСС, 2013. - №10 (220), – С. 26-29.
163. Терентьев, А.В. Анализ нормативной базы, регламентирующей вывод АТС из эксплуатации [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев, И.Н. Южанин// Современные проблемы науки и образования. – 2014. №2; - Режим доступа: <http://www.sciens-education.ru/116-12497>
164. Терентьев, А.В. Методы анализа показателя «трудоемкость» текущего ремонта / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2014. –1(42), - С. 117-120.
165. 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.
166. 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>

167. Терентьев, А.В. Управление жизненным циклом автомобиля на стадии эксплуатации / А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –3(50), - С. 228-231.
168. Терентьев, А.В. Искусственный интеллект в управлении автомобильными перевозками: монография/ А.В. Терентьев, В.А. Янчеленко, И.В. Таневицкий. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 121 с.
169. 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.
170. Терентьев, А.В. К вопросу необходимости управления жизненным циклом автомобиля [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. С. 43-48; - Режим доступа: <http://www.modernsciencjournal.org/>
171. Терентьев, А.В. К вопросу утилизации автомобилей в России / А.В. Терентьев, А.Б. Егоров // Материалы 2-ой научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Актуальные проблемы управления транспортными и техническими системами. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С.31-33.
172. Терентьев, А.В. К вопросу авторециклинга автомобилей в России / А.В. Терентьев, Т.К. Екшикеев, В.И. Костенко // Материалы 1-ой межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2008. – С. 60-63.
173. Терентьев, А.В. Методика расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава, регламенты которого не предусматривают капитальный ремонт [Электронный ресурс] / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов. // Успехи современной науки. Том 3. – 2016. №4. - С. 43-48; - Режим доступа: <http://www.modernsciencjournal.org/>
174. Терентьев, А.В. Развитие метода районирования/ А.В. Терентьев // Материалы 4-ой международной научно-практической конференции. Инновации на

- транспорте и в машиностроении. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 127-130
175. Терентьев, А.В. Эффективность эксплуатации автомобиля в современных условиях / А.В. Терентьев // Материалы 4-ой межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2011. – С.33-38.
176. Техническая эксплуатация автомобилей / В.Г. Крамаренко, Е.С. Кузнецов, Л.В. Мирошников и др. 2-е изд. перераб. и доп. – М. Транспорт, 1983. 488 с.
177. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; под ред. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 413 с.
178. Титов, Е.Ф. О методах определения технического уровня АТС, их агрегатов и узлов / Е.Ф. Титов//Автомобильная промышленность: журнал. 2000. № 1. - С. 27-29.
179. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года. Принята Правительством РФ 22.10.2008 г. - М.: Министерство транспорта РФ, 2008. - 183 с.
180. Трофименко, Ю.В. Упрощенная методика прогнозирования численности парка автотранспортных средств / Ю.В. Трофименко, А.В. Ефремов, С.Б. Фурсов // Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей: сборник научных трудов. -М.: МАДИ. 1992. – С. 27-32.
181. Трофименко, Ю.В. Утилизация автомобилей: научная монография/Ю.В. Трофименко, Ю.М. Воронцов, К.Ю. Трофименко. – М.: АКПРЕСС, 2011. – 336с.
182. Уваров, Д.А. Усугубление проблем эксплуатации транспортных средств в мегаполисах на примере Приморского района г.Санкт-Петербурга / Д.А. Уваров, А.В. Терентьев // Материалы 4-ой межвузовской научно-практической конференции. Проблемы теории и практики автомобильного транспорта. – СПб.: СЗТУ, 2011. – С.52- 54.

