

На правах рукописи



Тхай Хиу Чьонг

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ-ТАКСИ В
УСЛОВИЯХ ВЬЕТНАМА**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл - 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»

Научный руководитель: **Ременцов Андрей Николаевич**
кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Денисов Александр Сергеевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Катаргин Владимир Николаевич
кандидат технических наук, профессор, профессор Высшей школы автомобильного сервиса, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

Защита состоится **30 марта 2023г.** в 14ч.00мин. на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская., д. 77, ауд. 426.

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

Автореферат разослан «__»_____20 года. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://minobrnauki.gov.ru>).

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

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



Васильева В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях продолжающегося динамичного развития экономики Социалистической Республики Вьетнам, где ежегодный рост внутреннего валового продукта составляет около 6 % потребность в перевозках грузов, товаров и пассажиров различными видами транспорта постоянно растет. Наибольшие объемы перевозок выполняет автомобильный транспорт, на долю которого приходится более 80 % объёма перевозок грузов и 90 % объёма перевозок пассажиров. Одновременно с экономическим ростом происходит увеличение народонаселения страны, достигшее 98 миллионов человек, что предопределяет необходимость дальнейшего развития пассажирских перевозок. Особенно быстро растет население таких мегаполисов как Ханой и Хошимин.

В ситуации, когда система общественного транспорта уже не отвечает современным потребностям перевозок возросшего пассажиропотока, развитие системы таксомоторных перевозок способствует диверсификации транспортных услуг и удовлетворяет потребности населения в перевозках.

В последние годы система таксомоторных перевозок довольно успешно развивается, но отсутствие последовательных мер в деле организации этих перевозок и государственного управления внутри этой системы существенно мешает дальнейшему прогрессу в данной области. Кроме того, задача успешного развития таксомоторных перевозок осложняется экстремальными климатическими условиями, а также интенсивной и непрерывной эксплуатацией автомобилей-такси.

Ожесточённая конкуренция между официальными и частными перевозчиками приводит к тому, что у «частников» тарифы существенно ниже, чем у государственных такси. В этих условиях таксомоторные предприятия постоянно изыскивают возможности снижения тарифов на перевозку с целью привлечения клиентов.

Производители автомобилей устанавливают нормативы по техническому обслуживанию, исходя из средних климатических и дорожных условий эксплуатации, но не учитывают специфики перевозок пассажиров. Министерство транспорта Вьетнама также устанавливает нормативы по техническому обслуживанию легковых автомобилей без соответствующей корректировки, которая учитывала бы особенности эксплуатации именно автомобилей-такси. Планирование и выполнение технического обслуживания (ТО) в таксомоторных парках (ТМП) осуществляется календарно и применяется для всех автомобилей одной марки.

Таким образом, в настоящее время имеет место противоречие между необходимостью повышения эффективности таксомоторных перевозок путём снижения затрат на поддержание автомобилей в технически исправном состоянии и отсутствием научно-обоснованных методик определения периодичности ТО легковых автомобилей-такси на пост гарантийном периоде, учитывающих как специфику таксомоторных перевозок и их фактические условия эксплуатации, так и современные условия функционирования таксомоторных парков.

Таким образом возникает проблема исследований – какой должна быть методика определения периодичности ТО легковых автомобилей выполняющих таксомоторные перевозки на пост гарантийном периоде эксплуатации в условиях тропиков, что и определяет тему исследований: «разработка методики определения периодичности технического обслуживания автомобилей-такси в условиях Вьетнама». Исходя из изложенного выше, целесообразно проанализировать научные исследования в области совершенствования системы обеспечения технически исправного состояния автомобилей и разработать методику определения периодичности ТО автомобилей-такси на пост гарантийном периоде при эксплуатации в условиях тропиков, на основе минимизации эксплуатационных затрат и определения рационального срока использования автомобилей-такси в таксомоторных парках Вьетнама.

Степень разработанности темы исследования: проблема повышения эффективности системы технической эксплуатации автомобилей, и совершенствования методов корректирования режимов технического обслуживания машин, посвящены труды ряда ученых: Власов В.М., Великанов, Д.П., Дидманидзе, О.Н., Зорин, В.А., Крамаренко, Г.В., Кузнецов, Е.С., Шейнин, А.М., Ушаков, И.А., Võ Trọng Cang., Mai Quốc Vương и другие.

Диссертация выполняется в соответствии с паспортом специальности 2.9.5 – «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Цель диссертационной работы: на основании теоретических и экспериментальных исследований разработать методику определения периодичности технического обслуживания автомобилей такси на пост гарантийном периоде при эксплуатации в условиях тропиков и определить предельный срок их использования в таксомоторных парках Вьетнама с позиции минимизации затрат.

Основные задачи исследования

1. Провести системный анализ существующих методов определения режимов ТО и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта.

2. Сформировать научно-обоснованный методологический подход определения периодичности проведения ТО легковых автомобилей-такси и рационального срока их эксплуатации в условиях Вьетнама.

3. Выявить закономерности изменения технического состояния автомобилей-такси, эксплуатируемых в мегаполисах Вьетнама. на пост гарантийном периоде.

4. Определить функциональные выражения по оптимизации системы обеспечения работоспособного состояния автомобилей-такси, эксплуатируемых в тропиках; построить математическую модель определения периодичности ТО легковых автомобилей-такси и определить рациональный срок их эксплуатации.

5. Провести апробацию разработанных методических положений в реальных условиях таксомоторных парков во Вьетнаме.

Объект исследования: процесс поддержания в технически исправном состоянии автотранспортных средств на пост гарантийном периоде эксплуатации в условиях тропиков.

Предмет исследования: закономерности изменения технического состояния автомобилей-такси, определяющие число и величину интервалов их технического обслуживания в таксомоторных парках Вьетнама.

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей изменения технического состояния автомобилей-такси эксплуатируемых в условиях тропического климата; разработке математической модели определения оптимального числа и величины интервалов технического обслуживания автомобилей-такси на основе минимизации затрат на данные работы на пост гарантийном периоде эксплуатации и определении рационального срока использования легкового автомобиля в качестве такси в городах Вьетнама.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы определяется как совокупность теоретико-методических подходов к разработке методики определения периодичности технического обслуживания автомобилей-такси, определяющих особенности эксплуатации подвижного состава во Вьетнаме. Практическую значимость работы составляет разработанная методика, которая позволяет определять периодичность проведения ТО для автомобилей-такси различных марок, эксплуатируемых в условиях тропиков на пост гарантийном периоде.

Методология и методы исследования

Методы исследования, используемые в диссертационной работе, базируются на основных системных подходах, направленных на разработку научно-обоснованных способов оптимизации периодичности проведения технического обслуживания автомобилей и обработки данных экспериментальных исследований. В работе использованы методы и приемы анализа и синтеза, системного подхода, статистического анализа и математического моделирования решения задач по оптимизации периодичности проведения технического обслуживания автомобилей-такси, эксплуатируемых в условиях Вьетнама.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности изменения технического состояния и математические модели описания типичного потока отказов легковых автомобилей-такси на пост гарантийном периоде в условиях тропиков;
- методика формирования совокупности функциональных показателей, определяющих периодичность ТО легковых автомобилей-такси в мегаполисах Вьетнама;
- математическая модель определения числа и величины интервалов ТО периодичности ТО автомобилей-такси, эксплуатируемых во Вьетнаме;
- процедура и алгоритм расчета математической модели, позволяющие определить периодичность ТО легковых автомобилей-такси в условиях тропиков.

Степень достоверности и апробация работы

основные результаты исследований, приведенные в данной работе, подтверждены в военно-техническом университете (технический университет имени Ле Куй Дона) во Вьетнаме и приняты к использованию на двух таксомоторных предприятиях «Группа такси Май Линь – филиал Ха Тинь» и «Открытое акционерное общество такси – Лам Хонг», а также используются в

учебном процессе московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) при чтении лекций по дисциплине «Техническая эксплуатация автомобилей» и при проведении практических занятий для студентов, обучающихся по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» специализации «Автомобильная техника в транспортных технологиях».