183. Усов, А.В. Применение марковских случайных процессов для информационного моделирования работы автотранспортных средств/ А.В. Усов, Е.Ю. Кутяков // Вестник ХУНТУ. № 3(50), 2014 г.
184. Фокина, О.М. Практикум по экономике организации (предприятия): учеб. пособие / О.М. Фокина, А.В. Соломка. – Финансы и статистика, 2008. –272 с.
185. Хазиев, А.А. Использование внутренних резервов технической службы автотранспортных предприятий для обеспечения работы автобусов на линии в условиях рыночных отношений / А.А.Хазиев, В.А. Максимов, В.Б. Зотов // Автомобильный транспорт. Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для применения на автомобильном транспорте. Серия: Вопросы технической эксплуатации и ремонта автомобилей: Информ. Сборник– М.: Информавтотранс. Вып. 2. 1994. – 46 с.
186. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. -193 с.
187. Хоменюк, В.В. Элементы теории многокритериальной оптимизации/ В.В. Хоменюк. - М.: Наука, 1983, -С.8-25.
188. Цыцура, А.А. Комплексная оценка экологичности автомобиля / А.А. Цыцура, Е.В. Бондаренко, Г.П. Дворников, Е.А. Старокожева // Академический журнал Уральского межрегионального Отделения Российской Академии транспорта (УМО РАТ), № 3-4, 2001. -С. 74-78.
189. Шейнин, А.М. Модели оптимизации показателей надежности / А.М. Шейнин - М.: 1986. - 36 с.
190. Шишканов, Р.А. Резервы улучшения качества фирменного сервисного обслуживания автомобилей: теория, методика, механизм использования: автореф. дис. ... к-та. экон. наук: 08.00.05. / Шишканов Роман Александрович – Саратов: 2009. -27 с.
191. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. - М.: Наука, 1982, – С.14-29, С. 146-258.
192. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

193. Якунин, Н.Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации: автореферат дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. / Якунин Николай Николаевич. – Оренбург: 2004. – 37с.
194. ABS - 30 лет на страже жизни [Электронный ресурс] / За рулём: журнал. — М., 2008. — Вып. 30 апреля. –Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/news/34067>
195. A Roadmap for Recycling End-of-Life Vehicles of the Future. Energetics, Inc. U.S., 2001. - p. 495.
196. APRAA, Greenfleet, Holden. Auto Parts Recycling: A guide to the future/ Austral. 1999. - p. 20
197. B.W. Vigon, D.A. Tolle, B.W. Comaby, H.C. Latham, C.L. Harrison, T.L. Boguski, R.G. Hunt and J.D. Sellers, Life-cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, EPA/600/R-92/036, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1992
198. Management of End-of-Life vehicles (ELVS) in the US. Jeff Staudinger and Gregory A. Keoleian. Center for Sustainable Systems, Report No. CSS01-01, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 2001, 67 pp.
199. MATEC is Recycling Company, in Japan. UPL: <http://www.matec-inc.co.jp>
200. Ming Chen. End-of-Life Vehicle Recycling in China: Now and the Future. JOM, October 2005
201. Saaty, T.L. Generalization of Perron's theorem to hierarchic composition. – Unpublished manuscript. – University of Pittsburg, 1984.
202. Toffel Michael W. The Growing Strategic Importance of End-of-life Product Management. University of California, Berkeley. U.S., - 2003, - p. 41
203. Terentyev, A.V. Investigation methods for «current repairs labour-intensiveness» factor for a vehicle/ A.V. Terentyev, B.D. Prudovsky // Life Science Journal 2014;11(10s) - C.307-310.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ТО И ТР
АВТОМОБИЛЕЙ, РЕГЛАМЕНТЫ КОТОРОГО НЕ ПРЕДУСМАТРИВАЮТ
ПРОВЕДЕНИЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА**

Определение числа постов ТО.

Для определения количества постов в зоне ТО (без постов ЕО_Т) необходимо вычислить общее время простоев в ТО за год (без простоев в ЕО_Т) всех автомобилей парка, и разделить его на годовой фонд времени работы зоны ТО. Суммарное время простоев в ТО (без простоев в ЕО_Т) за год всех автомобилей одной марки определяется по формуле:

$$T_{\Gamma j}^{\text{ТО}} = \eta_j^{\text{ц}} \cdot T_j^{\text{ТО}}, \text{ час.}$$

где $T_j^{\text{ТО}}$ – суммарное время простоев в ТО (без простоев в ЕО_Т) всех автомобилей одной марки за цикл.