основное содержание и результаты диссертационного исследования были доложены и обсуждалось на следующих ряде конференций:

- Международных научно-методических и научно-исследовательских конференциях МАДИ № 77, 78, 79, 80, г. Москва, Россия, 2019-2022 гг.;

- университета им. И.Я. Яковлева, г. Чебоксары, Россия, 19 марта 2021 г. и 17.03.2022 г.;

- университета им. Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия, 23-24 декабря 2021 г.;

- университета им. П.А. Костычева, г. Рязань, Россия, 13 декабря 2021 г.;

- университета имени И.С. Тургенева, г. Орёл, 16-19 мая 2022 года.

Публикации

По результатам научных исследований подготовлено 9 научных работ по теме диссертации, 4 статьи из которых в изданиях, входящих в рецензируемые научные издания из перечня ВАК РФ по специальности 2.9.5; 1 статья – в публикациях, включенных в базу цитирования Scopus, а также 4 в сборниках докладов и трудов российских конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационное исследование входят введения, четырех глав, общих выводов, списка использованных источников из 99 наименований, в том числе 36 на иностранных языках. Работа состоит из 174 страницы, в том числе 167 страниц основного текст, 56 рисунков, 16 таблиц и 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, обозначены основные цели и задачи, раскрыта научная новизна, отражены теоретическая и практическая значимости исследования.

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса, роль и значение автомобильных пассажирских перевозок в экономике СРВ, в том числе организации производства на предприятиях пассажирского транспорта. Представлен анализ основных характеристик производственно-технической базы (ПТБ) автотранспортных предприятий и факторов, влияющих на эффективность ее функционирования, оценивается эффективность деятельности предприятий системы пассажирского транспорта г. Ханоя и существующие пути развития ПТБ для обеспечения перспективных потребностей пассажирских перевозок городским автомобильным транспортом. В настоящее время автомобильный транспорт СРВ играет важную роль в экономике страны и занимает ведущую роль в перевозке пассажиров в стране. Ежегодно автомобильный транспорт перевозит более 90 % общего объема пассажиров в стране (табл. 1). С ростом населения и дальнейшим экономическим развитием страны, а также с

увеличением потока иностранных туристов спрос на поездки в г. Ханое огромен по сравнению с другими населенными пунктами страны. В среднем каждый год население столицы страны увеличивается на 300 000 человек и, как следствие, спрос на перевозки автомобилями-такси резко возрастает.

Таблица 1

Объем пассажироперевозок в СРВ на всех видах транспорта

Год ы	Всего, млн чел.	В том числе							
		Автомобильный		Речной		Железнодорожный		Воздушный	
		млн чел.	%	млн чел.	%	млн чел.	%	млн чел.	%
2016	3623,20	3401,9	93,89	172,9	4,77	38,6	1,06	9,8	0,27
2017	4027,10	3793,2	94,19	179,9	4,46	44,5	1,10	9,5	0,23
2018	4291,46	4004,68	93,31	229,01	5,33	49,08	1,14	8,69	0,20
2019	4776,72	4427,3	92,68	286,3	5,99	55,08	1,15	8,04	0,16
2020	3712,04	3436,91	92,58	239,09	6,44	32,34	0,87	3,7	0,11
2021	3531,25	3265,12	92,46	236,32	6,29	26,31	0,79	3,5	0,12

Установлено, что в настоящее время стоимость топлива, материалов и запасных частей при выполнении перевозок автомобилями такси значительно возросла, а также увеличились эксплуатационные расходы, в том числе затраты на проведение работ по ТО и ремонту. В настоящее время во Вьетнаме на основе Приказа № 53 от 2014 года «Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств» Министерства транспорта Вьетнама принята планово-предупредительная система ТО (ТО-1; ТО-2) и ремонта автотранспортных средств. На каждом предприятии в обязательном порядке имеется нормативная документация, регламентирующая основное содержание работ. В то же время производители автомобилей устанавливают свою политику технического обслуживания подвижного состава, и она практически полностью зависит от предприятия, поэтому существует объективная необходимость в формировании технического регламента, определяющего режимы технического обслуживания. В этой связи возникает необходимость корректирования нормативов по техническому обслуживанию и ремонту, а именно требуется определить рациональную периодичность ТО, номенклатуру и объемы работ, а также дополнительные работы, обусловленные спецификой эксплуатации автомобилей-такси. Анализ работ ряда авторов в России, определяющих проблему корректирования и оптимизации режимов технического обслуживания показал, что корректирование периодичности ТО возможно разными способами, в том числе оптимизация периодичности по стоимости ТО и ремонтов в зависимости от технического состояния подвижного состава. Эти результаты исследований являются весьма полезными для применения вышеуказанных методов к условиям Вьетнама.

В ходе исследований мной установлено, что основным недостатком действующей методики корректирования режимов ТО легковых автомобилей во Вьетнаме является то, что система ТО основана на правилах производителя автомобилей с соблюдением нормативного положения министерства транспорта Вьетнама. В этой связи необходима разработка методов корректирования периодичности проведения ТО для легковых автомобилей, учитывающих условия эксплуатации такси, что будет способствовать снижению затрат на ТО и ремонт.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что корректирование периодичности ТО автомобилей-такси в условиях Вьетнама является актуальной задачей.

Во второй главе представлены теоретические предпосылки и подходы к разработке математической модели оптимизации периодичности технического обслуживания как при монопериодической системе ТО (на послегарантийном периоде эксплуатации автомобиля), так и при нескольких, рациональных промежутках эксплуатации при постоянном на каждом периоде пробеге между ТО (для автомобилей-такси в г. Ханое).