Общее время простоев в ТО всего парка автомобилей (без простоев в ЕО_Т) за год определяется по формуле:

$$T_{\Gamma}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m T_{\Gamma j}^{\text{ТО}}, \text{ час.}$$

Годовой фонд времени работы зоны ТО определяется по формуле:

$$\Phi_{\Gamma}^{\text{ТО}} = T_{\text{сут}}^{\text{зто}} \cdot D_{\text{рг}}^{\text{ТО}}, \text{ час.}$$

где $D_{\text{рг}}^{\text{ТО}}$ - дни работы в году зоны ТО, дн.

Число постов обслуживания в зоне ТО (без постов ЕО_Т) определяется по формуле:

$$X_{\text{ТО}} = \frac{T_{\Gamma}^{\text{ТО}} \cdot \varphi}{\Phi_{\Gamma}^{\text{ТО}}}, \text{ ед.}$$

где φ – коэффициент неравномерности поступления автомобилей на посты ТО.

Этот коэффициент учитывает отклонения от планируемых норм поступления автомобилей на соответствующие виды обслуживания по различным причинам. Данный коэффициент можно принять либо по действующим нормативам (например, для работ ТО и списочного количества автомобилей от 100 до 300 и одной рабочей смены, этот коэффициент составляет 1,25), либо планировать на основании данных предприятия.

Количество постов, необходимых для проведения ТО определено с использованием в качестве исходных данных понятия – норма ТО (нормо-час), или норматив ТО по регламенту фирмы-производителя автомобилей.

Определим объём работ по ТО и ТР в человеко-часах. В этом случае необходимо дополнить представленную методику следующими формулами. Суммарная трудоемкость всех видов ТО (кроме ЕО_Т) за цикл для одного автомобиля каждой марки определяется по формуле:

$$t_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n t_{ij}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ чел}\cdot\text{час},$$

где $m_{ij}^{\text{ТО}}$ – количество обслуживаний соответствующего вида за цикл, ед.;

$t_{ij}^{\text{ТО}}$ – норматив ТО, чел·час.

Общая цикловая трудоемкость работ ТО (кроме ЕО_Т) для всех автомобилей одной марки определяется по формуле:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = t_j^{\text{ТО}} \cdot A_j^{\text{сп}}, \text{ чел}\cdot\text{час}$$

Для определения годового объема работ ТО необходимо перейти от цикла к году. Суммарная трудоемкость работ ТО (кроме ЕО_Т) за год по маркам автомобилей определяется по формуле:

$$t_{\Gamma j}^{\text{ТО}} = t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ чел.час}$$

где $\eta_j^{\text{Ц}}$ – коэффициент перехода от цикла к году.

Общий годовой объем работ ТО парка определяется по формуле:

$$t_{\Gamma}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m t_{\Gamma j}^{\text{ТО}}, \text{ чел.час}$$

Определение числа постов ЕО_Т. Для расчета количества постов ЕО_Т для моечно-уборочных работ, проводимых перед ТО и ТР, необходимо знать число технических воздействий ТО и ТР за год. Количество воздействий ТО определено, а количество ТР – не регламентируется. Как правило, число ЕО_Т определяется следующим образом: суммарное количество ТО за расчетный цикл умножается на заданный нормативными документами коэффициент, учитывающий выполнение ЕО_Т перед ТР.

В данной работе мы поступим подобным образом, только искомый коэффициент определим несколько иначе. Простои в ЕО_Т перед ТР за год, для всего парка, принять равными простоям в ЕО_Т перед ТО, умноженным на коэффициент μ .