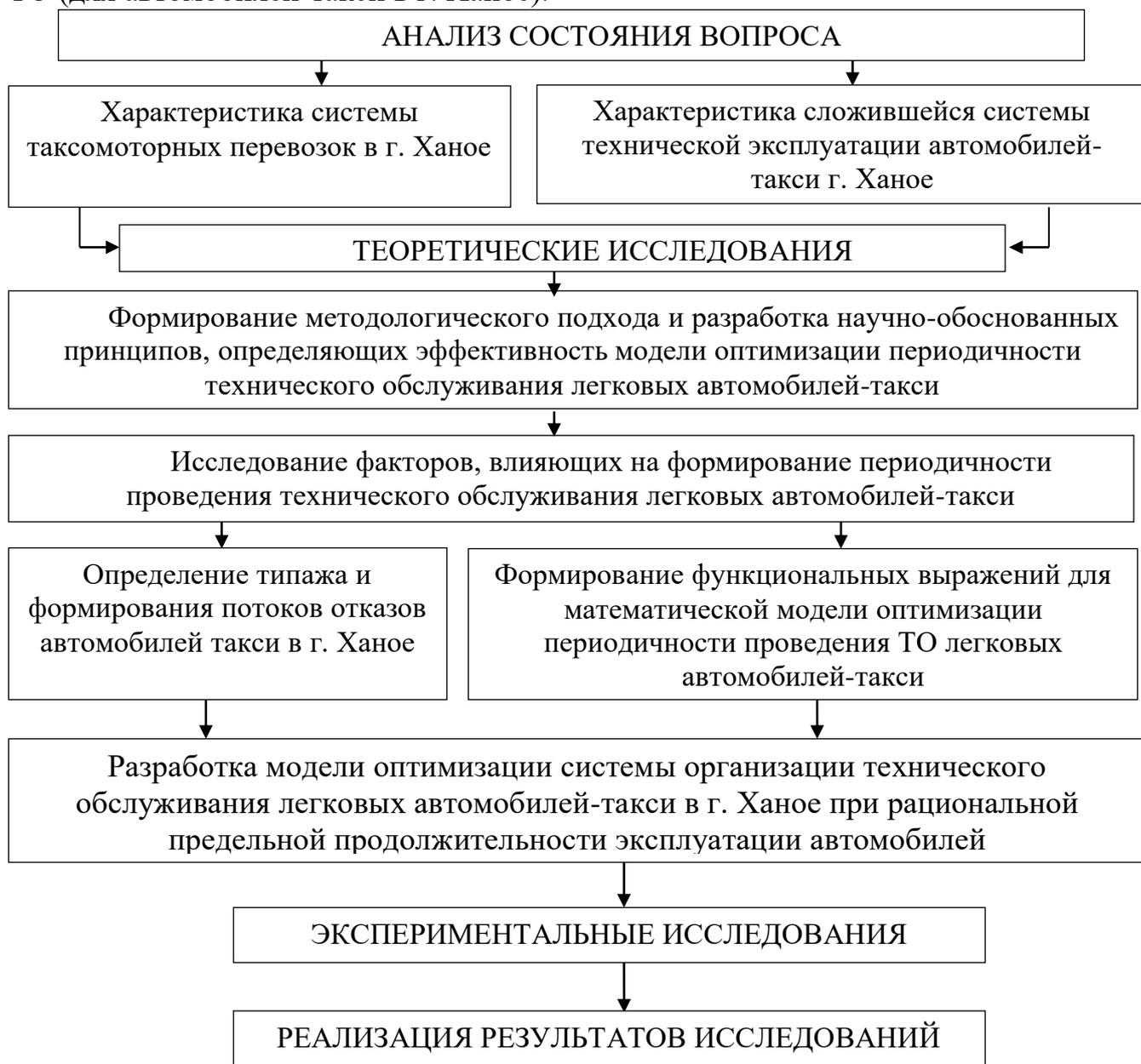


Рис. 1. Методика проведения исследований

Следует отдельно отметить, что на гарантийном периоде эксплуатации автомобиля-такси применяются правила проведения ТО в соответствии с картой обслуживания, формируемой производителем автомобиля, как в отношении объемов и номенклатуры проводимых работ, так и в отношении конкретных значений пробега с начала эксплуатации до проведения того или иного ТО.

Первый этап работы включает в себя формирование методологических подходов, определяющих функционирование модели оптимизации

периодичности проведения ТО легковых автомобилей-такси. Для этого был проведен анализа работ, посвященных методам корректирования, определения, оптимизации режимов ТО, и на этой основе был выработан главный методологический подход, задающий развитие дальнейших исследований (рис. 1).

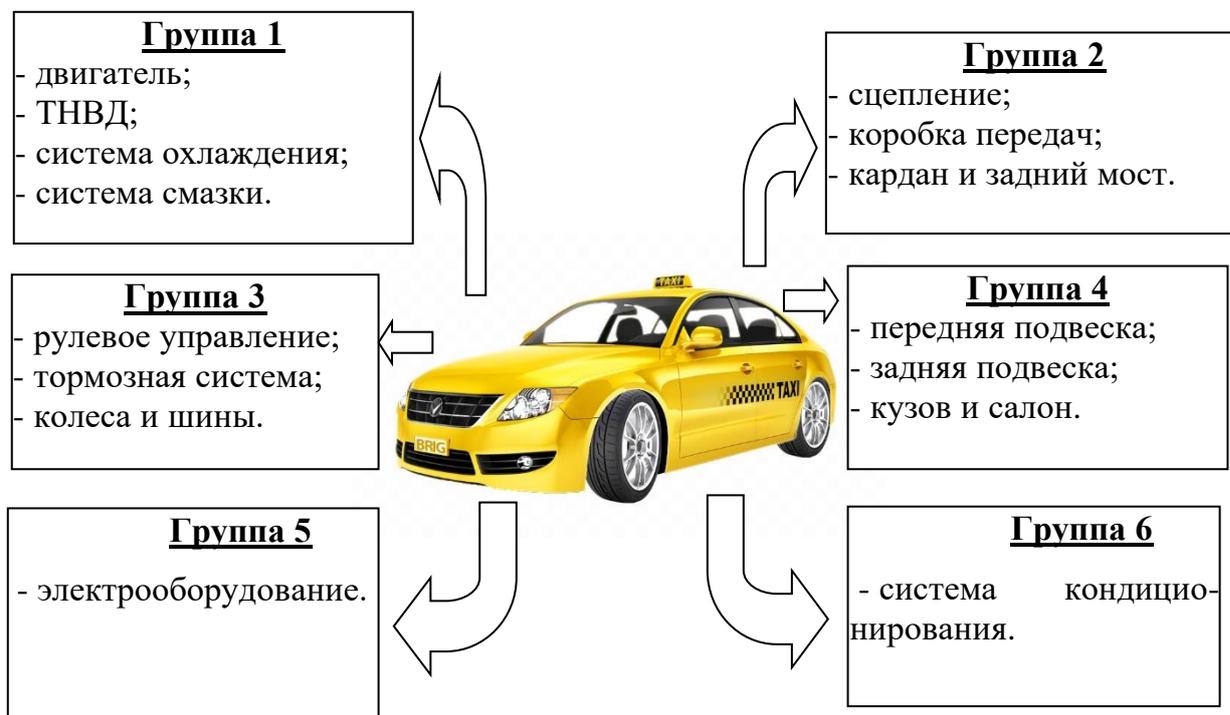


Рис. 2. Формирование групп агрегатов и систем автомобиля по конструктивным признакам

Так как на некоторые системы, узлы и агрегаты, отказавшие в процессе эксплуатации, качество и факт проведения ТО оказывает существенное влияние, а на другие системы – нет или в малой степени, по причине их отсутствия в перечне работ по данному виду технического воздействия (отказы по этим системам узлам и агрегатам могут входить в состав сопутствующего ремонта при ТО), то при построении модели оптимизации периодичности ТО в данной работе был разработан и учтен классификационный признак отказов и неисправностей, названный «степень влияния ТО на отказ» (ранее не использовавшийся в классификации отказов и неисправностей).

Для обеспечения возможности использования разрабатываемой модели в условиях предприятий с небольшим списочным числом подвижного состава и с учетом оперативности принятия решений в работе предложен принцип формирования конструктивных групп узлов, агрегатов и систем легкового автомобиля-такси (рис. 2).

Рассмотрим подробнее различные типы формируемых потоков отказов автомобиля. Полный набор отказов, порождаемых принадлежащими ТМП автомобилями, следует рассматривать как сумму нескольких потоков.

1) Поток № 1 – условно-постоянный, который не зависит от определенного момента времени выполнения технического обслуживания. Установлено, что наблюдение за Формированием потока отказов для восстанавливаемого объекта, стратегией поддержания работоспособности которого избрана стратегия «ремонт

по потребности», показывает, что ведущая функция потока отказа будет представлять из себя сумму функций интегральных законов распределения вероятностей отказа для 1-го отказа, 2-го..., i -го отказа и т.д. При этом, на первом этапе (в границах 0,5-4 средней наработки на отказ) будут видны колебания данной суммарной функции, также как и ее производной – параметра потока отказа, которая в последующем сглаживается и приобретает со временем стабильный или монотонно возрастающий характер. Тем не менее, при исследовании поведения функции w_1 – параметра потока 1-го отказа в пределах эксплуатации автотранспортного средства между двумя моментами последовательно выполняемых технических обслуживаний нам не известно, когда «начался» процесс, и потому можем принять его (т.е. параметр потока отказа) как константную (от пробега после технического обслуживания) величину, во всяком случае, в границах одного интервала «жизни» автотранспортного средства, в рамках которого мы определяем наиболее рациональное и оптимальное значение периодичности проведения технического обслуживания. При выстраивании комплексной группы нормативных значений периодичности для разных (3-х, 4-х и т.д) интервалов эксплуатации автотранспортного средства эту функцию будем наблюдать исследовать как довольно монотонную зависимость от пробега как после начала интервала, так и после начала эксплуатации в целом. Данную зависимость (а не строгую постоянность) без сомнений необходимо учитывать как при обработке статистики для того, чтобы наиболее точно найти параметры потока, зависящего от (данного, конкретного) момента выполнения ТО, так и при построении зависимости функции (C_{15}) от возраста автотранспортного средства. При определении наиболее оптимальной и эффективной периодичности выполнения ТО данный поток в границах одного интервала можно, как уже было сказано выше, в первом приближении принять константой и равным среднему интегральному значению по каждому j -му интервалу. К потоку № 1 будем приписывать неисправности и отказы по тем деталям, узлам и агрегатам, на техсостояние и работоспособность которых в ходе выполнения ТО не оказывается значительного влияния. При разработке алгоритмов поиска решения (оптимального набора периодичностей технического обслуживания) учет влияния потока № 1 на общие финансово-экономические затраты по поддержанию работоспособности автотранспорта проявляется главным образом на тех этапах, когда учитываются факты и закон распределения вероятностей выбытия автомобиля такси из эксплуатации раньше назначенного предельного срока эксплуатации, а также на этапе определения рационального срока эксплуатации автомобиля.

2) Поток № 2 – поток, зависящий от (данного, конкретного) момента выполнения технического обслуживания. Неисправности (отказы), входящие в него, формируются процессами, задающими изменение технического состояния автотранспортного средства и на которые были выполнены воздействия при выполнении работ ТО, выполнив приведение их в «изначальное состояние». Определим параметры этого потока таким образом. «Допустим математическое ожидание для закона распределения вероятностей (ЗРВ) отказа по пробегу подчиняется той же функции (виду функции), что и параметр потока отказа для

потока № 1. Вид функции ЗРВ отказа по пробегу остается в основном постоянным на протяжении всего интервала, и даже всей жизни автотранспортного средства.

Кроме потоков № 1 и № 2, описанных выше по тексту, формируются также следующие потоки отказов:

3) Поток № 3 – этот поток по своему поведению близок к поведению потока № 1, хотя и происхождение его иное. В данный поток поступают неисправности (отказы) по деталям, узлам и агрегатам, которые необходимо отнести к потоку № 2, но они выпадают из него, с учетом, как уже было сказано выше, того, что есть некая часть некачественно выполняемых работ при техническом обслуживании. При каждом техническом обслуживании это могут быть различные системы, однако в целом «поток» недоделок от разных автотранспортных средств в общий поток проходит систематически, в связи с чем обоснованно принять для отказов из этого перечня модель потока, представленную для потока № 1.

4) Поток № 4 – данный поток по характеру своего поведению тоже может быть рассмотрен как близкий к поведению потока № 1. Он состоит из неисправностей по узлам, системам и агрегатам, входящим в «перечень обработки» при первом техническом обслуживании. Данный вид технического обслуживания, и потому для параметра потока соответствующих отказов автотранспортного средства может быть принят вид функции $= \text{const}$ (const с небольшой колебательной составляющей) на периоде между двумя идущими друг за другом техническими обслуживаниями. При обработке статистических данных отказы, относящиеся к потоку № 4, следует удалить из выборки, как не входящие в сферу анализа поставленной задачи рационализации и оптимизации, т.е. мало подверженные влиянию качества выполнения работ, относящихся к анализируемому виду технического обслуживания.

5) Поток № 5 – поток, формируемый внезапными неисправностями и отказами. По аналогии с исследованием потока № 1 принимаем данный параметр потока отказа в данном случае константой по каждому интервалу всего жизненного цикла автотранспортного средства, т.е. зависимым от общего накопленного пробега автотранспортного средства, но не от пробега, накопленного после проведенного очередного технического обслуживания.

6) Поток № 6 – поток отказов на этапе приработки. Действует на начальном этапе эксплуатации автотранспортного средства. Его функциональный вид, параметры распределения также могут быть сформированы из статистических данных, но и он принимается независимым от конкретных моментов выполнения технического обслуживания, и в данном исследовании не играет заметной роли в связи с тем, что, как было сказано выше, во время гарантийного периода эксплуатации автотранспортного средства после выполнения ТО подчиняется условиям, задаваемым в карте обслуживания, формируемой фирмой-производителем автомобиля.

В соответствии с проведенным анализом и с учетом рассмотренных ранее положений мной было установлено, что всю совокупность отказов и неисправностей автомобиля-такси можно представить, как группу из шести основных (зависимых и независимых от момента проведения ТО) подпотоков.

Необходимо отметить, что построение схемы регулирования периодичности ТО в данной работе проводилось на примере ТО-2, регламентируемого в настоящее время «Приказом № 53 от 2014 года Министерства автомобильного транспорта Вьетнама». Так как данный вид ТО носит экономическую направленность, т.е. напрямую не связан с поддержанием работоспособности систем, узлов и агрегатов, влияющих на безопасность, то при построении критерия эффективности принятия решений в данной методике рассматривались экономические составляющие, связанные с изменением периодичности ТО-2.

Таблица 2

Экономические составляющие модели определения периодичности ТО

	$C_{1j}(l_{i_{TO}}, L) = Kc_j / l_{i_{TO}}$
затраты на оплату труда рабочих	$C_{11}(l_{i_{TO}}, L) = Kc_1 / l_{i_{TO}}$
затраты на электроэнергию	$C_{12}(l_{i_{TO}}, L) = Kc_2 / l_{i_{TO}}$
затраты на амортизацию оборудования, зданий и сооружений	$C_{13}(l_{i_{TO}}, L) = Kc_3 / L_{год} = (Kc_3 * L_{ТО}) / (l_{i_{ТО}} * L_{год})$
недополученная прибыль от снятия с эксплуатации автомобиля на время проведения ТО	$C_{14}(l_{i_{TO}}, L) = Kc_4 / l_{i_{ТО}}$
затраты на эксплуатацию автомобиля со скрытыми неисправностями	$C_{15}(l_{i_{ТО}}, L) = Kc_5 / l_{i_{ТО}}$
Затраты на выполнение текущего ремонта	
	$C_{2j}(l_{i_{ТО}}, i) = \frac{1}{l_{i_{ТО}}} \times \frac{1}{S_i} \times \frac{1}{L_{i_n}} \times \int_0^{L_{i_n} + S_i} (K_{6,j} \times w_{2,j}(l, s)) ds \cdot dl$
оплата работы рабочих	$K_{61,j} = T_{pj} * Z_p$
средняя стоимость необходимых запасных частей	$K_{62,j}$
недополученная прибыль, связанная с простоем автомобиля в ремонте	$K_{63,j} = T_{Lj} * П_p$
средние затраты на перерасход топлива, масла	$K_{64,j} = T_{Hj} * C_{Tj}$
средние затраты на доставку автомобиля в парк при возникновении отказа	$K_{65,j} = P_j * C_d$

В качестве функциональных показателей в разрабатываемой методике приняты экономические составляющие в виде удельных затрат (руб. /тыс. км).