Размер коэффициента предлагается определить, как отношение суммарного годового объема работ ТР парка к суммарному годовому объему работ ТО (без работ ЕО_Т):

$$\mu = \frac{t_{\Gamma}^{\text{ТР}}}{t_{\Gamma}^{\text{ТО}}},$$

Количество EO_T перед ТО за цикл для всех автомобилей одной марки:

$$M_j^{EO} = m \cdot A_j^{сп}, \text{ ед.},$$

где m – общее количество ТО всех видов в цикле.

Количество EO_T перед ТО за год для всех автомобилей одной марки определяется по формуле:

$$M_{\Gamma j}^{EO} = M_j^{EO} \cdot \eta_j^Ц, \text{ ед.}$$

Простои в EO_T перед ТО за год для всех автомобилей одной марки определяется по формуле:

$$T_{\Gamma j}^{EO} = M_{\Gamma j}^{EO} \cdot t_{EO_T} \text{ чел. час},$$

где t_{EO_T} – трудоёмкость EO_T , чел. час.

Суммарные простои в EO_T перед ТО за год всего парка

$$T_{\Gamma_{ТО}}^{EO} = \sum_{j=1}^m T_{\Gamma j}^{EO} \text{ чел. час.}$$

Суммарные простои в EO_T перед ТО и ТР за год всего парка определяются по формуле:

$$T_{\Gamma_{ТО и ТР}}^{EO} = T_{\Gamma}^{EO} \cdot (1 + \mu), \text{ чел. час.}$$

Количество постов EO_T определяется по формуле:

$$X_{EO} = \frac{T_{\Gamma_{го и тр}}^{EO} \cdot \varphi}{\Phi_{EO}^{TO}}, \text{ ед.}$$

где Φ_{EO}^{TO} и φ – годовой фонд времени работы зоны EO_T и коэффициент неравномерности поступления автомобилей на посты EO_T , считаются равными аналогичным величинам зоны TO .

Определение числа постов ТР. Для расчета числа постов ТР используют Годовой объем работ ТР по каждой марке автомобилей:

$$t_j^{ТР} = \frac{L_{\Gamma j} \cdot t_{\Gamma j}^{ТР}}{1000}, \text{ чел}\cdot\text{час.}$$

Годовой объем работ ТР по каждой марке автомобилей можно определить по формуле:

$$t_j^{ТР} = \frac{L_{\Gamma j} \cdot A_j^{сп} \cdot T_{тр ij}}{1000}, \text{ чел}\cdot\text{час.}$$

Годовой пробег автомобиля определяется по формуле:

$$L_{\Gamma j} = L_j \cdot \frac{D_j^{рц}}{D_j}, \text{ км.}$$

Суммарный годовой объем работ по ТР парка подвижного состава определяется по формуле:

$$t_{\Gamma}^{ТР} = \sum_{j=1}^m t_{\Gamma j}^{ТР}, \text{ чел}\cdot\text{час.}$$

Формула расчета числа постов ТР:

$$X_{\text{ТР}} = \frac{t_{\Gamma}^{\text{ТР}} \cdot \psi}{\Phi_{\text{ТР}}^{\Gamma} \cdot P_{\text{ТР}}}, \text{ ед.}$$

где ψ – коэффициент неравномерности загрузки постов ТР, учитывает колебания потребности в ремонте;

$\Phi_{\text{ТР}}^{\Gamma}$ – годовой фонд рабочего времени зоны ТР, ч.;

$P_{\text{ТР}}$ – число рабочих на посту ТР, чел.;

$t_{\Gamma}^{\text{ТР}}$ – годовой объём работ по ТР, чел·час.

$$X_{\text{ТР}} = \frac{t_{\Gamma}^{\text{ТР}} \cdot \psi}{\Phi_{\text{ТР}}^{\Gamma}}, \text{ ед.}$$

где $t_{\Gamma}^{\text{ТР}}$ – годовой объём работ по ТР, норма·час.