Составляющие целевой функции оптимизации периодичности ТО имеют вид, показанный в таблице 2 с размерностью руб./тыс. км. Здесь:

$Kc_1 \div Kc_5$ – коэффициенты, представляющие собой соответствующие затраты на проведение одного ТО;

L – возраст автотранспортного средства, в тыс. км пробега;

$L_{год}$ – годовой пробег всего парка автомобилей АТП;

D_{ni} – период времени перед выполнением ТО;

l_{cc} – среднесуточный пробег автотранспортного средства;

K_{5j} – коэффициент, включающий в себя дополнительные расходы, которые обусловлены эксплуатацией одного АТС имеющего неисправности, оказывающий влияние на экономические показатели;

N_{sj} – количество систем, которые должны учитываться при построении j -го потока;

Tr_j – средняя трудоемкость ремонта по отказам из « j »-й группы чел. час

Zp – стоимость одного человеко-часа;

$w_{j,k}(l, L)$ – параметр потока отказа по « k »-й системе в той части, которая входит в формирование « j »-го потока отказов;

l – пробег после очередного ТО;

k – номер (укрупненной) системы автомобиля;

S_i – длина i -го интервала постоянства периодичности ТО;

C_d – стоимость транспортировки автомобиля с линии в АТП;

$K_{6,j}$ – коэффициент, представляющий из себя средние затраты, связанные с одним отказом из « j »-й группы;

T_{lj} – средние потери линейного времени, связанные с одним ремонтом по отказам из « j »-й группы;

Pr – средняя прибыль, получаемая при эксплуатации одного автомобиля в единицу времени;

P_j – вероятность необходимости транспортировки подвижного состава при возникновении отказа из « j »-й группы;

$Ст_j$ – средние затраты на перерасход при эксплуатации подвижного состава с (необнаруженной) неисправностью из « j »-ой группы;

T_{nj} – среднее время эксплуатации подвижного состава с неисправностью из « j »-й группы до ее устранения (время на обнаружение, доставку в ремонтную зону).

Учитывая функциональные показатели оценки периодичности ТО (табл. 2) и закономерности формирования потоков отказов, вид целевой функции (в пределах одного i -го интервала) будет следующий:

$$C_{\Sigma}(l_{i_{ТО}}) = \sum_{j=1}^k C_{1j}(l_{i_{ТО}}, L_{i_n}, L_{i_g}) + \sum_{j=1}^{N_{S_2}} C_{2j}(l_{i_{ТО}}, L_{i_n}, L_{i_g}) \rightarrow \min_{l_{i_{ТО}}} \quad (1)$$

где: $l_{i_{ТО}}$ – периодичность выполнения ТО на рассматриваемом « i »-м интервале пробега;

L_{i_n} – начало « i »-го интервала (нижняя граница интервала постоянства периодичности ТО);

L_{i_g} – конец « i »-го интервала (верхняя граница интервала постоянства периодичности ТО);

C_{1j} – удельные затраты (связанные в основном с единичным проведением ТО), преимущественно убывающие при увеличении $l_{i_{ТО}}$;

K – количество составляющих затрат C_{1j} ;

C_{2j} – удельные затраты (связанные в основном с нарастанием потоков отказов), преимущественно нарастающие при увеличении $l_{i_{ТО}}$;

В соответствии с (1) формулировка задачи оптимизации второго этапа будет выглядеть:

$$Z_a = \sum_{i=1}^{N_{\text{int}}} \left(\sum_{j=1}^k C_{1j} (l_{i_{\text{TO}}}, L_{i_n}, L_{i_g}) \cdot (L_{i_g} - L_{i_n}) + \sum_{j=1}^{Ns_2} C_{2j} (l_{i_{\text{TO}}}, L_{i_n}, L_{i_g}) \cdot (L_{i_g} - L_{i_n}) \right) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\overbrace{M_n \subset \{l_{1_{\text{TO}}}, l_{2_{\text{TO}}}, \dots, l_{N_{\text{int}}_{\text{TO}}}, L_{2_n}, L_{3_n}, \dots, L_{N_{\text{int}}_n}, N_{\text{int}}\}} \rightarrow \min$$

Z_a – полные издержки, связанные с поддержанием работоспособности такси за срок эксплуатации.

На последнем этапе проводится оптимизация принимаемых сроков продолжительности эксплуатации автомобилей-такси, для которых организовано поддержание работоспособности в соответствии с предлагаемой методикой, с позиции повышения средних удельных издержек на 1 км эксплуатации 1 автомобиля-такси (руб./км) за весь срок эксплуатации:

$$\left(\frac{Z_a(T_{np}) + f(Z_r)}{T_{np}} + g(T_{np}) \right) \xrightarrow{(T_{np}, M_n)} \min \quad (3)$$

где: Z_r – затраты на приобретение такси;

$f(Z_r)$ – функция, задающая полные потери, связанные с вложением средств в приобретение автомобиля такси и включающая в себя, помимо полной стоимости, потери от банковского кредитования соответствующих средств, либо замороженных с точки зрения получения банковских дивидендов, в зависимости от принятой финансовой стратегии АТП;

$g(T_{np})$ – удельные эксплуатационные затраты на единицу пробега за весь срок эксплуатации T_{np} , изменяющиеся с увеличением суммарного накопленного пробега автомобиля (расходы на топливо и иные расходные материалы);

T_{np} – регламентируемая продолжительность эксплуатации автомобиля-такси;

$l_{i_{\text{TO}}}$ – периодичность проведения ТО на рассматриваемом i -м интервале пробега;

L_{i_n} – начало « i »-го интервала (нижняя граница);

N_{int} – количество интервалов постоянства периодичности ТО.

На последнем этапе учитывается то, что с ростом сроков списания автотранспортных средств не только с некоторого момента будут увеличиваться затраты на ремонт на километр пробега что связано с ростом потоков неисправностей, но также и затраты на горючее, возможные потери эксплуатационных доходов, которые напрямую связаны с уменьшением времени пребывания подвижного состава и соответствующим снижением прибыли, получаемого от процесса перевозки. Иллюстрация поиска оптимального решения приводится на рис. 3.

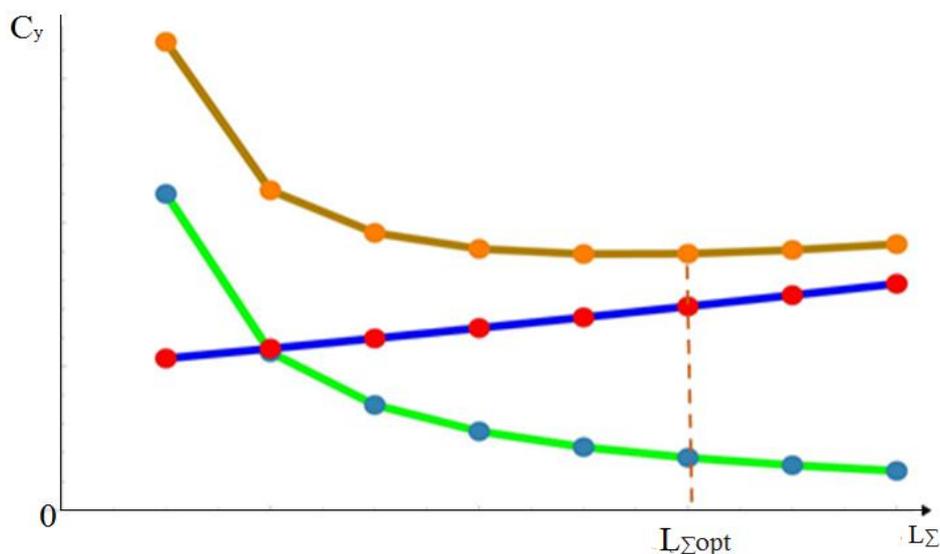


Рис. 3. Визуализация целевой функции и рациональное решение для задачи третьего уровня оптимизации по суммарному накопленному пробегу автомобиля L_{Σ}

Комплексная последовательная реализация алгоритма определения оптимального набора аргументов модели оптимизации периодичности ТО позволяет получить следующие выходные данные:

- оптимальное количество интервалов постоянства периодичности ТО (количество интервалов на всем жизненном цикле автомобиля, в каждом из которых будет выдерживаться постоянное значение периодичности ТО) – N_{int} ;
- границы (нижняя и верхняя) интервалов постоянства периодичности ТО – L_{in} и L_{iv} ;
- значение оптимальной периодичности ТО в каждом из интервалов постоянства периодичности – l_{ito} .