Годовой фонд рабочего времени зоны ТР определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{ТР}}^{\Gamma} = D_{\text{РГ}}^{\text{ТР}} \cdot T_{\text{СУТ}}^{\text{ЗТО}} \cdot \eta_n, \text{ час,}$$

где $D_{\text{РГ}}^{\text{ТР}}$ – число рабочих дней в году зоны ТР, дн.; $T_{\text{СУТ}}^{\text{ЗТО}}$ – продолжительность работы зоны ТР в сутки, ч.; η_n – коэффициент использования рабочего времени поста

Если расчёт производственной программы по ТО и ТР подвижного состава производится с помощью показателя - цикловая удельная трудоёмкость ТР отпадает необходимость корректирования величины показателя коэффициентом корректирования в зависимости от пробега с начала эксплуатации (рисунок 1).

Если в качестве цикла принимается величина больше, чем цикл ТО, то для корректирования показателя удельная трудоёмкость ТР целесообразно применять

цикловой коэффициент корректирования. Он определяется следующим образом. Величина удельной нормативной трудоемкости работ ТР принимается для $L_{цб}$ (пробег автомобиля в пределах базового цикла эксплуатации).

Цикловой коэффициент корректирования удельной нормативной трудоемкости работ ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации определяется по формуле

$$K_{ТРn} = \frac{\int_{L_{ц(i-1)}}^{L_{ц(i)}} t_{ТР}(L) dL}{\int_{L_{ц(б-1)}}^{L_{ц(б)}} t_{ТР}(L) dL}$$

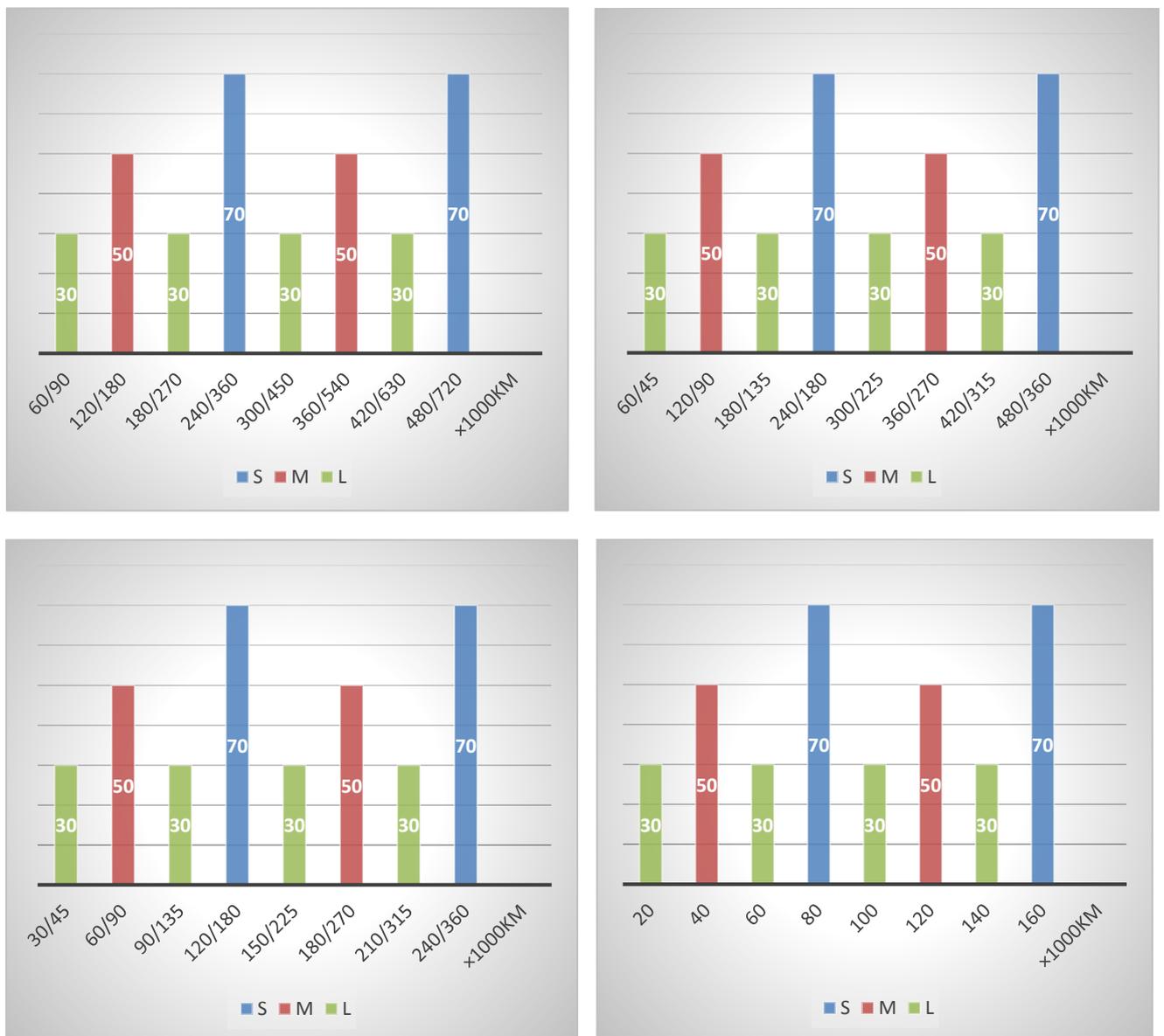
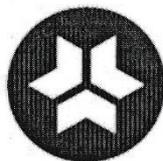


Рисунок 1 – S, M, L – циклы ТО для исследуемых автомобилей SCANIA в различных условиях эксплуатации



Ассоциация

«Центр объединения грузоперевозчиков
«ГРУЗАВТОТРАНС»

Россия, Санкт-Петербург, Финляндский пр.д.4А оф.431
БЦ «Петровский форт»
тел./факс: (812) 703-50-18 моб. 8-905-230-05-50

www.sro-auto.ru, E-mail:gruzavtotrans@sro-auto.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Терентьева Алексея Вячеславовича
«Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока
эксплуатации автомобиля»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта»

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Терентьева Алексея Вячеславовича на тему: **«Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля»** используются в нашей организации.

Предложенная и разработанная автором аналитическая модель системы управления сроками эксплуатации автомобилей на базе метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды применяется: для оптимизации процессов технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) подвижного состава и планирования затрат на приобретение и эксплуатацию автомобилей организаций, входящих в Ассоциацию «Грузавтотранс». Использование данной системы обеспечило оперативный анализ информации и выработку решений, повышающих эффективность процессов ТО и Р седельных тягачей и самосвалов SCANIA.

Научные результаты, полученные в диссертации, доведены до практического использования и реализованы на основе НИОКР по теме: «Разработка методики расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава организаций, входящих в Ассоциацию «Грузавтотранс», регламенты которых не предусматривают проведение капитальных ремонтов».

Президент Ассоциации

Матягин Владимир Васильевич



«21» сентября 2017 г.

Приложение 3
к договору № _____
от _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ
соглашения о договорной цене

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», именуемое в дальнейшем «Исполнитель», в лице проректора по научной работе профессора Трушко Владимира Леонидовича, действующего на основании доверенности № 01-55/40-580адм от 19 апреля 2016 г., с одной стороны, и Ассоциация «Центр объединения грузоперевозчиков «ГРУЗАВТОТРАНС», именуемое(-ый) в дальнейшем «Заказчик», в лице президента Матягина Владимира Васильевича, действующего на основании Устава, с другой стороны, вместе именуемые «Стороны», а индивидуально «Сторона», удостоверяем, что Сторонами достигнуто соглашение о величине договорной цены на выполнение НИР в сумме 500 000 (пятьсот тысяч) рублей.