В третьей главе в соответствии с общей методикой представлены экспериментальные исследования, заключающиеся в получении реальных экспериментальных данных о техническом состоянии автомобилей-такси, эксплуатируемых в условиях Вьетнама, динамике его изменения, о параметрах потоков отказов, параметрах, описывающих закон распределения вероятностей списания автомобиля и т.д. Перечень задач, формирующих достижение цели практических исследований, может быть сведен к следующему набору задач:

- отбор объекта экспериментальных изысканий;
- выбор параметров окружения (качество предприятий, водителей, зоны эксплуатации и т.д.);
- сбор исходных данных;
- выполнение самого эксперимента;
- обработка полученных данных в результате выполненного эксперимента.

Экспериментальные исследования проводились на базе «Группа такси Май Линь - филиал Ха Тинь». В г. Ханое. Парк ТМП на момент проведения экспериментальных исследований составляет 690 единиц, в том числе: Toyota Vios – 120 единиц; Kia Morning – 210 единиц; Hyundai Grand i10 – 198 единиц; Kia Picanto - 162 единицы. В рамках формирующего эксперимента была определена группа исполнителей, в состав которой входили водители, ремонтные рабочие, механики и работники технического отдела. На следующем этапе проведения формирующего эксперимента с целью обеспечения достоверности

экспериментальных исследований был определен объем выборки, т.е. количество объектов наблюдения n или лимитируемое число отказов r за период испытаний, из генеральной совокупности N , то есть из общего числа объектов (автомобилей-такси).

Ввиду того, что интенсивность возникновения отказов и неисправностей легковых автомобилей-такси может изменяться в зависимости от зимнего, весеннего, летнего и осеннего периодов эксплуатации, календарный срок сбора статистической информации должен составлять не менее 12 месяцев.

Отказы, рассматриваемые здесь и приводящие к экономическому эффекту в связи с оптимизацией временных характеристик режимов организации и проведения ТО, в большой степени связаны с процессами износа, разрушения и т.д. и имеют законы распределения вероятностей возникновения отказа по пробегу, близкие к нормальному закону (или в некоторых случаях к распределению Вейбула-Гнеденко). Количество автомобилей n определяется из установленного количества отказов при заданной точности оценок и доверительной вероятности. В нашем случае число объектов испытаний было принято $n=20$ АТС разных возрастных групп и с разной пробеговой структурой. Подвижной состав проходил отбор так, чтобы их общее количество было возможно распределить на 3 группы по пробегу с начала эксплуатации:

- АТС имеющие пробег $0 < L \leq (0,25 \div 0,30)L_p$;
- АТС имеющие пробег $(0,25 \div 0,30)L_p < L \leq (0,70 \div 0,75)L_p$;
- АТС имеющие пробег $(0,70 \div 0,75)L_p < L$.

С целью обеспечения достоверной точности эксперимента разработана система сбора и обработки статистической информации, включающая:

- первичную паспортную информацию;
- первичную текущую информацию;
- накопительную информацию;
- выходную информацию.

В результате обработки первичной паспортной и текущей информации была получена основная накопительная информация, состоящая из:

- математического ожидания по экспериментальной выборке;
- среднеквадратического отклонения, коэфф. вариации;
- распределения поля исходных данных (рис. 4).

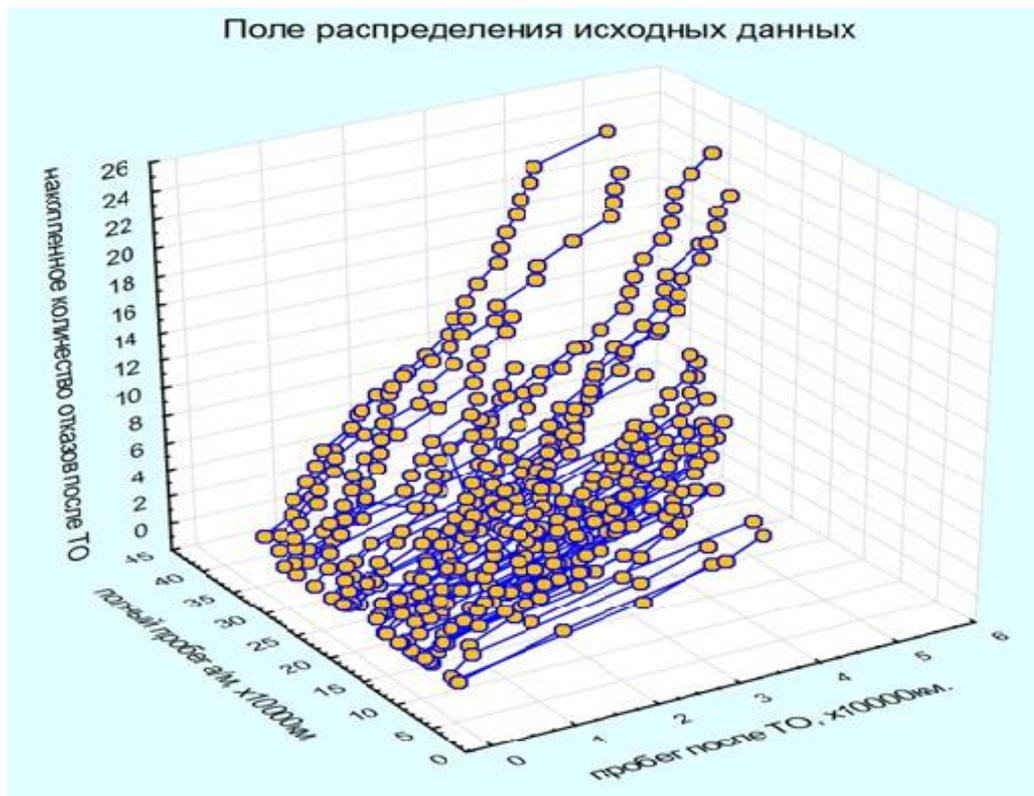


Рис. 4. Распределение поля исходных данных

Дальнейшая обработка накопительной информации, с учетом сформированных во второй главе принципов и подходов, позволила получить выходную информацию для последующей оценки и анализа технического состояния легковых автомобилей-такси. Вся выходная информация представляет собой потоки отказов легковых автомобилей-такси, зависящих и независимых от момента проведения ТО. На рис. 5 показано графическое представление функции потока отказов для систем, узлов и агрегатов автомобиля-такси, относящихся к группе 1, в зависимости от пробега после проведения ТО и от полного суммарного пробега автомобиля.

Полученные статистические характеристики для групп потоков отказов, зависящих от момента проведения ТО, строились в соответствии с описанной во второй главе гиперболической аппроксимацией, а для групп отказов, независимых от момента проведения ТО, с учетом слабой зависимости параметров подобных потоков отказов от малых пробегов после ТО – в соответствии с линейной аппроксимацией.

Подбор функций аппроксимации проводился с помощью программного пакета «Statistica 12». Качество полученного результата определялось в соответствии с критерием R-square (коэффициент детерминации). Полученные выражения для функций $w(L_{\Sigma}, l)$ имели значения критерия R-square от 0,56 до 0,81 в зависимости от групп неисправностей, что является подтверждением достоверности найденных выражений.

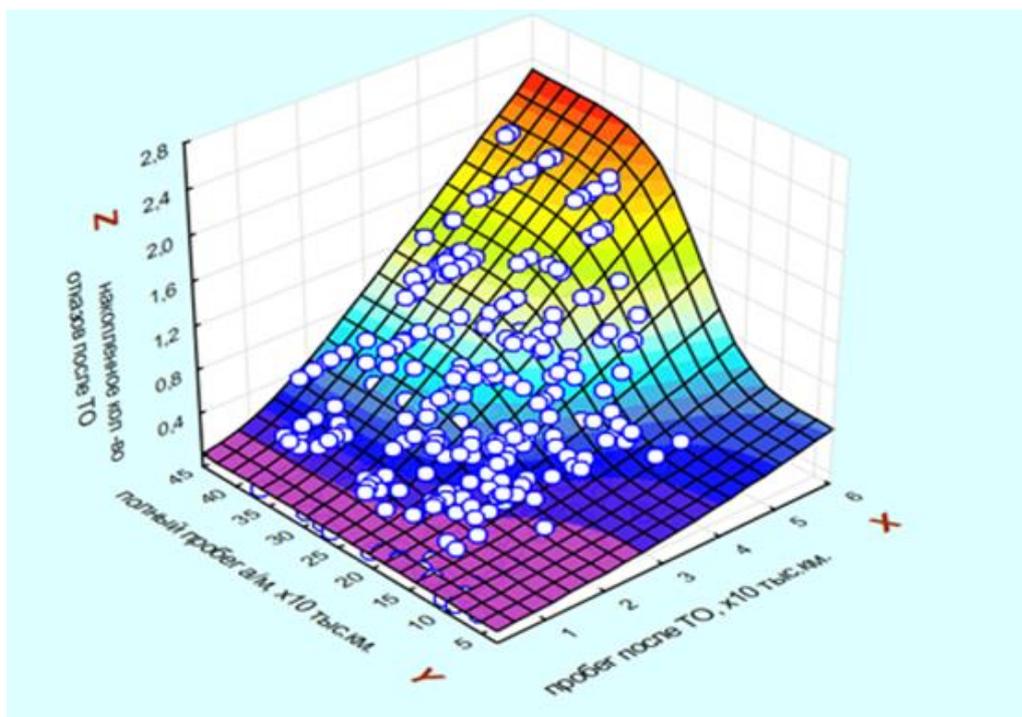


Рис. 5. Графическое представление потока отказов зависимых от момента проведения ТО для систем, узлов и агрегатов группы 1

В четвертой главе для проведения анализа эффективности изменения планирования проведения ТО в ТМП Май Линь был разработан алгоритм проведения расчетов по созданной и описанной во второй главе математической модели.

На первом этапе реализации алгоритма после сбора данных и нахождения зависимостей ведущих функций потоков отказов, построенных отдельно для каждой из конструктивных групп, а также отдельно по потокам отказов, участвующим в построении модели, производилась их компиляция в одну ведущую функцию потока затрат с весовыми стоимостными коэффициентами. Далее из ведущей функции потока затрат формировалась зависимость удельных затрат на соответствующие ремонты. Также с целью повышения точности расчетов и проведения масштабирования границ интервалов постоянства периодичности ТО и самих периодичностей ТО под текущее значение был введен коэффициент корректировки.

Для обеспечения возможности проведения расчетов по описанной математической модели за реальное время в созданном алгоритме был использован следующий подход. Обозначим через $u(L_{\Sigma}, I_{ТО})$ функцию удельных (на один автомобиле-километр) затрат, включающую в себя полный рассматриваемый набор затрат и издержек – удельные затраты от эксплуатации автомобиля-такси, включающие затраты на приобретение автомобиля и корреспондирующие с этим потери, усредненные удельные затраты на расходные материалы, включая расход топлива и масла, с учетом средних пробегов и т.д., а также затраты на поддержание работоспособности автомобиля, и представляющую из себя точечное значение, определяемое для некоторого заданного суммарного накопленного пробега автомобиля и заданной периодичности технического

обслуживания l_{TO} . На основе первичной образующей этой функции формируется функция накопленных издержек $U(L_\Sigma, l_{TO})$, равная:

$$U(L, l_{TO}) = \int_0^L u(L_\Sigma, l_{TO}) dL_\Sigma \quad (4)$$

В этом выражении интегрирование производится по параметру L_Σ от 0 до L при постоянном значении l_{TO} , т.е. по пути интегрирования, представляющему из себя линию, параллельную оси 'Y' на рисунке 6 и отстоящему от оси 'Y' на расстояние l_{TO} .

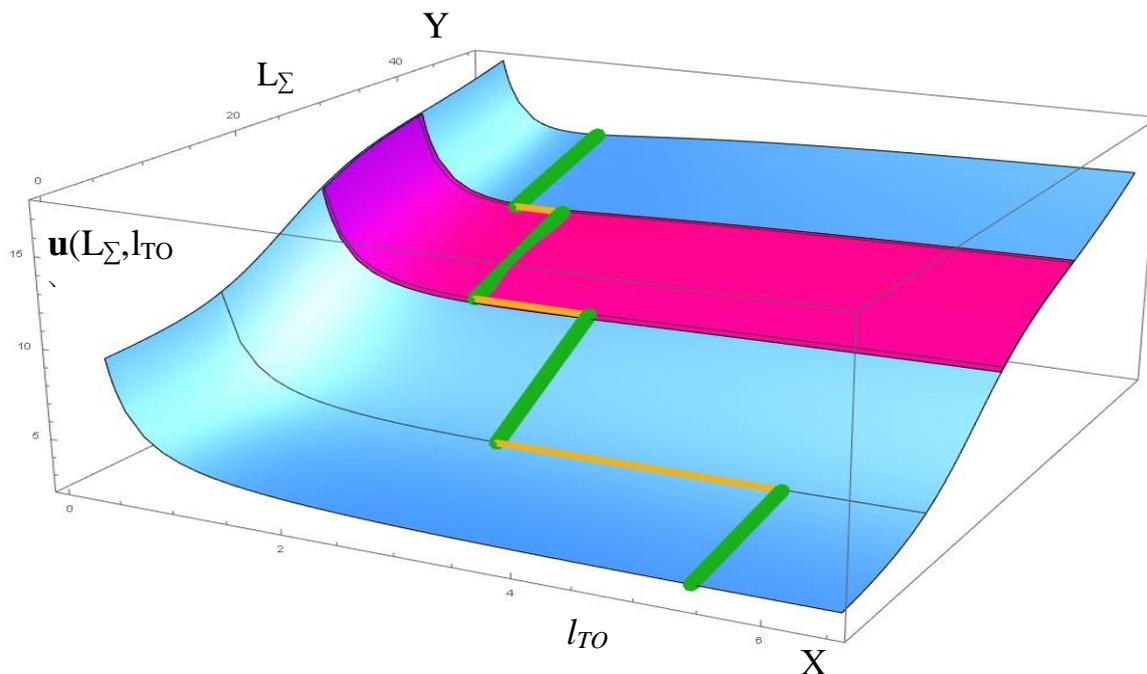


Рис. 6. Визуализация схемы формирования ускоренного поиска рационального набора $\{l_{TO_i}\}$

При этом среднее удельное значение равно:

$$\bar{u}(L_m, l_{TO}) = \frac{U(L_m, l_{TO})}{L_m} \quad (5)$$

При этом для некоторого набора границ постоянства l_{TO} можно написать:

$$U(L_m, \{l_{TO_i}\}) = \sum_{i=1}^N \int_{L_{i-1}}^{L_i} u(L_\Sigma, l_{TO_i}) dL_\Sigma \quad (6)$$

В этом случае интегрирование проводится по «ломаному» пути интегрирования, как показано на рисунке 6.

Здесь функция $u(L_\Sigma, l_{TO})$ показана бирюзовым цветом, при этом один из интервалов постоянства периодичности показан малиновым цветом. Весь путь интегрирования показан линиями желтого и зеленого цветов, при этом ненулевые составляющие конечного интеграла формируются на отрезках, показанных зеленым цветом. Эти отрезки – пути интегрирования по оси «Y», имеющие по оси «X» координаты l_{TO_i} для каждого интервала с номером «i».

Так как значения (в каждом элементе суммирования, в каждом i -м интервале) зависят только от значения L_{TO_i} этого интервала и не зависят от значений периодичностей ТО в других интервалах, то оптимальное значение L_{TO_i} находится отдельно для каждого i -го интервала как минимум по L_{TO} от разницы $U(L_i, L_{TO}) - U(L_{i-1}, L_{TO})$. Таким образом производилось построение функций $C_{уд}(L_{TO}, L_n, L_B)$ (с учетом закона распределения вероятностей списания автомобиля по пробегу).

Таблица 3

Скорректированные значения верхней границы диапазонов постоянства периодичности ТО

К-во диапазонов	Сопт _i	Значения верхней границы диапазонов постоянства периодичности ТО							
		1-го	2-го	3-го	4-го	5-го	6-го	7-го	8-го
0	2523,2	----							
1	2387,3	90							
2	2280,9	49,37	90						
3	2252,0	31,56	62,96	90					
4	2241,6	23,51	51,62	72,51	90				
5	2235,6	23,51	42,53	60,69	75,88	90			
6	2233,1	23,51	35,74	52,67	66,66	77,06	90		
7	2231,0	18,21	32,87	45,99	59,11	71,02	79,23	90	
8	2231,0	18,21	26,67	42,11	55,26	66,56	77,112	82,64	90

Таблица 4

Скорректированные значения периодичности ТО по диапазонам постоянства L_{TO}

К-во диапазонов	Периодичность ТО по диапазонам постоянства L_{TO}							
	$L_{TO} 1$	$L_{TO} 2$	$L_{TO} 3$	$L_{TO} 4$	$L_{TO} 5$	$L_{TO} 6$	$L_{TO} 7$	$L_{TO} 8$
0	----							
1	1,6							
2	3,81	0,86						
3	5,83	1,62	0,65					
4	7,26	2,17	1,02	0,53				
5	7,26	2,52	1,40	0,80	0,45			
6	7,26	2,83	1,74	1,08	0,70	0,45		
7	8,43	3,39	2,03	1,35	0,92	0,65	0,43	
8	8,43	3,92	2,38	1,52	1,05	0,75	0,54	0,37

Результаты расчетов, проведенных для нескольких вариантов-ступеней (для количества интервалов от 0 до 8) представлены далее в виде таблиц. В таблицах 3 – 4 даны скорректированные значения, полученные при согласовании оптимальной периодичности L_{TO} и длины интервала постоянства L_{TO} .

В результате проведенных расчетов было определено, что рациональным предельным сроком эксплуатации автомобиля может быть принято значение в интервале от 6 до 7 лет, в зависимости от изменения привходящих факторов влияния окружающей среды, стоимостных переменных окружения, которые в

ходе эксплуатации автомобиля будут меняться и в настоящее время могут быть спрогнозированы с недостаточной точностью.

По сравнению с текущей ситуацией снижение удельных эксплуатационных затрат при переходе на ограничение срока эксплуатации автомобилей-такси в г. Ханое в соответствии с расчетными рекомендациями может достигать 4,6 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного системного анализа работ в области технической эксплуатации транспортных средств научно доказана необходимость совершенствования нормативно-технической базы по ТО, установленной ранее как «Приказ № 53 от 2014 г. Министерства автомобильного транспорта Вьетнама», так и регламентами (рекомендациями) заводов-изготовителей легковых автомобилей-такси, связанная с совершенствованием и разработкой методов формирования и оптимизации режимов ТО легковых автомобилей-такси.

2. Научно обоснован методологический подход к оптимизации периодичности проведения технического обслуживания автомобилей-такси, в основе которого лежат такие принципы как: зависимость потока отказов от момента проведения ТО, структурирование потоков отказов по системам и агрегатам, разделение потока отказов на зависимые и независимые от планового обслуживания.

3. В результате теоретических исследований определена совокупность оценочных показателей модели оптимизации периодичности технического обслуживания (удельные издержки, количество интервалов постоянства ТО, границы интервалов, периодичность внутри интервалов, рациональный срок эксплуатации), установлены закономерности возникновения и формирования потоков отказов автомобилей-такси.

4. Разработана методика и сформирована математическая модель определения периодичности проведения технического обслуживания автомобилей-такси в условиях Вьетнама.

5. Разработан алгоритм поэтапного определения оптимальной периодичности ТО автомобилей-такси, выходными параметрами которого являются количество интервалов постоянства ТО, границы интервалов, оптимальные периодичности в каждом из интервалов.

6. Результаты проведенных расчетов подтвердили возможность получения экономического эффекта от внедрения разработанной методики в размере 4,6 % при рациональном сроке эксплуатации автомобиля-такси в условиях Вьетнама до 7 лет.

7. Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлениях оптимизации перечня и трудоемкости работ при проведении ТО, комплексной оценки методов оптимизации режимов ТО легковых автомобилей-такси, разработки нормативов (технического регламента) по ТО легковых автомобилей-такси, эксплуатируемых в условиях Вьетнама.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях:

1. Ременцов, А.Н. Особенности эксплуатации и технического обслуживания автомобилей-такси в городах Вьетнама / А.Н. Ременцов, Тхай Хиу Чьонг // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 1. – С. 52-58.
2. Ременцов, А.Н. Роль таксомоторного транспорта в обеспечении пассажирских перевозок в г. Ханое / А.Н. Ременцов, Тхай Хиу Чьонг, Ву Ван Хиёу // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 3. – С. 82-88.
3. Тхай Хиу Чьонг. Проблемы поддержания работоспособности автомобилей-такси в г. Ханой и пути их решения / Тхай Хиу Чьонг, А.Н. Ременцов, В.А. Егоров // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 2. – С. 22-28.
4. Тхай Хиу Чьонг. Корректирование периодичности технического обслуживания автомобилей-такси, эксплуатируемых в тропиках / Т.Х. Чьонг, А.Н. Ременцов, В.А. Егоров // Мир транспорта и технологических машин, 2022. – № 3-5 (78). – С. 3-10.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus:

5. Huy Truong Thai. Taxi transport characteristics in Vietnam / Huy Truong Thai., Andrey Rementsov., Khac Minh Nguyen., Anh Tuan Le // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 832, issue 1.– Art.012070.

статьи в других научных изданиях

6. Тхай Х. Ч. Особенности эксплуатации пассажирских перевозок такси в г. Ханое / Тхай Хиу Чьонг, А.Н. Ременцов // Особенности технолого-технической подготовки молодых специалистов: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 30-летию технолого-экономического факультета, Чебоксары, 19 марта 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2021. – С. 263-268.
7. Тхай Х. Ч. Процесс технического обслуживания легковых автомобилей на таксомоторных предприятиях в городе Ханой Вьетнама / Тхай Хиу Чьонг, А.Н. Ременцов // Современное состояние и перспективы развития механизации сельского хозяйства и эксплуатации транспорта: сборник научных трудов по материалам национальной научно-практической конференции, посвященной 95-летию д-ра техн. наук, проф. А. А. Сорокина, Рязань, 13 декабря 2021 г. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева, 2021. – С. 193-199.

8. Тхай Х.Ч. Влияние эксплуатационных факторов на техническое состояние автомобилей в Ханое / Тхай Хиу Чьонг, А.Н. Ременцов, В.А. Егоров // Автомобильный транспорт: эксплуатация и сервис: сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 95-летию академика РАО Г.Н. Волкова, Чебоксары, 14 апреля 2022 г. – Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2022. – С. 55-64.
9. Тхай, Х.Ч. Характеристика таксомоторных парков и ремонт автомобилей такси в городе Ханое / Т.Х. Чьонг, А.Н. Ременцов, В.А. Егоров // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава: сборник научных трудов по материалам 80-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 25-26 января 2022 г. / под общей редакцией А.А. Солнцева. – М.: МАДИ, 2022. – С. 196-201.

Подписано в печать г. Москва; Формат 60x84/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии «Реглет», 125319, Москва, ул. Черняховского, д. 4а