Научно-исследовательская работа не облагается налогом на добавленную стоимость (НДС) в соответствии со статьей 149 НК РФ.

Настоящий протокол является основанием для проведения взаимных расчетов и платежей между Исполнителем и Заказчиком.

Порядок оплаты

№ пп	Наименование	Сумма, руб.
1	Предварительная оплата (50%)	250 000
2	Этап 1. «Разработка методики расчёта производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава Ассоциации «ЦОГ «ГРУЗАВТОТРАНС» регламенты которого не предусматривают проведение капитальных ремонтов»	250 000
ИТОГО:		500 000

Исполнитель
Проректор по научной работе
профессор

Трушко В.Л.

Заказчик
Президент Ассоциации «ЦОГ
«ГРУЗАВТОТРАНС»

Матягин В.В.



196084, г. Санкт-Петербург, наб. Обводного
канала, д.92, Лит А, оф.302
Тел: (812) 365-99-93, факс 371-86-53
e-mail: its_logistic@mail.ru

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ООО «ИТС Логистик»



Д.А. Марченко

Акт внедрения результатов диссертационной работы

Терентьева Алексея Вячеславовича на тему: «Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Терентьева Алексея Вячеславовича использованы при реализации программ по управлению возрастной структурой и типажом парка автомобилей предприятия.

Предложенные и разработанные автором:

- 1) методика оперативного анализа коэффициента технической использования при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля;
- 2) методика оперативного учёта затрат при определении пробега эффективной эксплуатации автомобиля;

применяется для определения оптимального значения пробега и коэффициента технического использования автомобиля предприятия при его списании, как показателей, обеспечивающих минимум затрат на техническую эксплуатацию.

Применение данных методик обеспечило оперативный анализ информации и выработку значений параметров сроков использования автомобилей, повышающих экономию удельных затрат на эксплуатацию парка подвижного состава в ООО «ИТС Логистик».

Заместитель
Генерального директора
ООО «ИТС Логистик»

Маслова Е.Н. | 



27 апреля 2018 г.
г. Миккели, Финляндия

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Терентьева Алексея Вячеславовича на тему

«Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации
автомобиля»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

На основе предложенного в диссертационном исследовании Терентьева Алексея Вячеславовича научного подхода к многокритериальной оценке функционирования автомобильных технических систем разработаны научные и методические материалы, реализуемые предприятием в своей деятельности по подготовке специалистов для автомобильного транспорта.

Разработанный автором метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды является эффективным инструментом получения решений в многокритериальных задачах, решаемых в сложных условиях неопределённого состояния среды исследования, в частности в стохастических автотранспортных задачах. Применение данного метода обеспечивает разработку аналитического аппарата прогнозирования, в автомобильных технических системах управления транспортными процессами в целях обеспечения их экологической и конструктивной безопасности.


Улла Вайникайнен

Ректор

Профессиональный колледж Южного Саво «Esedu», Финляндия



Etelä-Savon ammattiopisto *South Savo Vocational College*

 Mikkeli
PL 304
FI-50101 Mikkeli

 Pieksämäki
Kuusitie 41
FI-76120 Pieksämäki

 Juva
Tirrolantie 7
FI-51900 Juva

www.esedu.fi

 Laskutusosasto
Etelä-Savon Koulutus Oy
TE003722493176
PL 299, 02066 DOCUSCAN
Y-tunnus /ID 2249317-6

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017618101

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Афанасьев Александр Сергеевич (RU), Терентьева Валерия
Алексеевна (RU), Терентьев Алексей Вячеславович (RU)*

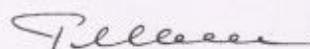
Заявка № **2017614690**

Дата поступления **24 мая 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **21 июля 2017 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивлиев**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017617737

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Афанасьев Александр Сергеевич (RU), Тарасов Иван Владимирович (RU), Терентьев Алексей Вячеславович (RU)*

Заявка № 2017614732

Дата поступления 24 мая 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 июля 2017 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев