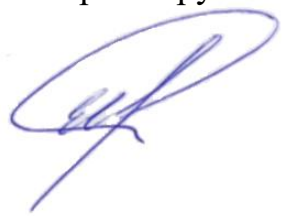
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тюменский индустриальный университет»

На правах рукописи



Козин Евгений Сергеевич

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук, профессор
Захаров Николай Степанович

Тюмень 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА 13
1.1. Описание проблемы 13
1.2. Управление технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта 15
1.3. Анализ существующих исследований по управлению технической эксплуатацией на предприятияъ автомобильного транспорта 36
1.4. Анализ факторов, влияющих на управление технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта 66
1.5. Формирование концепции управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях 75
1.6. Цель, задачи исследования 81
1.7. Выводы по 1 главе 81
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 85
2.1. Общая методика исследования 85
2.2. Методы исследования 86
2.3. Структура системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта 89
2.4. Моделирование изучаемой системы 105
2.4.1. Математическая модель системы 105
2.4.2. Имитационная модель системы 145
2.5. Показатели эффективности функционирования системы 175
2.5.1. Анализ показателей эффективности технической эксплуатации автомобилей 175
2.5.2. Показатели и критерий эффективности организационной структуры предприятия автомобильного транспорта 182
2.5.3. Показатели и критерий эффективности производственной структуры предприятия автомобильного транспорта 184
2.5.4. Показатели и критерий эффективности модели стимулирования технического персонала предприятия автомобильного транспорта 185
2.5.5. Показатели и критерий эффективности контроля производственного процесса на предприятиях автомобильного транспорта 185
2.6. Выводы по 2 главе 188
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 191
3.1. Обработка экспериментальных данных о параметрах системы управления технической эксплуатацией 191
3.2. Оценка адекватности имитационной модели 199
3.3. Варианты производственных структур для моделирования 203
3.3.1. Варианты производственных структур для моделирования работы станций технического обслуживания автомобилей 204
3.3.2. Варианты производственных структур для моделирования работы технической службы автотранспортных предприятий 206
3.4. Кластеризация технологических операций по ТО и Р автомобилей 210
3.5. Классификация функций основного производственного персонала 217

3.6. Планирование эксперимента 219
3.7. Моделирование функций организации при управлении производством производства по ТО и Р автомобилей 226
3.7.1. Моделирование производственной структуры 226
3.7.2. Моделирование организационной структуры 250
3.8. Моделирование функций планирования при управлении производством по ТО и Р автомобилей 262
3.8.1. Стратегическое планирование работы технической службы предприятия 262
3.8.2. Оперативное планирование работы технической службы предприятия 286
3.8.3. Планирование неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года 292
3.8.4. Планирование потребности предприятия в ресурсах 298
3.9. Моделирование функций стимулирования при управлении производством по ТО и Р автомобилей 313
3.10. Моделирование функций контроля при управлении производством по ТО и Р автомобилей 327
3.11. Выводы по 3 главе 357
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 360
4.1. Методики практического использования результатов исследования 360
4.1.1. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта 362
4.1.2. Методики организации подсистемы планирования показателей деятельности технической службы предприятий автомобильного транспорта 368
4.1.3. Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта 387
4.1.4. Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта 391
4.2. Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей 395
4.3. Программа по оценке эффективности функционирования производственной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей 401
4.5. Программа по оценке эффективности системы контроля производственных процессов предприятия по техническому сервису автомобилей 409
4.6. Программа по оценке эффективности системы стимулирования производственных рабочих предприятия по техническому сервису автомобилей 412
4.7. Виртуальный тренажер для имитации работы производственного персонала согласно операционно-постовой карты технологического процесса технического обслуживания и ремонта автомобиля 414
4.8. Экономическая эффективность результатов исследований 416
4.9. Выводы по 4 главе 422
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 424

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 430
ПРИЛОЖЕНИЯ 459
Приложение 1. Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ 459
Приложение 2. Акты внедрения результатов исследований 466
Приложение 3. Анкеты экспертного анализа факторов 482
Приложение 4. Диссертации для проведения аналитических исследований 486

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Предприятия автомобильного транспорта относятся к типу сложных организационных систем. Функционирование таких систем неэффективно при отсутствии четких целей, реализация которых невозможна без наличия механизмов управления, представляющих собой набор правил для принятия управленческих решений.

Вместе с этим, любая сложная организационная система не является изолированной от воздействия внешней среды. Эти воздействия корректируют, а иногда и направляют деятельность организации, являясь факторами, определяющими управленческие решения руководства. Для предприятия автомобильного транспорта основным средством получения прибыли является автомобиль. Для предприятий по оказанию транспортных услуг он выступает в качестве субъекта производственной деятельности, а для предприятий автомобильного сервиса – в качестве объекта труда.

Практически во всех типах предприятий существует служба, отвечающая за поддержание и восстановление работоспособности автомобилей – техническая служба. Это одна из подсистем предприятия автомобильного транспорта, которая может выполнять сервисную функцию по отношению к службе эксплуатации или реализовывать основной бизнес-процесс по оказанию услуг.

Входящим потоком в эту подсистему является поток требований на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р) автомобилей, а исходящим – поток обслуженных заявок. Исходящий поток напрямую влияет на показатели коммерческой деятельности предприятия. Основной целью технической службы является поддержание динамического равновесия между потоками через управляющие воздействия.

Управление рассматривают как комплексный процесс, реализующий функции планирования, организации, стимулирования и контроля. Управление должно содержать механизмы адаптации производственной деятельности предприятия под изменения внешней среды, обеспечивая устойчивость системы в целом. В настоящее время в рамках управления технической эксплуатацией автомобилей эти вопросы не получили значительного развития, что приводит к значительным затратам времени и других ресурсов предприятия на поиск и внедрение эффективной стратегии управления производственными процессами ТО и ремонта, увеличивая при этом адаптационный период и усложняя процессы принятия управленческих решений.

Поэтому развитие комплексного научного подхода к управлению технической эксплуатацией автомобилей на современных предприятиях через изучение закономерностей формирования управляющих воздействий является

актуальной научно-практической проблемой, ее решение существенно повысит эффективность развития предприятий автомобильного транспорта в России.

Степень разработанности темы. Научное обоснование управлением сложными организационными системами, в том числе на автомобильном транспорте, было заложено в трудах таких отечественных и зарубежных ученых как Кузнецов Е.С., Власов В.М., Захаров Н.С., Клейнер Б.С., Напольский Г.М., Васильев В.И., Денисов А.С., Грязнов М.В., Максимов В.А., Петров М.Б., Тахтамышев Х.М., Заяц Ю.А., Блянкинштейн И.М., Первозванский А.А., Понтрягин Л.С., Юревич Е.И., Михайлов В.С., Винер Н., Эшби У.Р., Кокорев Г.Д., Парахина В. Н., Ушвицкий Л. И., Асаул А.Н., Полтерович В.М., Пиндайк Р., Рубинфельд Д., Могилевич М.В., Simon H., Hart O.D., Tompkins J. R., Kessler E. H., Бурков В.Н., Новиков Д.А., Губко М.В., Мишин С.П., Коргин Н.А., Мулен Э., Месарович М., Такахара И. и других.

Имеющиеся научные результаты обладают научной и практической ценностью и послужили основой для формирования параметров системы управления технической эксплуатацией автомобилей в рамках нормативно-функционального подхода, предполагающего разработку перечня типовых организационно-производственных структур и стандартизации технологических процессов ТО и ремонта автомобилей. Однако произошедшие за последнее время изменения нормативов, отсутствие регламентации обязательного перечня и содержания технических воздействий над автомобилем, а также нестационарность и стохастичность изменения внешних факторов во времени создают потенциал для развития существующих научных методов управления организационными системами предприятий автомобильного транспорта.

Цель исследований: повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей путем выявления закономерностей формирования оптимальной структуры управления технической службой предприятий автомобильного транспорта и совершенствование на этой основе нормативов технической эксплуатации.

Задачи исследований.

1. Разработать концепцию формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта.
2. Определить границы и структуру системы управления технической эксплуатацией, а также разработать модель системы
3. Выявить закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей.
4. Установить вид и оценить численные значения параметров математических моделей, описывающих закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей.

5. Разработать программное обеспечение для моделирования закономерностей изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей.

6. Разработать методологию повышения эффективности работы предприятия на основе закономерностей процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей.

7. Разработать частные методики и оценить их эффективность.

Объектом исследований является система управления предприятием автомобильного транспорта, выполняющим работы по технической эксплуатации собственного парка автомобилей или парка автомобилей клиентов.

Предметом исследований являются закономерности формирования структуры системы управления технической эксплуатацией парка автомобилей на предприятии автомобильного транспорта

Гипотеза исследований: в качестве механизмов адаптации предприятия автомобильного транспорта под изменение условий внешней среды и к изменению фактора времени следует рассматривать элементы структуры системы управления технической эксплуатации автомобилей.

Область исследований соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: п. 2. «Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации»; п. 16. «Развитие инфраструктуры перевозочного процесса, обеспечение ее физической, информационной и социально-экономической доступности, технической эксплуатации и сервиса»; п. 17. «Развитие информационных технологий в сфере перевозок, технической эксплуатации и сервиса».

Научная новизна исследований.

1. Впервые разработана концепция адаптивного управления технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта, которая рассматривает техническую эксплуатацию автомобилей не как закрытую систему, а устанавливает структуру взаимосвязей между элементами и механизмы ее функционирования, обеспечивая тем самым динамичность отклика на изменения влияющих на нее факторов и адаптивность ее структуры к изменению основных производственных показателей во времени.

2. Установлены новые закономерности, определяющие подходы к формированию структуры системы управления технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта:

– закономерности формирования организационно-производственных структур, которые, в отличие от существующих, позволяют определить оптимальное количество производственных зон и участков, а также количество управляющих работников, их специализацию, уровень квалификации и норму управляемости от параметров потока требований на техническое обслуживание и ремонт автомобилей;

– закономерности выбора типа базовой системы стимулирования исполнителей работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, обеспечивающие выбор наиболее эффективной модели оплаты труда для текущего уровня загрузки зон и участков;

– закономерности изменения потребности предприятий автомобильного транспорта в ресурсах по времени;

– закономерности влияния объемов продаж новых автомобилей и интенсивности обращений на ТО и ремонт на загрузку сервисной зоны;

– закономерности управления ассортиментом услуг предприятий технического сервиса;

– закономерности формирования параметров системы контроля, которые впервые устанавливают динамическую зависимость пропускной способности зоны технического сервиса от ключевых факторов организационно-управленческого характера.

3. Установлен вид математических моделей, описывающих закономерности изменения структуры управления технической эксплуатацией с применением различных типов современных моделей машинного обучения: регрессионных, нейросетевых, гармонических, кластерных, деревьев решений, что позволило формализовать процесс принятия управленческих решений и перевести его в плоскость количественной оценки.

4. Впервые в практике технологического проектирования автотранспортных предприятий использованы генетические алгоритмы, позволяющие находить рациональные параметры организационно-технологических решений при заданных ограничениях на эффективность функционирования системы и, в отличие от традиционных методов оптимизации, обеспечивающие устойчивый поиск глобального экстремума в условиях высокой неопределенности исходных данных.

5. Впервые предложено использование технологий компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей для автоматизированного контроля производственных процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей в режиме реального времени, которые, в отличие от существующих систем визуального контроля, обеспечивают высокую точность идентификации операций

и возможность оперативной оценки соответствия выполняемых работ технологическим картам.

6. Разработаны оригинальные алгоритмы моделирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта, реализованные в комплексе имитационных моделей дискретно-событийного, агентного и системно-динамического типов, что впервые позволяет произвести исследование динамики организационных изменений и оценить влияние различных управленческих решений на эффективность функционирования системы.

7. Разработана новая методология повышения эффективности работы предприятий автомобильного транспорта, обобщающая научный подход к изменению структур управления с учетом динамических факторов на основе установленных закономерностей и реализующаяся через восемь частных методик.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методологии формирования структуры системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта, в основу которой положена сформированная концепция, развивающаяся в пяти концептуальных положениях и реализуемая восемью частными методиками повышения эффективности подсистем планирования, организации, стимулирования и контроля для автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания автомобилей.

Практическая значимость работы заключается в применении разработанных на основе использования результатов исследований программных продуктов для минимизации затрат предприятий на управление процессами технической эксплуатации автомобилей за счет определения рациональной организационно-производственной структуры, эффективного прогнозирования потока требований на ресурсы для проведения ТО и Р автомобилей, планирования путей достижения целевых показателей технической службы в рамках установленных приоритетов развития предприятия, выбора эффективной базовой системы стимулирования производственного персонала, а также определения оптимальной периодичности контроля основных производственных процессов, инфраструктуры и способов их реализации с применением технологий искусственного интеллекта.

Практическая значимость подтверждается внедрением результатов исследований в производственную деятельность следующих предприятий: ООО «Строительная компания «Лея» (г. Москва), АО «Башкиравтодор» (г. Уфа), АО «Северная геофизическая экспедиция» (г. Нефтеюганск), ООО «Автоград Люкс» (г. Тюмень), ООО «Кузовград» (г. Тюмень), ООО «Гамма Инвест» (г. Тюмень), ООО «Автоград Мастер» (г. Тюмень), ООО «Автоград-кузовной ремонт» (г.

Тюмень), ООО «Тайм-мобиль» (г. Тюмень), ООО «Автоград Маркет» (г. Тюмень), ООО «ЦОДП «Радар» (г. Тюмень), ООО «Автоград Престиж» (г. Тюмень), ООО «Автоград Гарант» (г. Тюмень), ООО «Логистик-Сервис» (г. Тюмень), а также в учебный процесс Тюменского индустриального университета.

Методология и методы исследований. Диссертационная работа базируется на известных научных трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области управления технической эксплуатацией автомобилей и теории управления организационными системами.

В работе использован системный подход, методы корреляционно-регрессионного анализа, аналитическое и имитационное моделирование, теория эксперимента, методы исследования процессов, методы эволюционных алгоритмов, искусственных нейронных сетей, деревьев принятия решений, технологии компьютерного зрения и машинного обучения.

На защиту выносятся:

1) концепция формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;

2) закономерности процессов формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;

3) вид математических моделей, описывающих закономерности процессов формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;

4) численные значения параметров математических моделей процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;

5) программное обеспечение для моделирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;

6) методология повышения эффективности работы предприятий автомобильного транспорта на основе закономерностей процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта.

Вклад автора в получение научных результатов заключается в обосновании выбора направлений исследований, формулировании цели и задач работы, в разработке концептуальных положений и методологии их реализации, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, в интерпретации полученных результатов, в написании научных работ с изложением основных результатов исследования и их апробировании.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, обосновывающими цель исследований и поставленные для ее достижения задачи; апробацией работы

научным сообществом; использованием методики планирования эксперимента с определением необходимого и достаточного количества измерений; методик оценки статистической значимости моделей установленных закономерностей с их проверкой на адекватность; применением методов валидации и верификации разработанных имитационных моделей; соблюдением требований полноты разработанной концепции, непротиворечивости ее структурных элементов друг другу и результатам ранее проведенных исследований.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на 30 международных и всероссийских научно-практических конференциях: XI Международной on-line постерной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука без границ» (г. Тобольск, 2022); XVII Международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (г. Вологда, 2022); Международной научно-практической конференции "Научная Территория: технологии и инновации" (г. Тюмень, 2022); Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 2022, 2025); International Scientific-Technical Conference "Innovative Solutions Of Technical, Engineering And Technological Problems Of Production" (г. Джизак, Узбекистан, 2022); IV Международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии» – 2022 (г. Екатеринбург, 2022); V Международной конференции «Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии» (г. Пермь, 2023); Международной научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг' 2022" ICIE-2022 (г. Сочи, 2022); Международной научно-практической конференции "Информационные технологии и инновации на транспорте" (г. Орел, 2022-2025); Международной научно-технической конференции "Новые технологии - нефтегазовому региону" (г. Тюмень, 2022, 2023); II Международной научно-практическая конференции Автонет «Перспективные транспортные технологии» (г. Екатеринбург, 2023); X Международной научно-практической конференции-конкурсе «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании» (г. Тюмень, 2023); Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (г. Пермь, 2023); XIII Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» (г. Нижневартовск, 2023); Международной научно-технической конференции "Транспортные и Транспортно-Технологические Системы " (г. Тюмень, 2020-2025); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции "Проблемы Функционирования Систем Транспорта" (г. Тюмень, 2020-2024); Международной

научно-практической конференции «Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе» (г. Тюмень, 2024); Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Железнодорожный транспорт и технологии (RTT-2024)» (г. Екатеринбург, 2024).

Результаты исследований использованы при реализации следующих научно-исследовательских работ: государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, выполняемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России по проекту: «Новые закономерности и решения для функционирования городских транспортных систем в парадигме «Переход от владения личным автомобилем к мобильности как услуге»» №АААА-А20-120062290036-1), 2020-2022 г.г; гранта РНФ № 25-29-00288 по теме: «Автоматизация процесса обработки и анализа параметров транспортной макромодели города», 2025 г.

Основные теоретические положения, методологические подходы и результаты диссертационного исследования опубликованы в 42 печатных работах, в числе которых 13 научных статей в изданиях из Перечня ВАК, 2 монографии, 3 статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1. Описание проблемы

На основании предварительного изучения вопроса управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях был выявлен ряд противоречий.

Существующие методики планирования технико-экономических показателей предприятий автомобильного транспорта не учитывают параметры текущего состояния предприятия и целевые значения этих показателей. С помощью сравнения с нормативными значениями удельных технико-экономических показателей они позволяют определить область рациональных значений, что снижает эффективность их применения, поскольку не достигается глобальный оптимум.

При формировании организационно-производственных структур управления технической эксплуатацией используется нормативно-функциональный подход, предполагающий перечень типовых структур, не учитывающих параметры конкретного предприятия и влияние внешних факторов.

Существующий перечень типовых организационно-производственных структур сформирован в период действия Положения о ТО и Р, которое регламентировало обязательный перечень и содержание технических воздействий над автомобилем. В настоящее время нормативы существенно изменились, и сами эти положения не являются обязательными.

Существующий перечень типовых организационно-производственных структур основан на стандартизированных технологических процессах. В настоящее время перечень технических воздействий над автомобилем определяется реализуемыми предприятием коммерческими услугами, которые могут включать только часть из установленного перечня технологических операций. Это снижает применимость типовых организационно-производственных структур.

Система управления технической эксплуатацией рассматривалась как статическая детерминированная система, в то время как она является стохастической динамической нестационарной системой.

В настоящее время с использованием эмпирического (интуитивного) метода управления предприятия теряют значительный объем денежных средств на пилотное внедрение изменений в структуру управления и оценку эффективности этих мер спустя несколько месяцев производственной деятельности. В этой связи замена метода «проб и ошибок» научным подходом к проактивному управлению является актуальной задачей, требующей решения.

Актуальность подтверждается указанными в п.4 транспортной стратегии РФ направлениями цифровой трансформации транспорта, включающими внедрение предиктивных технологий в целях технического обслуживания и ремонта транспортных средств.

Указанные выше противоречия позволили сформулировать научную проблему исследования и привести ее структурное описание. Тезисы, послужившие основой для формирования указанных выше противоречий, раскрыты далее в ходе аналитических исследований.

Обозначим систему управления технической эксплуатации автомобилей как $\Omega(t)$, где t - время; $\Omega(t)$ - состояние системы в момент времени t. Состояние системы зависит от внешних факторов $V(t)$, которые могут изменяться во времени, т.е.

$$\Omega(t+1) = \Phi(\Omega(t), V(t)), \tag{1.1}$$

где Φ - оператор, описывающий динамику системы;

$V(t)$ - множество внешних факторов (например, условия эксплуатации, интенсивность использования автомобилей, экономические показатели).

Вместе с этим, исходя из установленных противоречий можно заключить, что система $\Omega(t)$ не учитывает изменения $V(t)$, то есть оператор Φ не зависит от $V(t)$:

$$\Omega(t+1) = \Phi(\Omega(t)), \tag{1.2}$$

а состояние системы не изменяется в зависимости от времени, т.е.

$$\frac{\partial \Omega(t)}{\partial t} = 0. \tag{1.3}$$

Аналитические исследования позволили выявить научную проблему, заключающуюся в том, что предприятия автомобильного транспорта $\Omega(t)$ не имеют механизмов адаптации системы управления технической эксплуатации автомобилей к изменениям внешних факторов $V(t)$ и к изменению фактора времени t.

Проблема может быть описана как неспособность системы $\Omega(t)$ корректно реагировать на изменения внешних факторов $V(t)$ и времени t. Это можно выразить через следующие утверждения.

Игнорирование внешних факторов:

$$\forall t, \Omega(t+1) = \Phi(\Omega(t)) \text{ и } \frac{\partial \Phi}{\partial V(t)} = 0. \tag{1.4}$$

Игнорирование фактора времени:

$$\forall t, \frac{\partial \Omega(t)}{\partial t} = 0 . \quad (1.5)$$

Отсутствие механизмов адаптации приводит к тому, что система $\Omega(t)$ не может поддерживать оптимальное состояние в условиях изменений, при этом затраты $C(\Omega(t))$ и потери $L(\Omega(t))$ не минимизируются:

$$C(\Omega(t)) + L(\Omega(t)) \to \neq opt \quad (1.6)$$

В конечном счете система становится неэффективной при изменении внешних условий:

$$\lim_{V(t) \to V'(t)} \Omega(t) \neq \Omega'(t) \quad (1.7)$$

где $\Omega'(t)$ — желаемое состояние системы при новых условиях $V'(t)$.

1.2. Управление технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта

Техническая эксплуатация автомобилей (ТЭА) является подсистемой автомобильного транспорта, обеспечивающей работоспособность парка автомобилей [178].

Известно такое определение системы, как «совокупность взаимосвязанных элементов, организованных определенным образом для достижения какой-либо цели» [113]. Е.С. Кузнецов отмечает, что основными задачами технической эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта являются «обеспечение работоспособности и реализация потенциальных свойств автомобиля, заложенных при его создании <…>, снижение затрат на содержание, ТО и ремонт, уменьшение соответствующих простоев, обеспечивающих повышение производительности перевозок при одновременном снижении их себестоимости…» [178].

Отсюда можно сделать вывод, что ТЭА также является системой, поскольку обладает элементами, взаимосвязями между ними и определенным функциональным назначением.

Широко известно предложенное Е.С. Кузнецовым дерево систем технической эксплуатации [178], верхние ветви которого представлены на рисунке 1.1.

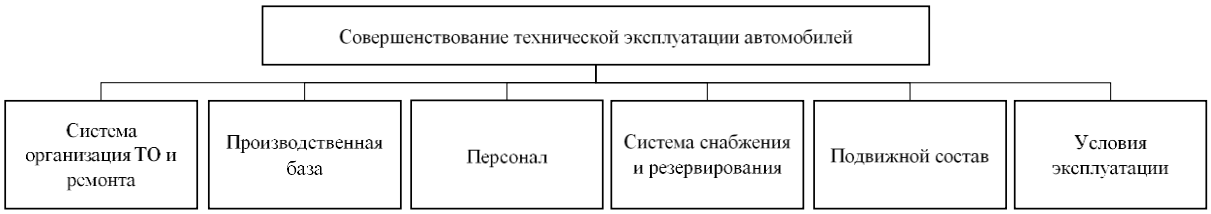


Рисунок 1.1 – Схема путей повышения эффективности технической эксплуатации автомобилей согласно Е.С. Кузнецову

Первой ветвью приведенного выше дерева является система и организация ТО и Р, одним из подпунктов этой ветви является совершенствование технологии, организации и управления ТО и Р. На момент написания книги значимость указанного выше фактора для совершенствования ТЭА находилась на 2 уровне и составляла 19 и 18 процентов для цели совершенствования технического состояния парка и снижения затрат на ТО и Р соответственно.

В книге [8] приводятся пути совершенствования систем с управлением (СУ). Среди них оптимизация численности управленческого персонала, использование новых способов организации работы СУ, применение новых методов решения управленческих задач, изменение структуры СУ, перераспределение функций и задач в управляемых системах, механизация управленческого труда, автоматизация.

То есть основные направления совершенствования системы связаны с оптимизацией ее организационно-производственной структуры и применением современных информационных технологий и автоматизации.

В рамках технической эксплуатации автомобилей организация ТО и Р вносит значительный вклад в повышение эффективности работы системы, о чем было сказано выше.

Тот же автор отмечает, что повысить эффективность использования объекта управления можно за счёт повышения степени научной обоснованности принимаемых решений.

Исследователями определены комплексные показатели оценки эффективности ТЭА [178], к которым относятся коэффициент выпуска $\alpha_в$ и коэффициент технической готовности (КТГ) $\alpha_т$. Существует много подходов к теоретическиой оценке КТГ [177]. Также разработана схема оценки эффективности технической эксплуатации, которая состоит из 12 этапов: от определения необходимой производительности парка транспортных средств (определения целей системы) до применения управляющих решений по методам увеличения технической готовности и оценки обратной связи от принятых решений [178]. К показателям эффективности функционирования подсистемы ТЭА относят уровень

работоспособности парка, затраты на поддержание работоспособности парка, производительность труда персонала и экологичность [95]. Для каждого показателя выделяют также частные показатели подсистем технической эксплуатации. Например, для оценки уровня работоспособности парка можно использовать КТГ, наработку на отказ, вероятность безотказной работы в течение заданного периода времени [95].

В связи с этим, ТЭА можно отнести к типу систем с управлением, которая в общем виде включает три подсистемы: управляющую систему (УС), объект управления (ОУ) и систему связи (СС) (рисунок 1.2) [8].

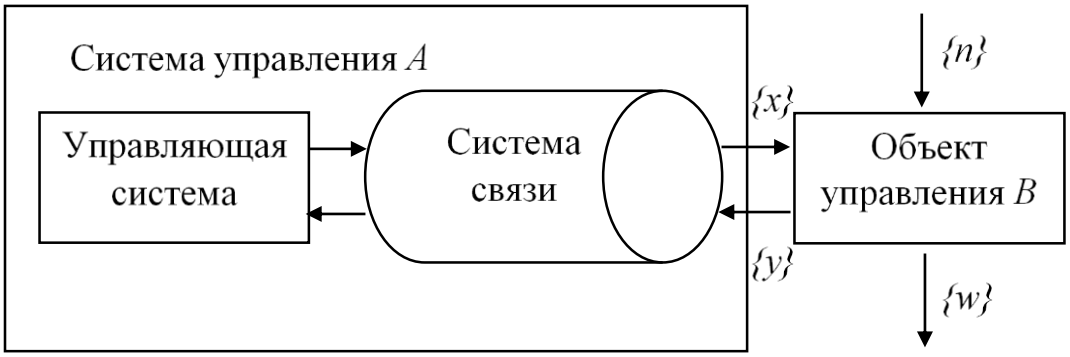


Рисунок 1.2 – Система с управлением [8]

В такого рода системах должен быть определен канал прямой связи, по которому передается входная информация {x} и канал обратной связи, по которому передается информация о состоянии ОУ {y}. На систему воздействует окружающая среда {n}, а в результате оцениваются показатели качества и эффективности функционирования {w} подсистемы. Очевидно, что для эффективного управления системой следует определить структуру системы и установить показатели x, y, n, w.

Согласно Е.С. Кузнецову «реализуемый показатель качества зависит от начального значения показателя качества, интенсивности его изменения, срока эксплуатации изделия, <…>, т.е. этот показатель управляем на <…> отраслевом уровне» [95]. Управление реализуемым показателем качества можно осуществлять за счет изменения начального значения показателя качества и интенсивности его изменения, регулирования сроков службы системы и путем влияния мероприятий эксплуатации на интенсивность изменения показателя качества.

Необходимость изучения системы управления технической эксплуатацией автомобилей можно подтвердить тезисом о том, что «системы с большим разнообразием элементов, множеством сценариев развития и запасных путей более

стабильны и менее уязвимы к внешним факторам, чем однородные системы с небольшим разнообразием» [113].

Можно выделить два принципиальных подхода к организации и управлению предприятиями, которые условно можно разделить на подходы с позиций менеджмента и экономики и подходы с позиций техники и технологии производства работ.

Теория изучения организаций как сложных систем получила название теории организации (organizations theory). Достаточно комплексно вопросы теории организации раскрыты в книге [309]. В работе авторов Michael Grothe-Hammer, Héloïse Berkowitz и Olivier Berthod представлен достаточно подробный исторический обзор развития теории организации и вопросов принятия управленческих решений [252].

По книге [125] понятие “организация” может иметь три значения:

- свойство - внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением;
- процесс - действия, ведущие к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого;
- организационная система - объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил.

Об этом же пишет и Петров М.Б. в своей диссертации [135]. Он рассматривает понятие организации региональной транспортной системы в трех отношениях: как собственно системную организацию, как функцию управления и как институт или субъект экономической деятельности.

В рамках первого подхода под управлением понимается воздействие на все виды ресурсов предприятия, реализуемое через функции планирования, организации, мотивации и контроля для достижения целей субъекта управления [305, 323, 326, 131].

При этом многие авторы используют понятия организация и управление как равнозначные, в то время как сами же определяют организацию как одну из функций управления. Также говорят и об «организационном управлении» сложными системами [4].

В рамках второго подхода управление - это совокупность целенаправленных действий для перевода управляющей системы из начального в заранее заданное конечное состояние [79]. Е.С. Кузнецов определяет управление как «процесс преобразования информации в определенные целенаправленные действия, переводящие управляемую систему из исходного в заданное или оптимальное состояние» [178]. Другое определение управления этого же ученого звучит как

«функция системы, ориентированная на сохранение ее основных качественных показателей в условиях изменения среды или выявление и реализацию некоторой программы, обеспечивающей устойчивость функционирования, достижение системой поставленной цели» [95]. Также управление определяют как процесс приведения заданных объектов в состояние, отвечающее поставленным целям [114].

Представители второго подхода также применяют оба термина вместе как тождественные понятия, вкладывая в них, очевидно, значение организации как свойства.

Одним из важных свойств системы является адаптация. Адаптация – процесс изменения параметров и структуры системы, а, возможно, и управляющих воздействий, на основе текущей информации с целью достижения оптимального ее состояния при начальной неопределенности и изменяющихся условиях работы [56]. Под адаптивным управлением понимают возможность изменять параметры регулятора или его структуру в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления [3].

В теории управления выделяют пять задач управления: целеполагание, стабилизацию, выполнение программы, слежение, оптимизацию [8].

Авторы [114] отмечают, что производственно-экономические и организационные системы являются сложными системами. Постановка и решение задач управления в таких системах отличается большей сложностью, вытекающей из их математического описания. Объекты и процессы в этих системах, как правило, не могут быть достаточно полно описаны математически [114]. Характерной особенностью проблемы управления сложными системами является необходимость системного подхода к управлению [45].

Выделяют программно-целевой метод управления, который «заключается в четком определении конечной цели и объединении в форме программы всех видов деятельности для достижения этой цели» [95].

Авторы [129] используют понятие “организационная структура управления” и “структура управления”.

Согласно работам [270, 8] организационная структура управления - это совокупность подсистем, объединенных иерархическими взаимосвязями, обеспечивающими распределение функций управления между лицом, принимающим решения (ЛПР) в рамках целей системы. Авторы выделяют следующие характеристики организационной структуры управления:

- количество звеньев управления;
- количество уровней иерархии;
- степень централизации управления;
- делегирование полномочий;

- норма управляемости.

А.С. Денисов пишет о том, что одной из важнейших характеристик системы является ее структура [47]. Структура S системы определяется рядом ее элементов A, свойствами элементов P и связями между ними R. Модель любой структуры А.С. Денисов определяет следующим образом:

$$S = (A, P, R) \tag{1.8}$$

Система связана с внешним окружением через входы X и выходы Y, вследствие чего функцию системы можно определить как модель преобразования входов в выходы [47].

Согласно работе [8] под структурой понимается совокупность элементов системы и взаимосвязей между ними. Авторы разделяют структуры на два вида: формальную и материальную. Под формальной структурой понимается совокупность функциональных элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения целей системы. Под материальной структурой понимают конкретные типы и параметры элементов системы и их взаимосвязи. Одной формальной структуре могут соответствовать несколько материальных структур. Эти же авторы приводят варианты типовых структур: линейной, кольцевой, сотовой, многосвязной, иерархической. В практике управления наибольшее применение получил последний вариант.

К базовым видам организационных структур авторы относят функциональную, дивизионную, линейную, матричную и ряд других структур. Наиболее часто используемой является функциональная структура. Наряду с понятием производственного процесса используется понятие «бизнес-процесс» [192].

Бизнес-процесс — это многократно повторяющаяся, логически связанная последовательность действий, направленная на создание ценности и формирование результата. Также под бизнес-процессом понимают определенный набор действий, которые выполняют сотрудники, чтобы создать что-либо, имеющее ценность для заказчика [46].

Есть три вида бизнес-процессов, главным из которых является основной или операционный. Эти процессы связаны с обслуживанием клиентов и приносят компании деньги. Основной бизнес-процесс протекает с момента первого контакта с заказчиком до завершения сделки.

Как правило, бизнес-процесс состоит из бизнес-функций. На практике бизнес-функции часто соответствуют подразделениям организационной структуры предприятия или отдельным технологическим операциям производственного процесса ТО и ремонта автомобиля.

Помимо этого, выделяют поддерживающие и управленческие бизнес-процессы. Первые являются сервисными, которые напрямую не приносят компании прибыль, а вторые направлены на разработку стратегии развития предприятия [200].

Бизнес-функция группирует деятельность, требующую сходных навыков и профессионального опыта, и отражает устоявшееся разделение труда. Классические примеры бизнес-функций: продажи, финансы, производство, снабжение, взаимоотношения с клиентами.

Структура системы предприятия в рамках реализуемых бизнес-процессов представлена на рисунке 1.3.

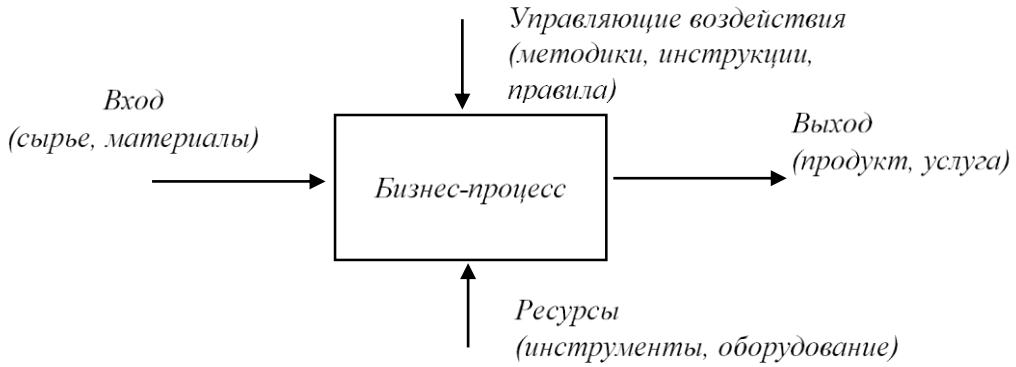


Рисунок 1.3 – Бизнес-процессы предприятия как способ преобразования продукта или услуги в результат [14]

Для предприятий автомобильного транспорта в качестве входящих в систему объектов могут выступать автомобили, требующие ремонта, либо необходимость удовлетворения транспортной услуги [314]. На выходе соответственно будут отремонтированные автомобили либо оказанная услуга по перевозке грузов и людей. В первом случае под ресурсом следует понимать производственно-техническую базу по ТО и Р автомобилей, а также производственный персонал, а во втором – транспортные средства для оказания услуги.

В рамках технической эксплуатации автомобилей под организацией производства обычно понимают применение различных форм и методов организации технологических процессов [178].

Под формами организации производства понимаются специализированные или универсальные посты. Под методами организации обычно понимают применение следующих вариантов:

1. метод специализированных бригад;
2. метод комплексных бригад;
3. агрегатно-участковый метод;
4. метод универсальных постов;

5. агрегатно-зональный метод;
6. зонально-поточный метод.

В работе [137] говорится о том, что «производственные структуры технической службы объединения автотранспорта выбираются в зависимости от экономически обоснованных уровней концентрации и специализации производства».

В книге [161] отмечается, что кардинальным в процессах управления является принцип отрицательной обратной связи (ООС). Сущность его заключается в том, что для достижения цели управления необходимо не только формирование управляющих воздействий, но и получение достоверной информации о протекании процесса на выходе системы автоматического управления (САУ). Техническая реализация принципа ООС сводится к разработке каналов прямой и обратной связи между управляющей системой и объектом.

В этой же работе [161] авторы говорят о важности и определяющей роли четкой формулировки целей в управлении. Нет целей - нет управления.

Цель управления процессом или объектом - конечный технический или экономический результат, который может быть достигнут системой управления на определенном временном интервале ее функционирования.

Выделяют основные функции управления:

1. планирование;
2. организация;
3. мотивация (стимулирование);
4. контроль.

Эти функции в целом соответствуют приведенным выше задачам управления, предъявляемым теорией управления к сложным системам.

Под планированием понимают распределение задачи или ресурсов между исполнителями для максимизации прибыли организации. В теории менеджмента планирование – деятельность, связанная с постановкой целей и задач в будущем. В математике под планированием понимают функцию изменения показателя от времени.

Наряду с планированием используют термин прогнозирование. Это научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем или об альтернативных путях и сроках их осуществления.

Организация – внутренняя упорядоченность элементов системы, обусловленная ее строением.

Стимулирование – побуждение к совершению определенных действий.

Контроль – наблюдение за поведением управляемой системы с целью обеспечения оптимального функционирования последней. Одной из основных

функций контроля является определение состояния объекта и оценка степени отклонений управляемых показателей от их нормативных значений [97].

В настоящее время ученые разрабатывают подходы по автоматизации контроля за реализацией производственных процессов, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта, компьютерного зрения и анализа изображений [239, 244, 246, 291, 310].

В функцию организации входит построение структуры предприятия, а также снабжение его всеми необходимыми видами ресурсов. Трудовые ресурсы выходят на первый план, так как они управляют всеми видами других ресурсов предприятия.

Аналогичной структуры термина «управление» (management) и функций управления придерживаются и зарубежные исследователи [233, 242, 251, 268]. Структура управления формируется на основе производственных процессов организации. Применяется и аналогичный термин «корпоративное управление» (corporate governance) [234], который имеет, однако, более широкое использование. Jo Owen определяет корпоративное управление как структуру правил, отношений, систем и процессов внутри, и посредством которых принятие решений осуществляется и контролируется в корпорациях [289]. K Fred Skousen, Steven M Glover и Douglas F Prawitt расширяют процессы, входящие в корпоративное управление, до следующих: управление рисками, операционные и маркетинговые стратегии, внутренний контроль, соответствие применимым законам и нормативным актам, связи с общественностью, коммуникацию и финансовую отчетность. То есть производственные процессы для корпоративного управления являются лишь одной из многих точек приложения управленческих усилий.

Подробный исторический обзор возникновения и развития теории менеджмента дается в публикации [252]. Если в начале XX века в фокусе теории управления были вопросы оптимизации производственных процессов (Taylor, 1911, Gilbreth, 1911, Gantt, 1912, Fayol, 1916), то в середине прошлого века основным объектом для изучения стали люди, что позволило разработать теории управления человеческими отношениями. От изучения конкретных сотрудников научные исследования перешли к вопросам формирования эффективных организационных структур, качества процессов и взаимоотношений между организациями. Этими вопросами занимались такие исследователи как Mintzberg, 1979, Deming, 1982, Senge, 1990, Christensen, 1997. Современные западные исследователи формируют новую школу ответственного управления организацией, отличительной чертой которой являются исследования влияния организационной деятельности и ее результатов на окружающую среду и людей. Тем не менее, и в настоящее время достаточно большое количество исследований посвящено таким темам в рамках теории управления как производительность, управление, знания,

инновации, моделирование, неопределенность, системы, теория игр. Эти ключевые слова составляют первые два кластера по количеству публикаций из семи проанализированных автором.

В данной связи представляют интерес несколько исследований зарубежных авторов, которые можно разделить по типам применяемых подходов.

В работе M. Olkiewicz применяется экономико-вероятностный подход для оценки управления качеством в организациях в рамках различных организационных структур [288]. Авторы предлагают многофакторную модель логистической регрессии, в которой эффективность системы управления оценивается итоговым показателем в пределах от 0 до 1. Эффективность системы тем выше, чем ближе к единице находится итоговый оценочный показатель. Он зависит от ряда факторов, среди которых можно отметить частоту оценки системы менеджмента качества на предприятии, качество продукции или услуг, комплексность обслуживания, культуру обслуживания, профессиональный уровень работников и ряд других. Результатом исследования является модель с проверенным уровнем адекватности, перечень ее коэффициентов и вывод об эффективности стандартизированных систем управления, которые регламентируются следующими стандартами качества: ISO 9001, ISO 14001, ISO-18001, ISO 22000, ISO 27001, ISO 13485, ISO /TS 16949.

Следует отметить, что вопросы влияния качества работ на повторное обращение в автосервис рассматривались в исследовании [196]. Кроме того, существуют работы по оценке качества работ по ТО и Р на предприятиях автомобильного транспорта [263, 130]. Помимо этого, информационные технологии применяются и для оценки квалификации производственного персонала [311].

Robert M. Grant занимается исследованиями теоретических вопросов организации производства [249]. В своих работах он акцентирует внимание на следующих аспектах: принятия управленческих решений, проектирования иерархических структур управления и разработки процессов с использованием баз знаний и информационных технологий. Автор пишет, что литература по теории организации имеет тенденцию определять задачи и действия (tasks and activities) как основные единицы организации, литература по эволюционной экономике фокусируется на производственном распорядке или расписании (routines); в то время как литература по операционному менеджменту касается процессов (processes). В его работах есть несколько представляющих интерес выводов. Во-первых, автор утверждает, что на этапе организационного проектирования из приведенных выше вариантов следует сосредоточиться на производственных процессах как на основной единице организации. Во-вторых, при проектировании организационных структур он предлагает использовать концепцию модульности

как одну из мощных и ярких концепций в теории организационного дизайна за последние десятилетия. Одной из ключевых областей является исследование природы и дизайна модульных интерфейсов (modular interfaces). Дизайн таких интерфейсов зависит от основы модуляризации, степени декомпозиции, типов межмодульной координации, которые требуются, и типов внешних изменений, с которыми организация должна бороться. Дизайн таких интерфейсов зависит от теоретических основ строения модулей, степени декомпозиции, типов межмодульной координации, а также учета внешних факторов, влияющих на деятельность организации. В-третьих, для анализа взаимосвязей внутри организаций автор предлагает использовать NK модели Стюарта Кауффмана. NK модель является моделью оптимизации, которая оперирует «настраиваемым неровным» ландшафтом приспособленности и позволяет исследовать локальные оптимумы для поиска наиболее эффективного состояния системы.

Отдельно следует выделить перечень работ, посвященных управлению техническим состоянием машин, механизмов и производственных систем.

В работе [228] рассматривается применение онтологий и многоагентных систем (MAS) для организации процессов ремонта и технического обслуживания в дорожном секторе. Основная цель — повысить эффективность управления ремонтными работами за счет использования современных технологий искусственного интеллекта. Онтологии позволяют создавать единое семантическое пространство для хранения данных, что упрощает их обработку и анализ. Предполагается использование автономных программных агентов, которые взаимодействуют между собой для решения задач планирования, координации и оптимизации процессов.

В статье [226] исследуется влияние процессов обслуживания и ремонта автомобилей на окружающую среду и логистику запасных частей. В качестве примера рассматривается пассажирский автомобиль Ford Focus. Цель работы — оценить экологические и экономические последствия различных стратегий обслуживания. Авторы используют методы моделирования для анализа логистики поставок запасных частей, необходимых для обслуживания автомобиля. Для расчета экологических показателей применяется методология жизненного цикла (Life Cycle Assessment, LCA). Вопросам определения рациональной стратегии обслуживания транспортных средств посвящена также работа [281].

Представляет интерес статья [293], которая содержит ретроспективный обзор и анализ литературы, посвященной практикам управления техническим обслуживанием и ремонтом на автомобильных предприятиях. Целью работы является систематизация существующих знаний о методах, стратегиях и подходах к управлению ТО в автомобильной промышленности, а также выявление ключевых тенденций и пробелов в исследованиях. Авторы приводят анализ различных

стратегий ТО: предупредительного обслуживания (preventive maintenance), прогнозного обслуживания (predictive maintenance) и корректирующего обслуживания (corrective maintenance). Они отмечают, что ранние подходы к ТО были основаны на реактивных стратегиях, а современные подходы, такие как предупредительное и прогнозирующее обслуживание, позволяют минимизировать простои и снизить затраты на ремонт. Прогнозирование отказов техники с использованием аналитики больших данных становится важным трендом в настоящее время.

Вопросам управления кадровым обеспечением предприятий автомобильного транспорта посвящено значительное количество научных работ [15, 145]. Управление предлагается реализовывать, как правило, за счет квалификации производственных рабочих, количества персонала, а также прогнозирования потребности в нем.

Достаточное количество исследований посвящено системам поддержки принятия управленческих решений и технологии цифровых двойников [74]. Также активно рассматривается применение информационных технолоний для повышения эффективности функционирования объектов транспорта [140].

Например, в работе [237] рассматривается разработка системы поддержки принятия решений для управления каршеринговыми системами с использованием электромобилей. Система направлена на оптимизацию использования ресурсов, таких как зарядные станции, парковочные места и автомобили, а также улучшение качества обслуживания пользователей.

В статье [279] описывается разработка и применение системы поддержки принятия решений для обслуживания авиационного парка. Авторами используются данные о состоянии самолетов, их эксплуатации и истории обслуживания для прогнозирования неисправностей в режиме реального времени. Вопросы повышения эффективности процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта рассматриваются также в работах [238, 261, 262].

Авторы в работе [253] рассматривают систему поддержки принятия решений для управления городскими грузоперевозками в режиме реального времени, используя модели транспортных потоков для анализа и прогнозирования дорожной ситуации, а также применяя алгоритмы для расчета оптимальных маршрутов доставки с учетом текущих условий.

В настоящее время исследователями активно применяются различные современные методы для моделирования сложных организационно-производственных систем. Отечественными и зарубежными авторами широко применяются методы системной динамики [98, 258, 223].

Еще одним эффективным методом является метод исследования процессов process mining [316, 317]. Process Mining (анализ процессов на основе данных) — это методология и набор инструментов, которые позволяют извлекать, анализировать и улучшать бизнес-процессы на основе данных, фиксируемых в информационных системах. Этот подход сочетает принципы дата-майнинга (data mining), машинного обучения и моделирования процессов для анализа логов событий (event logs). Основная цель Process Mining — выявить реальное выполнение процессов, сравнить их с ожидаемыми моделями и предложить улучшения. Метод позволяет решить следующие задачи:

- обнаружение процессов (Discovery): создание модели процесса на основе данных без предварительных гипотез;
- оценку конформности (Conformance Checking): сравнение фактического выполнения процессов с эталонной моделью для выявления отклонений;
- улучшение процессов (Enhancement): оптимизация процессов на основе анализа данных (например, путем устранения узких мест или избыточных шагов).

Среди основных исследователей, внесших существенный вклад в развитие метода, можно отметить Wil van der Aalst [315], Christian Günther и R. S. Mans [254], Anne Rozinat [299], Josep Carmona [220] и Boudewijn van Dongen [318].

Организация производства может быть представлена различными показателями.

Е.С. Кузнецов дает определение организационно-производственной структуры как «упорядоченной совокупности производственных подразделений, определяющей их количество, размер, функциональное назначение, взаимосвязь, методы и формы взаимодействия» [178].

В.М. Власов [33] применяет понятие организационной формы технологического процесса (ОФТП), под которой понимается распределение работ по зонам, их производственным подразделениям и блокам, другим структурным элементам производства (фазам) в соответствии с технологическими особенностями операций ТО и ремонта и видами работ, а также последовательность проведения работ в процессе выполнения технических воздействий по автомобилю в соответствии с организационно-производственной структурой предприятия.

Пример структурной схемы варианта организационной формы технологического процесса ТО и ремонта автомобиля на централизованном специализированном производстве (ЦСП) представлен на рисунке 1.4.

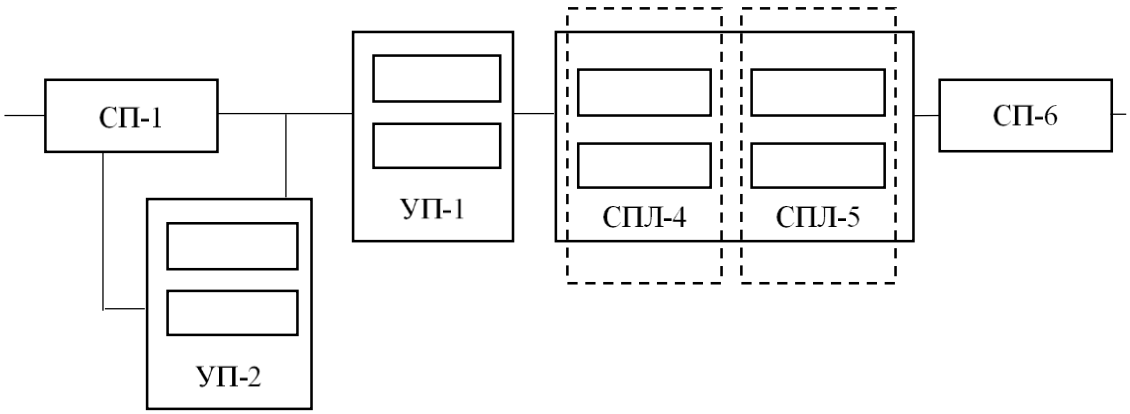


Рисунок 1.4 – Структурная схема организационной формы Ф1 технологического процесса ТО и Р автомобиля на ЦСП: УП – универсальные посты; СП – специализированные посты; СПЛ - специализированные посты на поточной линии [33]

Представленная выше структурная схема формы Ф1 использует универсальные посты для ТО и Р автомобилей и характеризуется низким уровнем специализации работ. Технологический процесс состоит из следующих структурных элементов: входная диагностика (СП-1), работы по ТО и ТР (УП-1 и 2), работы по узлам, обеспечивающим безопасность движения (СПЛ-4) и смазочно-заправочные работы (СПЛ-5), приемочный контроль (СП-6). Следует отметить, что вопросы диагностирования транспортных средств достаточно подробно рассмотрены в исследованиях под руководством Васильева В.И. [21, 20, 216]. Сами предложенные автором типовые формы (Ф1, Ф2 и т.д.) отличаются друг от друга уровнем специализации технологического процесса и различной степенью взаимосвязи фаз (степень независимости зон и участков друг от друга).

Понятие организационной формы технологического процесса схоже с термином функциональная схема, которое используется авторами [79, 197, 118]. Функциональная схема, по мнению приведенных авторов, лежит в основе организации производства и представляет собой последовательность основных производственных звеньев, на которых выполняются работы по ТО и Р автомобилей. Функциональная схема показывает возможные пути прохождения автомобилем различных этапов производственного процесса [118]. Пример функциональной схемы централизованного производства ТО-1 приведен на рисунке 1.5.

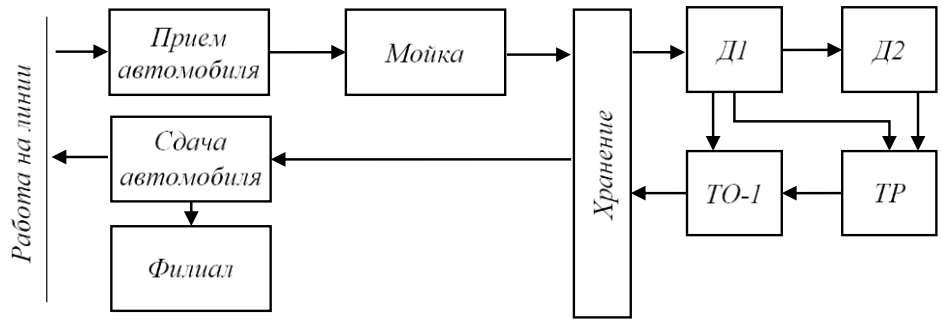


Рисунок 1.5 – Функциональная схема централизованного производства ТО-1 [79]

Понятие функциональной схемы широко используется в теории автоматического управления и, очевидно, пришло в область технической эксплуатации автомобилей из этой науки. Под функциональной схемой системы в теории управления понимают «схему системы управления, представленную как совокупность элементов, выполняющих определенное функциональное назначение» [114].

Помимо этого, указанные выше авторы оперируют такими понятиями как «принципиальная схема структуры службы главного механика», «организационно-функциональная структура системы управления», «производственная структура технической службы», а также «организационно-производственная структура технической службы». Изображения указанных схем можно найти, например, на страницах 32, 38, 43 и 44 книги [79].

Принципы построения подобных структур по указанным в работе автора тезисам заключаются в распределении или совмещении функций технической службы предприятия на одном или нескольких административных работниках. То есть организационно-функциональная структура регламентирует распределение функций управления по исполнителям. В рамках каждой функции выполняется тот или иной объем работ, который зависит от размера предприятия и может быть выполнен одним исполнителем либо целым производственным подразделением. Б.С. Клейнер подчеркивает, что «перечень функций зависит от структуры выполняемых технической службой производственных задач». То есть, актуализировав данное утверждение, можно говорить о том, что перечень функций зависит от перечня оказываемых предприятием услуг по техническому сервису автомобилей клиентов либо, в случае АТП, от перечня выполняемых работ по ТО и Р автомобилей. Таким образом, основываясь на исследованиях Б.С. Клейнера, можно изобразить следующую иерархию формирования структуры управления технической службой предприятия (рисунок 1.6).

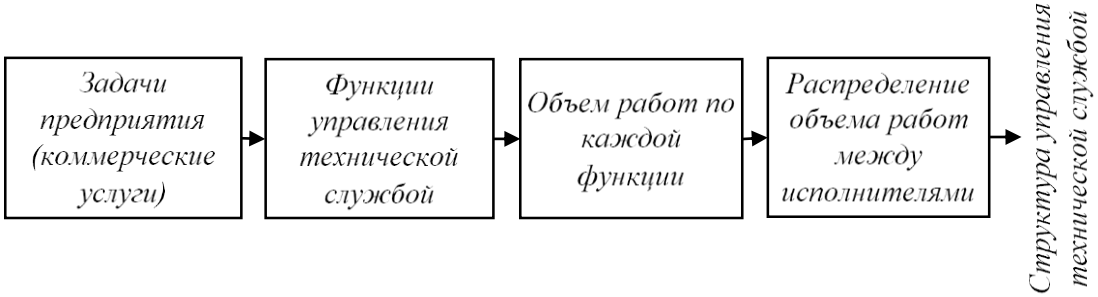


Рисунок 1.6 – Последовательность формирования структуры управления технической службой предприятия автомобильного транспорта

Аналогичным образом формируется производственная структура в работе [137]. В документе указано, что «на автотранспортных предприятиях преимущественно применяются технологические принципы формирования производственных подразделений, специализированных на выполнении определенных работ технического обслуживания или ремонта». То есть формирование структуры базируется на технологии производства основных работ по ТО и Р автомобилей.

Грязнов М.В. в своем диссертационном исследовании оперирует понятием «структурно-функциональной схемы» транспортной системы [44]. Схема включает в себя определение количества структурных элементов в транспортной системе, что соответствует части «структура». В части «функциональности» схема позволяет определить основные функции участников транспортного процесса в рамках решения производственной задачи по доставке груза автоперевозчиком на примере международной доставки контейнеров.

Федоров А.С. использует понятие «объемной функциональной системы организации производства» по диагностированию электронной системы управления автомобильным двигателем $W(^{\circ}F_{пр})$ [188]. Модель системы выбора оптимального способа организации производства построена на технико-экономическом принципе оценки объемов вложений V и стоимостных показателей производственно-технологических процессов С и имеет следующий вид:

$$W(^{\circ}F_{пр}) = \frac{C^2}{2}\ln(k_1 C) + \frac{V^2}{2}\ln(k_2 V) - \frac{C^2}{4} - \frac{V^2}{4} + \frac{1}{4k_1^2} + \frac{1}{4k_2^2} \qquad (1.9)$$

где $W(^{\circ}F_{пр})$ - объемная функциональная системы организации производства по диагностированию ЭСУД;

V - объем вложений в организацию производства;

С - стоимостные показатели производственно-технологических процессов;

k_1 – количество работ в априорном состоянии организации производства;

k_2 – количество работ в апостериорном состоянии организации производства.

В рамках выполнения поставленных в работе задач по организации производства автор проводит оптимизацию количества постов по диагностированию автомобилей и формирует перечень технологических операций с использованием модернизированной системы компьютерной диагностики неисправностей.

Существует довольно много определений и трактовок тезиса “Организация и управление производством по ТО и Р”.

Автор в работе [79] дает следующие определения:

1. организация производства (в общем) - форма, порядок соединения труда с вещественными элементами производства в целях обеспечения выпуска высококачественной продукции, достижения высокой производительности труда на основе лучшего использования средств труда и трудовых ресурсов.

2. организация производства как производственно-экономичекая система - совокупность производственной и организационной структуры, взаимодействующих между собой по определенным правилам и алгоритмам с помощью прямых и обратных информационных связей и технических средств управления, образующая определенную целостность и обеспечивающая возможность достижения целей управления.

То есть элементами организации производства являются организационная структура, производственная структура, правила их взаимодействия и информационная система [255].

Тот же автор в работе [79] следующим образом определяет производственную и организационную структуры:

1. под производственной структурой технической службы комплексного АТП понимают состав ее основных и вспомогательных подразделений, а также связи между ними в рамках совместного осуществления процессов обеспечения работоспособности машин;

2. под организационной структурой технической службы понимается совокупность ее подразделений с зафиксированной системой взаимоподчинения, закрепленной ответственностью и правами, обеспечивающими возможность выполнения ответственности.

В.М.Власов [33] определяет организацию как процесс координации действий для достижения поставленной цели. Предметом координации является число фаз производственного процесса, их специализация и взаимосвязь фаз. Этот же автор определяет производственную структуру как совокупность исполнителей, средств

производства, а также помещений, в которых они размещаются, и где осуществляется работа.

Следовательно, основными элементами производственной структуры являются производственные подразделения, помещения, оборудование, исполнители. Элементами организационной структуры являются административные подразделения и структура их взаимоподчинения.

Авторы исследования [129] определяют производственную структуру как совокупность производственных подразделений организации, преобразующих ресурсы на входе в систему в результаты на выходе, лежащую в основе построения структуры управления. Единство структуры аппарата управления и производственной структуры образует организационную структуру. Изучения производственных структур, как правило, выполняется посредством моделирования.

В научной литературе [125] моделирование - метод исследования, заключающийся в построении и анализе моделей - аналогов исследуемых объектов. Имея адекватную модель, можно с ее помощью проанализировать реакции управляемой системы (этап анализа), а затем выбрать (этап синтеза) и использовать на практике то управляющее воздействие, которое приводит к требуемой реакции.

В работе [10] представлено описание основных видов организационных структур управления и принципы их формирования. Автор пишет, что «структура может быть представлена в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка алгебры и других средств моделирования систем». Наибольшее распространение получили древовидные иерархические структуры. Среди них выделяют линейно-функциональные и дивизионные организационные структуры. Кроме того, существует тип адаптивных организационных структур. К ним относят матричные структуры управления, проектные, программно-целевые структуры управления и сетевые организационные структуры управления. Такие структуры более устойчивы к изменениям.

Автором приведено несколько подходов к формированию структур управления.

1. Нормативно-функциональный подход, предусматривающий унификацию организационных форм управления в рамках отрасли в виде типовых организационных структур. Такой подход был характерен для предприятий автомобильного транспорта.

2. Функционально-технологический, основанный на обработке и систематизации стабильной номенклатуры сложившихся функций управления.

3. Системно-целевой подход, использующий структуру целей компании и определение на этой основе функций управления, которые впоследствии оформляются в организационную структуру. Это наиболее перспективный, но

редко применяемый в настоящее время на предприятиях автомобильного транспорта подход.

В технической литературе известна следующая классификация предприятий автомобильного транспорта [118]:

1. автотранспортные предприятия, предназначенные для перевозки грузов или пассажиров, а также для выполнения работ по ТО и ТР, хранению и материально-техническому обеспечению подвижного состава;
2. автообслуживающие предприятия, предназначенные для выполнения ТО и ТР, хранения автомобилей и снабжения их эксплуатационными материалами;
3. авторемонтные предприятия, являющиеся специализированными предприятиями по капитальному ремонту автомобилей и агрегатов.

Область исследования в настоящей работе направлена на изучения предприятий первого и второго типов – автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания автомобилей.

Между тем, представленная классификация оперирует назначением и неким уровнем специализации предприятий, при этом конкретных классификационных признаков и диапазона их значений, как правило, не представлено.

В подтверждение вышеуказанного тезиса следует также сказать, что даже в рамках существующей классификации используются различные по типу классификационные признаки. Если для АТП определены показатели классификации: по характеру перевозок, по типу подвижного состава (ПС), по целевому назначению, по организации производственной деятельности и т.п., то в группу автосервисных предприятий отнесены все виды предприятий, не связанные очевидными общими свойствами: БЦТО, СТО, АЗС, стоянки, мотели, кемпинги.

Подобная классификация предприятий представлена и в работе [127], где основным группирующим параметром является мощность предприятия для различных типов подвижного состава. Для различной мощности характерно изменение видов выполняемых на предприятии работ по ТО и Р автомобилей. Для СТО основным параметром классификации, как правило, является количество постов.

При этом на автообслуживающих предприятиях в настоящее время основным производственным показателем, от которого выполняется стратегическое и оперативное планирование, является объем продаж (услуг) или количество заездов на сервис.

Согласно книге [118] в комплексном АТП должны быть предусмотрены следующие зоны и участки: зоны ТО и ТР, ЕО, диагностики; агрегатный, слесарно-механический, электротехнический, аккумуляторный, топливной аппаратуры, шиномонтажный, вулканизационный, кузнечно-рессорный, медницкий,

сварочный, жестяницкий, арматурный, деревообрабатывающий, обойный, малярный, таксометровый, радиоремонтный участки.

Тот же автор приводит типовые производственные участки для СТО, куда входят участки приемки и выдачи автомобилей, участок мойки, диагностирования, ТО, ТР, смазки, ремонта и заряда аккумулятора, ремонта электрооборудования, ремонта топливной аппаратуры, агрегатно-механический, шиномонтажный, обойный, кузовной, малярный и участок предпродажной подготовки автомобилей. Автор допускает объединение некоторых однородных видов работ на одном участке. В этой связи представляет интерес работа Д.А. Дрючина [53], в которой разработана методика определения оптимальной структуры производственно-технической базы для АТП. Исследователем определяется минимальное количество автомобилей, при котором целесообразно создавать отдельный специализированный участок. Однако, результаты представлены в виде статичной схемы для автобуса ПАЗ и ЛИАЗ, не учтен фактор интенсивности эксплуатации.

При этом если для АТП существует четкое разграничение между зонами (с заездом автомобиля) и участками (только работа с узлами и агрегатами автомобиля), то для СТО участок может представлять собой пост для постановки автомобиля. Участки делятся на основные - зона ТО и ТР и вспомогательные - специализированные на выполнение работ по типу систем автомобиля участки, куда могут быть отнесены также и помещения, где производится работа со снятыми с автомобиля агрегатами.

В работе [159] приведено количество операций по техническому обслуживанию автомобиля семейства УАЗ в зависимости от пробега, а также трудоемкости этих операций. Следует отметить, что закрепленные в нормативных документах нормы времени на ТО и ТР значительно устарели. Так, например, нормы времени на ТО и ТР автомобилей конце 90-х годов XX века также закреплены в документе [153].

Авторы работы [55] рассматривают перспективные направления совершенствования системы обслуживания и ремонта автомобилей, а также направления развития предприятий автосервиса. В первую очередь отмечается необходимость совершенствования традиционных технологий: технического обслуживания, ремонта силового агрегата и ходовой части, шиноремонта, ремонта и окраски кузова, ремонта электрических систем, восстановления деталей. Отдельно следует выделить инновационные технологии: ремонт электронных систем, диагностику узлов и агрегатов, сервис гибридных автомобилей, трехмерную печать уникальных деталей.

Так или иначе указанные направления связаны с вопросами организации производства и управления стратегическим развитием автосервисного предприятия.

Вместе с этим, существует некоторое расхождение между применяемым в настоящее время на предприятиях автосервиса термином «услуга» и используемым в технической литературе термином «технологическая операция» или «работа по ТО и ТР».

В прайс листах станций технического обслуживания используется понятие коммерческой услуги и вида работ.

Согласно учебнику [178] работы по ТО и Р подразделяются на уборочно-моечные, контрольные, регулировочные, крепежные, подъемно-транспортные, разборочно-сборочные, слесарно-механические, кузнечные, жестяницкие, сварочные, медницкие, очистительно-промывочные, смазочно-заправочные, вулканизационные, аккумуляторные, окрасочные. Аналогичные виды работ приводятся и в работе [127].

Там же используется термин «технологическая операция» – законченная часть технологического процесса, выполняемая над данным объектом или его элементом исполнителем на рабочем месте [127].

Нередко в технической литературе применяется термин «техническое воздействие». Согласно источнику [139] техническое воздействие — это воздействие на объект, оборудование или его узел (ремонт, техническое перевооружение, реконструкция, замена), приводящее к улучшению технических характеристик и состояния оборудования.

При этом предприятия сферы автосервиса в настоящее время используют понятия видов работ или «технологических операций» больше в качестве видов услуги, оказываемых СТО, чем в рамках технической трактовки этого термина.

Так, автор работы [189] приводит следующую классификацию перечня работ, проводимых на малых и средних СТО:

1. техническое обслуживание;
2. уборочно-моечные;
3. контрольно-диагностические;
4. смазочно-заправочные;
5. регулировка фар;
6. регулировка углов;
7. регулировка топливной аппаратуры бензиновых двигателей;
8. регулировка топливной аппаратуры дизельных двигателей;
9. электротехнические работы;
10. регулировка тормозной системы;
11. регулировка сцепления;
12. регулировка рулевого управления;
13. замена агрегатов;
14. ремонт двигателей;

15. ремонт коробок передач;
16. ремонт рулевого управления и подвески;
17. ремонт тормозной системы;
18. ремонт электрооборудования со снятием;
19. ремонт кузовов;
20. арматурные работы;
21. подготовка к окраске и окраска;
22. работы по защите от коррозии;
23. шиномонтаж;
24. ремонт повреждений шин и дисков;
25. ремонт мостов;
26. жестяницко-сварочные работы;
27. зарядка аккумуляторных батарей;
28. эвакуация;
29. ремонт и изготовление деталей;
30. установка дополнительногооборудования;
31. предпродажная подготовка;
32. определение токсичности отработавших газов;
33. гарантийное обслуживание и ремонт;
34. ошиповка шин;
35. ремонт системы выпуска отработавших газов.

Эти виды работ не полностью соответствуют «классическому» пониманию работ по ТО и ТР автомобилей и представляют собой оказываемые услуги населению. Некоторые из них представляют собой достаточно детализированный набор технологических операций, а некоторые соответствуют понятию технологического процесса.

Выявленные на данном этапе противоречия формируют потенциал для проведения дальнейших исследований по управлению и организации производства на транспорте, в том числе путем изучения научных работ, посвященных данной тематике.

1.3. Анализ существующих исследований по управлению технической эксплуатацией на предприятияъ автомобильного транспорта

Был проведен анализ диссертационных работ по научным специальностям 2.9.5 (05.22.10) и 2.9.1 (05.22.01) с 2012 года с использованием сайта ВАК vak.minobrnauki.gov.ru/.

В результате анализа выявлено, что в год защищается не более 30 диссертаций на научной специальности 2.9.5, причем количество их за последние 5 лет снизилось до 15 диссертаций в год (рисунок 1.7).

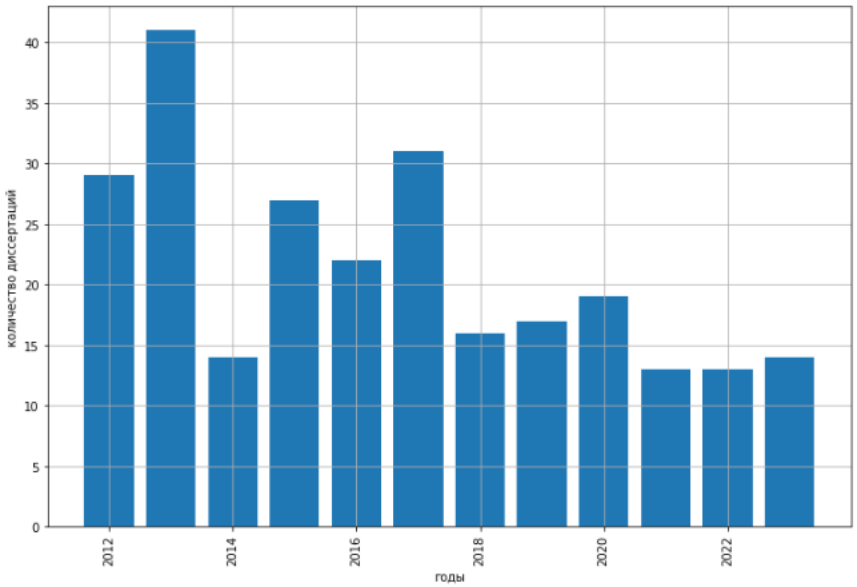


Рисунок 1.7 – Распределение диссертаций по специальности 2.9.5 (05.22.10) по годам

Распределение диссертационных работ по принадлежности авторов к городам, в которых находятся университеты, представлено на рисунке 1.8 (для удобства восприятия информации некоторые близлежащие города были объединены).

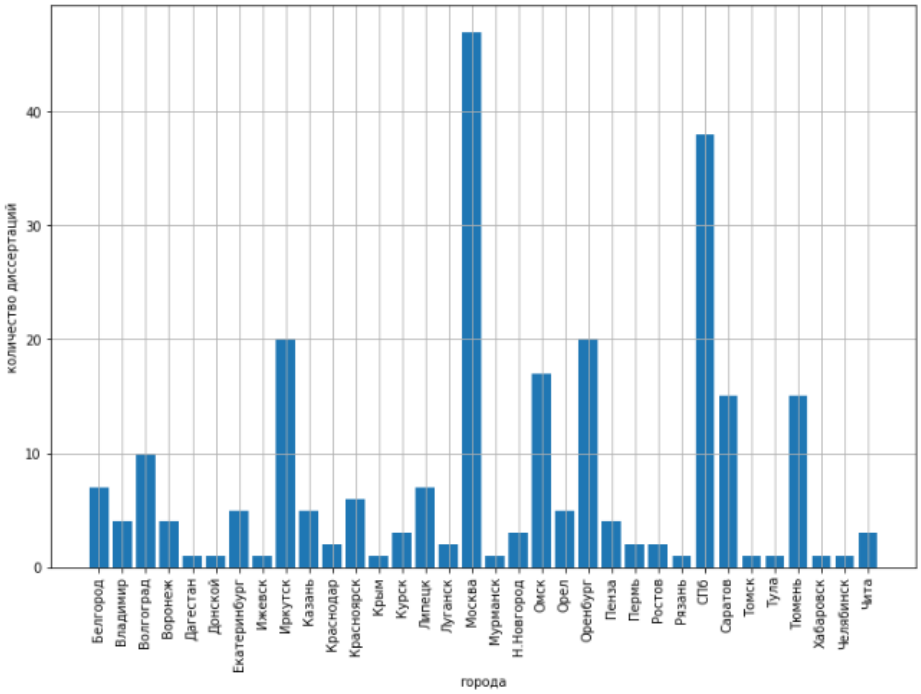


Рисунок 1.8 – Распределение авторов диссертаций по специальности 2.9.5 (05.22.10) по городам

Далее было сделано распределение диссертаций по специальности 2.9.5 по научным руководителям (консультантам), под руководством которых защищено более двух диссертаций.

Полученная информация послужила основой для проведения дальнейшего анализа. Для этого все диссертации в соответствии с пунктами паспорта научной специальности и направлениями совершенствования технической и коммерческой эксплуатации автомобилей были разделены на 12 категорий согласно их тематикам. В качестве категорий были использованы укрупненные тематики в рамках направлений совершенствования технической эксплуатации автомобилей, а также основный научных проблем, рассматриваемых в паспорте специальности. Категории представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Категории распределения диссертаций по специальности 2.9.5 по темам

	Наименование категории	Соответствующий пункт паспорта научной специальности
1	Система ТОиР	15, 18, 19
2	Производственная база	16
3	Персонал	23
4	Снабжение	14, 21, 22
5	Подвижной состав	4, 11, 12, 13, 24
6	Условия эксплуатации	20
7	КЭА (Коммерческая эксплуатация)	2, 5
8	Организация перевозок	8
9	Организация движения	3, 10
10	Организация трансп.процесса	7
11	Экология	6, 9
12	Безопасность движения	17

После этого для определения сферы научных интересов ученых в области специальности 2.9.5 был сделан сводный график распределения диссертаций по научным руководителям и тематикам.

Для представительности результатов и исключения большого количичества информации на гистограмме отбирались только ученые, руководившие значительным количеством исследователей.

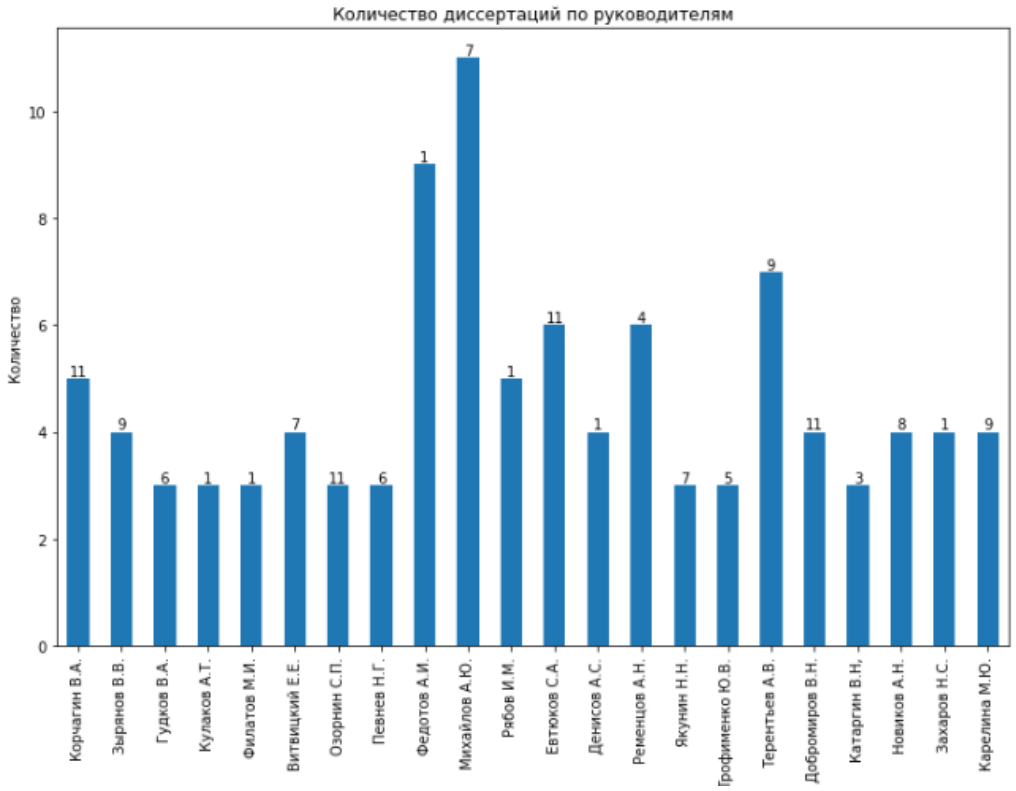


Рисунок 1.9 – Распределение диссертаций по специальности 2.9.5 (05.22.10) по научным руководителям (консультантам) и тематикам

Это позволило представить научные работы по тематикам и количеству работ, соответствующих каждой тематике (рисунок 1.10).

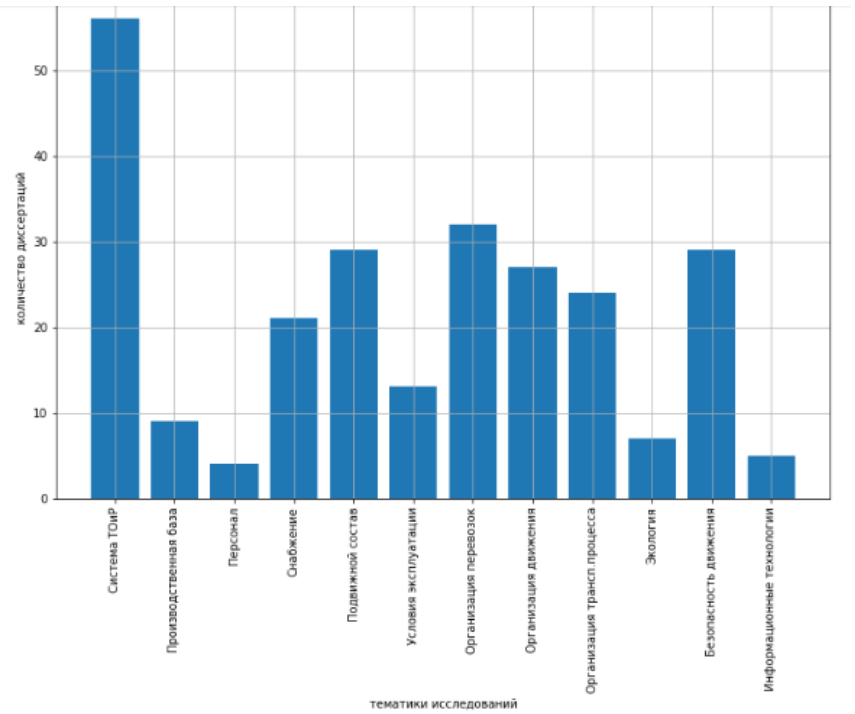


Рисунок 1.10 – Распределение работ по научной специальности 2.9.5 по тематикам

Можно увидеть, что большое количество работ посвящено тематике «Система ТО и Р». Углубленный анализ работ по этой тематике позволил детализировать направленность исследований. Выявлено, что большое количество работ в рамках указанной тематики посвящено вопросам реализации технологических процессов технического обслуживания, ремонта и диагностирования автомобилей (46%), а также вопросам формирования нормативов параметров технической эксплуатации (25%). Распределение подтем в виде круговой диаграммы представлено на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Круговая диаграмма подтем в рамках тематики «Система ТО и Р» диссертаций по научной специальности 2.9.5

Можно заключить, что работ по направлению «Организация ТО и Р», которое соответствует тематике настоящего диссертационного исследования, среди существующих работ по научной специальности 2.9.5 представлено лишь 8% от соответствующей темы или 2% от всех защищенных за рассматриваемый период работ. Данные, послужившие основой для проведенного анализа, представлены в Приложениях.

Из указанной категории был проанализирован ряд научных работ, соответствующих тематике настоящего исследования. Подробный анализ представлен ниже в текущей главе.

Аналогичное исследование было проведено для научной специальности 2.9.1. Для этой научной специальности также наблюдается уменьшение количества защищенных кандидатских и докторских диссертаций по годам, что представлено на рисунке 1.12.

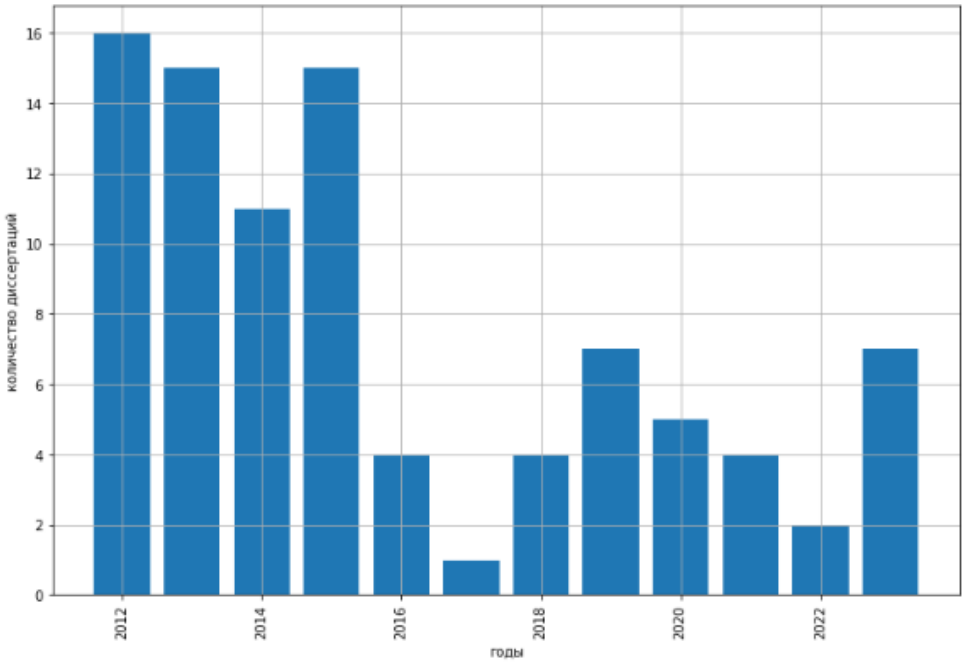


Рисунок 1.12 – Распределение диссертаций по специальности 2.9.1 (05.22.01) по годам

Распределение научных работ по городам нахождения университетов авторов представлено на рисунке 1.13. Для города Москва производилась детализация и по научно-образовательным учреждениям.

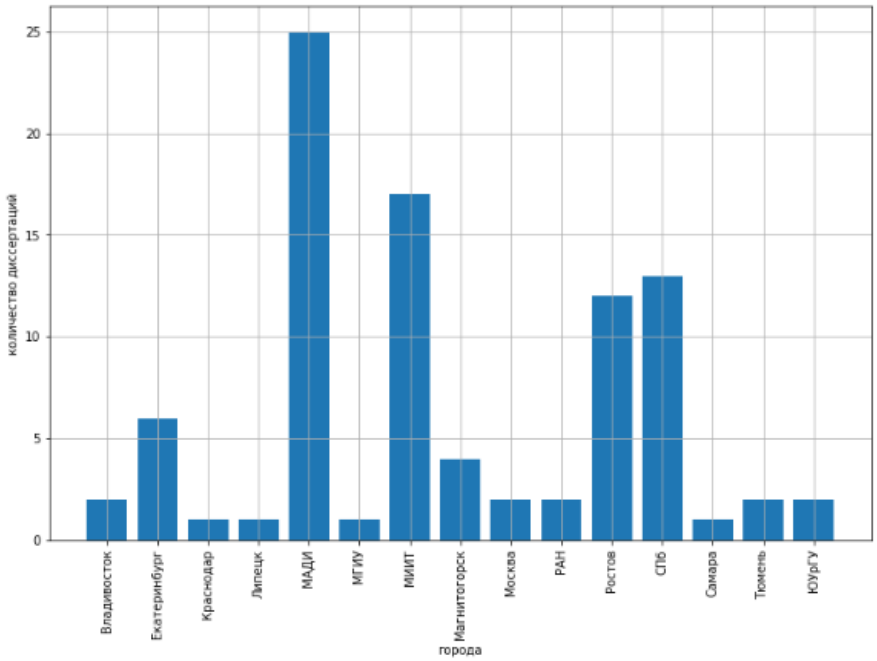


Рисунок 1.13 – Распределение авторов диссертаций по специальности 2.9.1 (05.22.01) по городам

Все работы по специальности 2.9.1 также были распределены на категории с использованием пунктов паспорта научной специальности. Категории представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Категории распределения диссертаций по специальности 2.9.1 по темам

	Наименование категории	Соответствующий пункт паспорта научной специальности
1	Транспортные системы	1, 3, 10
2	Виды транспорта	4, 5
3	Управление перевозками	2, 7, 9
4	Организация производства	6, 8, 14
5	Экология	12
6	Безопасность	11, 13

Большинство работ относится к тематике «Транспортные системы». Количество работ по теме, связанной с тематикой настоящего диссертационного исследования, для данной специальности больше, чем для 2.9.5 и составляет 17 работ. Распределение работ представлено на рисунке 1.15.

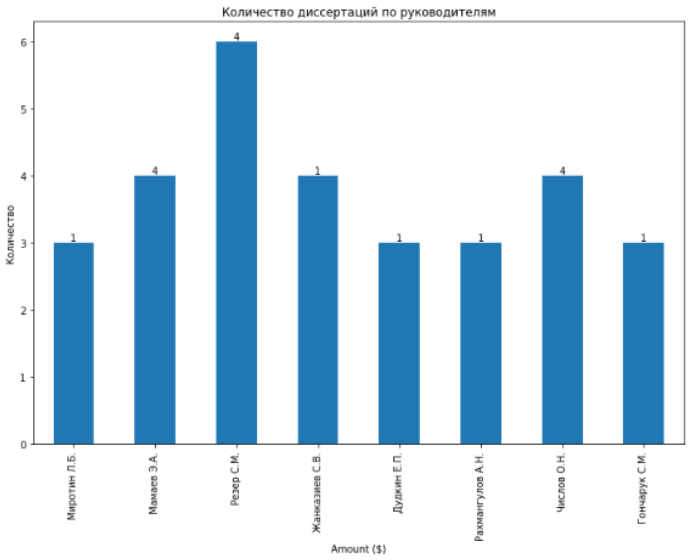


Рисунок 1.14 – Распределение авторов диссертаций по специальности 2.9.1 (05.22.01) по научным руководителям (консультантам) и тематикам

Все работы, входящие в указанную выше подкатегорию, были проанализированы. Большинство работ направлено на организацию транспортировочного процесса, поэтому находятся не в фокусе настоящих аналитических исследований. Среди наиболее близких к текущему исследованию можно выделить следующие работы [86, 150, 57, 112]. Эти работы будут проанализированы далее.

Исследования ряда авторов направлено на моделирование сложных организационно-производственных систем.

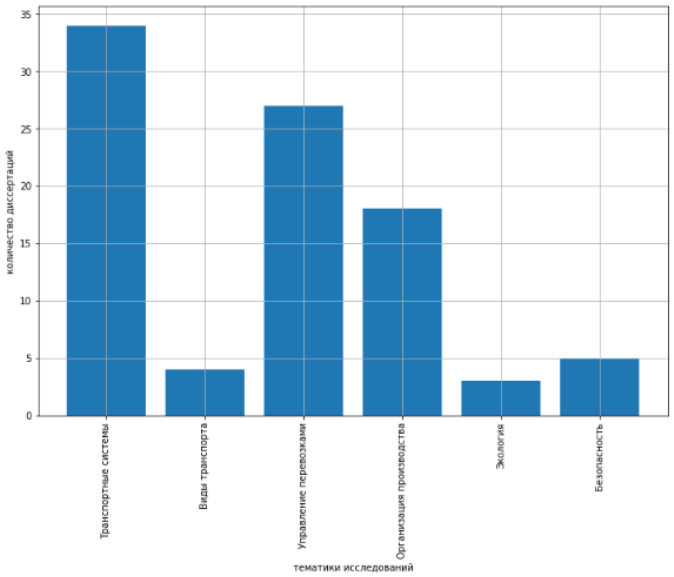


Рисунок 1.15 – Распределение работ по научной специальности 2.9.1 по тематикам

Так, в работе [57] представлена динамическая модель производственной системы – производства авиатранспортного продукта. Модель имеет блочно-модульную структуру и позволяет управлять авиационным производством для решения задач управления провозными емкостями, спросом на авиаперевозки, оптимизации парка воздушных судов, формирования показателей производственной деятельности. Особенностью модели является возможность изучения реакции производственного звена на динамику изменения спроса на авиауслуги. В качестве целевой функции используется показатель рентабельности производственной деятельности.

Следует более подробно рассмотреть диссертационное исследование В.М. Власова, посвященного проектированию организационно-технологического обеспечения производства ТО и ремонта автомобилей.

Автор определяет организацию как связующее звено между технологией и технологическим процессом [33]. Оценку прогрессивности технологических процессов, являющихся предметом координации в рамках организации производства, предлагается производить с помощью двух показателей: уровня специализации $Y^{сп}$ и коэффициента взаимосвязи фаз технологического процесса $К_{в.ф.}$.

Первый показатель характеризует степень однородности объемов работ по ТО и Р автомобилей на посту конкретного типа. Чем меньше значение рассеивания трудоемкости работ на посту при конкретной организационной форме технологического процесса (ОФТП) относительно базовой ОФТП, тем выше уровень специализации поста (показатель ближе к единице).

Коэффициент взаимосвязи фаз также изменяется от 0 до 1 и характеризует степень гибкости технологического процесса, определяемую наличием зависимых

фаз обслуживания. При использовании полностью независимых друг от друга постов, способных реализовать все виды работ по ТО и Р, коэффициент будет равен нулю, а при наличии поточной линии с жестким процессом взаимосвязей выполняемых работ коэффициент будет близок к единице.

Целевая функция оценки эффективности различных организационных форм технологических процессов учитывает затраты на содержание системы обслуживания и удельных потерь прибыли:

$$\begin{matrix} S_1^{уд.}(P^c) = (S_1^{со.уд.}(P^c) + S_1^{пот.уд.}(P^c)) \to \min \\ P_1^c \to P_{1\ опт}^c \end{matrix}, \qquad (1.10)$$

где P^c- вероятность завершения заданной программы обслуживания в запланированные сроки;

$S^{с.о.уд.}$ - затраты на содержание системы обслуживания;

$S^{пот.уд.}$ - удельные потери прибыли.

С использованием представленной целевой функции автором была произведена оценка прогрессивности решений по организации технологических процессов путем изучения влияния ряда факторов на производительность зон по ТО и ТР Q, а также на $S^{с.о.уд.}$и $S^{пот.уд.}$. Было рассмотрено четыре фактора: производственная программа по ТО и ТР N_c, надежность системы обслуживания P^c, уровень специализации $Y^{сп}$ и коэффициент взаимосвязи фаз $К_{в.ф.}$. Два последних фактора были рассмотрены выше.

Важнейшим научным результатом анализируемой работы следует считать предложенный автором методический подход, основанный на использовании модульного принципа построения организационно-технологического обеспечения производства по ТО и Р. Организационная структура технологического процесса проектируется путем добавления и комбинирования элементарных модулей трех типов, описанных выше: универсальных, специализированных постов и поточных линий. Из этих составных частей автором были сформированы также описанные выше три типовых варианта ОФТП. Каждый вариант характеризуется оригинальным вариантом комбинирования и/или дублирования некоторых базовых блоков и отличается от других степенью специализации постов на выполнении определенных видов работ. При всей важности рассмотренного подхода и актуальности заложенного в его основу принципа, он требует дальнейшего совершенствования. Во-первых, перечень типовых вариантов ограничен тремя единицами. Во-вторых, механизмы генерации представленных вариантов недостаточно прозрачны, и результат не может быть воспроизведен при изменении значений влияющих факторов или при изменении перечня факторов. В-

третьих, варианты были разработаны для централизованного специализированного производства регионального значения, и требуют адаптации для других типов предприятий автомобильного транспорта.

Б.С. Клейнером и В.В. Тарасовым рассматриваются вопросы оптимизации производственной структуры объединения автотранспортных организаций, включающих в себя несколько предприятий, каждое из которых способно выполнять определенные виды работ по ТО и Р автомобилей (централизация), весь комплекс работ (концентрация), совместный выпуск продукции (кооперирование) или быть специализированным на выполнении только одного вида технических воздействий. В связи с этим были разработаны критерии оценки эффективности производственной структуры:

1. уровень централизации работ;
2. уровень концентрации производства;
3. уровень специализации производства;
4. уровень кооперирования производства.

Актуальность исследований на момент их проведения была обусловлена увеличением размеров автотранспортных предприятий и ростом парка подвижного состава на каждом из них. В связи с этим возникали большие объемы технических воздействий, которые необходимо было рационально распределять между предприятиями. Расширение производственной базы одного предприятия не является рациональным вариантом, поскольку увеличение числа постов не всегда ведет к повышению рентабельности [79].

В связи с этим для крупных автотранспортных объединений (АТО) обосновывается и предлагается к использованию отдел управления производством (ОУП) и система централизованного управления производством (ЦУП).

Общая технология работы группы управления включает в себя следующие укрупненные блоки операций:

- прием и сдача смены;
- оперативный контроль выполнения планов проведения диагностирования, ТО-1 и ТО-2;
- оперативное планирование, регулирование, учет и контроль выполнения ремонтов подвижного состава;
- организация и контроль выполнения работ по своевременной подготовке запасных частей и материалов для выполнения регламентных работ и сопутствующих ТО-2 ремонтов.

Приводятся типовые варианты производственной структуры управления производством по основному показателю – количеству автомобилей на АТП. Уровни градации количества автомобилей следующие: АТП до 50 автомобилей, от 50 до 100 и т.д. с шагом в 50 единиц. Основное отличие таких типовых структур:

применение комплексных бригад и совмещение ряда производственных функций одним исполнителем для АТП с малым количеством автомобилей. Для АТП с большим количеством автомобилей комплексная бригада начинает разбиваться на производственные звенья, каждое из которых может специализироваться на выполнении отдельных работ либо по группам технологически совместимых марок автомобилей, либо по специфике выполняемых работ.

Так, например, на АТП от 50 до 100 автомобилей работы по ТО-2 и ТР рекомендовано выполнять комплексной бригадой, все ремонтные участки являются универсальными с разделением исполнителей по типам выполняемых работ. А для АТП от 150 до 200 автомобилей работы по ЕО, ТО-1, ТО-2, ТР выполняются отдельными специализированными бригадами, кроме того, выделяются отдельные участки для проведения агрегатных, слесарно-механических, кузнечно-сварочных, электротехнических работ.

По сути, автор говорит о создании «условий для специализации производства» при увеличении количества обслуживаемых на АТП автомобилей.

С учетом вышеприведенных тезисов следует отметить, что функция контроля является важной функцией при управлении производственными процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей. В настоящее время одним из распространенных способов решения задач контроля является видеонаблюдение и визуальный контроль [90, 100, 102, 103, 16].

Авторами и их предшественниками было установлено, что для изучения вопросов управления технической службой автотранспортных предприятий можно использовать теорию массового обслуживания. Это обусловлено тем, что «потоки заявок на ремонт являются пуассоновскими, а характеристики обслуживания могут быть приближены к экспоненциальным законам распределения».

Были установлены факторы, влияющие на формирование производственной структуры автотранспортных объединений. Факторы перечислены ниже: количество предприятий в объединении, общая численность подвижного состава, общность зоны работы подвижного состава, расстояние от базового предприятия до филиалов, состояние дорог, уровень концентрации подвижного состава, уровень концентрации ПТБ, уровень однородности структуры парка объединения, уровень специализации предприятий по подвижному составу, эффективность средств связи между предприятиями. То есть задача сводится к оптимизационной задаче, для решения которой может быть использован метод линейного программирования. Аналогичные подходы формирования распределенной структуры производственной базы представлены также в работе автора настоящего исследования [81], а также в работе [197].

Интерес представляют разработанные автором методы организации функционирования централизованной системы управления производством на автотранспортных предприятиях, объединениях [197].

Первой крупной задачей, решаемой авторами, является календарное планирование ТО и предупредительного ремонта (ПР). Задача решается в два этапа. На первом этапе для каждого автомобиля согласно определенной периодичности T_j формируется множество требуемых к обслуживанию и замене k-ых блоков в i-ом агрегате автомобиля N_{ik}. После чего для этих блоков ставится в соответствие набор значений трудоемкости a_{ik} замен или ремонтов блока N_{ik}. В результате решения выдается список номеров ТО T_j и наборы операций

$$\begin{Bmatrix} N_{i1}^{j}K_1^{j},...,N_{in}^{j}K_n^{j} \\ a_{i1}^{j}K_1^{j},...,a_{in}^{j}K_n^{j} \end{Bmatrix}, \tag{1.11}$$

соответствующие отказам блоков в моменты планируемого ТО.

Второй этап заключается в формировании месячного плана ТО с учетом суточных пробегов автомобилей и выполненного предыдущего ТО, а также в корректировке сформированного плана с учетом выполненных работ по диагностированию. Авторы сводят задачу к транспортной и решают ее соответствующим образом.

Вторая задача связана с оперативным управлением процессом обслуживания заявок и заключается в определении:

- конкретных каналов обслуживания;
- планового времени обслуживания заявки;
- технологической последовательности выполнения заданного объема работ на конкретных каналах обслуживания.

В связи с этим авторы вводят две характеристики заявки: диспетчерскую и технологическую. Первая определяет содержащееся в заявке сочетание работ с указанием плановой продолжительности их выполнения. Она имеет следующий вид:

$$D^i(t_o) = \{2,0,0,1,..,T_j\}, \tag{1.12}$$

и говорит о том, что для i-ой заявки должны быть выполнены работы на 1 канале в течение 2-х часов, на четвертом в течение одного часа, а выполнение работ на 2 и 3 канале не требуется.

Технологическая характеристика определяет очередность выполнения отдельных видов работ и имеет следующий вид:

$$B^i(t_o) = \{3,0,0,3,1..,2\}, \tag{1.13}$$

что говорит о том, что сначала должны быть выполнены работы на 5 канале, затем на последнем, а работы на 1 и 4 канале могут быть выполнены в любой последовательности.

Для оценки уровня организованности производства на предприятии вводится понятие коэффициента организованности канала $K_{орг}$, являющимся отношением нормативного времени выполнения заявок $T_{норм}$ к фактическому $T_{факт}$:

$$K_{орг} = \frac{T_{норм}}{T_{факт}}. \quad (1.14)$$

Задачей системы управления на среднесрочном уровне является увеличение значения $K_{орг}$, который зависит от своевременности постановки автомобилей на посты, доставки запасных частей и материалов, передачи информации, а также от обеспеченности инструментом и оснасткой.

Задачей системы управления на оперативном уровне является формирование такого расписания R выполнения множества заявок N за период планирования [0,T], при котором заявки распределяются между имеющимися J каналами обслуживания с m_j активных постов таким образом, чтобы общее количество обслуженных автомобилей было максимальным:

$$\max_R M(T, N, R). \quad (1.15)$$

Задача отнесена авторами к типу задач теории расписаний, которая решается в частном виде путем предварительного выбора рациональной дисциплины обслуживания заявок, например, с отдачей приоритета обслуживания коротких по времени заявок, длинных заявок и т.п.

В результате по алгоритму оптимальной перестановки формируется приемлемый вариант расписания обслуживания. Алгоритм предполагает наличие исходной информации о количестве обслуживаемых автомобилей и времени обслуживания каждого автомобиля на каждом посту. Сопоставляя варианты пар «автомобиль – пост», определяется минимальная продолжительность обслуживания всех планируемых автомобилей, которая и будет являться оптимальной.

Учет влияния случайных факторов, связанных с несвоевременной поставкой автомобилей на посты, задержкой поставки запасных частей и т.п. предлагается осуществлять за счет разделения всех постов на три типа: активные, пассивные и оперативные. Активные посты участвуют в оперативном планировании и являются основным звеном, выполняющим все работы в плановый период. Оперативные и пассивные посты не участвуют в планировании и используются для обслуживания

заявок, поступивших после окончания плана, причем последние являются резервными.

Тем не менее, актуальность самой системы ЦУП и некоторые заложенные в ее основу общие принципы в настоящее время снижаются. Это указывается, например, в публикации [109]. Выполнение каждого вида технического воздействия специализированными подразделениями, объединение подразделений в производственные комплексы все реже используются на современных предприятиях. Это связано с уменьшением размера и мощности автотранспортных предприятий, а также полным переходом на обособленную юридическую форму ведения бизнеса и коммерческую ориентацию основных технологических процессов.

Создаются новые формы кооперации, при которых одни предприятия автомобильного транспорта заключают договоры на выполнение части специализированных работ по ТО и ТР автомобилей с другими предприятиями [198]. Тем не менее, это не носит массовый характер, и большинство предприятий выполняют весь перечень заявленных услуг автономно.

Также авторы в работе исследуют в основном об оперативном управлении производством, при этом вопросы планирования, мотивации и контроля не раскрываются в полном объеме. Помимо этого, при формировании вариантов типовых организационно-производственных структур разработчиками учитывались устаревшие нормативы периодичности и трудоемкости ТО и Р подвижного состава, которые за 40 лет существенно изменились [127]. Вопросы резервирования рабочих постов также являются сложно реализуемыми в условиях ограниченных размеров помещений, снижения объемов работ и поиска новых методов увеличения прибыли автотранспортных предприятий.

Большой вклад в изучение вопросов влияния условий и интенсивности эксплуатации автомобилей на управление ресурсами предприятий автомобильного транспорта внес профессор Н.С. Захаров и представители его научной школы. Для удобства систематизации проанализированных научных работ была рассмотрена структура системы технической эксплуатации автомобилей на предприятии. В основу структуры положен «классический» подход технологического расчета автотранспортного предприятия, основные методические этапы которого определены в ОНТП-01-91 и «Положении о ТО и Р», а также в работах [73]. Представленная на рисунке 1.16 модель не претендует на абсолютный охват и оригинальность, однако позволяет продемонстрировать спектр проанализированных исследований в рамках обозначенной научной школы (рисунок 1.16).

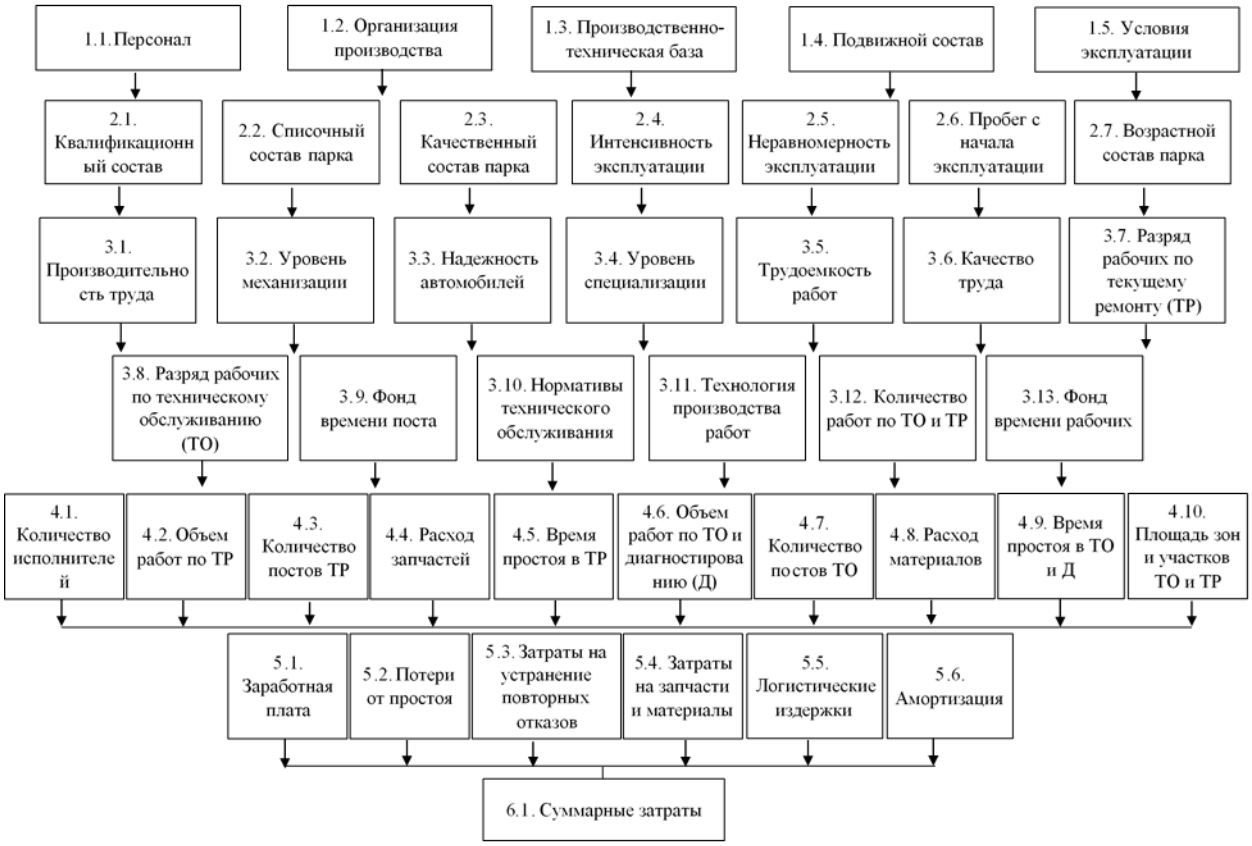


Рисунок 1.16 – Схема системы формирования затрат на управление технической эксплуатации автомобилей

В представленной выше схеме все структурные элементы были пронумерованы согласно иерархии влияния друг на друга и этапам определения значений элементов. Уровень первый – основные направления совершенствования ТЭА. Уровень 2 и 3 – факторы, определяющие технологические параметры предприятия, формируемые на уровне 4. Уровень 5 – составляющие суммарных затрат, итоговое значение которых определяется на уровне 6. Все проанализированные работы были систематизированы в таблице, столбцы которой показывают авторов исследования, а также влияющие и зависимые факторы, закономерности взаимосвязи которых были изучены авторами (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Изученные закономерности влияния факторов на повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей по схеме на рисунке 1.16

Влияющий фактор	Зависимый фактор	Автор
2.1.	3.1.	Кичигин С.Ю. [78]
2.1.	3.6.	Кичигин С.Ю.
2.2.	3.7.	Кичигин С.Ю.
2.4.	3.7.	Кичигин С.Ю.
1.5.	3.7.	Кичигин С.Ю.

Продолжение таблицы 1.3

2.5.	4.7.	Шевелев Е.С.[194]
2.2.	4.7.	Шевелев Е.С.
3.9.	4.7.	Шевелев Е.С.
2.4.	4.5.	Сергиенко Е.В.[156]
2.2.	4.3.	Сергиенко Е.В.
2.4.	4.3.	Сергиенко Е.В.
2.5.	4.3.	Сергиенко Е.В.
2.6.	4.3.	Сергиенко Е.В.
1.5.	4.3.	Сергиенко Е.В.
2.2.	4.10.	Бугаев К.В.[23]
2.4.	4.10.	Бугаев К.В.
1.5.	4.10.	Бугаев К.В.
2.5.	4.10.	Бугаев К.В.
1.5.	3.3.	Быков Д.С. [29]
1.5.	3.3.	Ракитин А.Н. [142]
1.5.	3.3.	Мальшаков А.В. [111]
1.5.	3.3.	Аникеев В.В. [6]
2.4.	3.3.	Ракитин А.Н.
2.4.	3.3.	Аникеев В.В.
1.4.	2.4.	Довбня Б.Е. [49]
2.5.	4.6.	Довбня Б.Е.
1.5.	4.8.	Петелин А.А. [134]
1.5.	4.8.	Вознесенский А.В. [34]
1.5.	4.8.	Макаров Е.И. [106]
1.5.	4.4.	Вознесенский А.В.
2.4.	4.4.	Вознесенский А.В.
2.4.	4.8.	Вознесенский А.В.
2.4.	4.8.	Макаров Е.И.
1.5.	3.5.	Григорьян Т.А. [43]
2.2.	3.5.	Григорьян Т.А.
2.3.	3.5.	Григорьян Т.А.
2.4.	3.5.	Григорьян Т.А.
3.10.	4.6.	Макарова А.Н. [107]
2.4.	3.10.	Макарова А.Н.
3.10.	4.2.	Макарова А.Н.
2.2. - 2.6.	3.12.	Известные методики технологического проектирования АТП
3.1. - 3.13.	4.2., 4.6.	

Продолжение таблицы 1.3

4.2., 4.6.	4.10.	
4.2., 4.6.	4.1. , 4.3. - 4.5., 4.7. - 4.11.	
4.2., 4.6.	5.1. - 5.4.	
5.1. - 5.6.	6.1.	
1.5.	4.4., 4.8.	Зиганшин Р.А. [66]
2.7.	6.1.	Теньковская С.А. [176]
2.7.	3.3.	Теньковская С.А.
1.5.	4.8.	Бузин В.А. [24]
1.5.	3.3.	Захаров Н.С. [63]

Можно сделать вывод, что большинство структурных взаимосвязей между элементами системы уже были исследованы. В частности, достаточно подробно были изучены вопросы влияния условий и интенсивности эксплуатации на процессы изменения качества автомобилей, на параметры производственно-технической базы, на потребность в запасных частях для обслуживания и ремонта автомобилей. Однако, исходя из приведенного выше анализа можно заключить, что вопросы организации производства по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей были изучены недостаточно.

Корчагин В.А. рассматривает вопросы организации предремонтного диагностирования на авторемонтном предприятии с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) [89]. Автор предлагает использовать обученную нейросеть для определения технологических маршрутов пришедших на ремонт автомобильных двигателей с учетом ряда технологических параметров. Модель ИНС по значениям входных факторов прогнозирует ремонтный маршрут, после чего агрегат направляется по нему. Такой подход позволяет сократить время на постановку диагноза, а также избежать человеческие ошибки. Таким образом, искусственный интеллект с помощью разработанного АРМ встраивается в информационную систему предприятия и может быть эффективно использован для организации ремонтного производства. Следует отметить, что вопросы применения нейронных сетей и технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли рассмотрены широким кругом отечественных и зарубежных исследователей [203, 250, 231].

Например, в работе [112] рассматриваются вопросы цифрового управления работой экспедиционной компании с применением нейросетевых технологий. Автором разработана цифровая модель взаимодействия и управления экспедиционной деятельностью. Кроме того, автор разработал и использовал в

организации экспедиционных процессов управления сервис-ориентированную архитектуру управления перевозочным процессом.

Кроме того, широкое распространение в настоящее время получают рекомендательные системы различного рода [201]. Такие системы, наряду с системами поддержки принятия управленческих решений, позволяют в режиме реального времени анализировать информацию и давать рекомендации об эффективности реализации тех или иных технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта. В рамках применения технологий искусственного интеллекта на первый план выходят глубокие нейронные сети, имеющие значительное количество скрытых слоев и способных решать широкий спектр задач регрессии, классификации и генерации информации. Такая область задач получила название глубокого обучения.

Это доказывает возможность использования современных информационных технологий в сфере технической эксплуатации автомобилей, а также подтверждает высокий потенциал для оптимизации технологических процессов подобными методами.

В работе Фирсова И.В. осуществляется совершенствование организационно-производственной структуры станций технического обслуживания автомобилей [189]. Он разделяет все факторы, влияющие на структуру, на три группы: управляемые, к которым относит общую площадь помещений, количество постов, производственных рабочих и номенклатуру предоставляемых услуг; неуправляемые и частично управляемые. Также в работе приведена диаграмма востребованности работ для малых и средних СТОА, где указана номенклатура услуг, предоставляемых автосервисами, и частота их выполнения. Вместе с этим, основным результатом исследований автора является номограмма определения технико-экономических показателей СТОА, которая позволяет исходя из общей площади помещений определить необходимое количество постов, номенклатуру услуг, выработку постов и количество производственных рабочих. Интерес представляет практическое использование результатов исследования, в рамках которого основные показатели станции могут быть определены только из площади имеющегося помещения, что соответствует современному «рыночному» подходу к запуску бизнеса в сфере технического сервиса автомобилей. Однако, номограмма автора позволяет определить только ограниченное количество технологических показателей станции технического обслуживания. Кроме того, сам метод номограмм в настоящее время вытесняется более современными и точными методами на основе информационных технологий. При этом закономерности изменения организационно-производственной структуры предприятий от управляемых факторов автором рассмотрены не были.

Подобного подхода придерживается В.Ю. Букреев в работе по совершенствованию организации технического сервиса лесозаготовительных машин [25]. Процесс восстановления машин представляется в виде системы массового обслуживания, в ходе имитационного моделирования работы которой определяется оптимальное количество каналов обслуживания (постов). Созданная автором модель позволяет определить технологически необходимое число каналов обслуживания, предварительно установив величину среднего времени восстановления машины, интенсивность поступления требований от одной машины, а также нормативное значение коэффициента технического использования. Этой задаче должна предшествовать процедура совершенствования технологических процессов работы подразделений. Конкретные шаги в этой связи в оптимизационных моделях автора не представлены. Тем не менее, предлагается система показателей для оценки эффективности процессов ТО и ремонта: коэффициент оперативной работы или коэффициент эффективности использования трудовых ресурсов; коэффициент непроизводительных потерь рабочего времени ремонтным персоналом; интенсивность труда.

Гамазин И.В. рассматривает механизмы управления сетью автомобильных дилерских предприятий [38]. Автор анализирует существующую иерархическую структуру управления автомобильным концерном, предлагая более эффективный вариант с перераспределением уровня подчиненности звеньев структуры. При этом автор не рассматривает факторы, влияющие на изменение организационной структуры, а также не описывает механизмы ее формирования. Также в работе не представлена вариативность организационных структур, и выбор наиболее эффективной происходит в режиме безальтернативного противопоставления двух структур – существующей и предлагаемой. В результате автор по критерию рентабельности осуществляет сравнение вариантов различных стратегий поведения инвесторов, заключающихся в создании официального дилерского предприятия, «серого» дилерства, сервисного предприятия и запуска дополнительных инвестиционных проектов. При этом недостаточно понятно описываются управляемые факторы и критерии управления, а также критерии оценки эффективности.

Последний параметр достаточно полно раскрыт в работе Балалаева М.А. [11]. Автор приводит достаточно подробную систему оценки эффективности управления авторемонтным предприятием по пяти направлениям (или перспективам) его развития. Методологической основой повышения эффективности управления автотранспортным предприятием в исследовании автора является инновационно-маркетинговый подход, который подразумевает стратегическое развитие предприятия путем поиска, разработки и внедрения

инноваций в различные сферы своей деятельности. К инновациям первой группы автор относит совершенствование внутренней деятельности предприятия (производства, управления), а к инновациям второй группы – создание или модернизацию существующих товаров и услуг. Автор предлагает использовать матричную структуру управления процессом инновации, а в качестве инструмента управления применять проектный менеджмент. Можно заключить, что рекомендации автора можно применить для внедрения крупных технических инноваций в деятельность существующего предприятия, однако, подобные подходы затруднительно использовать при управлении текущей производственной деятельностью организации автомобильного транспорта. Кроме того, проектный подход применим для достаточно крупных организаций с разветвленной структурой и большим количеством процессов, что не очень характерно для предприятий в сфере автомобильного транспорта.

В работе Колесникова М.В. [86] для управления железнодорожной транспортной системой использована теория ценозов – биологическое понятие, означающее любое сообщество организмов внутри некоторой системы. В качестве отдельного элемента системы (или особи) автор рассматривает организацию (предприятие) в структуре системы РЖД. При этом структура ценозов описывается распределениями разного типа: видовым распределением, характеризующим количество предприятий в структуре системы; ранговидным распределением по номеру и параметру, характеризующим уровень конкретной организации в иерархической структуре системы. В ходе моделирования с использованием морфологического анализа автор определяет наиболее эффективную структуру системы с учетом установленных критериев эффективности, в качестве которых были использованы показатели исследования пропускной способности системы массового обслуживания. Автор определяет такую структуру, при которой наблюдается оптимум между размером системы и количеством элементов (подструктур) в системе железных дорог. Разработанный подход позволяет реформировать железнодорожную компанию путем определения типа корпоративной структуры управления, стиля управления, перераспределения ресурса между элементами структуры РЖД, ликвидации части предприятий или их перевода на аутсорсинг. Методами динамического программирования решается многокритериальная задача выбора оптимальных параметров организации по ряду установленных критериев. В модель включаются новые предприятия или исключаются существующие, в результате чего определяется лучший вариант системы управления железными дорогами, в который входит определенное количество предприятий с известными параметрами.

Вместе с этим, представленный концептуальный подход не лишен ряда недостатков. Во-первых, исследование автора направлено на оптимизацию

структуры управления корпорацией федерального масштаба, в систему которой входит огромное количество организаций различного назначения и специализации. В таких условиях применяется оптимизация на макроуровне, которая по существу ограничена только количеством элементов в общей структуре управления. Масштаб модели не позволяет углубиться в технологические процессы производства работ, которые, очевидно, также влияют на эффективность системы в целом. Это затрудняет использование положений для управления структурой отдельной организации, не имеющей развитую региональную сеть. Во-вторых, концепция автора базируется на экспертном мнении о характеристиках моделируемых предприятий, степени взаимодействия единиц управленческой структуры, комбинациях организационных структур для различных стилей управления. Это предъявляет повышенные требования к экспертам и снижает воспроизводимость исследования применительно к другим отраслям экономики. В-третьих, железнодорожная отрасль имеет специфическую систему коммерческого использования. Факторы, определяющие подходы к управлению ей, значительно отличаются от факторов, влияющих на предприятия в сфере автомобильного транспорта.

Следует отметить, что вопросы управления крупными транспортными системами регионального или федерального уровня были достаточно хорошо изучены. Например, в работе [135] рассматривается методология организации региональной транспортной системы (РТС). Под региональной транспортной системой автор понимает сеть и подвижные средства всех видов магистрального транспорта, взаимодействующие между собой, с хозяйством обслуживаемого региона и с аналогичными РТС смежных регионов. Основную цель по разработке концепции и теоретических основ организации взаимодействия РТС с хозяйством обслуживаемой территории автором предлагается решить за счет следующих научных положений: технологического сопряжения обслуживаемого транспортной системой межотраслевого комплекса; моделей функционального районирования территории региона на основе многокритериальных методов, а также разработки экономико-математической модели распределения общесистемного ресурса по элементам системы.

Автором разработаны подходы к моделированию больших транспортных систем, предметом которого является структура системы и взаимодействие между ее элементами, а также состояние ее внешнего окружения и изменения в нем. В качестве методической основы для разработанных моделей рассматривается конечное количество прогнозных сценариев взаимодействующих систем транспорта и других отраслей хозяйства, которые затем численно оцениваются с использованием установленных показателей эффективности. Этот подход послужил основой для районирования региональной транспортной системы

Свердловской области на 17 узлов и 6 транспортных районов. По сути, автором был использован метод кластеризации элементов транспортной системы по критериям уровней грузовой работы всех видов транспорта, а также по степени однородности объектов внутри кластера относительно их межкластерного различия.

Методы перебора различных вариантов сочетания параметров системы для поиска ее оптимальной структуры используются достаточно часто. Такие задачи можно отнести к разновидностям транспортных задач, например, задача Монжа — Канторовича, или задач комбинаторной оптимизации, одним из примеров которых является задача о ранце. Например, Паршина Л.Н. в своей работе [132] решает задачу оптимального распределения транзитного контейнерного грузопотока по транспортной сети РФ. Задача решена методами квадратичного программирования по критерию минимизации суммарного времени продвижения транзитных контейнеров по территории России. В качестве примера постановки такой задачи автор приводит необходимость оптимального распределения 240 контейнеров, прибывших на транзитный контейнерный терминал на азиатской границе, между тремя возможными маршрутами. Определена производительность каждого контейнерного терминала и время движения до них.

Еще одним часто встречающимся типом задач является задача оптимального распределения ресурсов между элементами системы для повышения эффективности ее функционирования.

Петровым М.Б. предложена методика оптимизации РТС по экономическому критерию, которая определяет приведенные затраты З через капитальные вложения К в объект транспортной системы и эксплуатационные затраты С по всей системе [135]. В обобщенной форме модель имеет вид:

$$З = K + C \rightarrow \min . \qquad (1.16)$$

Разработанная модель может быть использована для принятия управленческих решений по экономическому критерию и позволяет определять эффективность привлекаемых в отдельный элемент системы ресурсов. Эффективность использования модели приведенных затрат возрастает в случае осуществления крупномасштабных транспортных проектов в условиях нарастания ограничений по ресурсам.

Еще одним примером задач распределения ресурсов является задача определения оптимальных объемов инвестиций в развитие пропускной способности контейнерного терминала, решенная Паршиной Л.Н. [132]. В условии задачи есть максимально возможная сумма, которую можно потратить на развитие пропускной способности терминала. Сумма может быть потрачена на различные меры по оптимизации работы, например, улучшение организации труда, обслуживание и ремонт оборудования и т.п. При этом изменяется характеристика

работы системы как системы массового обслуживания: интенсивность потока обслуживаний. Задача осложнена тем, что при различной стратегии инвестирования средств динамически меняются и параметры системы, например, по достижении некоторой суммы инвестиций, достаточной для реконструкции терминала, резко увеличивается интенсивность потока обслуживаний, т.е. функция зависимости интенсивности потока обслуживаний от объема инвестиций будет иметь скачкообразный характер. Для аппроксимации подобных сложных функций используются, например, методы кусочно-полиномиальной интерполяции [132].

Вопросы управления ресурсами транспортных предприятий раскрыты в работах [106, 134]. Рыбалкина А.Л. исследует модели распределения ресурсов между подструктурами авиатранспортного предприятия для обеспечения заданного уровня безопасности полетов и повышения экономической эффективности работы системы [150]. Автор связывает понятия безопасности полетов и использования ресурса в системе. Под системой понимается любой элемент структуры авиационного предприятия, под ресурсом – денежные средства, полученные из прибыли от ведения основной деятельности предприятия. Также в качестве ресурса могут быть использованы материальные, энергетические, интеллектуальные, людские и прочие ресурсы. Решаемая задача сводится к поиску решений, при которых ресурс был распределен между элементами системы наиболее эффективным способом (при минимальном количестве ресурса) с соблюдением совокупного высокого уровня надежности. Модель учитывает расходы на обеспечение и поддержание безотказной работы в отдельной структуре и в системе в целом, а также эффективность использования ресурса. Представляемый автором подход интересен тем, что позволяет оценить степень эффективности системы по сравнению с равномерным распределением ресурса между всеми подструктурами. Недостатком работы является абстрагирование ресурса от его фактической сущности. Модель оперирует не конкретным типом ресурса, а некоторым его идеализированным отображением.

Вопросы управления автомобильными перевозками и принятия управленческих решений были исследованы в работе В.М. Курганова [99]. Для решения задач управления автор предлагает использовать ситуационный подход – изучение влияния различных комбинаций входных факторов (ситуационных переменных) на показатели эффективности перевозок, которые формируют перечень реально возникающих ситуаций перевозочного процесса. Ситуационная модель процесса доставки реализована по принципу «черного ящика» и учитывает ресурсы системы перевозок грузов, влияние внешней среды и выходные параметры, такие как эффективные и неэффективные затраты ресурсов, объем и качество транспортных услуг, а также воздействие системы на внешнюю среду.

Исследование ситуаций предлагается осуществлять с помощью разработанной имитационной модели перевозочного процесса. Модель позволяет определить значения оценочных показателей множества вариантов перевозок и выбрать из них наилучший, т.е. представляет собой оптимизационную модель поиска наилучшего решения по установленным критериям. В приведенном примере модели взаимодействия цеха готовой продукции завода крупнопанельного домостроения, транспортных средств и строительных объектов в качестве управляемых факторов используются количество постов погрузки, количество монтируемых объектов и количество автомобилей для перевозки деталей (домовых панелей). В качестве целевой функции модель использует показатель минимизации потерь из-за простоев автомобилей и кранов при заданной производительности транспортно-монтажного процесса. Преимуществом модели является учет сезонных и внутричасовых колебаний пассажиропотоков, который позволяет повысить эффективность управления перевозками и создать основу для пространственно-временной классификации ситуаций транспортного обслуживания жителей города.

Кроме того, автор предлагает классификацию типов управленческих решений проблемных ситуаций с использованием иерархического графа, каждая конечная ветвь которого представляет собой решение. Был оценен вклад каждого типа решений в результативность организации транспортно-монтажного процесса, а также потребность каждого варианта решения в ресурсах для его исполнения. Выявлено, что оперативные меры по отдельности позволяют устранить только около 10% причин проблем, в то время как долговременные мероприятия в совокупности позволяют устранить до 51% всех весомых структурных элементов проблемных ситуаций.

На основе теоретических разработок автором была создана схема информационной системы городских грузовых и пассажирских перевозок, которая учитывает информационные, финансовые и материальные потоки.

Тем не менее, некоторые аспекты в исследованиях автора требуют дальнейшего совершенствования. Так, приведенные в модели информационной системы функции управления требуют структуризации на отдельные направления расходования управленческого ресурса. Выделенные автором операции в общем включают формирование структуры системы, ее корректировку, выбор направления для совершенствования и оценку качества ее функционирования. Однако, в теоретическом понимании под управлением можно понимать и ряд других процессов, которые требуют формализации и включения в модель системы.

Также приведенная автором ситуационная модель системы учитывает только две подсистемы: «эксплуатации автомобильного транспорта» и «потребителя транспортных услуг». Следовало бы рассмотреть также влияние подсистемы

технической эксплуатации автомобилей на надежность и эффективность транспортного обслуживания населения, так как степень технической готовности парка техники напрямую влияет на выход автомобилей на линию, объем и качество транспортных услуг.

Задачи управления наземным пассажирским транспортом были рассмотрены в работе Фадеева А.И. [186]. Автор предложил модель проектирования перевозок общественным транспортом, которая заключается в оптимальном распределении ресурсов между маршрутами транспортной сети в соответствии с критериями оптимальности и установленными ограничениями. То есть это оптимизационная задача с перебором всех возможных вариантов решений, вызванных разным сочетанием факторов. Недостатком предлагаемого подхода является то, что подобный тип задач является вычислительно затратным и может приводить к бесконечно большому количеству вариантов при большом количестве учитываемых факторов.

Фокус исследований автора направлен на решение задачи проектирования перевозок, в рамках которой он предлагает достаточно подробную методику, состоящую из пяти этапов - от дизайна маршрутной сети и формирования исходного множества маршрутов до экспертной оценки возможных вариантов транспортной системы. Комплексность предлагаемого подхода подтверждается предложенной системой критериев оптимальности, включающей 7 различных показателей и позволяющих оценить эффективность системы в целом, а также установленными ограничениями. При этом заявленное автором решение задачи управления наземным транспортом заключается в разработке автоматизированной системы диспетчерского управления общественным транспортом. То есть весь спектр задач управления сводится к оперативному планированию маршрутизации транспортных средств. Факт потребности в управленческом решении определяется за счёт оценки соответствия фактического движения автомобиля плановой программе перевозок и установленным технологическим нормативам. При этом перечень возможных управленческих решений, призванных устранить возникшее несоответствие, автором не приводится.

М.В. Могилевич в своем исследовании пишет, что «в рыночных условиях хозяйствования спрос на транспортные услуги формируется по законам, определение которых осуществляется на стадии маркетинга» [115]. В настоящее время очевидно, что это суждение можно распространить и на предприятия в сфере поддержания и восстановления работоспособности автомобилей. При планировании показателей деятельности существующего или проектируемого предприятия в первую очередь исходят не из технологических параметров, а из потенциального спроса на услуги. Таким образом формируется перечень услуг, который затем определяет и технологическую подготовку производства. Вместе с

этим, в работе М.В. Могилевича можно выделить несколько представляющих ценность подходов к управлению ресурсами транспорта. Несмотря на то, что автор устанавливает один уровень иерархии терминов «планирование» и «управление», в своей работе он определяет эти понятия как «стратегию и тактику принятия эффективных решений и способов рационального использования ресурсов (трудовых, материальных, финансовых, энергетических и информационных)». То есть управление – это в первую очередь распределение ресурсов. Именно на это автор и делает акцент в своем диссертационном исследовании.

Задачу планирования ресурсов автор классифицирует как математическую задачу о назначениях. В общей форме задача определяется следующим образом: имеется некоторое количество работ и исполнителей; каждый исполнитель использует на выполнение работы разное количество ресурсов; необходимо распределить работы между исполнителями таким образом, чтобы затраты ресурсов были минимальны. В качестве исполнителя в модели автора выступает обобщенный производственный модуль (ПМ), за которым закрепляется некоторое количество рабочих и работ по ТО и Р автомобилей в регионе. Критерием эффективности является минимальная стоимость выполнения работ производственным модулем.

Аналогичным способом решается задача развития региональной транспортной отрасли и государственного регулирования рынка транспортных услуг. Эта задача сводится автором к задаче о ранце - NP-полной задаче комбинаторной оптимизации, в рамках которой нужно распределить имеющиеся вещи между слотами в рюкзаке таким образом, чтобы итоговый вариант был оптимален по критерию минимальной стоимости и веса при выполнении условия по размещению всех необходимых вещей.

Как следует из приведенного выше анализа, масштаб изучения системы автором соответствует региональному уровню управления транспортной системой. Конкретное предприятие автомобильного транспорта является элементом изучаемой структуры и далее не детализируется на составные части. В связи с этим, приведенные автором рекомендации сложно адаптировать для руководства современным предприятием. Однако, рассмотренные автором способы управления представляют значительный научный интерес. Предложены модели определения производительности труда ремонтных рабочих от пяти значимых факторов – удельного веса премий в зарплате рабочих, коэффициента сменности, стоимости технологического оборудования, квалификации рабочих и разномарочности подвижного состава. Проведена методика оценки эффективности предупредительных замен узлов и агрегатов автомобилей как инструмент управления системой планирования и учета ресурса надежности транспортных средств. Предложена методика расчета оптимальной мощности станции

технического обслуживания грузовых автомобилей. Для этого используется технико-экономический подход, учитывающий удельную трудоемкость обслуживания автомобилей. В качестве основного фактора используется значение приведенных затрат на один автомобиль в год, позволяющий путем нахождения точки экстремума функции определить количество автомобилей, которое может обработать предприятие как система массового обслуживания.

Дальнейшая детализация представленного подхода позволила автору разработать модели определения оптимального количества постов зоны текущего ремонта по критерию минимизации суммарных издержек АТП от простоев автомобилей в очереди на ремонт. Вопросы оперативного планирования работы предприятия представлены моделями рационального распределения автомобилей, для которых планируется ТО, по рабочим дням месяца. Также приводится описание программы алгоритма оперативной загрузки потоков текущего ремонта, которая по сути является комбинаторно-эвристической задачей составления расписания загрузки модулей основного производства авторемонтного предприятия.

Вместе с этим, автор говорит о том, что «дальнейшее исследование следует вести в направлении формирования региональных организационных структур управления…». В исследовании не рассмотрены вопросы формирования организационных и производственных структур, а также не представлены влияющие на эти подсистемы факторы. Большой объем исследований посвящен вопросам функционирования авторемонтных предприятий, однако в настоящее время актуальность таких предприятий существенно уменьшилась в пользу станций технического обслуживания для легковых автомобилей и комплексных АТП для парка корпоративного и коммерческого сектора. Научные результаты автора требуют совершенствования в части адаптации их под управление технической эксплуатацией автомобилей на современных предприятиях, а также учета механизмов адаптации деятельности предприятий под изменение условий внешней среды.

Приведенные выше методы перебора вариантов для поиска рационального или оптимального решения достаточно широко используются в современных исследованиях. Например, А.С. Денисов для обоснования рациональной структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобиля проводит расчеты затрат на техническую эксплуатацию автомобилей для различных видов и периодичности технических воздействий: капитальных ремонтов, предупредительных ремонтов, списании узлов и агрегатов [47]. В результате для основных узлов грузовых автомобилей определяются такие структуры эксплуатационно-ремонтных циклов автомобилей, при которых обеспечивается минимум затрат на ремонт и простоев в ремонте. Такая структура будет считаться рациональной. Например, автор приводит такую структуру для главных передач автомобилей КАМАЗ: при

определенных значениях наработки автомобиля следует делать два предупредительных ремонта узла до проведения капитального ремонта, после которого следует делать еще два предупредительных ремонта до его замены. Для других узлов и агрегатов рациональным может быть другое сочетание предупредительных и капитальных ремонтов при разных значениях наработок.

Вопросами организации работы постов по ТО и Р автомобилей на АТП и СТО с применением теории массового обслуживания занимался Тахтамышев Х.М. [174]. Ученый предлагает математические модели для определения экономической целесообразности перехода от универсальных постов на частично специализированные посты по отдельным видам работ и взаимопомощь между бригадами всех групп постов. Рассматривается также обоснование использования поточных линий как варианта организации работ [170]. В качестве параметров целевой функции учитываются время простоя постов, стоимость приобретения технологического оборудования для комплектации постов, а также пропускная способность системы с наличием или отсутствием специализации некоторых постов.

Вопросам стимулирования производственного персонала посвящены работы многих исследователей. На применение различных моделей стимулирования и мотивации в современных условиях направлены работы [9, 136, 101]. Авторы рассматривают различные мотивационные теории и изучают преимущества и недостатки их применения в сфере производства товаров и услуг. Выделяют два вида мотивации: материальную и нематериальную. В указанных работах отмечается, что материальное стимулирование не всегда является эффективным. Например, в работе [136] сказано, что наблюдается слабая корреляция между премиальными выплатами и производительностью труда в организации. Поэтому многие исследования уходят в сторону нематериального стимулирования, находя в ней основу для повышения эффективности работы компании. Для различных мотивационных систем авторы сходятся в необходимости применения гибкой системы стимулирования наемного персонала современного производственного предприятия, определяя это свойство в качестве основного.

Вместе с этим, в исследованиях не представлено четких методов адаптации системы стимулирования персонала к изменению внешних факторов, оказывающих влияние на деятельность предприятия. Многие работы носят обобщенный характер, не предлагая структурированных и формализованных подходов к формированию системы стимулирования. Математический аппарат при описании систем стимулирования используется среди исследователей в области теории организационных систем [227, 27]. Авторы также изучают разные модели стимулирования, приводя их математическое описание и предлагая производить оценку эффективности моделей с использованием целевых функций затрат. Тем не

менее, представленные методы требуют уточнения в вопросах их применения для стимулирования персонала предприятий автомобильного транспорта.

Среди основных проблем планирования и контроля деятельности предприятия исследователи выделяют следующие [183]:

- отсутствие (или низкий уровень) автоматизации основного бизнес-процесса предприятия;
- отсутствие регламентации этапов и точек контроля производственных процессов;
- пошаговость реализуемой системы контроля, что существенно замедляет процесс производства.

Указанные проблемы решаются различными подходами. Можно выделить подходы из теории менеджмента [184] и подходы кибернетического характера, рассматривающие систему управления предприятием как аналог технической системы управления [31, 71, 70]. Первая группа подходов основана на регламентации ряда контрольных мероприятий и имеет методический характер, обозначая важность группы процессов контроля и их необходимость для системы управления. Оценочным показателем, как правило, является величина риска и вероятность его возникновения, а также уровень потенциального ущерба для проекта (процесса).

Исследователи в рамках второй группы подходов пытаются разложить процесс контроля на составные элементы, формализованно описав периодичность контроля, величину управляющего воздействия, а также оценив их влияние на эффективность производственного процесса в целом.

Так, определено, что если контролируемый процесс подвергается воздействию дестабилизирующих факторов и расчетная производительность системы снижается, то число шагов контроля должно увеличиваться [71]. То есть количество шагов контроля обратно пропорционально изменению производительности технологического процесса. Величина шага контроля зависит от соотношений между плановой, расчетной и максимально возможной производительностью процесса [70]. При этом аналитическая зависимость получена для абстрактного производственного процесса, отсутствует перечень факторов и оценка их влияния на дестабилизацию основного производственного показателя.

Значительное количество исследований посвящено вопросам оперативного контроля производственных процессов [12]. Так, в работе [77] проблему оперативного контроля и соблюдения технологической дисциплины процесса осмотра вагонов предлагается решить за счет внедрения в эксплуатационном вагонном депо системы с виртуальным голосовым помощником и видеонаблюдением. В работе [96] представлена методика системного анализа,

разработки математической модели технологического процесса с выявлением возможных вероятных воздействий на процесс. Для сложных технологических процессов также предлагается внедрить систему видеомониторинга [67]. Для разработки математических моделей системы и реализуемых в ней технологических процессов применяют теорию массового обслуживания [193]. Такой метод позволяет определять точки приложения управляющего воздействия и его величину, что позволяет достичь повышения установленного показателя эффективности функционирования СМО. Однако, предложенные авторами рекомендации в виде непрерывного временного интервала, содержащего точку принятия решения и величину управляющего воздействия, сложно масштабируются для других условий функционирования системы, а также не учитывают влияние внешних факторов.

Кроме того, можно выделить исследования, посвященные контролю технического состояния транспортных средств и их элементов [17]. Эти работы направлены на технологические особенности анализа процессов эксплуатации автомобилей с использованием отдельных методик.

Вопросы бизнес-планирования деятельности автосервиса рассмотрены в работе [185]. Авторы приводят классификацию методов прогнозирования спроса на услуги сервиса, но отмечают, что имеется “сложность в прогнозировании уровня загрузки предприятия и, как следствие, дохода от его производственной деятельности”. При этом в этой работе отмечается, что “постоянно увеличивающийся автомобильный парк приводит к обострению конкуренции на рынке автосервисных услуг, что требует применения новых эффективных методов управления данными предприятиями”.

Вопросам планирования деятельности автопредприятия посвящена также работа [154]. Авторы рассматривают устойчивость предприятия автосервиса через призму конкуренции и приходят к выводу о том, что “факторы внешнего окружения оказывают более сильное влияние на проектируемый бизнес, чем факторы внутреннего окружения”, а “мелкое автосервисное предприятие” является более экономически устойчивым, чем “крупное”. Классификация предприятий по размеру приведена с точки зрения размера выручки на основании закона №209-ФЗ.

В работах [52, 108] представлен анализ программного обеспечения по управлению технической эксплуатацией автомобилей, а также особенности его использования для повышения эффективности технической эксплуатации.

Законодательно к предприятиям по техническому сервису автомобилей предъявляется ряд требований, ограниченных нормами санитарно-эпидемиологической службы, территориального управления Роспотребнадзора и пожарной инспекции. Эти нормы прописаны в документах [141, 162]. Требований к технологии производства работ или к организации производства в существующих

нормативных документах не представлено. Эти вопросы регулируются либо требованиями заводов-изготовителей в случае дилерских станций, либо ведомственными документами и внутрикорпоративными нормативами, основанными на Положении о ТО и Р подвижного состава.

1.4. Анализ факторов, влияющих на управление технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта

Согласно работе [95] «одной из важнейших целей задач управления является упорядочение целей или ранжирование целей и систем каждого уровня по их важности». Установление целей первого уровня (частных показателей эффективности), соответствующих им подсистем и факторов, определяющих их поведение, позволит определить закономерности целевых показателей системы и установить ее оптимальные параметры. Для этого следует установить перечень влияющих на подсистему факторов.

Различные авторы разделяют влияющие на эффективность работы транспортных предприятий факторы на внешние и внутренние [165, 166, 87]. Параметр классификации – позиционирование фактора относительно границ изучаемой системы. Следует отметить, что одни и те же факторы можно рассматривать как внутренние и как внешние по отношению к системе ТЭА. Например, подвижной состав для АТП может являться внешним фактором, поскольку систему ТЭА требуется сформировать (или адаптировать) для имеющегося или вновь закупленного парка автомобилей. Однако, если одной из задач технической службы предприятия является систематическое обновление подвижного состава, то его можно рассматривать как внутренний фактор.

В работе [164] приводится перечень факторов внешней среды, влияющих на устойчивость транспортного предприятия. Авторы выделяют 8 групп таких факторов: социальные, экологические, экономические, технологические, рыночные, инфраструктурные, природно-климатические, политические. Среди наиболее значимых отмечаются экономические факторы, к которым относится управление капиталом, вложенным в основные средства; управление оборотными; управление финансовыми рисками; системы бюджетирования и бизнес-планирования; а также методы экономического анализа.

Вместе с этим, в работе отмечается, что оптимизировать затраты и улучшить финансовый результат и устойчивость предприятия возможно за счет организационных и технических решений, к которым можно отнести контроль работы подвижного состава, материально-техническое обеспечение и эффективную систему стимулирования труда.

Следует разделять факторы, влияющие на эффективность коммерческой деятельности предприятия и эффективность работы технической службы по ТО и Р подвижного состава.

Е.С. Кузнецовым в работах [95, 178] были определены следующие группы факторов, влияющих на систему технической эксплуатации автомобилей на предприятии:

- система и организация ТО и Р на предприятии;
- производственно-техническая база;
- персонал;
- система снабжения и резервирования;
- подвижной состав и эксплуатационные материалы;
- условия эксплуатации.

Эти факторы можно отнести к внутренним по отношению к изучаемой системе. Следует отметить, что условия эксплуатации выделялись многими учеными как значимый фактор, определяющий эффективность эксплуатации подвижного состава [126]. Среди других значимых факторов авторы отмечают возраст подвижного состава [59]. Кроме того, для технической эксплуатации автомобилей в услових автотранспортных предприятий одним из значимых факторов является интенсивность эксплуатации, выражаемая пробегом за определенный период времени [325].

В работах Тахтамышева Х.М. основным управляющим фактором является коэффициент загрузки постов, определяющим использование тех или иных организационных решений [173]. Сами решения направлены на внедрение специализированных постов в зависимости от различных внешних факторов. Первый фактор – количество технологических групп обслуживаемых автомобилей. Также автор говорит о том, что «при создании новых предприятий возникает необходимость изучения уровня конкуренции в сети автосервиса, выбор профиля деятельности и определения мощности автосервисного предприятия» [168]. Автором предлагается последовательно выведенная с использованием математического аппарата теории массового обслуживания (ТМО) формула условия целесообразности создания хотя бы одного специализированного поста, имеющая вид:

$$\psi_{сп} \succ \frac{K_{сп}}{\left(\frac{S+1}{\psi_y}\right) \cdot K_{пр} - S}, \qquad (1.17)$$

где $K_{сп}$ – отношение стоимостей содержания специализированного и универсального постов;

$К_{пр}$ – отношение производительности специализированного и универсального постов;

ψ - коэффициенты загрузки специализированного и универсального постов соответственно;

S - показатель, характеризующий стоимость создания постов обоих типов.

Интерпретировать формулу можно следующим образом: чем ниже минимальное значение $\psi_{сп}$, тем эффективнее специализированные посты.

Вместе с этим автор указывает на ограниченность применения этой модели, уточняя, что «недостаточная эффективность такой организации производства очевидна». Можно добавить, что специализацию конкретных постов следует рассматривать только в разрезе оценки всей последовательности технологических операций, поскольку для повышения эффективности работы всего предприятия как системы массового обслуживания нецелесообразно оптимизировать работу только каналов одного типа.

Автором доказана правомерность использования теории массового обслуживания для описания процессов ТО и Р автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта [172]. При этом перечень существующих аналитических моделей является избыточным для практического применения, поэтому автор предлагает использовать ряд базовых моделей разомкнутых систем массового обслуживания с ограниченной длиной очереди. Такие модели позволяют управлять организацией производства через возможность расчета показателей эффективности системы при наличии и отсутствии взаимопомощи между исполнителями. Автором выявлена корреляционная взаимосвязь между формами организации труда и уровнем конкуренции исполнителей. Так, предлагается несколько подходов в зависимости от коэффициента загрузки постов: при высоком коэффициенте загрузки рабочим нецелесообразно оказывать друг другу помощь, при низком они могут периодически подключаться к работам других исполнителей. В связи с этим он выделяет три формы организации труда: без взаимопомощи исполнителей, с частичной взаимопомощью, с полной взаимопомощью исполнителей. Вторым влияющим на формы и методы организации труда фактором по мнению автора является уровень конкуренции в сети автосервиса, который выражается в загрузке постов или потоке входящих заявок клиентов технического сервиса $\lambda_{вх}$ [169]. Следует отметить, что другие ученые также заявляли об определяющем значении технологических факторов для формирования структур транспортных систем. Так, например, Петров М.Б. пишет, что «технологический аспект организации рассматривается как исходный и ведущий для транспортной системы. Им определяются как транспортные потребности, так и потенциал воздействия транспорта на экономику, т.е. прямые и

обратные связи системы» [135]. Выявлено, что взаимопомощь наиболее эффективна при уровне загрузки мощности, равной 0,5-0,7 [171]. В качестве целевой функции для оптимизации предлагается использовать прибыль предприятия, определяемую как разность между доходом Д, зависящим от интенсивности поступления заявок и производительности каналов обслуживания, и расходами Р, зависящих от использования трудовых и материальных ресурсов. Управляемыми параметрами являются следующие:

- количество постов одинакового назначения;
- количество рабочих на одном посту, их разряд и квалификация;
- количество одноименного оборудования;
- продолжительность смены.

В качестве целевого показателя предлагается определять мощность предприятия, который является комплексным показателем, включающим указанные выше факторы. Задача относится к типу задач многофакторной оптимизации, которая может быть решена различными методами [243, 175]. Автор приводит анализ возможных методов, утверждая, что метод простого перебора является громоздким и трудно реализуемым. Рассматривая методы дифференциальнго и вариационного исчисления, принцип максимума Л. С. Понтрягина, методы, основанные на достаточных условиях В. Ф. Кротова, динамическое, линейное, нелинейное программирование, методы регулярного и случайного поиска, автор останавливается на методе динамического программирования, охарактеризовав его как универсальный и эффективный метод поиска экстремума.

Х.М. Тахтамышевым указывается, что «для использования предложенной методики оптимизации параметров мощности автосервисных предприятий необходим сбор исходных данных о потоках заявок в сети автосервиса города по конкретному виду услуг и стоимостных показателях ресурсов в конкретном предприятии».

Вместе с этим в одной из своих работ автор подчеркивает, что в некоторых случаях применение математического аппарата СМО для описания процессов ТО-1 и ТО-2 для крупных АТП при наличии поточных линий обслуживания может дать определенную погрешность [173]. Для установления характеристик таких СМО наиболее предпочтительным способом является имитационное моделирование.

Таким образом, в своих работах Х.М. Тахтамышев исследует влияние таких внешних факторов, как потоки заявок на ТО и ТР по конкретным видам услуг на мощность автосервисного предприятия, являющуюся комплексным показателем, и ее оптимизацию за счет различных форм организации производства, под которыми понимается уровень специализации постов и степень взаимопомощи исполнителей. Также предлагается оригинальная методика многопараметрической

оптимизации процессов ТО и ТР на предприятии, которая совершенствует «классический» технологический расчет АТП и СТО [160, 180]. Вместе с этим, автор не дает подробную структуру методов управления и организации производства, ограничиваясь некоторыми из них. При этом задачи оптимизации отдельных каналов обслуживания рассматриваются в отрыве от организационно-производственных структур управления предприятием, что также может повлиять на точность прогнозных решений.

Е.С. Кузнецов отмечает, что «показатель эффективности средств обслуживания с одной стороны будут зависеть от величины входящего потока требований и его вариации, а с другой – от пропускной способности и производительности средств обслуживания» [178]. То есть основным внешним фактором является входящий поток требований на ТО и ТР, а основным внутренним фактором можно назвать организацию работы предприятия, которая определяет пропускную способность и производительность постов.

Там же, на стр. 262 отмечается, что «при разработке организационно-производственной структуры инженерно-технической службы для конкретного АТП учитываются как внешние по отношению к производственному процессу факторы, так и внутренние» [178]. К основным внутренним факторам автор относит факторы, перечисленные на дереве систем ТЭА. К основным внешним факторам относят централизацию, специализацию и кооперирование производства на региональном уровне. Аналогичные факторы изучаются и в работе Власова В.М. в рамках разработки различных организационных форм технологических процессов для предприятий с различной степенью предметной или технологической специализацией производства и с различной степенью концентрации производственных программ по отдельным видам ТО и ремонта [33]. Можно утверждать, что перечень внешних факторов требует более детального рассмотрения и актуализации вследствие прохождения значительного времени и изменения социально-экономических условий функционирования отрасли.

Мутраков О.С. в диссертационном исследовании по моделированию управления услугами по ТО и Р автомобилей рассматривает иерархическую структуру факторов эффективности развития сферы услуг по ТО и Р автомобилей [116]. Среди факторов с наибольшим весом автор отмечает парк автомобилей в регионе, выражающийся в общем количестве транспортных средств, их структуре и возрасте. Этот фактор определяет спрос на рынке автосервисных услуг и позволяет прогнозировать пути их развития. Однако в результате автор концентрирует внимание на разработке программного продукта по управлению услугами по ТО и Р автомобилей на региональном уровне, ограничивая рассмотрение технологических параметров конкретных предприятий автомобильного транспорта только прогнозированием удельных показателей,

связанных с отношением объема услуг по ТО и Р автомобилей в денежном выражении к количеству предприятий в регионе. Механизмов управления факторами в масштабах одного предприятия в работе рассмотрено не было.

Таким образом, на основе анализа ранее выполненных исследований, логических рассуждений о закономерностях формирования структуры системы управления технической эксплуатацией был сформирован исходный перечень внешних (таблица 1.4) и внутренних (таблица 1.5) факторов, определяющих эффективность системы технической эксплуатации автомобилей на предприятии.

Для определения наиболее значимых внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на эффективность системы ТЭА, был использован метод анализа иерархий [151]. Метод анализа иерархий (МАИ) относится к классу критериальных методов и является математическим инструментом системного подхода к решению проблем принятия решений. Он может быть использован для определения значимости факторов [88, 36].

Таблица 1.4 – Внешние факторы, определяющие эффективность ТЭА

1. Производственно-технологические (ПТ)	2. Организационно-экономические (ОЭ)	3. Рыночные (Р)	4. Факторы, связанные с подвижным составом (ПС)	5. Факторы, связанные с условиями эксплуатации (УЭ)
1.1.Технологическое обеспечение работ по ТО и Р 1.2.Нормативное обеспечение работ по ТО и Р 1.3.Состав работ по ТО и Р 1.4.Трудоемкость работ по ТО и Р 1.5.Фондоемкость работ по ТО и Р	2.1.Стоимость сооружения и эксплуатации элементов ПТБ 2.2.Уровень цен на запасные части и материалы 2.3.Уровень цен на энергоносители 2.4.Уровень заработной платы производственного и административного персонала 2.5.Налоговая нагрузка	3.1. Уровень конкуренции 3.2. Количество обслуживаемых автомобилей 3.3. Уровень автомобилизации населения (для СТО) 3.4. Размер парка (для АТП) 3.5. Количество продаж новых автомобилей (для дилерских СТО) 3.6. Реализуемый перечень работ (услуг) по ТОиР	4.1.Марочный и модельный состав парка 4.2.Уровень надежности парка 4.3.Возраст парка 4.4.Интенсивность эксплуатации парка	5.1. Природно-климатические условия 5.2. Уровень развития дорожной инфраструктуры 5.3. Категория условий эксплуатации (город, рельеф и т.п.)

Таблица 1.5 – Внутренние факторы, определяющие эффективность ТЭА

1. Система и организация ТО и Р на предприятии (СО)	2. Производственно-техническая база (ПТБ)	3. Персонал (П)	4. Система снабжения и резервирования (СР)	5. Подвижной состав и эксплуатационные материалы (ПСЭМ)
1.1.Организация и управление ТОиР 1.2.Формирование, адаптация и корректирование нормативов ТОиР	2.1. Уровень обеспеченности ПТБ оборудованием, помещениями	3.1. Количество производственного и административного персонала 3.2. Квалификация персонала 3.3. Стимулирование персонала	4.1. Обеспечение оптимального уровня запасов 4.2. Планирование и организация поставок 4.3. Резервирование подвижного состава или производственных мощностей	5.1. Обновление подвижного состава (для АТП) 5.2. Повышение качества эксплуатационных материалов

Метод предполагает построение иерархического дерева критериев (факторов), оказывающих влияние на достижение цели – повышения эффективности технической эксплуатации автомобилей на предприятии. Затем производится попарное сравнение критериев на предмет их влияния на цель.

Для попарного сравнения критериев используется предложенная Т. Саати шкала интенсивности от 1 до 9:

- равная важность – 1;
- умеренное превосходство, если критерий А «лучше» критерия Б (отставание, если критерий А «хуже» критерия Б) – 3 (или 1/3);
- значительное превосходство (отставание) – 5 (или 1/5);
- сильное превосходство (отставание) – 7 (или 1/7);
- очень сильное превосходство – 9 (или 1/9);

Для промежуточных значений используются четные цифры.

Для проведения анализа факторов была построена двухуровневая иерархия (первый уровень – цель, второй – факторы). Метод последующего сравнения альтернатив не использовался.

Для попарного сравнения факторов в качестве лица, принимающего решение (ЛПР) использовалось согласованное мнение 25 экспертов в сфере технической эксплуатации автомобилей, имеющих стаж работы на инженерной или руководящей должности более 15 лет. Все эксперты имеют высшее образование в сфере эксплуатации транспортно-технологических машин.

Экспертам была предложена анкета попарного сравнения факторов, представленная в Приложении. По представленной выше шкале ими проводилось сравнение внешних (таблица 1.4) и внутренних (таблица 1.5) факторов, влияющих на эффективность ТЭА.

В таблице 1.6 приведена усредненная симметричная двумерная матрица сравнения для внешних факторов.

Таблица 1.6 – Матрица парных сравнений внешних факторов

Оценка факторов	ПТ	ОЭ	Р	ПС	УЭ	w*	$w^*_{норм}$
ПТ	1	1/3	1/5	1/3	1	0,47	0,08
ОЭ	3	1	1/3	3	1/3	1,00	0,16
Р	5	3	1	3	5	2,95	0,48
ПС	3	1/3	1/3	1	1	0,80	0,13
УЭ	1	3	1/5	1	1	0,90	0,15
Сумма элементов по столбцам	13,00	7,67	2,07	8,33	8,33	6,13	

Для сформированной матрицы были определены средние геометрические значения ненормированного вектора приоритетов w* по формуле:

$$w^*_i = \sqrt[n]{\prod(a_1, a_2 ... a_j)}, \quad (1.18)$$

где i – номер строки матрицы;
j – количество столбцов матрицы;
a – важность критерия (значение в ячейке ij матрицы)
n – количество факторов.

После чего выполнено нормирование вектора w* для каждой строки.

$$w^*_{iнор} = \frac{w^*_i}{\sum w^*}. \quad (1.19)$$

Каждый компонент нормализованного вектора приоритетов (НВП) представляет собой оценку важности соответствующего критерия.

Проверка согласованности локальных приоритетов осуществлялась путем расчета собственного значения матрицы λ^*_{max}:

$$\lambda^*_{max} = \sum(\sum a_j \cdot w^*_{iнор}), \quad (1.20)$$

индекса согласования ИС:

$$ИС = \frac{\lambda^*_{max} - n}{n-1}, \quad (1.21)$$

и отношения согласованности ОС:

$$ОС = \frac{ИС}{ПСС}, \quad (1.22)$$

где ПСС – показатель случайной согласованности, определяемый теоретически для случая, когда оценки в матрице представлены случайным образом, и зависящий только от размера матрицы. Значение ПСС выбирается из таблицы для различных размеров матриц [151].

Таким образом, собственное значение матрицы $\lambda^*_{max} = 5{,}56$. Условие $\lambda^*_{max} \geq n$ выполняется.

Индекс согласованности ИС = 0,13. Если ИС ≤ 0,2, то считается, что мера согласованности находится на приемлемом уровне.

Отношение согласованности ОС для рассматриваемой иерархии факторов равно 0,12 при табличном значении ПСС, равном 1,12 для размера матрицы, равного 5. Эмпирическое правило гласит, что оценки в матрице считаются согласованными, если ОС≤10-15%, в противном случае их надо пересматривать. Для оцениваемой иерархии оценки являются согласованными, т.к. 0,12 < 0,15. Это говорит о том, что приоритеты в матрице расставлены верно, и значение нормализованного вектора приоритетов для каждого фактора адекватно отражает степень его значимости для указанной цели.

Для внешних факторов наиболее значимой с НВП = 0,48 будет являться группа рыночных факторов (Р). Второе место по значимости с НВП = 0,16 занимают организационно-экономические факторы, а третье – условия эксплуатации с НВП = 0,15.

Матрица попарных сравнений внутренних факторов приведена в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Матрица парных сравнений внутренних факторов

Оценка факторов	СО	ПТБ	П	СР	ПСЭМ	w*	$w^*_{норм}$
СО	1	2	4	3	3	2,35	0,38
ПТБ	1/2	1	3	5	3	1,86	0,30
П	1/4	1/3	1	3	5	1,05	0,17
СР	1/3	1/5	1/3	1	3	0,58	0,09
ПСЭМ	1/3	1/3	1/5	1/3	1	0,37	0,06
Сумма	2,42	3,87	8,53	12,33	15,00	6,22	

Для сформированной матрицы были рассчитаны значения параметров в соответствии с приведенным выше методикой.

Полученные результаты также следует считать согласованными, поскольку $\lambda^*_{max} = 5,56 \geq n$; индекс согласованности ИС = 0,14 ≤ 0,2 и ОС = 0,12 < 0,15.

Для внутренних факторов наиболее значимой с НВП = 0,38 будет являться группа факторов, относящихся к системе и организации ТО и Р на предприятии (СО). Второе место по значимости с НВП = 0,30 занимают факторы, связанные с производственно-технической базой (ПТБ), а третье – с персоналом (П) с НВП = 0,17.

Таким образом, был сформирован итоговый перечень исследуемых факторов.

1. Условия эксплуатации. Определяется изменением величины интенсивности эксплуатации по месяцам, км/мес.
2. Интенсивность эксплуатации. Определяется величиной среднемесячного пробега, км/мес.
3. Размер эксплуатируемого или обслуживаемого парка, ед.
4. Виды работ (услуг). Определяется соотношением видов реализуемых предприятием работ или услуг по ТО и Р автомобилей, %.
5. Количество продаж новых автомобилей отделом продаж дилерского центра по продаже и обслуживанию автомобилей, ед.

1.5. Формирование концепции управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях

Для формирования концепции исследования были систематизированы основные понятия, используемые в исследовании.

Управление - воздействие на все виды ресурсов предприятия, реализуемое через функции планирования, организации, мотивации и контроля для достижения целей субъекта управления, переводящее управляемую систему из исходного в заданное или оптимальное состояние.

Структура управления – определение моделей, характеристик и критериев эффективности процессов планирования, организации, мотивации и контроля, а также взаимосвязей между ними.

Организация – функция управления, представляющая собой внутреннюю упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением.

Предприятие автомобильного транспорта – коммерческая организация, получающая прибыль от выполнения транспортной работы или от оказания услуг

по технической эксплуатации автомобильного транспорта, а также реализующая эти услуги для собственного парка автомобилей или для автомобилей клиентов.

Основной бизнес-процесс – процесс коммерческой деятельности, непосредственно приносящий прибыль предприятию. Состоит из основных и вспомогательных бизнес-функций.

Бизнес-функция – составная часть бизнес-процесса (подпроцесс), направленная на его реализацию.

Вспомогательная бизнес-функция – функция, не являющаяся самостоятельной коммерческой услугой и непосредственно не приносящая прибыль, направленная на поддержку выполнения основной(ых) бизнес-функции.

Услуга – оказываемый клиенту оплачиваемый перечень работ. Может являться основной бизнес-функцией с понятным клиенту наименованием.

Основная бизнес-функция – реализуемая предприятием коммерческая услуга, приносящая прибыль. Состоит из последовательности технологических операций. Является технологическим процессом. Может выполняться на одном или нескольких постах и контролироваться одним или несколькими административными работниками.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, осуществляемая над отдельным предметом труда и выполняемая на одном рабочем месте, одним или несколькими рабочими.

Звено - организационно обособленный, самостоятельный орган управления, выполняющий определенные функции управления.

Пост - основное технологическое звено на предприятии автомобильного транспорта. Реализует функции основного производственного процесса.

Административный работник (мастер, менеджер, технолог) - основное управленческое звено на предприятии автомобильного транспорта.

Технологический маршрут заявки – вид и последовательность технологических операций, входящих в услугу (основную бизнес-функцию или производственный процесс).

Производственная структура - совокупность производственных звеньев, взаимосвязей между ними и выполняемые ими производственные функции.

Организационная структура - совокупность административных звеньев и их взаимосвязь с элементами производственной структуры (через привязку к функциям производственного процесса).

Организационно-производственная структура – сочетание производственной и организационной структуры управления предприятием.

Контроль – функция управления, решающая задачи наблюдения, классификации и идентификации.

Планирование – функция управления, предполагающая определение размера ресурса, механизм распределение его между звеньями, а также определение целевых характеристик системы, при которых достигается оптимум целевой функции.

Мотивация (стимулирование) – функция управления, реализующая управление интересами и предпочтениями участников производственного процесса через механизмы компенсации затрат труда работников, при которых достигается оптимум между целями исполнителей и администрации предприятия.

Научная идея исследования основана на том, что предприятия автомобильного транспорта должны иметь механизмы адаптации системы управления технической эксплуатации автомобилей к изменениям внешних факторов.

Авторы работы [122] приводят минимальный набор признаков научного знания. К ним относятся истинность, интерсубъективность и системность. Истинность научного знания определяется принципом достаточного основания, который говорит о том, что оно должно быть достоверным и обоснованным. Принцип интерсубъективности определяет характер общезначимости и общепримени мости научного знания, т.е. его универсальность и воспроизводимость. Принцип системности предполагает наличие строгой структурированности знания с применением индуктивно-дедуктивного аппарата.

Указанные выше принципы научности были учтены при формировании концепции настоящего исследования. При ее формировании был использован аксиоматический и классификационный подход. Связь аксиом, формулировки концепции, базирующихся на ее основе концептуальных положений и разработанной методологии представлена на рисунке 1.17.

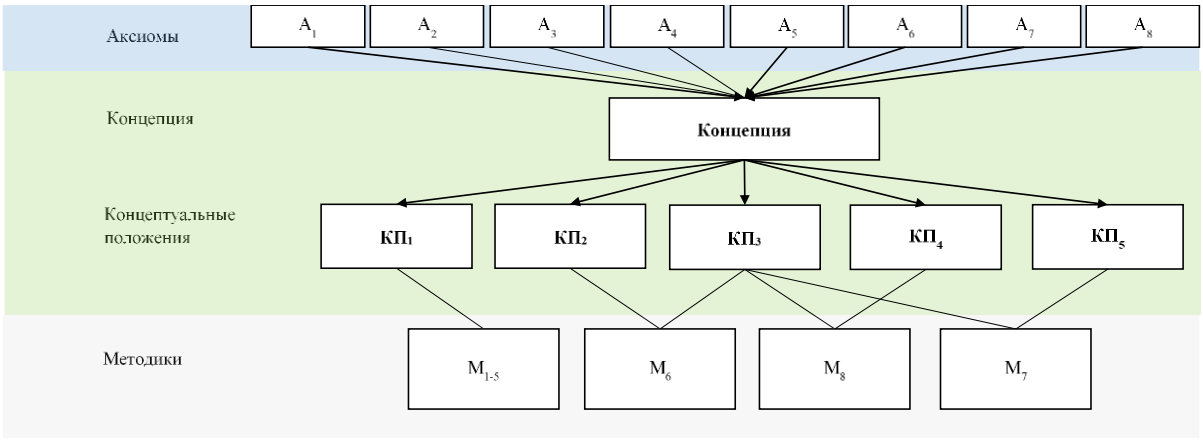


Рисунок 1.17 – Аксиомы и концептуальные положения

Концепция диссертации базируется на восьми аксиомах (идеях).

1. Назначением системы ТЭА является обеспечение динамического равновесия между входящим λ и исходящим μ потоками. Ситуация λ >> μ нецелесообразна, а μ >> λ – неэффективна для предприятия.

2. Поток λ является динамическим и имеет стохастическую природу. Он является внешним фактором для предприятия и не подлежит управлению, однако, является определяющим для всей производственной деятельности предприятия.

3. Управление технической эксплуатацией автомобилей – постоянная адаптация μ к изменению λ для обеспечения динамического равновесия системы.

4. Для системы ТЭА адаптация (управление) к изменению λ возможна либо за счет увеличения объема запаса системы (У1) или увеличения интенсивности обработки входящего потока μ (У2).

5. Управление У1 реализуется, как правило, за счет увеличения мощности производственно-технической базы (ПТБ) (экстенсивными методами), а управление У2 реализуется за счет оптимизации системы управления производственными процессами предприятия (интенсивными методами).

6. Система управления на предприятии состоит из четырех подсистем: планирования, организации, стимулирования и контроля.

7. Одна и та же технология на предприятии может быть реализована с помощью различных вариантов организационно-производственных структур системы управления с различной эффективностью.

8. Для каждого временного промежутка и состояния внешних факторов существует эффективный вариант структуры системы управления технической эксплуатацией автомобилей.

Концепция сформулирована следующим образом.

Система управления ТЭА на предприятиях АТ реализуется посредством функций планирования, организации, стимулирования и контроля, имеет свойство динамичности и адаптивности и должна формироваться от основного производственного показателя, стремясь к оптимуму между затратами на обеспечение функционирования системы и потерями от ее неэффективной организации.

В формализованном виде суть концепции можно записать в следующем виде:

$$\Omega^{*} = \arg\min_{\Omega}(C(\Omega) + D(\Omega)), \tag{1.23}$$

при условиях:

$$1.\ \Omega = \langle F, A, U, K \rangle, \tag{1.24}$$

$$2.\ \Omega(t+1) = \Phi(\Omega(t), V(t)), \tag{1.25}$$

$$3.\ \Omega = \Psi(П), \qquad (1.26)$$

где Ω^* - оптимальная структуры системы управления;

C(Ω), D(Ω) – функция затрат на функционирование системы и потерь от ее неэффективной организации, зависящих от структуры системы управления;

F, A, U, K – функции (подсистемы) планирования, организации, стимулирования и контроля соответственно;

Ψ(П) – функция, определяющая структуру системы управления на основе производственного показателя П;

t – время;

V(t) – внешние воздействия на систему.

Условие $\Omega=\Psi(П)$ гарантирует, что система формируется на основе основного производственного показателя *П*.

Условие $\Omega(t+1)=\Phi(\Omega(t),V(t))$ описывает динамику и адаптивность системы.

Концепция развивается в пяти концептуальных положениях.

1. При технологическом проектировании предприятия автомобильного транспорта следует исходить от целевых технико-экономических показателей, а также от фактических параметров и имеющихся ресурсов.

2. При определенных значениях основного производственного показателя усложнение структуры системы управления технической эксплуатацией теряет свою целесообразность и является неэффективным; дальнейшее увеличение эффективности работы технической службы возможно не за счет количественного изменения значений параметров существующей структуры системы управления, а только путем качественного изменения самой структуры.

3. Для каждой совокупности значений влияющих на систему факторов из установленного диапазона их варьирования существуют оптимальные значения параметров системы управления технической эксплуатацией

4. Целесообразность применения строго нормированной системы контроля производственных процессов определяется величиной загрузки зоны технического сервиса автомобилей; при этом для любого предприятия возможно применить систему контроля на основе технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта.

5. Приоритет выбора базового механизма стимулирования производственного персонала на предприятии меняется в зависимости от изменения основного производственного показателя, определяющего загрузку зоны технического сервиса автомобилей.

Схема концепции представлена на рисунке 1.18.

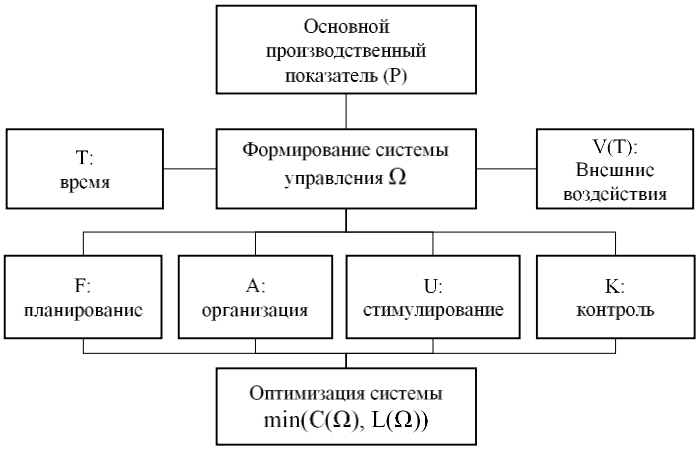


Рисунок 1.18 – Концепция исследования

Авторы [122] указывают, что для любых научных теорий (концепций) существуют обязательные требования полноты и непротиворечивости. Первое требование означает, что теория должна охватывать все явления и процессы из данной предметной области. Второе – все структурные элементы теории не должны противоречить друг другу.

В рамках разработанной концепции можно утверждать, что она удовлетворяет этим требованиям. В доказательство этого можно представить известную классификацию дерева систем ТЭА, разработанную Е.С. Кузнецовым в [95]. Указанные автором подсистемы могут быть охвачены положениями разработанной концепции: могут быть частью подсистем планирования, организации, стимулирования и контроля, являются динамическими и адаптируются как под изменения основных производственных показателей предприятия, так и к параметру времени. Принцип непротиворечивости подтверждается наличием целей первого и второго порядка, достижению которых подчинены все рассматриваемые в работе подсистемы. Использование иерархического метода классификации также предполагает исключение отнесения одного элемента к нескольким классам. Кроме того, использование в работе классификационного подхода удовлетворяет требование полноты путем построения системы классификаций по выделенным основаниям классификаций и исследованием всех образующихся разбиений. Это реализуется в рамках разработанной методологии, состоящей из методик в рамках каждой подсистемы управления технической эксплуатацией.

Объяснительная функция разработанной концепции реализована через формирование структуры системы и определение взаимосвязей между ее элементами, что представлено во второй главе исследований. Предсказательная функция концепции представлена через разработанные модели закономерностей, описанные в третьей главе, а предписывающая (нормативная) функция

осуществляется через созданную методологию повышения эффективности системы управления, реализованную с помощью частных методик, представленных в четвертой главе.

1.6. Цель, задачи исследования

Цель исследования: повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей путем определения закономерностей формирования оптимальной структуры управления технической службой предприятий автомобильного транспорта и совершенствование на этой основе нормативно-технологического обеспечения их деятельности.

Задачи исследования:

1. разработать концепцию формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта;
2. определить границы и структуру системы управления технической эксплуатацией, а также разработать модель системы;
3. выявить закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей;
4. установить вид и оценить численные значения параметров математических моделей, описывающих закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей;
5. разработать программное обеспечение для моделирования закономерностей изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей;
6. разработать методологию повышения эффективности работы предприятия на основе закономерностей процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей;
7. разработать частные методики и оценить их эффективность.

1.7. Выводы по 1 главе

1. В настоящее время существует проблема адаптации технико-экономических показателей функционирования предприятий автомобильного транспорта к изменению влияющих на него факторов. Эта проблема усугубляется тем, что существовавшие ранее нормативы управления технической эксплуатацией автомобилей значительно устарели, и некоторые из них потеряли свою актуальность.
2. Большое количество научных работ, связанных с организацией и управлением на транспорте, направлено на решение вопросов организации

крупных транспортных систем регионального характера, особенно на примере железнодорожного транспорта. В сфере повышения эффективности технической эксплуатации автомобилей широко рассмотрены вопросы влияния внешних факторов на надежность подвижного состава, параметры производственной зоны и участков по ТО и ТР, а также на расходование и распределение ресурсов предприятия. Вопросы управления производством как комплексного свойства, включающего в себя планирование, организацию, мотивацию и контроль, рассмотрены недостаточно широко.

3. Все исследования по управлению сложными организационными системами можно разделить на четыре основных подхода. Первый подход - управление технической эксплуатацией автомобилей, организация производства на транспорте. Подход рассматривает задачу управления через реализацию подсистем ТЭА. Он использует нормативно-функциональный подход, предполагающий перечень типовых структур, не учитывающих параметры конкретного предприятия и влияние внешних факторов подход технической эксплуатации автомобилей. Второй подход - теория автоматического управления, кибернетика. В нем задача управления объектом сводится к взаимодействию элементов технической системы. Разработанные модели имеют ограниченную сферу применения для сложных социально-экономических систем. Третий подход - теория менеджмента и экономики. Для него характерна акцентуация взгляда на управление с позиций менеджмента в разрезе трех групп принципов: технологического, поведенческого и социально-этического. Однако, он не рассматривает конкретные виды производств и особенности систем управления ими. Четвертый подход к решению задач управления сложными системами содержится в теории управления организационными системами. Он представляет математический и методологический аппарат для моделирования процедур принятия управленческих решений, однако, приводит абстрактный перечень закономерностей, требующих адаптации к условиям конкретных предприятий. Каждый из представленных подходов имеет свои достоинства, но не позволяет комплексно описать функционирование системы управления технической эксплуатацией автомобилей под воздействием внешних условий для обеспечения ее динамического равновесия. В работах используются методы многокритериальной комбинаторной оптимизации, решаемые различными методами перебора вариантов. Тем не менее, современные методы принятия решений на транспорте используются пока еще недостаточно широко.

4. В качестве критериев эффективности транспортных систем используются либо экономические показатели, такие как капитальные вложения и эксплуатационные затраты на функционирование элементов системы, либо

технические критерии, такие как минимизация времени выполнения операций или пропускной способности системы.

5. Большинство работ, посвященных организации и управлению производством, не направлены на рассмотрение моделей организационно-производственных структур, а оперируют лишь дискретными вариантами шаблонных форм, не углубляясь в их генезис

6. Значительное количество исследователей сходятся во мнении относительно того, что технологические факторы в первую очередь определяют поведение и структуру транспортных систем. Для систем по ТО и Р автомобилей к таким факторам можно отнести интенсивность потока клиентов и типы выполняемых работ.

7. В научных исследованиях присутствует достаточно большое разнообразие трактовок терминов «управление» и «организация производства». Кроме того, разные исследователи по-разному определяют понятия организационно-производственной структуры предприятия. В этих условиях требуется конкретизация вышеуказанных терминов и понятий.

8. Существует расхождение между пониманием технологических операций в научном и коммерческом аспекте. Во втором случае перечень технологических операций определяется перечнем коммерческих услуг, предоставляемых клиенту, а в первом случае он вытекает из технологического процесса и определяется им.

9. Отсутствует научный подход к классификации предприятий автомобильного транспорта. В качестве основного классификационного показателя, как правило, используется мощность, но он не объясняет различия в типах предприятий: АТП, СТО, АЗС и т.п. Требуется обоснование показателей, характеризующих типы предприятий, а также классификация по ряду установленных показателей.

10. Из всех рассмотренных методических подходов к организации производства по ТО и Р АТ следует выделить разработанный В.М. Власовым модульный принцип организации структуры технологического процесса, а также методы оперативного управления производством по ТО и ТР Б.С. Клейнера. Указанные подходы создают научную основу к формированию системы управления технической эксплуатацией, однако, не учитывают ряд влияющих на систему управления факторов, таких как количество поступающих в систему заявок и их распределение по типам.

11. В ходе экспертного анализа факторов, определяющих подходы к формированию системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятии, было установлено, что в качестве основных следует учитывать количество автомобилей, поступающих в зону технического сервиса, и

реализуемый предприятием состав работ по ТО и Р. Для автотранспортных предприятий в качестве основных факторов следует рассматривать количество обслуживаемых на АТП автомобилей и интенсивность эксплуатации.

12. Не существует единого методического подхода к управлению технической эксплуатацией автомобиля на предприятиях автомобильного транспорта, а также к организации и управлению производством по ТО и ТР. Управление ТЭА не рассматривалась как система, объединяющая и связывающая в своей модели четыре функции управления. Кроме того, не определены характеристики, показатели и критерии эффективности каждой подсистемы, а также взаимосвязь этих характеристик с факторами, влияющими на систему. То есть модель предприятия автомобильного транспорта (ПАТ) как организационной системы не была формализована и определена.

13. В качестве концептуальной основы исследования в рамках системного подхода следует рассматривать структуру системы управления технической эксплуатацией автомобилей как совокупность подсистем планирования, организации, стимулирования и контроля. Система адаптируется к воздействиям внешних факторов за счет управляемых параметров, к которым относятся показатели указанных выше подсистем.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая методика исследования

Укрупненная схема общей методики исследования представлена на рисунке 2.1.

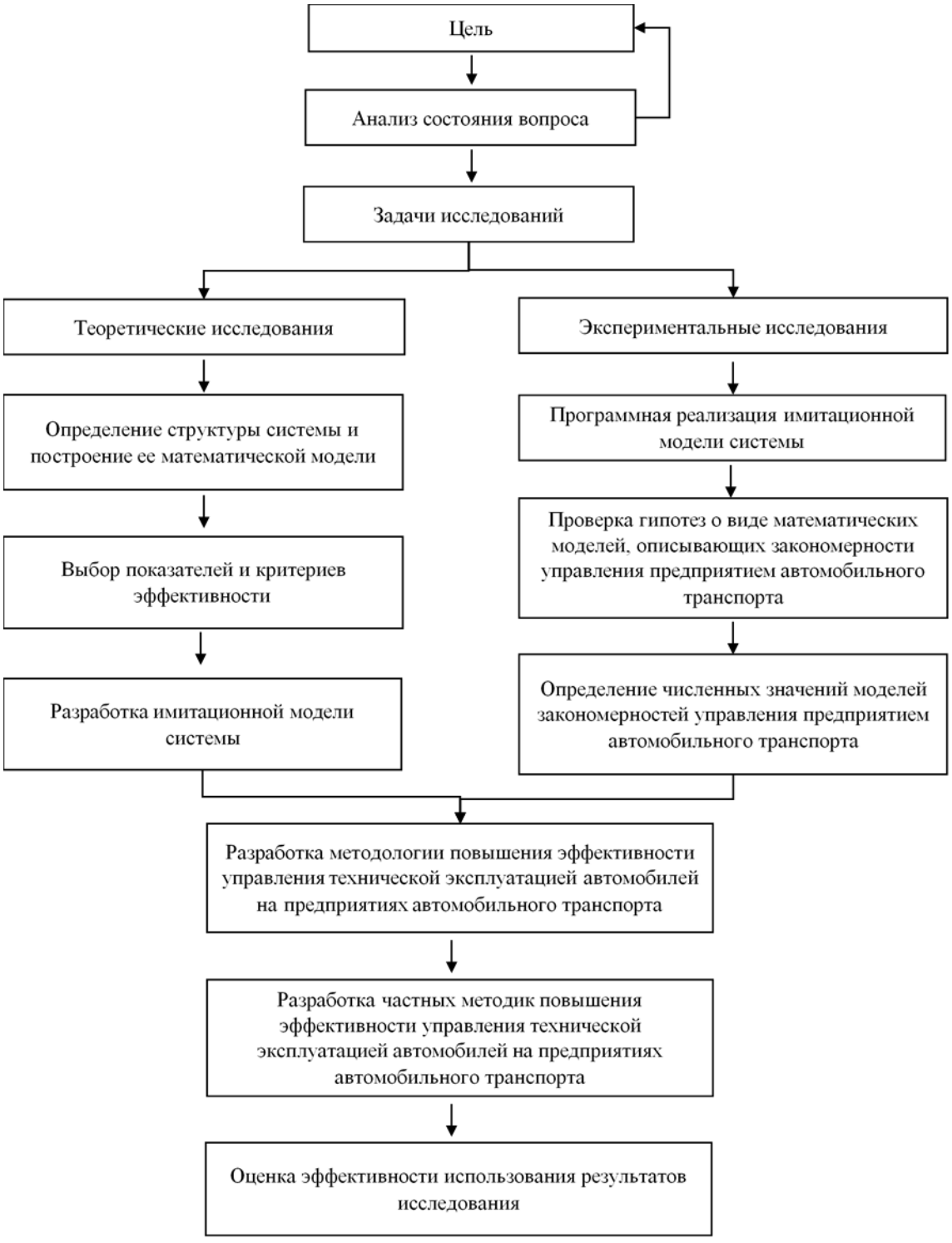


Рисунок 2.1 – Общая методика исследований

Согласно работе [94] «целью теоретических исследований является выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация».

В рамках теоретических исследований определена структура изучаемой системы, ее границы, а также перечень внешних факторов, оказывающих влияние на поведение системы. Разработана математическая модель системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта. Сформулированы гипотезы о виде закономерностей влияния факторов на характеристики подсистем управления технической эксплуатацией. Определены показатели и критерии эффективности функционирования каждой из четырех рассматриваемых подсистем.

2.2. Методы исследования

В работе использованы методы экспериментально-теоретического уровня: эксперимент, анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование [94].

В основу методологического подхода исследования положен системный анализ [104]. Системный анализ — это методология исследования сложных систем, включающая их декомпозицию, анализ и синтез для достижения целей управления. Системный анализ предлагает методы решения проблем, основанные на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив [8]. Он состоит из четырех этапов: постановки задачи – определения объекта, цели и задачи исследования, а также критериев для изучения и управления объектом; определения составных частей системы; составления математической модели системы; анализа полученной математической модели с целью оптимизации. Достаточно подробный обзор методов системного анализа приведен в работе зарубежных ученых [212].

В качестве методологической основы в исследовании использован системный подход, работа выполнена на стыке предметных областей технической эксплуатации автомобилей и теории управления организационными системами.

Для описания производственных процессов предприятия был использован метод управления процессами BPM (Business Process Management). Согласно источнику [200] управление бизнес-процессами (BPM) — это системный подход к выявлению, проектированию, исполнению, документированию, измерению, мониторингу и контролю как автоматизированных, так и неавтоматизированных бизнес-процессов, нацеленный на стабильное достижение показателей, согласованных со стратегическими целями организации. Для исследования, визуализации и повышения эффективности производственных процессов ТО и Р

автомобилей на предприятии автомобильного транспорта был использован метод исследования процессов PM (process mining).

Методология управления проектами систематизирована в своде знаний PM BoK [148].

Согласно источнику [295] исследование процессов (process mining) позволяет обнаружить основанную на фактах визуализацию процесса (как процесс реализуется в настоящее время) с помощью анализа «сырых» данных и показывает, как на самом деле выполняется процесс. То есть отображает модель процесса в формате «As is» (как есть). Кроме того, методология PM позволяет создать предпосылки к тому, как нужно оптимизировать процесс, представив его в формате «to be» (как должно быть).

Помимо указанных выше, в настоящем исследовании использованы следующие методы:

1. теория управления организационными системами;
2. имитационное моделирование;
3. системный анализ;
4. теория автоматического управления;
5. метод графов;
6. компьютерное зрение;
7. генетические алгоритмы;
8. обратная оптимизация;
9. нейронные сети.

Теория управления организационными системами изучает принципы, методы и механизмы управления сложными системами, включая организационные структуры, процессы принятия решений и взаимодействие между элементами системы [303, 28]. Теория управления организационными системами была использована при формировании концепции исследования и классификации функций управления на функцию планирования, организации, стимулирования и контроля. В основу теории управления организационными системами легли такие науки, как теория автоматического управления, кибернетика, менеджмент [92, 149].

Имитационное моделирование — это метод исследования систем, при котором создается модель системы для имитации её поведения в различных условиях [282, 319, 152]. Имитационное моделирование применялось для проведения активного эксперимента, направленного на изучение поведения системы при изменении влияющих на ее работу факторов. В работе [13] представлен обзор применяемых в настоящее время методов имитационного моделирования. Теория автоматического управления изучает принципы построения и функционирования систем, которые работают без непосредственного

участия человека [265, 92]. Теория автоматического управления совместно с кибернетикой послужили основой для изучения системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятии автомобильного транспорта [123, 124]. В отличие от существующих исследований, в основу настоящей работы положен кибернетический подход к функционированию системы управления. Однако, сама система не рассматривается в качестве «черного ящика», а структурируется по подсистемам и основывающим их элементам, определяются взаимосвязи между ними. Отличительной особенностью предлагаемого научного подхода является представление системы ТЭА как динамической стохастической системы и рассмотрение ее как «белый ящик», т.е. определение структурных взаимосвязей между ее элементами. Метод графов используется для моделирования и анализа структур и взаимосвязей в системах, таких как сети, алгоритмы и базы данных [248, 256, 121]. Метод графов совместно с методологией process mining был использован в работе для формирования производственной и организационной структуры предприятий автомобильного транспорта. Компьютерное зрение — это область искусственного интеллекта, занимающаяся анализом и интерпретацией визуальной информации [284, 277]. Технологии компьютерного зрения использовались для разработки методик контроля производственных процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей. С использованием этой технологии решались задачи классификации, детектирования и сегментации объектов. Генетические алгоритмы — это методы оптимизации, вдохновленные эволюционными процессами, такие как мутации и естественный отбор [260, 245, 285]. Обратная оптимизация — это метод нахождения параметров модели, которые минимизируют отклонение от наблюдаемых данных [232, 290]. Метод генетических алгоритмов использовался для решения задачи обратной оптимизации при планировании производственной деятельности предприятий автомобильного транспорта. Нейронные сети — это модели машинного обучения, имитирующие работу биологических нейронных сетей для решения задач классификации, прогнозирования и управления [259, 300]. Полносвязные архитектуры нейронных сетей применялись для моделирования неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года, для определения реализуемого перечня услуг для станций технического обслуживания автомобилей, а также для определения загрузки зоны технического сервиса дилерской станции технического обслуживания автомобилей.

Для построения моделей установленных закономерностей были использованы методы корреляционно-регрессионного анализа, гармонического анализа, кластеризации на основе k-средних (kMeans), деревьев принятия решений (decision trees) [213], самоорганизующихся карт Кохонена (SOM), модели

гауссовой смеси (GMM), метода главных компонент (PCA), метод полносвязных искусственных нейронных сетей (FCNN).

2.3. Структура системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта

В формальном виде модель общей задачи принятия решений можно представить в следующем виде [8]:

$$ОЗПР: \langle T, I_{вх}, I_{вых}, I_{реш}, P, C \rangle, \quad (2.1)$$

где T – цель принятия решения;

$I_{вх}$ – исходные данные для порождения альтернатив;

$I_{вых}$ – множество порожденных альтернатив;

$I_{реш}$ – выбранная альтернатива;

P – правило порождения альтернатив;

C – правило выбора наилучшей альтернативы.

Кроме того, говорят о решении задачи управления организационной системой, которая в общем виде звучит следующим образом: найти допустимое управление, имеющее максимальную эффективность [125], т.е.

$$K(u) \to \max_{u \in U}, \quad (2.2)$$

где K(u) – эффективность управления;

U – управляющие действия или стратегии управления.

Отсюда следует, что для решения задачи управления нужно знать цель, иметь набор исходных данных и механизм формирования альтернатив, а также установить правила выбора наилучшей альтернативы. Последний параметр также называют критерием эффективности.

Для установления перечня альтернатив и правил их порождения необходимо определить структуру системы и закономерности ее функционирования. Для этого используются положения теории систем и системного анализа [274, 301, 308].

Методология системного анализа на первом этапе предполагает формализацию описания системы, т.е. построение ее модели [7, 65]. Модель – упрощенное описание системы, соответствующее оригиналу и позволяющее прогнозировать и исследовать функциональные характеристики системы.

Системный анализ оперирует рядом определений, одним из которых является элемент системы [64]. Это некоторый объект, обладающий рядом важных свойств и реализующий в системе определенный закон функционирования F^s, внутренняя структура которого не рассматривается [8]. Можно представить элемент системы следующим образом (рисунок 2.2).

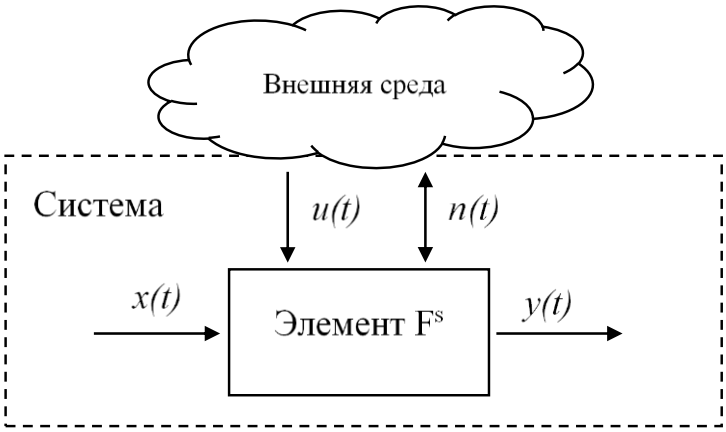


Рисунок 2.2 – Элемент системы

Элемент системы взаимодействует с другими элементами и внешней средой посредством нескольких сигналов во времени t:

- Входных сигналов x(t), которые могут быть разделены на неуправляемые входные сигналы, воздействия внешней среды n(t) и управляющие сигналы u(t);
- Выходных сигналов y(t), представляющих собой совокупность характеристик элемента системы.

Таким образом, функциональная модель элемента системы может быть представлена следующим образом:

$$y(t) = F^s(x, n, u, t) \tag{2.3}$$

То есть характеристика элемента системы будет определенным образом изменяться под воздействием входных сигналов, управляющих воздействий, влияния внешней среды и времени.

Следовательно, задачей системного анализа является определение функциональной модели элемента, т.е. вида модели (2.3) в зависимости от влияющих на элемент факторов.

Систему управления технической эксплуатацией автомобильного транспорта предложено рассматривать состоящей из четырех подсистем или элементов: подсистемы планирования, организации, мотивации и контроля.

Каждый элемент системы обладает характеристиками. Под характеристикой элемента понимают то, что отражает некоторое свойство системы [8]. Характеристики делятся на количественные и качественные. Характеристики элемента являются зависимыми переменными и отражают свойства элемента.

Под свойством понимают сторону объекта, обуславливающую его отличие от других объектов или сходство с ними и проявляющуюся при взаимодействии с другими объектами. Свойства классифицируют на внешние и внутренние. Выявление внутренних свойств системы, определяющих ее поведение, является одной из основных целей системного анализа [8].

То есть обобщенная выходная характеристика системы управления технической эксплуатацией автомобилей будет состоять из совокупности частных характеристик подсистем планирования, организации, мотивации и контроля:

$$y(t) = \langle y_п(t), y_о(t), y_м(t), y_к(t) \rangle \qquad (2.4)$$

Таким образом, целью исследования является установить закономерности влияния ряда управляющих воздействий, которые, в свою очередь, зависят от совокупности внешних факторов X, а также времени t, на характеристики подсистем, входящих в систему управления, т.е.

$$y(t) = f(X, t) \qquad (2.5)$$

Можно отметить, что исследование поведения участников процесса управления при тех или иных механизмах управления является вторым этапом технологии управления организационными системами [125].

Наиболее простой формой описания системы является ее представление в виде черного ящика. Такое описание позволяет выделить систему из окружающей среды, определяя ее целостное единство. Для описания структуры системы используем метод системной динамики [113]. Рассмотрим систему ПАТ в части управления основным бизнес-процессом по технической эксплуатации автомобилей. Системная динамика оперирует понятиями входящего потока, выходящего потока и запаса, который изменяется под действием этих потоков. Если не рассматривать цель системы как коммерческой организации, то с технической точки зрения цель системы – обработка входящего потока заявок на ТО и Р x и превращение их в обслуженные заявки x'. Основным ресурсом или запасом системы являются свободные посты – производственные звенья, за счет которых и происходит преобразование входящего потока заявок в исходящий. Запас имеет заданный текущим состоянием ПТБ максимальный уровень X_{max}. На вход в систему из внешней среды поступает входящий поток требований на ТО и Р

λ, а на выходе из системы находится поток обслуженных автомобилей μ в исправном техническом состоянии.

С учетом вышесказанного систему можно представить следующим образом (рисунок 2.3).

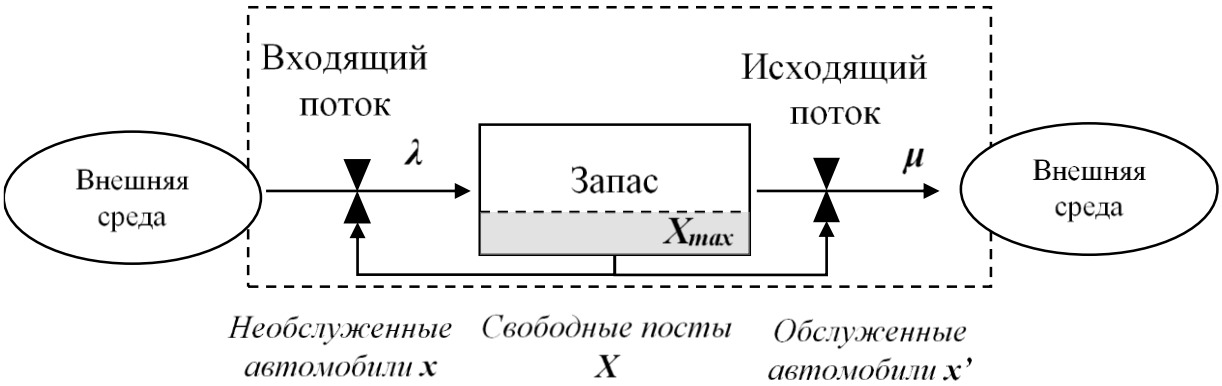


Рисунок 2.3 – Схема системы управления ТЭА на ПАТ

Стрелки показывают входящий и выходящий потоки, воздействующие на систему и влияющие на уровень запаса. На стрелках по аналогии с потоками жидкости символами показаны элементы управления - вентили, которые могут быть открыты или закрыты, перекрывая тем самым входящие и выходящие потоки. Система не имеет обратной связи в классическом понимании, поскольку входящим потоком является поток клиентов, который не поддается управлению.

Заявка занимает часть запаса (свободный пост) на некоторое время для преобразования ее в обслуженную заявку. При этом количество запаса уменьшается. Условие динамического равновесия системы показано на рисунке 2.4 и достигается при λ = μ.

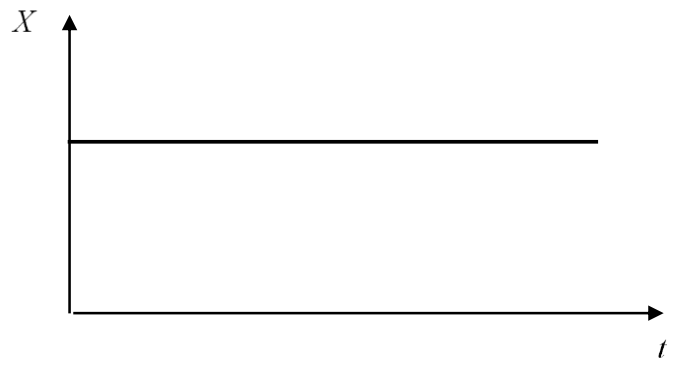


Рисунок 2.4 – Динамическое равновесие системы – постоянный уровень запаса во времени

При λ > μ количество свободных постов будет уменьшаться (рисунок 2.5). Это будет неэффективно для системы, так как она не будет успевать обрабатывать входящий поток заявок, образуется очередь.

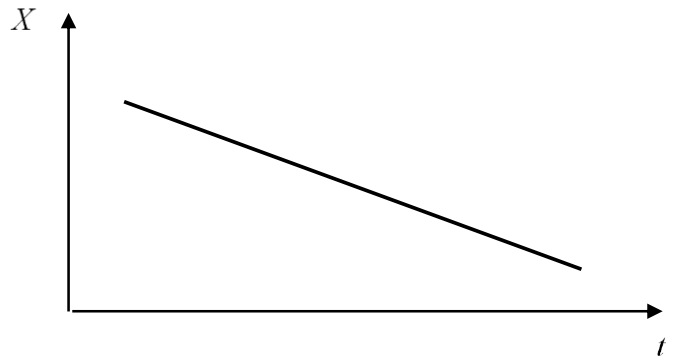


Рисунок 2.5 – Изменение уровня запаса при $\lambda > \mu$

При $\lambda < \mu$ количество свободных постов будет увеличиваться (рисунок 2.6). Это также неэффективно, поскольку производственные мощности будут простаивать без загрузки.

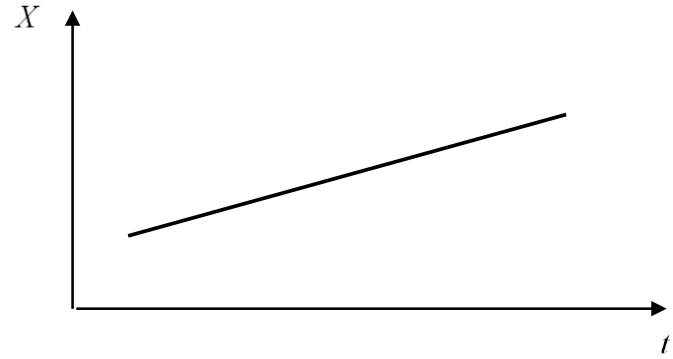


Рисунок 2.6 – Изменение уровня запаса при $\lambda < \mu$

Тогда целью управления системой будет поддержание динамического равновесия, когда $\lambda = \mu$. При этом должны выполняться ограничения: $\lambda >> 0$, $\mu >> 0$, $X \rightarrow \min$, $\lambda < \mu$, т.е. система управления должна минимизировать свободно простаивающие посты, так как это экономически невыгодно. Входящий и исходящий потоки должны быть намного больше 0, а интенсивность обработки заявок должна быть всегда выше интенсивности поступления, что будет исключать появление очередей.

В таком случае управление системой возможно тремя способами:

- через $\lambda(t)$ – управление интенсивностью поступления клиентов;
- через $\mu(t)$ – управление интенсивностью обслуживания клиентов;
- через X_{max} – управление емкостью запаса в системе.

Очевидно, что управление через $\lambda(t)$ слабо реализуемо, поскольку у технической службы предприятия нет механизмов управляемого увеличения количества клиентов. Следовательно, это основной влияющий на поведение системы фактор, который следует учитывать.

В таком случае, возможно управление через μ(t) и X_{max}, что напрямую связано с деятельностью технической службы предприятия. Отметим, что управление через X_{max} допустимо лишь в случае λ > μ, так как при λ < μ увеличение количества свободных постов невыгодно, система и так справляется с обработкой входящего потока заявок. Следовательно, μ(t) и X_{max} – управляемые факторы, за счет которых возможно достижение цели системы управления.

Выделяют два основных закона управления – по производной и по интегралу [114]. Пусть величина запаса x изменяется по времени t по следующему линейному закону: x(t) = 2t + 4, определенном на промежутке t∈ [1;6], t∉4. В точке t=4 x(t) = 4t + 4. Производная x'(t) на области определения функции будет равна 2, а в точке t=4 x'=4. Интеграл X(t) будет равен t^2 + 4t, а в точке t=4 равен $2t^2$ + 4t. График функций x(t), x'(t) и X(t) представлены на рисунке 2.7.

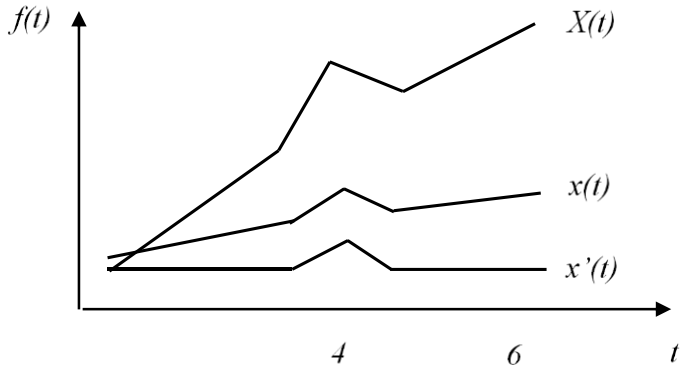


Рисунок 2.7 – Линейная функция изменения запаса по времени со скачком в точке t=4, ее производная и интеграл

Можно сделать вывод, что система требует комбинированного закона управления, поскольку управление по производной может давать результат только при изменении скорости роста функции (t=4), т.е. колебаниях входящего потока. В случае монотонного роста функции x(t) управление по производной не будет давать результат, так как график функции будет прямой линией. В этом случае применимо управление по интегралу, график функции которого также растет при монотонном росте x(t).

Тем не менее, представление системы в виде «черного ящика» не раскрывает внутренней структуры сложной системы.

При моделировании сложных систем в модель отбирают только те входы и выходы, которые отражают целевое назначение модели. Общее представление системы осуществляется на этапе декомпозиции. Наиболее часто декомпозиция проводится путем построения дерева целей и дерева функций системы.

Структура дерева целей системы представлена на рисунке 2.8 и описана далее.

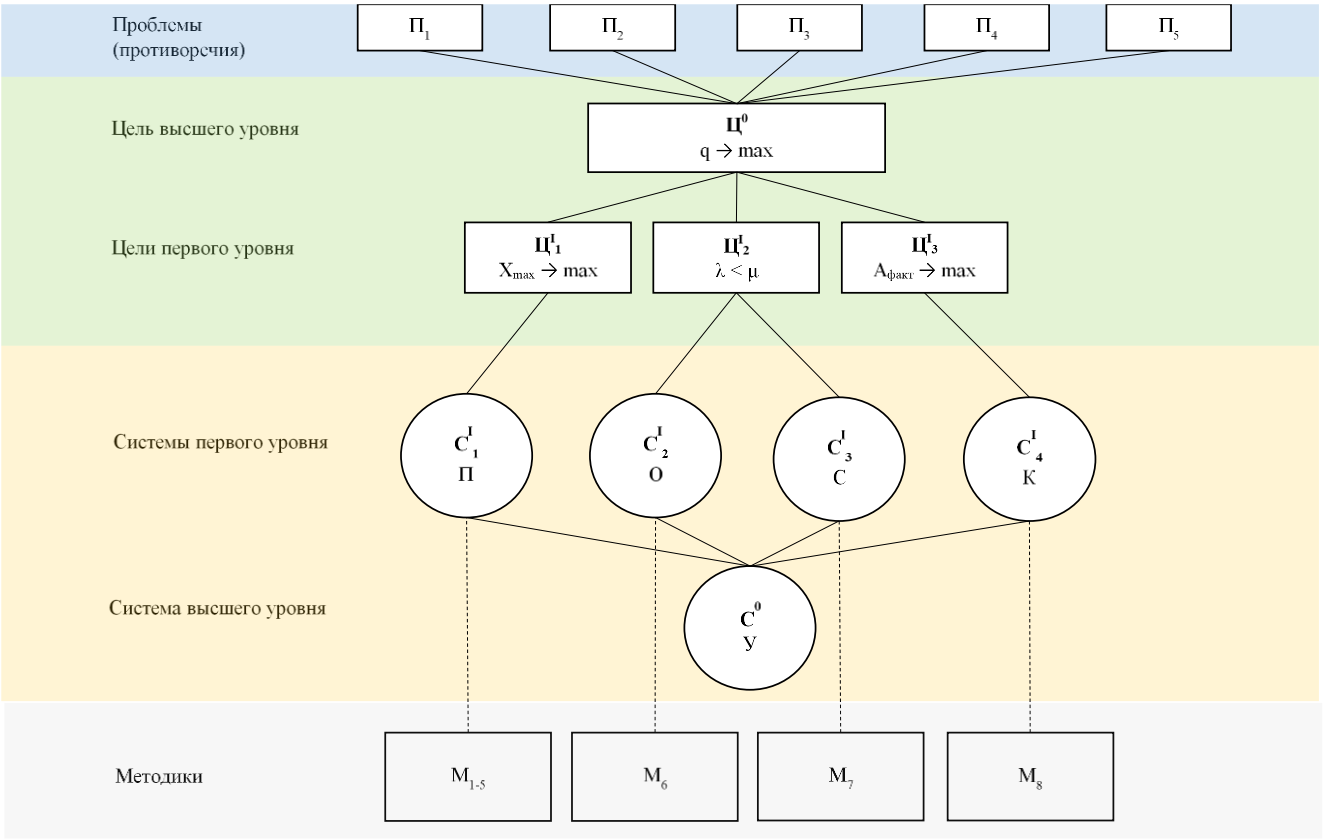


Рисунок 2.8 – Структура дерева целей системы управления ТЭА

Выявленные на этапе анализа состояния вопроса противоречия представлены ниже:

$П_1$ – проблема планирования технико-экономических показателей предприятий;

$П_2$ – проблема типизации организационно-производственных структур;

$П_3$ – проблема вариабельности нормативов ТО и Р;

$П_4$ – проблема стандартизации техпроцессов ТО и Р;

$П_5$ – проблема дискретности и статичности систем управления.

Они формируют цель высшего уровня $Ц^0$, которая заключается в повышении относительной пропускной способности системы ТЭА, т.е. отношения среднего числа обслуженных заявок за единицу времени к среднему числу всех поступивших заявок за тоже время. Идеальным состоянием для предприятия было бы сокращение времени нахождения автомобилей в ТО и Р к минимуму. Генеральная цель формирует три цели первого уровня:

$Ц^I_1$ – увеличение объема запаса X_{max}, т.е. увеличение количества постов или расширение ПТБ в целом;

$Ц^I_2$ – превышение интенсивности обслуживания μ над интенсивностью поступления заявок λ, т.е. $\lambda < \mu$;

$Ц^{I}_{3}$ – увеличение фактической пропускной способности зон $A_{факт}$, т.е. производственная зона предприятия всегда должна быть максимальна загружена, чтобы не допустить ее непроизводительных простоев.

Установленные цели могут быть реализованы системами первого уровня, которые структурированы по видам основных функций управления:

$С^{I}_{1}$ – подсистема планирования, включающая в себя прогнозирование параметров ПТБ, планирование ресурсов, оперативное управление производственной зоной и т.п.;

$С^{I}_{2}$ – подсистема организации, включающая в себя формирование рациональных параметров производственной и организационной структуры предприятия;

$С^{I}_{3}$ – подсистема стимулирования, включающая в себя выбор и реализацию стратегии стимулирования административного и производственного персонала;

$С^{I}_{4}$ – подсистема контроля, включающая в себя контроль реализации производственного процесса, а также определение количества, объема управляющих воздействий.

Указанные подсистемы формируют систему управления ТЭА, являющуюся системой высшего уровня $С^{0}$, которая реализует соответствующую ее рангу цель $Ц^{0}$.

Функциональная декомпозиция базируется на анализе функций системы. Основанием разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых группами элементов. Перечень основных функций системы управления представлен ниже.

1. Ф1. Определение перечня и значений входных неуправляемых независимых переменных, определяющих формирование, функционирование и развитие системы управления ТЭА на ПАТ.
2. Ф2. Определение и выбор технологии производства работ по ТО и Р АТ.
3. Ф3. Определение параметров текущего состояния системы ТЭА на ПАТ.
4. Ф4. Определение целевых показателей развития ПАТ.
5. Ф5. Определение объемов работ по ТО и Р АТ.
6. Ф6. Определение реализуемого предприятием перечня работ (услуг) по ТО и Р АТ.
7. Ф7. Формирование потребности в технологических звеньях по выполнению объемов работ по ТО и Р АТ.
8. Ф8. Формирование производственной программы по ТО и Р АТ.
9. Ф9. Определение реализуемого перечня технологических операций по ТО и Р АТ.

10. Ф10. Определение технологических маршрутов реализации производственной программы.

11. Ф11. Формирование системы материально-технического обеспечения процессов ТО и Р АТ.

12. Ф12. Формирование технологических процессов ТО и Р АТ.

13. Ф13. Определение потребности в административном персонале для руководства процессами ТО и Р.

14. Ф14. Определение количества производственных работников, управляемых одним административным работником (норма управляемости).

15. Ф15. Формирование модели стимулирования производственного и административного персонала.

16. Ф16. Определение периодичности контроля реализации основных технологических процессов по ТО и Р АТ.

17. Ф17. Определение степени реализации управляющих воздействий при контроле.

18. Ф18. Формирование основного и вспомогательного производственного процесса по ТО и Р АТ.

19. Ф19. Определение показателей качества системы управления ТЭА на ПАТ.

20. Ф20. Определение экономических показателей функционирования системы управления ТЭА на ПАТ.

Взаимосвязь функций и основных подсистем представлена на рисунке 2.9.

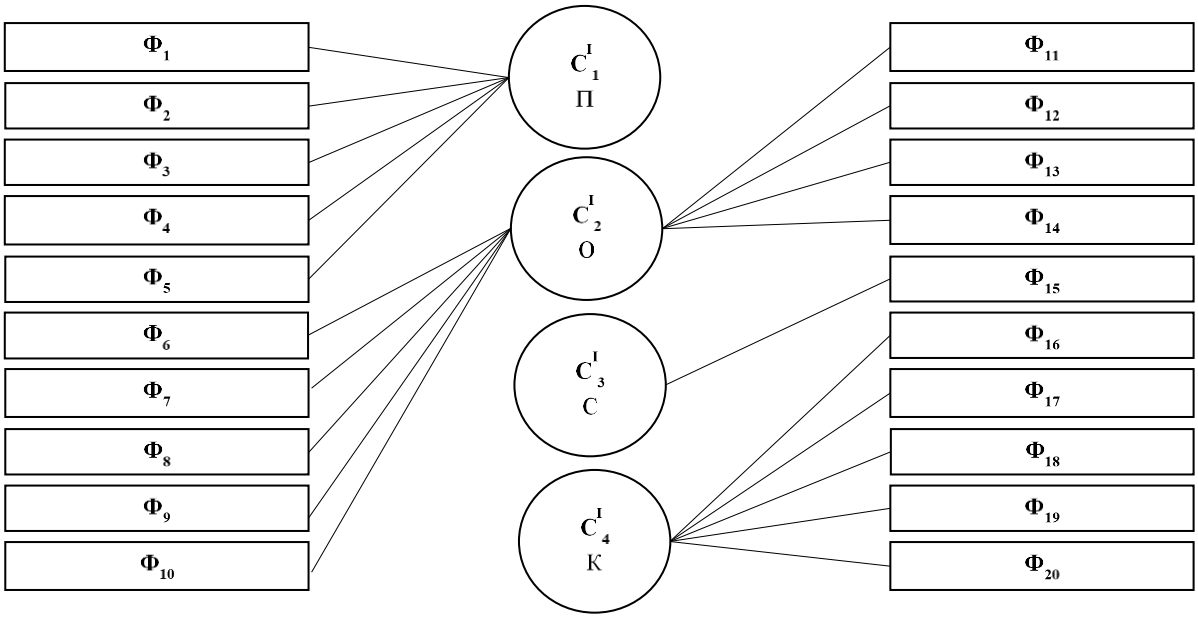


Рисунок 2.9 – Функциональная декомпозиция системы

Функциональная декомпозиция послужила основой для проведения структурной декомпозиции системы.

Следующим этапом моделирования систем является структурная декомпозиция. Она отражает состав ее элементов и отношения (взаимосвязи) между ними. Структурная схема системы управления технической эксплуатацией автомобилей представлена на рисунке 2.10 и будет описана далее.

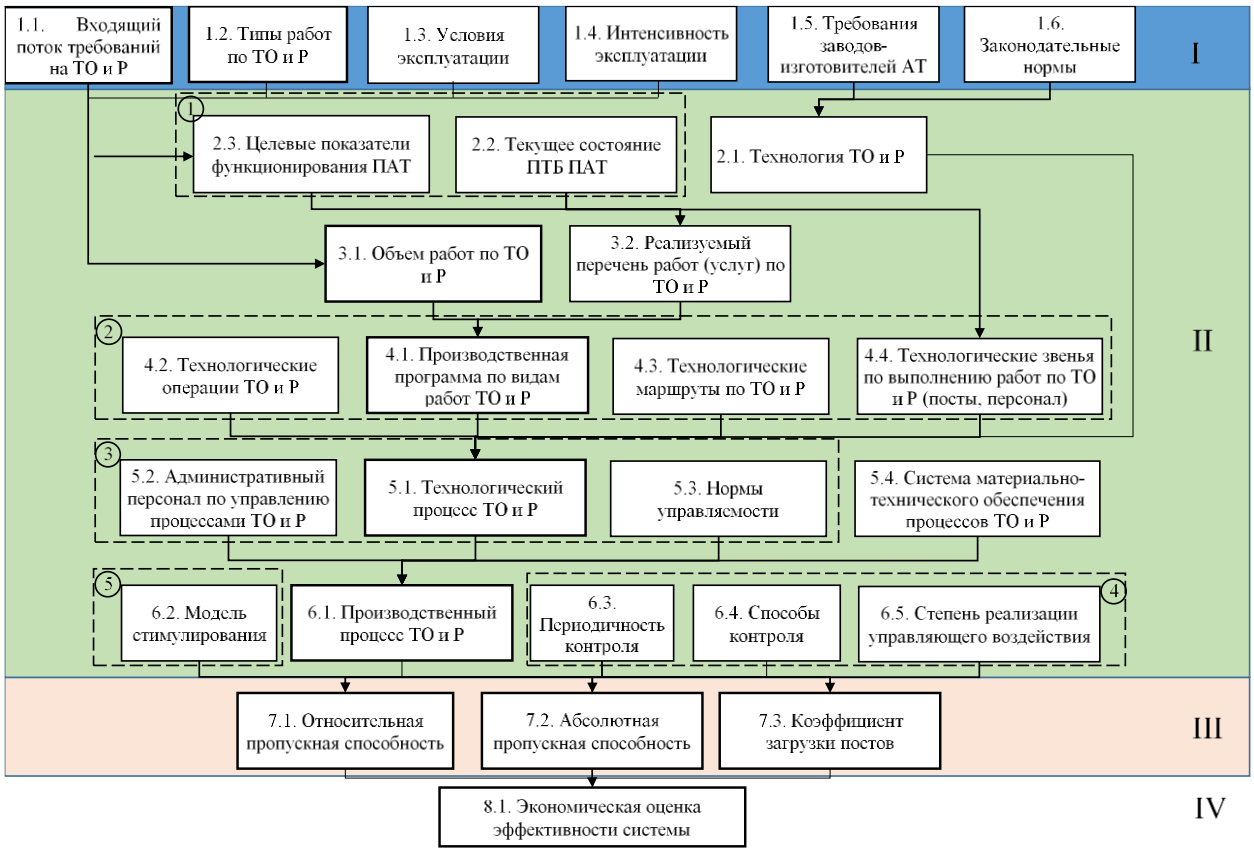


Рисунок 2.10 – Структурная декомпозиция моделируемой системы

На систему оказывают влияние внешние факторы. Они учитываются в процессе планирования. Стратегический план определяет перечень и содержание коммерческих услуг, которые будет оказывать предприятие. Они формируют организационно-производственную структуру, на основе которой выбирается модель и механизмы мотивации, а также определяется модель системы контроля. Производительность системы влияет на затраты на управление технической эксплуатацией, что, в свою очередь, отражается на показателях коммерческой деятельности предприятия, величина которых и определяет ее эффективность.

В структуре изучаемой системы можно выделить четыре уровня параметров:

I – уровень входных неуправляемых независимых переменных {Z} и случайных возмущений {V};

II – уровень контролируемых управляемых независимых переменных {X};

III – уровень выходных зависимых переменных {Y} – показатели качества системы;

IV – уровень оптимизации.

Тогда в формальном виде модель системы можно описать следующим образом:

$$\{Y\} = \Phi[\{X\}, \{Z\}, \{V\}] \quad (2.6)$$

Арабскими цифрами представлены подсистемы, формируемые из совокупности элементов системы:

1 – подсистема планирования;

2 – подсистема организации (производственная структура);

3 - подсистема организации (организационная структура);

4 – подсистема контроля;

5 – подсистема стимулирования.

Иерархическая декомпозиция системы отражает иерархию уровней системы с точки зрения увеличения абстракции и их соответствие с элементами структуры системы. Иерархическая декомпозиция представлена на рисунке 2.11.

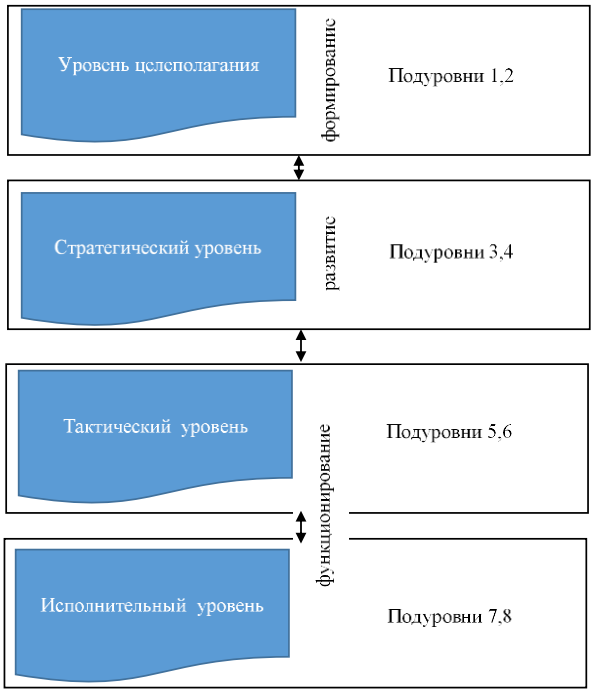


Рисунок 2.11 – Иерархическая декомпозиция моделируемой системы

Уровень целеполагания отвечает за формирование системы и формирует принципы и цели ее функционирования.

Стратегический уровень предполагает принятие решений, адаптацию и обучение под изменение внешних условий и принятую парадигму целеполагания. Данный уровень иерархии отвечает за развитие системы.

Тактический уровень отвечает за функционирование системы и прогнозирование состояния системы на краткосрочный период.

Исполнительный уровень отвечает за текущее функционирование системы и реализует непосредственные задачи по управлению работами ТО и Р автомобилей.

Для описания отношений между элементами системы использован теоретико-множественный, а также аналитический и статистический подходы [35]. Математическая модель системы подробно рассмотрена в соответствующем пункте текущей главы.

Следующим этапом формирования модели системы является проверка модели на:

- линейность;
- динамичность;
- стационарность;
- детерминированность [128].

Для оценки характеристик модели был проведен предварительный эксперимент. Для этого был осуществлен сбор статистических данных о работе 15 станций технического обслуживания легковых автомобилей г. Тюмени за 2020-2024 годы. В качестве входной характеристики анализировалось количество обращений на ТО и Р (автомобилезаездов), а в качестве выходной – реализованный за этот срок объем работ по ТО и Р.

Линейность устанавливается по характеру статической характеристики исследуемого объекта. Статическая характеристика – связь между величиной внешнего воздействия на систему и величиной выходного сигнала.

Для оценки статической характеристики был использован корреляционно-регрессионный анализ [93]. Оценивался характер взаимосвязи между выходной и входной характеристикой системы. На рисунке 2.12 представлен график зависимости анализируемых параметров. Набор эмпирических данных с наибольшей степенью точности может быть аппроксимирован степенной функцией, предполагающей наличие нелинейной зависимости между независимой переменной и функцией отклика. При увеличении интенсивности потока поступления заявок в зону технического сервиса реализованный объем работ снижается.

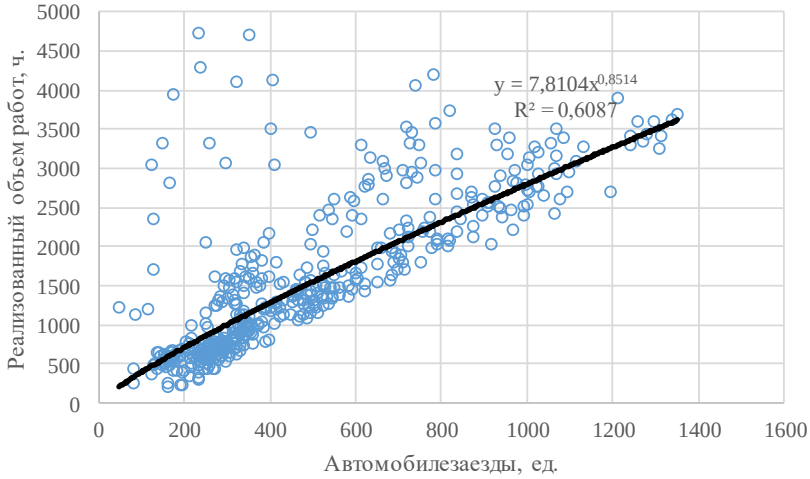


Рисунок 2.12 – График зависимости выходной и входной характеристики системы

Теснота парной корреляционной связи оценивалась по величине корреляционного отношения η. Адекватность уравнения регрессии оценивалась по критерию Фишера и величине ошибки аппроксимации. Установленные значения параметров сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Оценка значимости взаимосвязи факторов и адекватности уравнения регрессии

№	Наименование параметра	Значение
1	Корреляционное отношение	0,76
2	Наблюдаемое значение критерия Стьюдента	24,8
3	Критерий Стьюдента	$T_{набл} = 24,8 > t_{кр} = 2,58$
4	Величина множественной детерминации R^2	0,6
4	Критерий Фишера F	$F= 672 > F_{табл\ 0,05;448;1} = 6,7$

Установлено, что связь между характеристиками системы имеет нелинейный характер.

Динамичность системы оценивается по поведению исследуемых показателей во времени. В.И. Крутов пишет: «Если среднее арифметическое значение выходного сигнала по разным отрезкам времени не выходит за допустимые пределы, определяемые точностью методики измерения исследуемого показателя, то это свидетельствует о статичности объекта» [128].

Для оценки динамичности системы ТЭА был произведен анализ дисперсии величины реализованного объема работ по месяцам года на промежутке четырех лет. График изменения дисперсии представлен на рисунке 2.13.

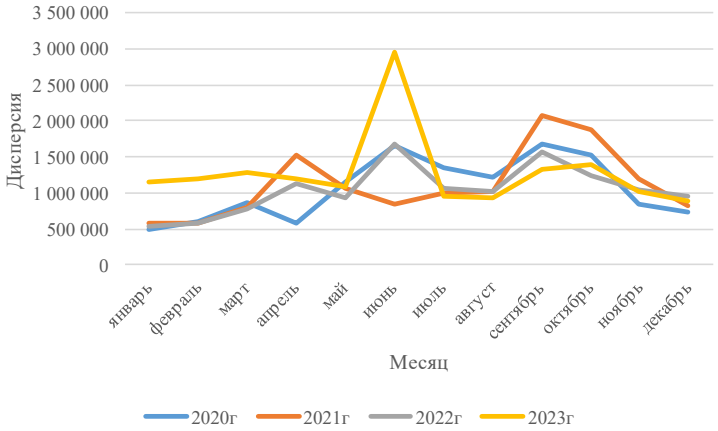


Рисунок 2.13 – Дисперсия величины выполненного объема работ по ТО и Р автомобилей по годам

Исходя из графика на рисунке 2.12 можно заключить, что выходная характеристика системы носит динамический характер, поскольку величина дисперсии неравномерно распределена в течение года и имеет существенную вариацию [54].

Для проверки системы на стационарность был использован тест Дики-Фуллера [119]. Оценивались 2 указанных выше показателя: количество обращений на ТО и Р и объем работ по ТО и Р, усредненные по 4 годам. Для них определялось расчетное значение DF-статистики, которое затем сравнивалось с критическими значениями из таблицы Дики-Фуллера (МакКиннона) для 5%-ного уровня значимости. В случае, если значение статистики лежит левее критического значения (т.е. больше) при данном уровне значимости, то нулевая гипотеза о единичном корне отклоняется и процесс признается стационарным. В противном случае гипотеза не отвергается и процесс может быть нестационарным временным рядом.

Для удобства значения параметров теста были сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Проверка стационарности временных рядов по критерию Дики-Фуллера

№	Параметр	Расчетное значение DF-статистики	Табличное значение DF-статистики	Уровень значимости	Решение
1	Входная характеристика (количество обращений на ТО и Р)	-1,70	-3,47	5%	Ряд не стационарен
2	Выходная характеристика (выполненный объем работ по ТО и Р)	-2,16	-3,47	5%	Ряд не стационарен

График изменения анализируемых показателей представлен на рисунке 2.14.

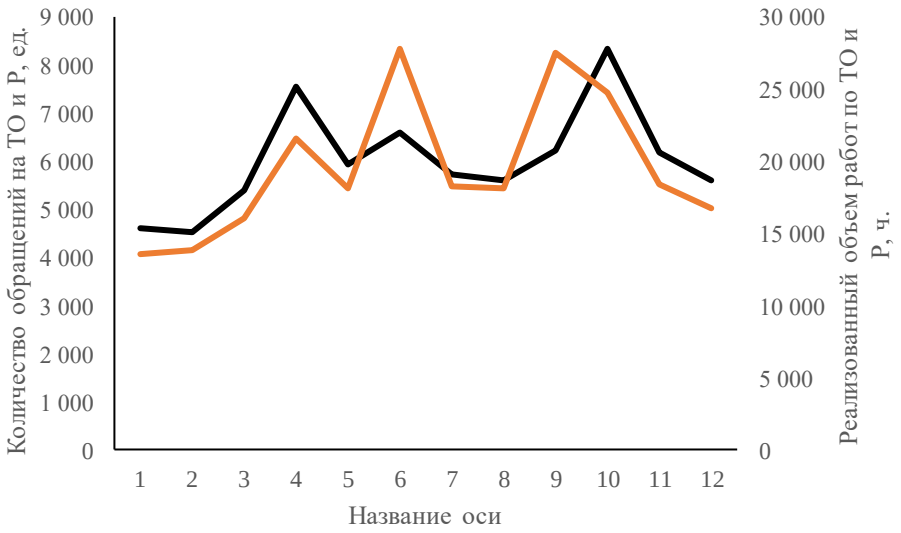


Рисунок 2.14 – Усредненные значения изменения входного и выходного показателей системы в течение года

По результатам анализа стационарности можно сделать вывод, что входной и выходной показатели системы не являются стационарными, следовательно, для прогнозирования их состояний необходимо использовать соответствующий математический аппарат.

Проверка на детерминированность заключается в оценке выходной характеристики системы. Детерминированные системы всегда возвращают один и тот же результат при определенном наборе значений входных факторов. Недетерминированные системы могут возвращать разные результаты каждый раз, даже когда они оперируют одним и тем же набором входных значений. То есть следует определить, является ли выходная характеристика системы случайной или детерминированной величиной. Для этого строят функцию распределения выходной характеристики [39, 93].

Для построения теоретического закона распределения случайной величины по опытным данным и проверке гипотезы о виде закона распределения сначала выборка была проверена на наличие грубых ошибок. Методика подробно рассмотрена в работе [63]. Следует отметить, что для закона распределения, отличного от нормального, для определения грубых ошибок (выбросов) можно использовать метод интерквартильных расстояний [187].

Полученные после удаления грубых ошибок данные были использованы для построения эмпирической плотности распределения, которая оценивалась на соответствие теоретической плотности закона распределения по критерию Пирсона и критерию Колмогорова-Смирнова. Эмпирическое распределение лучше

всего соответствует гамма-закону распределения, гистограмма и плотность вероятности которого, полученная с помощью программы STATISTICA, представлена на рисунке 2.15.

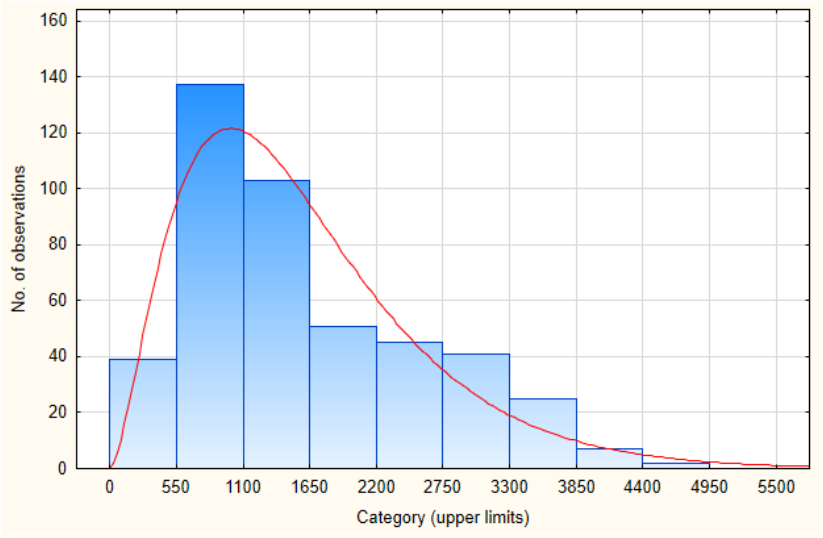


Рисунок 2.15 – Гамма-распределение выходной характеристики системы как случайной величины

Параметры установленного закона распределения представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры установленного теоретического закона распределения

№	Наименование параметра	Значение
1	Математическое ожидание	1576
2	Среднеквадратическое отклонение	1004
3	Коэффициент вариации	0,63
4	Критерий Пирсона	$\chi^2 = 8{,}2 < \chi^2_{0{,}05;7} = 14{,}1$
5	Критерий Колмогорова-Смирнова	$\lambda = 0{,}08 < \lambda_{0{,}05} = 1{,}36$

Таким образом, можно заключить, что выходная характеристика системы является стохастической.

Таким образом, предварительная оценка системы на основе экспериментальных данных показала, что предприятие автомобильного транспорта можно охарактеризовать как нелинейную нестационарную стохастичную динамическую систему. В соответствие с этим для ее моделирования был выбран метод имитационного моделирования.

2.4. Моделирование изучаемой системы

2.4.1. Математическая модель системы

Эксплуатацию автомобильного транспорта разделяют на коммерческую и техническую [178]. Обе системы можно представить как системы массового обслуживания, цель которых – обработка поступающих заявок (рисунок 2.16).

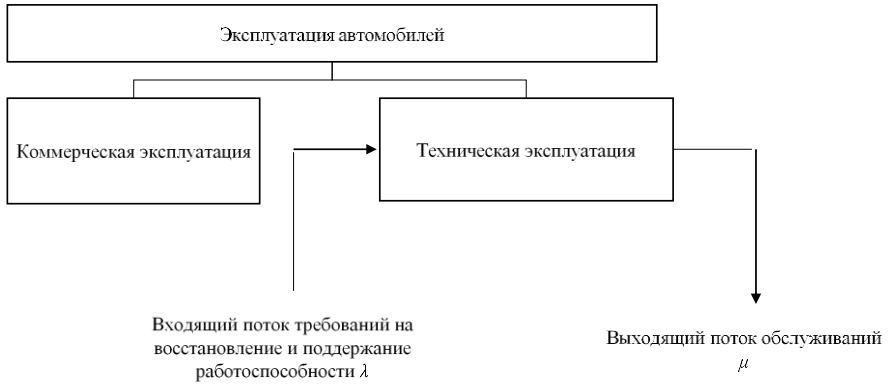


Рисунок 2.16 – Техническая эксплуатация автомобилей как система

Принцип работы системы массового облуживания и показатели ее эффективности достаточно широко рассматриваются в работе [168]. Имитационное моделирование по методу Монте-Карло рассматривается в работе [167]. Теория математического моделирования подробно рассмотрена в работе [152].

В связи с этим входным параметром системы будет некоторый поток заявок с интенсивностью λ, а выходным параметром – поток обслуживаний с интенсивностью μ. Систему более высшего уровня по большому счету интересует лишь скорость обработки заявок, которая может быть охарактеризована абсолютной или относительной пропускной способностью системы, а также экономические показатели эффективности, связанные с затратами на организацию работы системы и прибылью от обслуживания заявки [322, 30].

Для системы коммерческой эксплуатации входящим потоком заявок будет являться поток заявок на автомобили для совершения транспортной работы. Цель системы – удовлетворить все заявки, не допуская простоев техники и задержек в транспортном обеспечении производства. Для системы технической эксплуатации входящий поток состоит из заявок на поддержание и восстановление технического состояния автомобилей. Техническая служба должна обеспечить заданный уровень качества удовлетворения требований путем управления технической эксплуатацией максимальной эффективным способом.

Входящий поток заявок на ТО и Р Q является внешним фактором для системы. Это случайная величина, распределенная по некоторому закону

$Q(t) = \int_0^t q(t)dt$, который должен быть установлен в ходе экспериментальных исследований.

Все поступающие в систему заявки *Z* относятся к определенному типу, т.е. $Z = \{z_1, z_2, ..., z_k\}$, где *k* – общее количество типов заявок. Для определения *k* на этапе экспериментальных исследований реализуется метод кластеризации заявок. Тогда все поступающие в систему заявки содержат результаты измерения ряда признаков *X* для подмножества *A* объектов, выбранных из множества *Z*: каждый объект $a_i \in A \subseteq Z$ обладает значениями признаков $x_i = (x_{i0}, x_{i1}, ..., x_{in}) \in \{X_0, X_1, ..., X_n\} = X, i = \overline{1, N}$, где *n* – число признаков; *N* – число объектов в *A* [7 стр. 175].

Интенсивность поступления заявок каждого типа во времени Λ также распределена по некоторому закону $\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(t)dt$.

Установлено, что на изменение Λ оказывают влияние условия и интенсивность эксплуатации автомобилей. Представителями научной школы Н.С. Захарова установлены модели закономерностей влияния условий и интенсивности эксплуатации на параметры входящего потока заявок.

Так, влияние условий эксплуатации предложено аппроксимировать гармоническими моделями вида [63]:

$$Y_i = Y_0 + \sum_{k=1}^{g} A_{Yk} Sin(m(kT_i - T_{0k})),$$ или

$$Y_i = Y_0 + \sum_{k=1}^{g} A_{Yk} Cos(m(kT_i - T_{0k})), \quad (2.7)$$

где Y_0 - среднее значение *Y* за цикл;

k - номер гармоники;

g - количество гармоник;

A_{Yk} - полуамплитуда колебания *k*- той гармоники;

m - интервал между T_i и T_{i+1} в градусах;

T_{0k} - начальная фаза колебания в градусах.

Интенсивность эксплуатации автомобилей характеризуется пробегом (наработкой) за определенный период времени. Установлено, что увеличение интенсивности эксплуатации влияет на рост потребности в мощности ПТБ,

ресурсах и т.п. Например, влияние интенсивности эксплуатации на число постов текущего ремонта Е. В. Сергиенко предложил описать следующей моделью [156]:

$$N_{опт} = 0{,}002 \cdot l_{мес} + 3{,}04, \quad (2.8)$$

где $l_{мес}$ – интенсивность эксплуатации техники, км/мес;
$N_{опт}$ – оптимальное количество постов ТО и Р, ед.

Тогда входящий поток требований на ТО и Р можно охарактеризовать следующим кортежем:

$$N = \langle Q, Z, \Lambda \rangle. \quad (2.9)$$

Система ТЭА на предприятии должна обработать входящий поток, для чего система управления должна быть адаптирована к изменениям N.

Согласно N должна быть выстроена организационно-производственная структура предприятия. Воспользуемся теорией множеств и диаграммами Эйлера-Венна. Имеется множество возможных к реализации вариантов работ (заявок на ТО и Р) $Z \in R$. Также имеется множество реализуемых или возможных к реализации с учетом текущего состояния ПТБ предприятия услуг $B \in R$.

На этапе целеполагания (планирования) предприятие выбирает реализуемое множество $Z^* = Z \cap B$ (рисунок 2.17).

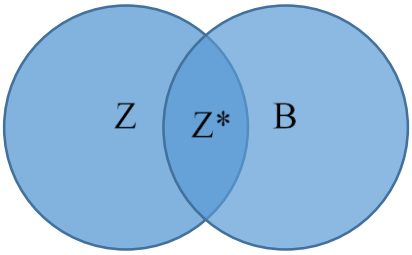


Рисунок 2.17 – Определение реализуемого предприятием множества работ (услуг) Z^* по ТО и Р автомобилей

То есть при формировании структуры управления ЛПР необходимо решить задачу по выбору реализуемого перечня услуг. Например, далеко не каждое предприятие по техническому сервису реализует весь существующий перечень работ (услуг) по ТО и Р автомобилей, оно выбирает лишь некоторые услуги из всех возможных. Функции могут быть совмещены на одном звене, что, очевидно, может приводить к увеличению срока производства работ, либо распределены по нескольким звеньям. То есть задача построения производственной структуры – определение соответствия технологических звеньев и выполняемых ими функций:

$$\{x_1, x_2, ..., x_z\} \cap \{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_z\} . \quad (2.10)$$

Производственный процесс состоит из основных и вспомогательных функций. Перечислим их для СТО: прием звонков, прием клиентов, направление на сервис, реализация технических воздействий, обеспечение запасными частями и материалами, выдача автомобиля клиенту. В данном примере реализация технических воздействий будет являться основным производственным процессом, а остальные – вспомогательным.

Для реализации основного производственного процесса *P* необходима минимальная производственная структура *S*, в принципе позволяющая принимать и обрабатывать заявки $\forall P \exists S$.

Это может быть даже один универсальный рабочий, который будет принимать автомобили и обслуживать их. Элементом структуры является звено $x \in X$

Согласно [8], звено - организационно обособленный, самостоятельный орган управления, выполняющий определенные функции управления. Звено может быть постом (производственное звено) или административной единицей (административное или управленческое звено), т.е. $\forall P \exists x > 0$.

В рамках используемых теорией управления организационными системами терминологии звено также можно называть агентом, исполняющим производственные или административные задачи под управлением центра.

На технологическом звене могут выполняться основные и/или вспомогательные функции, соответствующие выполнению основного производственного процесса предприятия - оказания услуг клиенту (ТО и Р автомобилей). Вместе с этим, на одном посту могут выполняться несколько функций, работ или услуг $\forall x \exists \{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_j\}$.

Значение реализуемого перечня работ (услуг) носит вероятностный характер и распределяется по статистическому закону, устанавливаемому на этапе экспериментальных исследований $Z^*(t) = \int_0^t z(t)dt$.

Тогда производственная структура предприятия формируется под *Z**, а реализуемый входящий поток требований будет охарактеризован как $N = \langle Q, Z^*, \Lambda \rangle$.

На предприятии может быть один или несколько производственных процессов:

$$P_{np} = \{P_1, P_2, ..., P_j\}, \quad (2.11)$$

Производственный процесс является ориентированным графом [125] и представлен на рисунке 2.18.

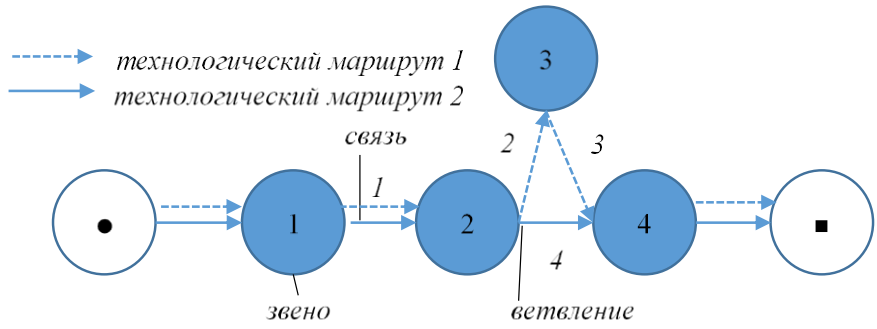


Рисунок 2.18 – Пример ориентированного графа, содержащего 4 звена, 4 связи между ними, 2 технологических маршрута и 1 ветвление

Каждая конкретная работа (услуга) $n \in N$ имеет ряд параметров. Во-первых, это технологический маршрут заявки ε, который включает перечень технологических звеньев (постов) и порядок их прохождения:

$$\varepsilon_n = [x_1, x_2, ..., x_i]. \quad (2.12)$$

Технологический маршрут определяется технологией производства работ, а также текущей организационно-производственной структурой предприятия. Понятие технологического маршрута и примеры некоторых маршрутов представлены в работе [118]. Маршрут устанавливается регламентными документами, выбирается собственником автомобиля из ряда предложенных или назначается техническим специалистом. Например, при поступлении на СТО автомобиль может быть направлен на мойку по желанию клиента, либо на проведение кузовного ремонта после установления соответствующих повреждений и технологии их устранения. Технологический маршрут реализуется производственными звеньями с различной специализацией. Например, работы по техническому обслуживанию автомобиля могут быть реализованы на СТО на одном универсальном посту. В то же время работы по ремонту рулевого управления могут потребовать пост для снятия и установки агрегатов, а также пост для проверки углов установки управляемых колес. Это два разных звена.

Во-вторых, разные работы (услуги) могут иметь разные технологические маршруты, но проходить через одни и те же технологические звенья. Тогда можно говорить о ветвлении графа производственного процесса υ, которое определяется пересечением множеств разных технологических маршрутов $\upsilon = \varepsilon_1 \cap \varepsilon_2 \cap ... \varepsilon_j$, где j – число реализуемых на предприятии технологических маршрутов.

Количество ветвлений определяется исходя из количества технологических маршрутов j на предприятии и варианта организационно-производственной структуры.

В-третьих, каждая работа (услуга) характеризуется трудоемкостью выполнения T_p, которая складывается из времени основных работ $t_{осн}$ и вспомогательных (как правило, ненормируемых) работ $t_{всп}$. Перечень функций в рамках реализации основных и вспомогательных производственных процессов предприятия (соответствующих основному бизнес-процессу предприятия) проанализирован в экспериментальных исследованиях. Общая трудоемкость реализации работ по ТО и Р автомобилей является случайной величиной, задающейся законом распределения $T_p(t) = \int_0^t t_p(t)dt$, устанавливаемым экспериментально.

Очевидно, что при сокращении технологических звеньев увеличивается количество функций на одного исполнителя.

Технологический маршрут имеет следующие параметры:

$$\varepsilon = \langle l, t, \upsilon \rangle, \tag{2.13}$$

где l – длина технологического маршрута (количество разнородных звеньев производственной структуры, которое заявка должна пройти до успешного выхода из системы);

t – средняя трудоемкость работ на производственных звеньях технологического маршрута;

υ – количество ветвлений.

Каждый вид работ (услуг) предполагает технологию его реализации. Технология определяется заводом-изготовителем и является неуправляемым фактором, который следует учитывать в модели. То есть реализуемый системой ТЭА уровень качества работ Q должен быть не ниже заданного технологией уровня H, или $Q \geq H$.

Реализуемая предприятием технология предполагает состав основных и вспомогательных технологических операций $\mathrm{B} = \{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_y\}$. Они выполняются одним или несколькими технологическими звеньями (для основных работ – постами по ТО и Р; для вспомогательных – исполнителями по виду работ) в зависимости от технологических маршрутов τ_n. Тогда распределение реализуемых типов работ Z^* и соответствующих им технологических операций (производственных функций) по технологическим звеньям X через имеющиеся

технологические маршруты ε и представляет собой производственную структуру S предприятия:

$$S = \langle X, B \rangle. \tag{2.14}$$

Иначе можно сказать, что весь набор основных и вспомогательных производственных функций может быть выполнен одним или несколькими производственными звеньями.

Кроме того, работа каждого производственного звена контролируется одним или несколькими административными звеньями $m \in M$.

Тогда задача построения организационной структуры - определение соответствия технологических звеньев и управляющих ими административных звеньев:

$$\{x_1, x_2, ..., x_z\} \cap \{m_1, m_2, ..., m_z\}. \tag{2.15}$$

Схема предлагаемого подхода к формированию производственной и организационной структуры представлена на рисунке 2.19.

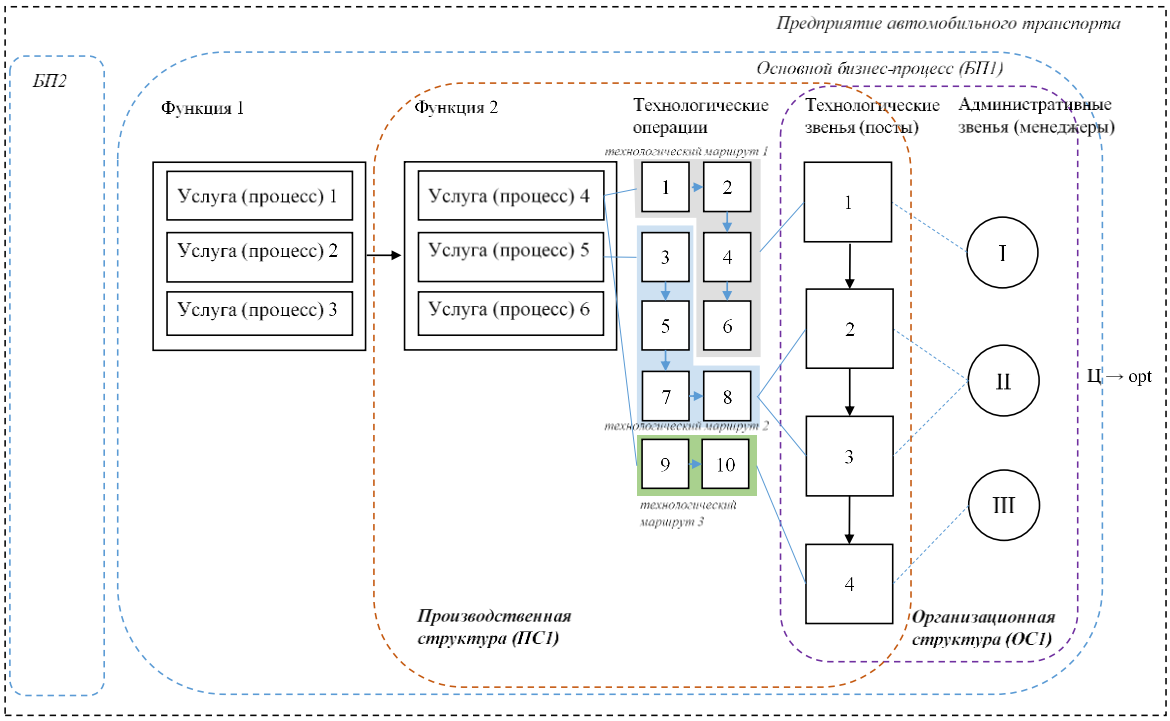


Рисунок 2.19 – Схема модели формирования организационно-производственной структуры

Совокупность административных единиц M и их взаимосвязь с элементами производственной структуры (через привязку к производственным функциям) составляет организационную структуру предприятия А:

$$A = \langle M, S \rangle. \tag{2.16}$$

Организационная структура является надстройкой над технологическим графом, описывающим реализацию основного производственного процесса организации [257].

Совокупность технологических звеньев X, организационной структуры A предприятия и стратегии стимулирования σ составляет мотивационную структуру предприятия.

$$U = \langle X, A, \sigma \rangle. \tag{2.17}$$

Совокупность технологических звеньев X и стратегий контроля ψ составляет систему контроля реализации производственных процессов на предприятии.

$$K = \langle X, \psi \rangle. \tag{2.18}$$

Тогда модель основного производственного процесса P имеет следующие характеристики:

- реализуемая производственная структура S;
- организационная структура A;
- реализуемая система стимулирования U;
- реализуемая система стимулирования K.

$$P = \langle S, A, U, K \rangle \tag{2.19}$$

Тогда модель системы управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта Ω может характеризоваться следующими показателями:

- входящим потоком требований на ТО и Р N;
- совокупностью параметров подсистемы планирования (планов) F;
- количеством и параметрами производственных процессов P;
- условиями эксплуатации L;
- интенсивностью эксплуатации ω;
- установленными ограничениями O, например, по экономическим показателям работы системы или по показателям качества;
- случайными факторами V, влияющими на систему;

- поведением системы во времени t.

$$\Omega = \langle N, F, P, L, \omega, O, V, t \rangle \tag{2.20}$$

Параметры N, L, ω, O, V можно отнести к внешним факторам (неуправляемым параметрам).

Параметр F, P можно отнести к управляемым факторам.

Представленная модель имеет ряд ограничений и допущений: она не рассматривает вспомогательные производственные процессы предприятия, а также некоторым образом упрощает основной производственный процесс тем, что исполнение коммерческой услуги возложено на обобщенное технологическое звено, а администрирование – на обобщенное звено управления. Также модель оперирует допущением о том, что работы должны производиться с заданным технологией уровнем качества и квалификацией исполнителей. Тем не менее, это не снижает ее применимость для целей исследования.

Формулировка задачи организации для ПАТ:

Задачей управления является определение перечня функций P, услуг B, которое будет реализовываться предприятием, и распределение их между производственными звеньями X и административными звеньями M таким образом, чтобы обеспечивался оптимум выбранного показателя эффективности.

Гипотеза о виде математических моделей параметров организационно-производственной структуры ПАТ представлена на рисунках 2.20-2.23.

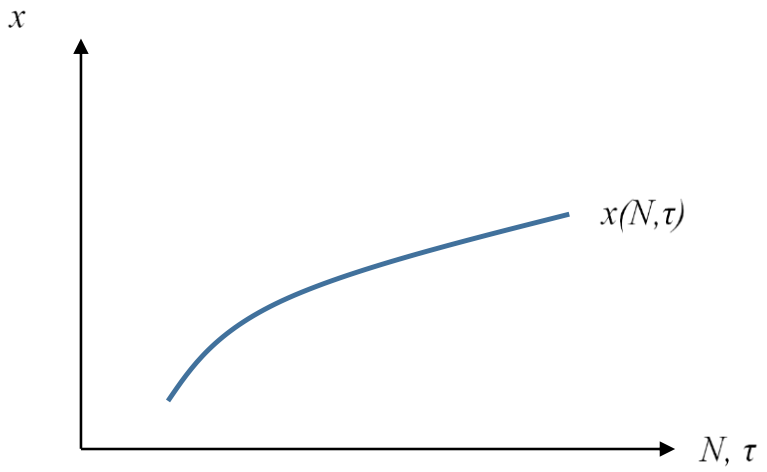


Рисунок 2.20 – Гипотеза о виде моделей изменения числа типов технологических звеньев x в зависимости от влияния внешних факторов: производственной программы по ТО и Р N, соотношения работ по ТО и Р по типам τ

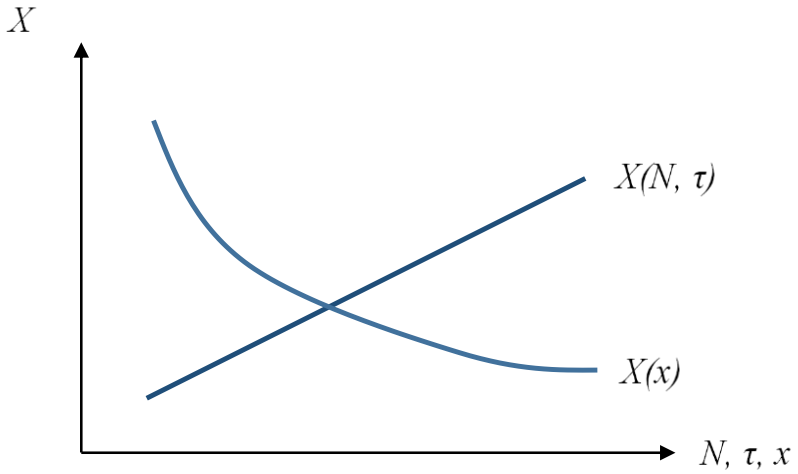


Рисунок 2.21 – Гипотеза о виде моделей изменения суммарного количества постов X в зависимости от влияния факторов: производственной программы по ТО и Р N, соотношения работ по ТО и Р по типам τ, числа типов технологических звеньев x

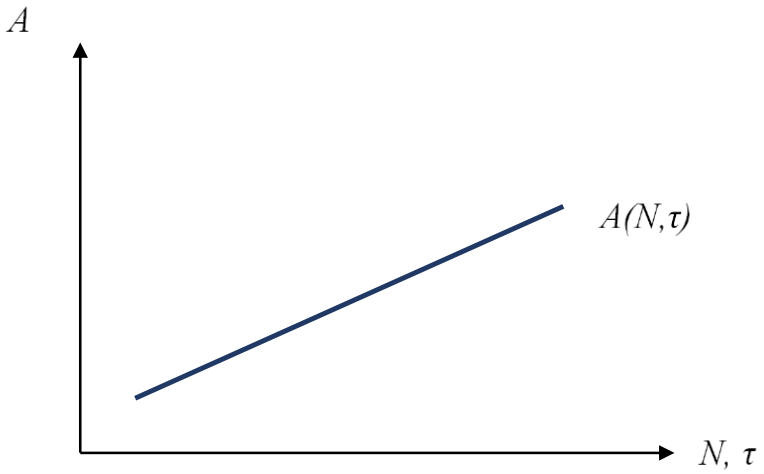


Рисунок 2.22 – Гипотеза о виде моделей изменения суммарного количества административных работников (звеньев управления) A для выбранной производственной структуры в зависимости от влияния факторов: производственной программы по ТО и Р N, соотношения работ по ТО и Р по типам τ

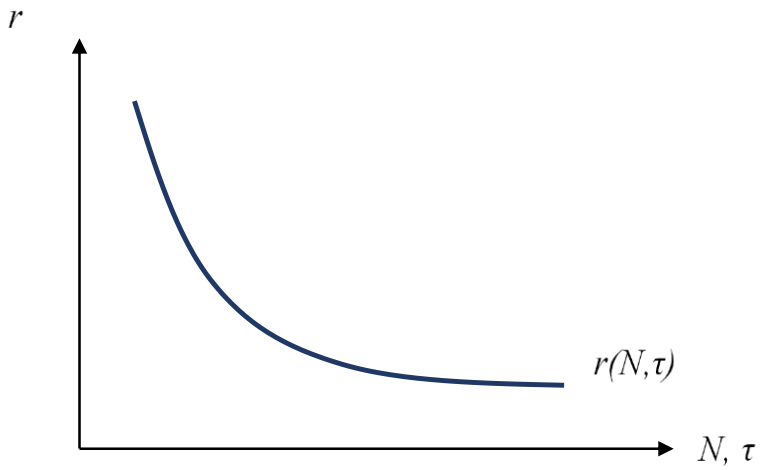


Рисунок 2.23 – Гипотеза о виде моделей изменения нормы управляемости r для выбранной производственной структуры в зависимости от влияния факторов: производственной программы по ТО и Р N, соотношения работ по ТО и Р по типам τ

При описании гипотез вида математических моделей были использованы модели элементарных функций, поскольку на данном этапе важно оценить характер изменения значений зависимой переменной от независимой. Вид и параметры моделей будут установлены на этапе экспериментальных исследований.

Математические модели для зависимости количества технологических маршрутов, количества ветвлений технологического процесса, количества производственных звеньев от параметров входящего потока заявок могут быть описаны логарифмическими функциями, а удельного количества функций на звено и средней трудоемкости работ на звено – степенными функциями:

$$x = a_1 \ln(N) + a_2 \ln(\tau) + a_0, \quad (2.21)$$

$$X = a_1 N + a_2 \tau + a_0, \quad (2.22)$$

$$X = a x^n, \quad (2.23)$$

$$A = a_1 N + a_2 \tau + a_0, \quad (2.24)$$

$$r = a_1 N^{n_1} + a_2 \tau^{n_2} + a_0, \quad (2.25)$$

где N – количество поступивших автомобилей в месяц, ед.;

τ – средневзвешенная трудоемкость по видам работ ТО и Р, чел.час.;

x – количество типов технологических звеньев на СТО, ед.;

X – суммарное количество постов по ТО и Р, ед.;

A – количество инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами ТО и Р на предприятии, чел.;

r - норма управляемости, выражаемая в количестве технологических звеньев или в количестве исполнителей на одного административного работника;

a, n – эмпирические коэффициенты.

Гипотеза: для каждого значения входящих в систему факторов (потока требований на ТО и Р N, видов работ ТО и Р) существует оптимальный вариант организационно-производственной структуры S, при котором положительный экономический эффект от управления такой структурой будет максимальным (рисунок 2.24).

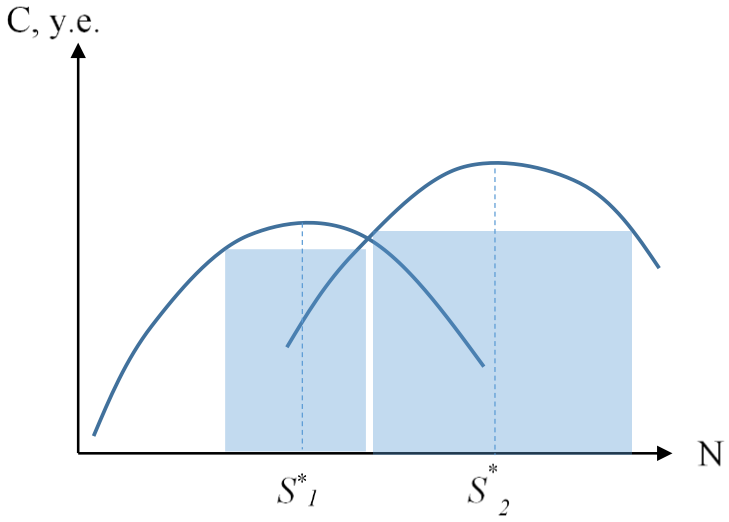


Рисунок 2.24 – Гипотеза о виде закономерности изменения целевой функции, определяющей оптимальные параметры организационно-производственной структуры, от входящих факторов

Математическая модель изменения целевой функции (прибыли) от параметров входящего потока заявок может быть описана полиномом второй степени:

$$C = aN^2 + bN + c. \quad (2.26)$$

Рассмотрим математическое описание каждой задачи подробнее. Для этого используем математический аппарат теории управления организационными системами, который подробно представлен в книге [27].

Задача поиска оптимальной организационной структуры относится к типу задач иерархии над технологическим графом [125]. Для описания математической модели поиска оптимального типа структуры организации использована модель назначения [125, стр. 360]. Задача относится к типу задач синтеза оптимальной матричной структуры, когда один исполнитель-пост может быть задействован в выполнении нескольких услуг (технологических маршрутов). На предприятии имеется множество постов по выполнению работ по ТО и Р автомобилей $X = \{1,2, \ldots,x\}$, каждому из которых необходимо выполнить некоторый объем работ. Тогда технологический маршрут автомобиля τ может характеризоваться вектором $\tau = (\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_z)$ объемов работ, где $\beta_z \geq 0$, $j \epsilon Z$ – множеству услуг. Этим технологический маршрут подобен приведенному выше понятию «коммерческая услуга», однако, в отличие от последней, он содержит также распределение объемов работ по производственным звеньям (постам).

Он представляет собой матрицу $||y_{ij}||$ $i \epsilon X$, $j \epsilon Z$, отражающую объем работ j-го типа, выполняемый i-ым постом. Тогда $y_i = (y_{i1}, \ldots, y_{iz})$ – вектор объемов работ, выполняемых i-ым постом, $i \epsilon X$, а $y_i = (y_1, \ldots, y_z)$ – вектор распределения работ по постам.

Функция затрат поста $c_i(y)$: $\Re^{zx} \rightarrow \Re^1{}_+$, тогда задача распределения работ состоит в минимизации суммарных затрат $\Sigma c_i(y)$ при условии полного выполнения каждой работы $j \epsilon Z$: $\Sigma y_{ij} = \beta_j$. Таким образом формируется оптимальный вариант структуры организации, которая представляет собой взаимосвязь между постами и выполняемыми на них услугами.

Приведем подход к решению задачи формирования организационной структуры предприятия по ТО и Р автомобилей.

Формальная постановка задачи организации производства представлена в книге [125].

Для решения задачи использован метод иерархии над технологическим графом. Производственный процесс реализации технических воздействий над автомобилем представляет собой расположенный в горизонтальной плоскости ориентированный граф G [21]. Рассмотрим пример технологического графа некрупной станции технического обслуживания автомобилей с тремя узлами. Узлы графа v соответствуют основным бизнес-функциям или этапам реализации технологического процесса: прием автомобиля, мойка или диагностика, ТО или ремонт, выдача [13]. При этом количество постов ТО и Р равно четырем, а остальные звенья имеют по одному каналу исполнения. Поток технологического графа L в каждом узле соответствует количеству технологических операций (функций) внутри каждого звена - узла. Одно звено может выполнять одну или несколько функций, которые соответствуют перечню работ по ТО и Р автомобиля [24]. Например, для рассматриваемых условий мастер-приемщик выполняет

функции приема звонков, приема и выдачи автомобилей, формирования документов и заданий механикам, направления автомобилей в ремонт, перегона внутри производственного корпуса и ряд других функций, суммарное количество которых равно 12, т.е. поток (или вес ветви графа) L_1 = (12). Второе звено (узел графа) - пост по выполнению дополнительных работ или услуг (мойка, диагностика), выполняет такие основные функции как получение заказ-наряда, выбор и проведение технических воздействий, L_2 = (3). Третье звено - пост по ТО и Р автомобилей - выполняет четыре функции, в которых дополнительно к звену 2 добавляется взаимодействие со складом. Однако одновременно в работах задействовано четыре поста т.е. L_3 = (4*4 = 16). Четвертый узел графа - успешный возврат автомобиля клиенту – является конечным.

Внешний вид такого графа представлен на рисунке 2.25.

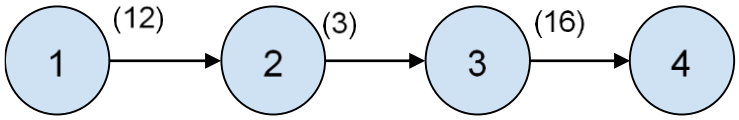


Рисунок 2.25 – Технологический граф станции технического обслуживания автомобилей с тремя функциональными звеньями

Задача формирования организационной структуры для такого графа будет заключаться в создании структуры, которая бы контролировала потоки между отдельными элементами технологического графа. Такую структуру для краткости называют организацией [18]. То есть цель заключается в создании надстройки над технологическим графом в виде дерева, “верхними” узлами которого будут менеджеры-контролеры (административный аппарат), а “нижними” узлами - вершины технологического графа. Дуги дерева являются ориентированными и направлены от подчиненного к начальнику [10].

Пример возможного варианта такой “надстройки” представлен на рисунке 2.26.

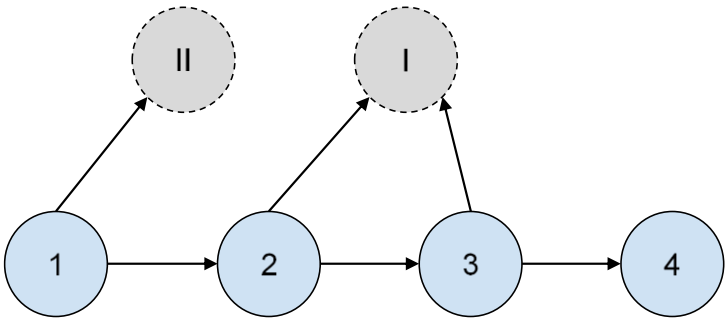


Рисунок 2.26 – Пример организационной структуры для технологического графа, состоящей из двух административных узлов I и II

В работе будет рассмотрено определение только первичного звена иерархии управления, остальные уровни можно определять аналогично представленной ниже методике. На рисунке 2.26 изображена система управления, где подчиненными узла I являются все механики, непосредственно осуществляющие работы по ТО и Р автомобилей и дополнительным услугам, а мастер-приемщик подчиняется другому начальнику II. При этом узел I контролирует 19 функций, а узел II - 12 функций. Очевидно, что возможны и другие варианты администрирования представленного на рисунке 2.26 графа, например, одним менеджером, который будет контролировать всю 31 функцию бизнес-процесса.

Приведем пример расчета стоимости графа для указанной на рисунке 2.26 функциональной схемы СТО с производственной программой 5000 автомобилей в год.

Общий перечень рассматриваемых вариантов для моделирования будет равен шести и соответствовать следующим условиям, представленным на рисунке 2.27.

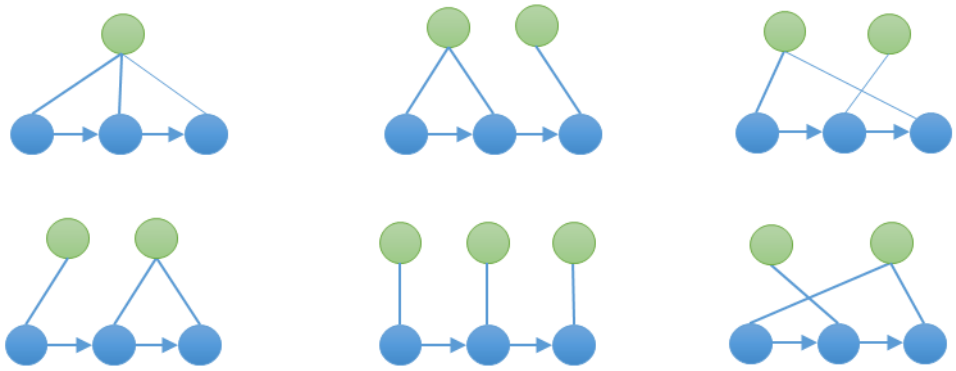


Рисунок 2.27 – Комбинации вариантов организационной структуры для трехзвенного технологического графа

1 вариант: менеджер I контролирует узлы 1, 2 и 3.

2 вариант: менеджер I контролирует узлы 1 и 2, а менеджер II - узел 3.

3 вариант: менеджер I контролирует узел 1 и 3, а менеджер II - узел 2.

4 вариант: менеджер I контролирует узел 1, а менеджер II - узел 2 и 3.

5 вариант: менеджер I контролирует узел 1, менеджер II - узел 2, менеджер III - узел 3.

6 вариант: менеджер I контролирует узел 2, а менеджер II - узел 1 и 3.

Результаты определения стоимости графа для всех рассматриваемых вариантов представлены в таблице 2.4 ниже.

Таблица 2.4 – Значения составляющих затрат целевой функции для разных вариантов организационной структуры рассматриваемого предприятия

Варианты	Затраты на содержание узлов контроля, тыс. руб.	Затраты на работу узлов контроля, тыс. руб.	Суммарные затраты на организационную структуру, тыс. руб.
1 вариант	840	6000	6840
2 вариант	1680	4250	5930
3 вариант	1680	5250	6930
4 вариант	1680	4250	5930
5 вариант	2520	3500	6020
6 вариант	1680	5250	6930

Представленные выше расчеты проводились на имитационной модели при количестве клиентов N, равном 5000 в год, что примерно соответствует двум автомобиле-заездам в час. Такой поток клиентов характерен для некрупных станций технического обслуживания. Для изучения характера изменения организационной структуры под воздействием потока клиентов с разной интенсивностью были проведены расчеты для N = [3000, 5000, 7000, 9000, 11000], что соответствует диапазону значений от малых до крупных СТО. Количество каналов обслуживания не изменялось относительно указанных выше значений. Результаты моделирования представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты определения оптимальной организационной структуры станции технического обслуживания при различном входящем потоке клиентов

Годовое количество автомобиле-заездов на СТО, ед.	Оптимальная организационная структура, вариант
3000	1
5000	1
7000	4
9000	4
11000	4

Таким образом, в рамках представленного примера по результатам расчетов в таблице 2.4 оптимальными являются структуры 2 и 4. Выберем в качестве итоговой структуру номер 4, в которой узлы 2 и 3, где непосредственно выполняются технические воздействия над автомобилями, контролируются одним менеджером II, а узел 1 контролируется менеджером I.

В рамках приведенных в таблице 2.5 расчетов было установлено, что для различного количества автомобиле-заездов на станцию оптимальными являются разные организационные структуры. Для малого количества клиентов (до 5000 включительно) наиболее эффективной будет являться структура управления с одним узлом контроля (менеджером), который будет управлять функциями всех производственных звеньев. При увеличении интенсивности поступления клиентов на СТО (до 11000 заездов в год) предпочтительной будет являться структура номер 4, где процессами управляют уже два менеджера, причем у каждого имеется своя специализация. Следовательно, для обеспечения эффективного управления тип организационной структуры конкретного предприятия автомобильного транспорта должен быть адаптирован под входящий поток клиентов и ряд других влияющих факторов.

Выше был приведен самый простой пример поиска оптимальной организационной структуры для графа из трех узлов-звеньев. При увеличении количества узлов количество вариантов будет резко возрастать. С точки зрения комбинаторики - это очень большое количество вариантов, что существенно усложняет процесс их моделирования, особенно с использованием метода простого перебора всех существующих комбинаций вариантов (т.н. метод Brute Force) [6].

Помимо этого, для моделирования вариантов организационной структуры необходимо ввести несколько ограничений.

Во-первых, каждый узел технологического графа должен контролироваться одним или несколькими административными узлами, и только один контролирующий узел может не иметь начальника.

Во-вторых, при моделировании следует учитывать характер изменения стоимости работы узла от количества контролируемых им бизнес-функций. Модель такой зависимости необходимо определять для условий предприятий автомобильного транспорта различных типов.

Далее проведем моделирование организационных структур для различных вариантов производственных структур (функциональных схем), содержащих от 2-х до 5 звеньев. Вид функциональных схем, для которых проводилось моделирование, приведен в разделе экспериментальных исследований.

Моделирование каждого варианта организационной схемы проводилось для входящего потока клиентов в диапазоне, указанном в таблице 2.5. Суммарное количество постов X для каждой схемы было равно 10. $C_{з.п.}$ = 100000 руб., Спот =

15000 руб., $Р_{ош}$ = 0,5%, β = 1,5. Распределение технических воздействий для входящего потока клиентов следующее: {'carwash':[20,0.2],'service':[80,0.4],'special_service':[120,0.2],'body_repair':[360,0.2]}. Остальные значения показателей не изменялись относительно приведенного выше примера. Из нескольких оптимальных вариантов организационных структур модель с помощью функции argmin выбирала первый по счету вариант в качестве итогового.

Результаты моделирования для каждой функциональной схемы I – V представлены ниже.

Таблица 2.6 – Результаты выбора оптимальной организационной структуры для функциональных схем I –V при различном входящем потоке клиентов

Количество клиентов в год, ед.	Функциональные схемы				
	I	II	III	IV	V
3000	(1,1)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2, 2)	(1, 2, 1, 2, 2)	(1,2,1,2,1,2,1)
6000	(1,1)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2, 2)	(1, 2, 1, 2, 2)	(1,1,2,2,3,3,3)
9000	(1,2)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2, 2)	(1, 2, 1, 2, 2)	(1,1,2,2,3,3,3)
12000	(1,2)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2, 2)	(1, 2, 1, 2, 2)	(1,1,2,2,3,3,3)
14400	(1,2)	(1, 1, 2)	(1, 1, 2, 2)	(1, 2, 2, 3, 3)	(1,1,2,2,3,3,3)

Исходя из таблицы 2.6 можно заключить, что при увеличении загрузки станции технического обслуживания целесообразно формировать структуру управления с большим количеством менеджеров. При невысокой загрузке возможно совмещать контроль за разными технологическими звеньями на одном узле управления.

Для каждой определенной ранее оптимальной производственной структуры были найдены соответствующие им организационные структуры. Результаты приведены в таблице 2.7.

Модели закономерностей влияния внешних к системе факторов на формирование потребности в организационной структуре с использованием рассмотренного в настоящей главе подхода представлены в разделе, посвященном экспериментальным исследованиям.

Под стимулированием понимается побуждение к совершенствованию определенных действий [37]. Задачу стимулирования относят к задачам мотивационного управления [27], при этом обычно рассматривается задача материального стимулирования, поскольку формализация моделей морального стимулирования еще не получила значительного развития на настоящее время [27].

Таблица 2.7 – Результаты моделирования оптимальных организационных структур

Интенсивность, авт/смену	Оптимальная производственная структура	Показатели оргструктуры					
		Орг. структура	Затраты на орг.структуру, руб.	Количество менеджеров, челю	Ф-ий наимен., ед.	Исполн. на мен., чел.	Тех.звеньев на мен., ед.
8	2	(1, 1, 1)	3292274	1	32	10	3
17	3	(1, 1, 2, 2)	5069901	2	16	5	2
25	3	(1, 1, 2, 2)	6404852	2	16	5	2
33	5	(1, 1, 2, 2, 3, 3, 3)	12939955	3	9	3	2,3
40	5	(1, 2, 1, 3, 4, 4, 3)	14602560	4	7	2,5	1,7

В модели стимулирования также участвуют две стороны – агент и центр. Под агентом можно понимать исполнителя - производственное звено, оснащенное необходимым оборудованием и инструментом. Центр – менеджмент ПАТ. Агент осуществляет выбор действия $y \in A = \Re^1_+$ из множества допустимых действий A. Эти действия являются набором альтернатив, из которых агент делает свой выбор. При выполнении действий агент несет некоторые затраты c(y). Центр выбирает такое управление $\sigma(\bullet) \in M$, при котором каждому действию агента ставится в соответствие неотрицательное вознаграждение σ: $A \rightarrow \Re^1_+$. То есть начальник определяет зависимость вознаграждения агента от действий последнего, что называется функцией стимулирования.

Целевой функцией центра будет являться разность между функцией дохода H(y) предприятия от производственной деятельности, осуществляемой агентом, и затратами на стимулирование $\sigma(y)$ подчиненного:

$$\Phi(\sigma(\cdot), y) = H(y) - \sigma(y). \qquad (2.27)$$

Целевой функцией агента будет разность между получаемым стимулированием и затратами:

$$f(\sigma(\cdot), y) = \sigma(y) - c(y). \qquad (2.28)$$

Можно предположить, что агент будет выбирать те действия, которые при заданной системе стимулирования принесут ему максимальное вознаграждение при наименьших затратах на их реализацию, т.е.

$$P(\sigma(\cdot)) = Arg \max_{y \geq 0} [\sigma(y) - c(y)]. \qquad (2.29)$$

Стратегия центра будет заключаться в минимизации затрат на стимулирование агента и максимизации собственной прибыли:

$$\min_{y \in P(\sigma(\cdot))} \Phi(\sigma(\cdot), y) \to \max_{\sigma(\cdot)} . \quad (2.30)$$

Тогда центр может варьировать систему стимулирования, побуждая тем самым агента выбирать те или иные действия. Таким образом, задача стимулирования заключается в поиске оптимальной системы стимулирования, т.е. такой системы, которая бы имела максимальную эффективность:

$$K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} \Phi(y). \quad (2.31)$$

Теория управления организационными системами определяет принцип компенсации затрат, который говорит о том, что стимулирование в точности должно равняться затратам агента, т.е.

$$\sigma(y) = c(y). \quad (2.32)$$

Этот принцип можно визуализировать следующим графиком (рисунок 2.28).

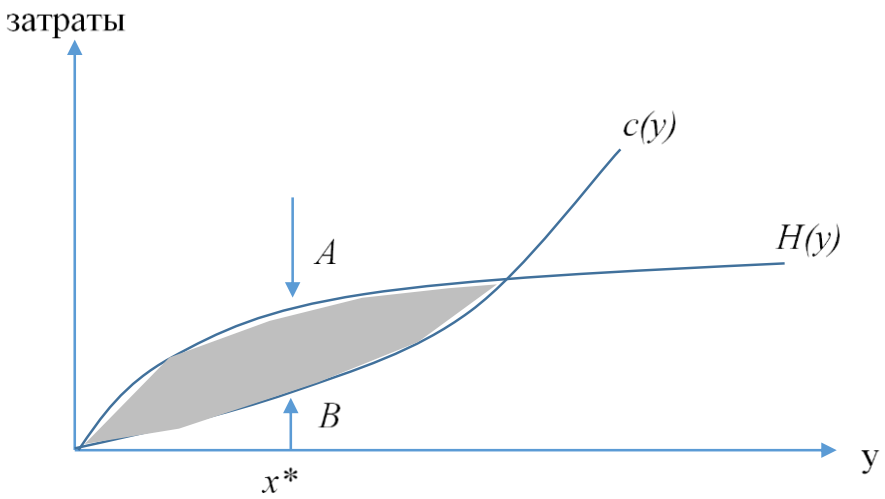


Рисунок 2.28 – Область компромисса в задаче стимулирования [27]

Область предпочтительных для агента решений лежит выше графика его функции полезности, поскольку вознаграждение должно быть не ниже затрат агента. При этом с точки зрения центра допустимыми являются комбинации действий и вознаграждений, лежащих ниже функции дохода центра. В связи с этим оптимальное действие лежит на нижней границе области компромисса между центром и агентом.

В теории организационных систем выделяют несколько базовых механизмов стимулирования [91].

Первый тип – компенсаторная система К-типа. Она базируется на гипотезе благожелательности, которая заключается в том, что величина затрат центра должна быть равна затратам агента, т.е. центр (администрация ПАТ) компенсирует затраты агента на работу и не более того. То есть в общем виде система стимулирования К-типа определяется следующим образом:

$$\sigma_K(x) = c(x) + \delta, \tag{2.33}$$

где c(x) – затраты исполнителя на выполнение работ, руб.

δ – величина мотивирующей надбавки, константа.

Второй тип – скачкообразая система стимулирования С-типа. Она предполагает величину постоянного вознаграждения агента, если он выполняет минимально установленный объем работ. Такая система стимулирования соответствует аккордным системам вознаграждения или фиксированному тарифному окладу. В общем виде ее можно представить как:

$$\sigma_L(x) = C, \tag{2.34}$$

где С – фиксированная величина вознаграждения (среднемесячная заработная плата), руб.

Третий тип – системы стимулирования, основанные на перераспределении дохода – системы D-типа. Для таких систем характерно стимулирование исполнителей из части дохода предприятия, умножая доход организации на некоторый фиксированный коэффициент (долю дохода) $\gamma \in [0,100]$:

$$\sigma_D(y) = \gamma \cdot H(y), \tag{2.35}$$

где H(y) – величина дохода предприятия от производственной деятельности, руб.

γ – доля дохода, направляемая на стимулирование производственного персонала, %

Как правило, на предприятиях автомобильного транспорта чаще используется пропорциональная система стимулирования, которую также называют системой L-типа. Это четвертый тип базовых систем стимулирования. В этой системе вознаграждение агента прямо пропорционально его действию с некоторым коэффициентом пропорциональности $\lambda > 0$ (ставка оплаты):

$$\sigma_L(y) = \lambda y. \tag{2.36}$$

Перечисленные системы могут комбинироваться для получения более сложных систем стимулирования.

Проблема поиска оптимальной для установленных условий системы стимулирования сводится к выбору базовой системы и определения ее параметров, позволяющих достичь оптимума значений целевой функции.

Для предприятий автомобильного транспорта представленные системы стимулирования могут быть определены следующим образом (для одного исполнителя).

$$\sigma_K = T_\Sigma \cdot \lambda, \tag{2.37}$$

где T_Σ – общее количество отработанного исполнителем времени за период, ч;

λ – оплата стоимости одного нормо-часа работ, руб.

$$\sigma_C = C, \tag{2.38}$$

где C – фиксированное значение среднемесячной заработной платы, руб.

$$\sigma_L = T_{норм.\Sigma} \cdot \lambda, \tag{2.39}$$

где $T_{норм.\Sigma}$ – общее количество времени, затраченное исполнителем на ТО и Р по нормативу за период, ч;

λ – оплата стоимости одного нормо-часа работ, руб.

$$\sigma_D = \gamma \cdot N \cdot D, \tag{2.40}$$

где D – величина дохода предприятия от обслуживания одного автомобиля, руб.

N – количество автомобилей, прошедших ТО и Р за период времени, ед.

γ – доля дохода, направляемая на стимулирование производственного персонала, %

Следовательно, задачей выбор оптимальной системы стимулирования для ПАТ является нахождение такой системы, затраты на реализацию которой минимальны при условии выполнения заданного объема работ по ТО и Р с надлежащим качеством:

$$\sigma_{opt} = \arg\min[\sigma_K, \sigma_C, \sigma_L, \sigma_D]. \tag{2.41}$$

После выбора и обоснования базовой системы стимулирования производится поиск ее оптимальных параметров, например, значения ставки оплаты в

зависимости от влияющих на систему факторов. Рассмотрим определение параметров системы стимулирования L-типа.

Для ПАТ функцию затрат агента можно представить в следующем виде:

$$c(y) = \sum_{i=1}^{I} c_i t_i n_i \,, \tag{2.42}$$

где c – стоимость действия y;

t – продолжительность выполнения действия (работ по ТО и Р);

n – количество действий;

i – тип действия $i \in I$ (тип работ по ТО и Р).

Предположим, что все работы по ТО и Р автомобилей на предприятии можно разделить на три типа: работы низкой, средней и высокой сложности, т.е. i = {1, 2, 3}. Тогда для каждого типа работ будет существовать матрица Y, характеризующаяся стоимостью, трудоемкостью и количеством работ каждого типа:

$$Y = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ t_1 & t_2 & t_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{bmatrix}. \tag{2.43}$$

Предположим, что стоимость c и трудоемкость t для каждого типа работ отличаются друг от друга на некоторую произвольную скалярную величину, тогда матрицу Y для условий рассматриваемого примера можно записать следующим образом:

$$Y = \begin{bmatrix} 0{,}5c & c & 2c \\ t & 2t & 3t \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{bmatrix}. \tag{2.44}$$

Для единицы времени (t=1) производственное звено сможет выполнить 1 работу n первого типа со стоимостью 0,5c; 0,5n работ второго типа со стоимостью c и 0,3 работы третьего типа со стоимостью 2c:

$$Y = \begin{bmatrix} 0{,}5c & c & 2c \\ n & 0{,}5n & 0{,}3n \end{bmatrix}. \tag{2.45}$$

Несложно определить, что предпочтение агента будет отдано выполнению работ третьего типа, поскольку он получает самую высокую компенсацию затрат,

равную 0,6cnt, в то время как для работ первого и второго типа он будет получать компенсацию 0,5cnt. Напомним, что c = λy.

В таком случае управление для центра будет заключаться в изменении предпочтений агента за счет изменения значения надбавки λ. Например, чтобы сместить приоритет в сторону работ первого типа, нужно сделать $\lambda_1 = 1{,}0$, т.е. $Y_{11} = 1c$, тогда $\lambda_3 = 1{,}5$, т.е. $Y_{13} = 1{,}5c$.

Возможны два варианта реализации стратегии управления – перераспределение λ между типами работ при сохранении суммарного значения надбавки и индивидуальная корректировка надбавки для конкретного типа работ. Очевидно, что первый вариант является более предпочтительным для центра, поскольку он предполагает фиксированные затраты на систему стимулирования. Рассмотрим этот вариант.

На рисунке 2.29 представлена функция затрат агента от λ для двух рассмотренных вариантов – до и после реализации управляющих воздействий центра.

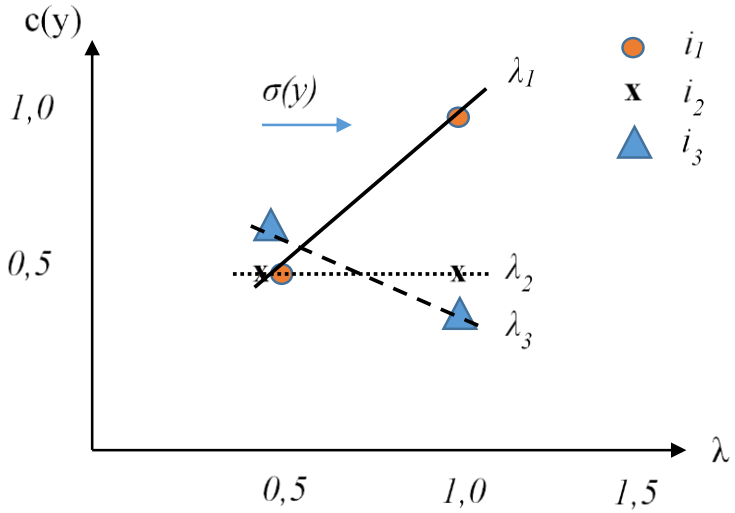


Рисунок 2.29 – Управление системой стимулирования для изменения предпочтений агента по приоритету выполнения работ

Согласно рисунку 2.29 центр, управляя системой стимулирования, меняет предпочтения агента в сторону выполнения работ первого и второго типа. Например, это возможно при скоплении в системе большого количества работ этих типов.

Рассмотренный выше пример не предполагал наличия ограничений или дополнительных условий. Однако на практике система должна обработать несколько заявок за определенный период времени. В противном случае заявки могут уйти из системы (клиент покинет зону ожидания) или переориентированы на будущий период (клиент будет перезаписан на другое время). Все это влияет на

лояльность клиента предприятию. То есть на систему накладываются ограничения по T и по n:

$$T \le const; n \to \max . \qquad (2.46)$$

при этом предприятие не заинтересовано в потере клиентов и желает обеспечить максимальную загрузку, несмотря на возможные потери прибыли.

Предположим, что за время 10t предприятию нужно обслужить n = {5, 3, 2} заявок, т.е. n_Σ = 10, и центр заинтересован в максимизации количества обслуженных заявок, т.е. n →max.

В таком случае без управления стимулированием, исходя из начальных условий, за10t агент может выполнить $2n_3$ и $4n_1$ (n=6) с общей компенсацией в 6с.

При управлении со стороны центра с помощью изменения λ_1 и λ_3 соответственно на 1,0 и 1,5 за время 10t агент может выполнить $5n_1$, $1n_3$ и $1n_2$ (n=7) с общей компенсацией в 7,5с.

То есть управление помогло увеличить абсолютную пропускную способность системы, а также увеличить сумму компенсации затрат агента на 1,5с по сравнению с начальным вариантом, что выгодно как центру, так и агенту.

Однако, неограниченное перераспределение надбавки λ с одних работ на другие влечет за собой снижение приоритета одних работ и риск их систематического невыполнения агентом, поскольку их выполнение становится ему невыгодно. В таких условиях требуется ввести ограничение роста λ. Таким ограничением является целевая функция центра Ф(y), рассмотренная выше. С учетом принципа компенсации затрат ее можно представить в следующем виде:

$$\Phi(y) = H(y) - c(y). \qquad (2.47)$$

Если представить, что доход центра является произведением коммерческой стоимости услуги s на эту услугу y, т.е. H(y) = sy, и принять, что c(y) = λy, то целевую функцию центра можно записать как:

$$\Phi(y) = sy - \lambda y = y(s - \lambda). \qquad (2.48)$$

Тогда при росте λ величина прибыли центра от коммерческой реализации услуги будет уменьшаться, что невыгодно центру. В таком случае ограничением модели (ограничением роста λ для услуги i-го типа) будет являться следующее условие:

$$\lambda < s. \qquad (2.49)$$

Тогда для каждого входящего количества заявок n_Σ и соотношения типов этих заявок i можно определить такую систему стимулирования σ(y), при которой целевая функция центра Ф(y) будет являться выпуклой и принимать оптимальное значение (рисунок 2.30).

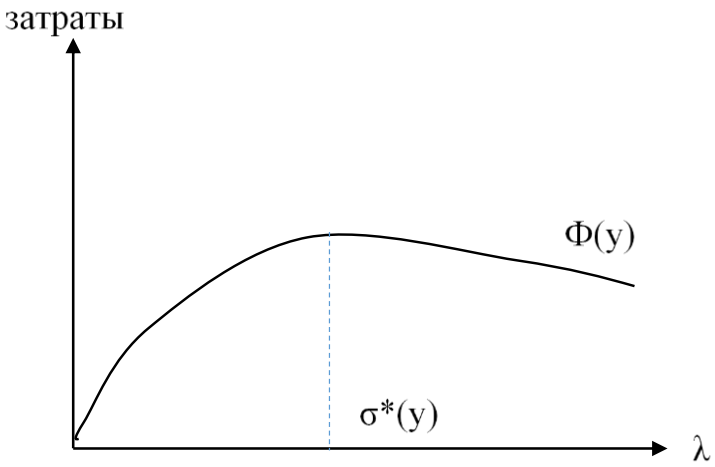


Рисунок 2.30 – Характер изменения целевой функции центра при разных параметрах модели стимулирования

Продемонстрируем это на рассматриваемом примере, продолжив изменять λ_1 и λ_3 еще на две итерации: 1,5 и 1,0; 2,0 и 0,5 соответственно. При этом введем фиксированную функцию дохода центра s, которая будет равна 1,5n. Тогда при перераспределении λ компенсация затрат агента будет расти, при этом количество выполненных заявок и доходы центра увеличиваться не будут (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Пример изменения целевой функции центра при разных значениях λ

Шаг	λ_1	*n*	*c(y)*	*H(y)*	*Ф(y)*
1	0,5	6	6	9	3
2	1	7	7,5	10,5	3
3	1,5	7	9,5	10,5	1
4	2	7	11,5	10,5	-1

Центру будет выгодна только стратегия на шаге 1 и 2, связанная с увеличением пропускной способности системы. Тогда оптимальным управлением можно считать шаг номер два. Дальнейшие шаги ведут к уменьшению значений целевой функции центра. График изменения функции затрат агента и целевой функции центра для условий примера представлен на рисунке 2.31.

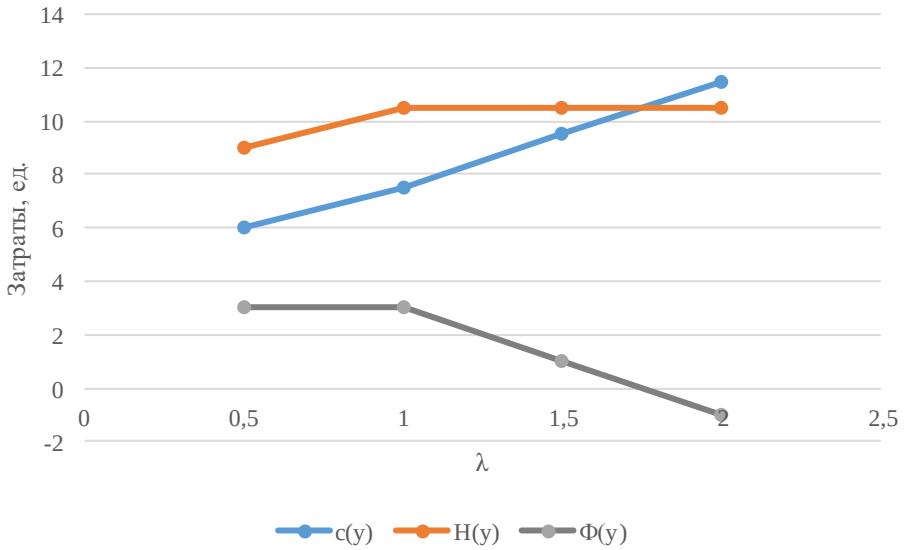


Рисунок 2.31 – Изменение затрат агента и центра при разных параметрах модели стимулирования

Формулировка задачи стимулирования для ПАТ:

Таким образом, доказано, что управление системой стимулирования позволяет повысить эффективность работы системы. Управление системами стимулирования заключается в выборе одной из представленных базовых систем для разных значений входящих факторов. Управление для выбранной системы реализуется путем определения оптимальной функции стимулирования агента σ(y) за счет изменения коэффициента пропорциональности λ компенсации затрат. Управление позволяет увеличить пропускную способность системы путем изменения приоритета действий агента. Представленная модель может быть применима для предприятий автомобильного транспорта, выполняющих работы разного типа и характеризующиеся различными параметрами.

Гипотеза о виде математической модели стимулирования представлена на рисунке 2.32.

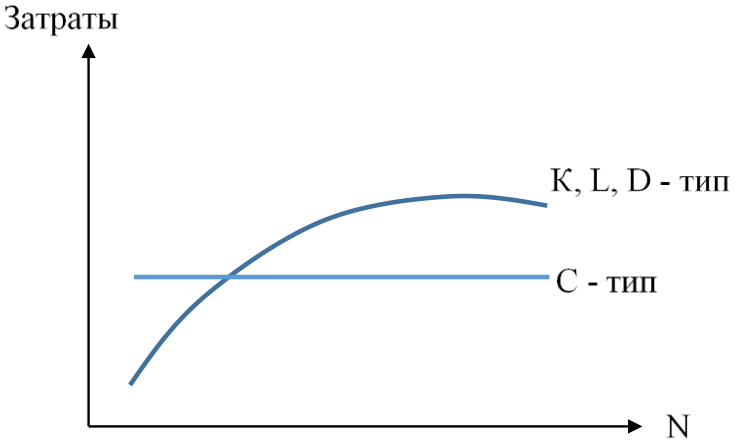


Рисунок 2.32 – Гипотеза о видах математических моделей изменения затрат на системы стимулирования разных типов от значения суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей

Гипотеза: для каждого варианта организационно-производственной структуры существует оптимальное управление стимулированием $\sigma^*(y)$ как функция от количества и параметров входящего потока заявок N на техническое обслуживание и ремонт автомобилей.

Математическая модель для систем стимулирования K, L, D-типа может быть описана полиномиальной функцией:

$$\sigma_{K,L,D} = a_0 + a_1 \cdot N^2 + a_2 N\,, \qquad (2.50)$$

где а – эмпирический коэффициент;

N – месячная производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед.

Математическая модель для систем стимулирования С-типа может быть описана константой:

$$\sigma_C = const\,. \qquad (2.51)$$

Выпуклость графика K, L, D-типа объясняется достижением предела производительности системы, т.е. существующая организационно-производственная структура не способна обработать входящий поток заявок.

Под планом понимают желаемое состояние системы [27]. В теории управления организационными системами существует понятие механизма планирования, под которым понимается процедура определения планов в зависимости от сообщений агентов [27]. При этом возникает противоречие, связанное с тем, что агент может сообщить недостоверную информацию о своей потребности в ресурсе, как правило, завысив ее. Это противоречие называют эффектом манипулирования информацией. В дальнейшем в рамках настоящего исследования будет принято условие, что все рассматриваемые механизмы планирования являются неманипулируемыми, т.е. агент не заинтересован в намеренном искажении информации.

Задача планирования в общем виде формулируется следующим образом. Основными действующими лицами в системе также являются центр, располагающий некоторым ресурсом R, и n агентов, непосредственно выполняющих производственную деятельность с затратами этого ресурса. Стратегией агентов является сообщение центру информации $s_i \in \Omega_i$, о потребности в ресурсе. На основании полученной информации центр формирует план $x_i = \pi_i(s) \in X_i$, где $\pi_i: \Omega \to X_i$ – процедура планирования, а $s = (s_1, s_2, \ldots, s_n) \in \Omega$ – вектор сообщений всех агентов. При этом каждому агенту известна его собственная потребность в ресурсе r_i, на основе которой он формирует свои предпочтения.

Стратегией центра (управлением) является распределение ресурса между агентами так, чтобы достичь максимального эффекта от его использования. Целевая функция агента будет являться выпуклой с единственным максимумом в некоторой точке. Это говорит о том, что при нехватке ресурса, как и при его избытке, полезность агента будет низкой (рисунок 2.33).

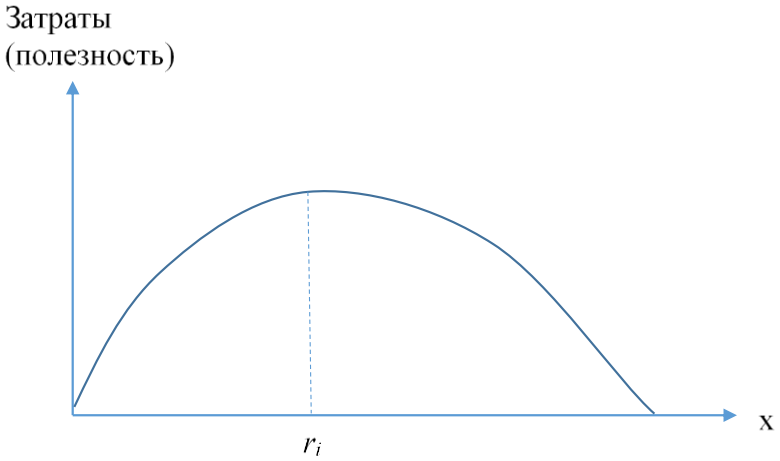


Рисунок 2.33 – Целевая функция агента при распределении ресурса

Выделяют три класса механизмов приоритетного распределения ресурса между агентами: механизмы прямых, абсолютных и обратных приоритетов [27]. Поскольку вопросы манипулирования информацией со стороны агентов лежат за рамками настоящего исследования, то в дальнейшем в работе будет рассматриваться механизм прямых приоритетов, когда ресурс распределяется пропорционально заявкам.

План реализуется следующим образом:

$$x_i(s) = \frac{s_i}{\sum_{j \in N} s_j} \cdot \tag{2.52}$$

При такой процедуре между агентами распределяется весь имеющийся ресурс пропорционально запросам от каждого агента. В случае, если каждый агент запрашивает максимально возможное количество ресурса, то в конечном случае они все получат поровну. Если запросы агентов отличаются, то они будут урезаны пропорционально запросу, поскольку общее количество ресурса ограничено.

Представленный механизм предполагает два типа агентов с точки зрения приоритетности распределения ресурса:

- приоритетные агенты (диктаторы), которые получают ровно столько ресурсов, сколько они запрашивают;

- обделенные агенты, которые получают уменьшенное количество ресурса от представленной ими заявки.

Формулировка задачи планирования для ПАТ:

Можно предположить, что для предприятий автомобильного транспорта при разных параметрах $N = <Q, Z, \Lambda>$ существует оптимальная система планирования $x(s)$, при которой каждый тип производственного звена получает достаточное количество ресурсов r из общего количества R, при этом некоторые звенья будут являться приоретизированными (диктаторами) под одному или нескольким видам ресурсов в силу специализации на определенных видах работ.

Гипотеза представлена на рисунке 2.34.

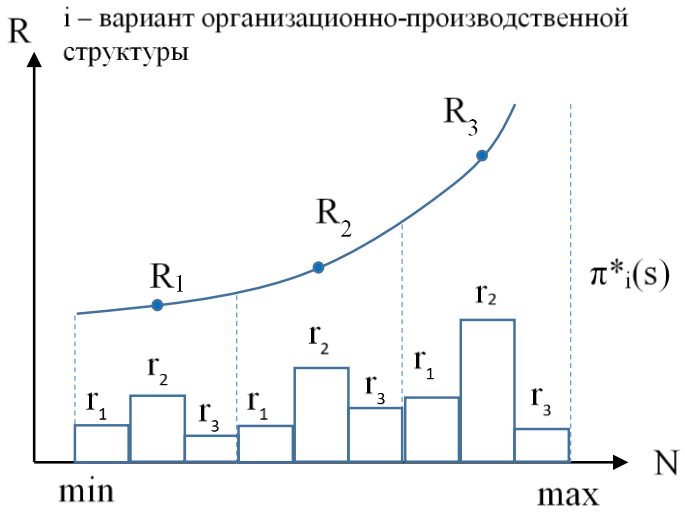


Рисунок 2.34 – Гипотеза о виде функции управления планированием в зависимости от влияния внешних факторов

Гипотеза: для каждого варианта организационно-производственной структуры существует оптимальное количество ресурсов R и система планирования $\pi^*(s)$ как функция от количества и параметров входящего потока заявок N на техническое обслуживание и ремонт автомобилей.

Математическая модель может быть описана экспоненциальной зависимостью между общим количеством ресурсов и входящим потоком заявок на ТО и Р (рисунок 2.35):

$$R = ae^{bN}. \qquad (2.53)$$

В течение года потребность в ресурсах может описываться гармоническими моделями с использованием тригонометрических функций. Они позволяют описать сезонную неравномерность изменения потока требований.

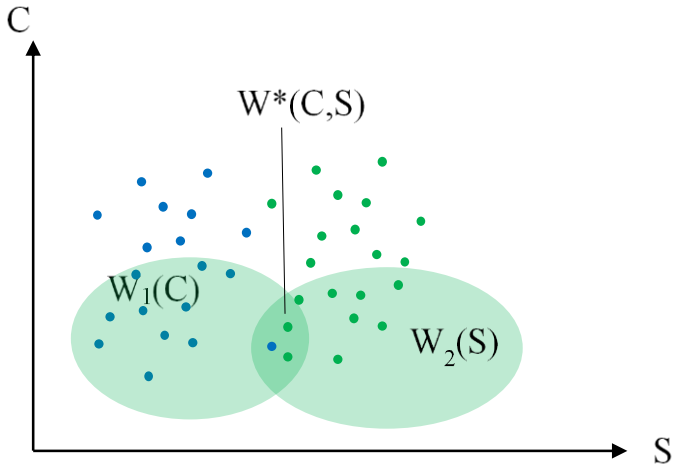


Рисунок 2.35 – Гипотеза о виде функции управления планированием в зависимости от влияния внешних факторов

Контроль реализации технологических процессов на предприятии является важной задачей [110]. Задача контроля в общем виде может быть разделена на три этапа: наблюдение, классификация и идентификация (рисунок 2.36).

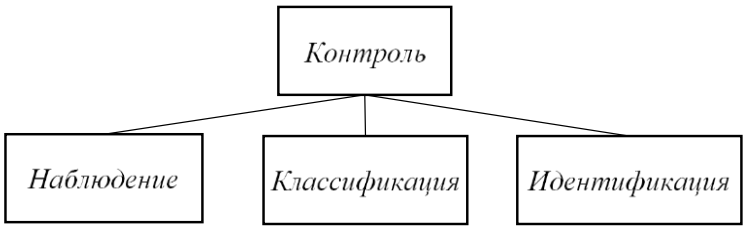


Рисунок 2.36 – Составляющие функции контроля

Задача наблюдения предполагает поиск соответствия выходных характеристик системы Y внутреннему состоянию Z объекта управления [8]:

$$g^{-1}: Y \to Z. \tag{2.54}$$

Задача классификации предполагает поиск соответствия выходных характеристик системы Y тому или иному классу E:

$$\varphi: Y \to E. \tag{2.55}$$

Задача идентификации предполагает поиск соответствия определенного на этапе классификации класса E той или иной оценке состояния объекта управления S:

$$\psi : E \to S . \qquad (2.56)$$

Задача идентификации может быть решена следующим образом. Приведем пример ее решения для одного из варианта производственной структуры предприятия с параметрами, описанными далее. Изучение поведения системы с другим набором параметров представлено в разделе экспериментальных исследований. Предлагаемый подход использует метод имитационного моделирования. В качестве объекта исследования выбран производственный процесс ТО и Р автомобилей на некрупной СТО, имеющей два технологических звена: мастеров-приемщиков (reception) и универсальные посты по ТО и Р автомобилей (service). Схема ориентированного графа реализации основного бизнес-процесса рассматриваемого предприятия представлена на рисунке 3.37 с использованием BPMN-нотации (рисунок 2.37) [224].

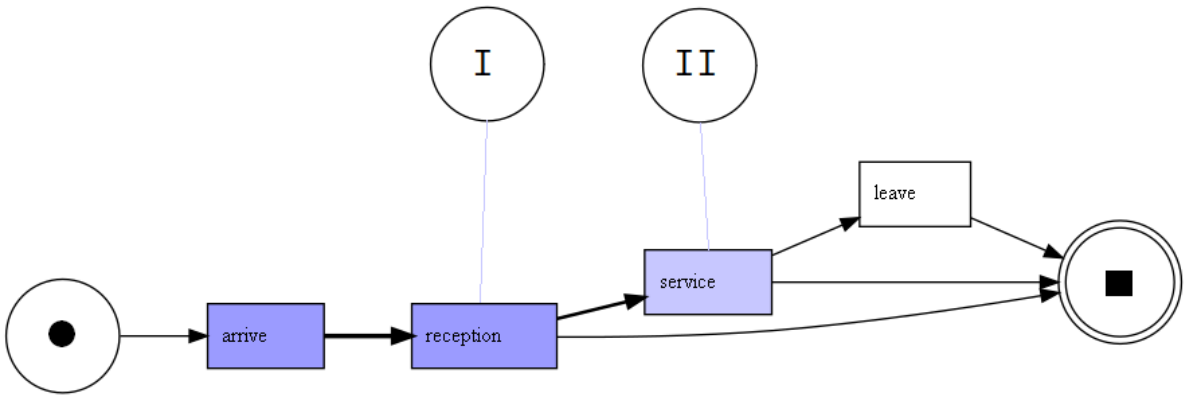


Рисунок 2.37 – Функциональная схема основного бизнес-процесса ТО и Р автомобилей на станции технического обслуживания с двумя технологическими звеньями (reception, service) и двумя узлами управления: I и II

После появления в системе (arrive) автомобили сначала поступают к мастерам-приемщикам (реализуют вспомогательные технологические операции производственного процесса), после чего отправляются на универсальные посты по ТО и Р (реализуют основные технологические операции). После выполнения работ над автомобилем мастер-приемщик возвращает транспортное средство (ТС), после чего оно покидает систему (leave).

Надстройкой описанного технологического графа является организационная структура из двух звеньев управления (менеджеров). Общее количество контролируемых менеджерами технологических операций для представленной модели системы составляет 32. Точки контроля и реализации УВ суммируются с представленным выше числом, являясь дополнительными функциями, возложенными на менеджера.

Для учета влияния количества контролируемых звеном управления функций был введен представленный в формуле (3.57) показатель степени однородности технологического процесса α. В отличие от работы [125] α является коэффициентом масштабирования затрат в зависимости от количества функций на одном менеджере. Он принимает значения из отрезка [1; 1,5] и интерпретируется как коэффициент сжатия информации о проблемах в отчете. Он определяется типичностью проблем, возникающих у исполнителей. Поскольку на предприятии существует несколько технологических звеньев одного типа, например, 5 универсальных постов по ТО и Р, то коэффициент α учитывает также и количество исполнителей на одноименном технологическом звене.

Параметр β, как и в [125], описывает эффективность работы менеджеров – более квалифицированные менеджеры при одинаковом числе проблем несут меньшие затраты, а при одинаковых затратах решают больше проблем. Коэффициент β меняется из отрезка [1; ∞), но, как правило, логический смысл имеют значения β на отрезке [1; 3]. В противном случае затраты масштабируются неадекватно.

Коэффициент α предлагается определять по формуле:

$$\alpha = \frac{(x_i \cdot (f_i + n_i) - \min(x, f, n)) \cdot (1{,}5 - 1)}{\max(x, f, n) - \min(x, f, n)} + 1, \qquad (2.57)$$

где x – количество постов (исполнителей) на технологическом звене, контролируемом звеном управления i-го типа, ед.;

f – количество функций, контролируемых звеном управления i-го типа, ед.

n – количество точек контроля, ед.

Разработанная имитационная модель представляет собой среду моделирования дискретных событий, основанную на процессах. По установленному закону распределения моделируется интенсивность поступления входящего потока заявок на ТО и Р автомобилей, которые по определенному маршруту (в случае представленной на рисунке 2.37 модели – последовательно) проходят через заданные технологические звенья-каналы. Каждый канал может быть занят или свободен и обслуживает заявку в течение установленного законом распределения времени. Задается число каналов каждого типа, а также суточная неравномерность поступления заявок, моделируемая по гармонической модели. Пики интенсивности приходятся на начало и окончание рабочего дня. Созданная на базе общеизвестного подхода к моделированию систем массового обслуживания, модель имеет ряд особенностей. Для изучения влияния подсистемы контроля на показатели эффективности системы управления был определен контролируемый параметр – среднее время обслуживания заявки. Предполагается,

что в случае нарушения технологического процесса время обслуживания будет увеличиваться. То есть система управления работает по отклонению [114]. В момент контроля регистрируется фактическое значение параметра. Управляющее воздействие (УВ) при реализации в полном объеме приравнивает фактическое значение параметра к нормативному. Если УВ реализовано не в полном объеме, то фактическое значение уменьшается пропорционально величине управляющего воздействия. Кроме того, модель учитывает возможность отсрочки применения УВ относительно точки контроля. Это аналогично задержке между выявлением проблемы и ее устранением в реальной производственной деятельности. Визуализация процесса накопления ошибки и применения разных вариантов УВ представлена на рисунке 2.38.

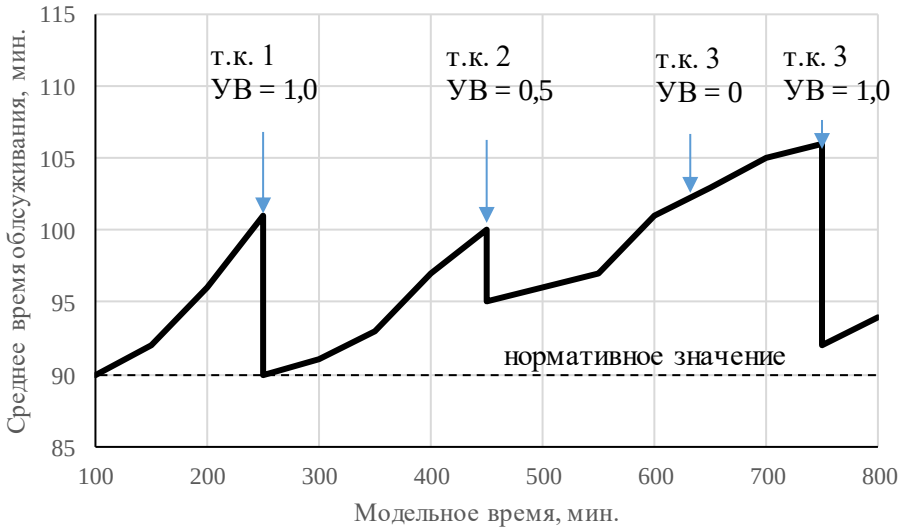


Рисунок 2.38 – Моделирование процесса контроля величины среднего времени обслуживания автомобиля: т.к. – точка контроля; УВ – значение величины управляющего воздействия; т.к.1 – УВ реализовано в полном объеме; т.к.2 – УВ реализовано наполовину; т.к.3 – УВ реализовано с задержкой

В результате работы модели регистрируется:

- среднее время ожидания автомобилей в очереди, ч.;
- среднее время выполнения работ, ч.;
- количество прибывших автомобилей (суточная производственная программа), ед.;
- количество обслуженных автомобилей, ед.;
- суммарные затраты на работу подсистемы контроля, руб.

Исходя из этих показателей определяется величина относительной пропускной способности, равная отношению количества обслуженных автомобилей к суточной производственной программе.

Алгоритм работы имитационной модели представлен в разделе описания алгоритмов имитационных моделей соответствующи подсистем. Далее для понимания предлагаемого подхода представлен пример определения оптимальных параметров системы контроля.

Имитационная модель использована для изучения поведения системы при различных значениях параметров подсистемы контроля: количестве, степени и величине задержки УВ. Численные параметры моделируемой системы для рассматриваемого примера решения задачи контроля представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Параметры имитационной модели при проведении эксперимента

№	Параметр	Значение	№	Параметр	Значение
1	Контролируемый параметр	Среднее время ТО и Р, мин.	10	Количество контролируемых функций, ед.	32
2	Нормативное значение контролируемого параметра, мин.	90	11	Количество менеджеров, чел.	2
3	Время приемки автомобиля, мин.	20	12	Диапазон изменения количества точек контроля	1 - 6
4	Количество постов по ТО и Р, ед.	5	13	Диапазон изменения величины управляющего воздействия, %	20 - 100
5	Количество мастеров-приемщиков, чел.	2	14	Диапазон изменения задержки реализации УВ, мин.	0 - 360
6	Суточная производственная программа, ед.	40	15	Коэффициент β	0,8
7	Стоимость простоя в очереди, руб./час	1750	16	Периодичность накопления ошибки, обслуживаний	5
8	Стоимость потери клиента, руб./год	15000	17	Величина увеличения ошибки от нормы, %	20
9	Вероятность потери клиента, %	0,5			

Пример имитационного моделирования работы системы контроля рассмотрен ниже. Установлено, что количество точек контроля влияет на показатели эффективности системы. Так, на рисунке 2.39 представлена величина среднего времени нахождения в очереди при одной (слева) и пяти (справа) точках контроля. Можно заметить, что при увеличении количества точек контроля среднее время нахождения в очереди уменьшается.

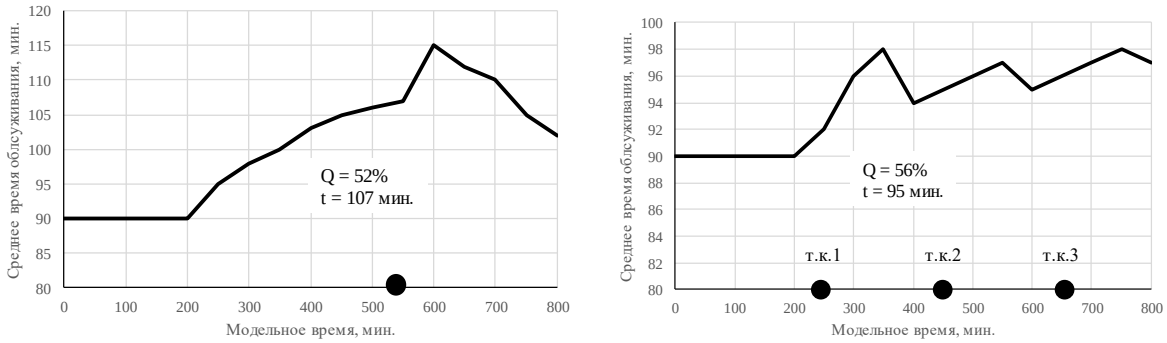


Рисунок 2.39 – Среднее время работ по ТО и Р автомобиля на при разном количестве точек контроля и реализации управляющих воздействий

Следует отметить, что при реализации точки контроля наблюдается задержка в изменении значения среднего времени обслуживания. Она составляет 60 – 120 минут. Это обусловлено усреднением фактических величин времени обслуживания каждого конкретного автомобиля. На графиках можно увидеть момент применения УВ, когда величина времени обслуживания начинает снижаться. При одной точке контроля это происходит одномоментно, а при нескольких возникают зоны локальных минимумов, чередующихся с возобновлением роста ошибки. Задержка реакции контролируемого показателя также обусловлена выбранным способом контроля, который в имитационной модели привязан не к модельному времени, а к количеству обслуженных автомобилей, т.е. контролируем после выпуска очередных 10 автомобилей.

Также при моделировании наблюдается, что величина управляющего воздействия влияет на среднее время обслуживания автомобиля и, следовательно, на относительную пропускную способность Q. Уменьшение величины УВ приводит к увеличению фактического значения контролируемого показателя. Это представлено на рисунке 2.40.

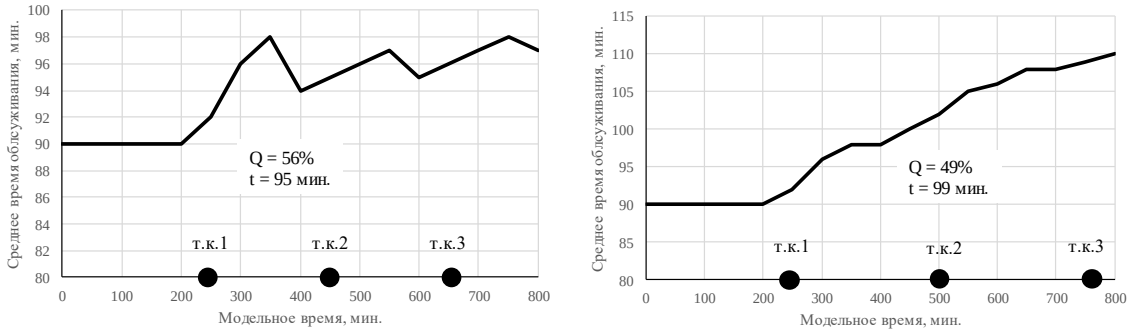


Рисунок 2.40 – Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях с величиной 100% (слева) и с величиной 50% (справа) за время моделирования 800 минут

На значение контролируемой величины также влияет время задержки между точкой контроля и моментом реализации УВ. В предыдущих примерах они совпадали. Установлено, что задержка реализации УВ более чем на 60 минут увеличивает среднее время обслуживания на 11%, среднее время нахождения ТС в очереди на 12% и снижает относительную пропускную способность Q на 8%. Это представлено для одних и тех же параметров модели на рисунке 2.41. Слева показано изменение среднего времени обслуживания при отсутствии задержки в применении УВ, а справа – при задержке в 120 минут для трех точек контроля за смену.

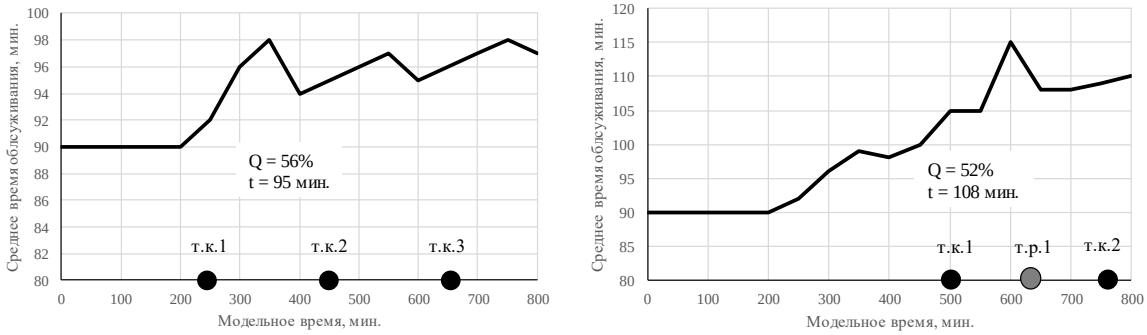


Рисунок 2.41 – Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях без задержки в их применении (слева) и с задержкой в 120 минут (справа): т.к. – точка контроля; т.р. – точка реализации УВ

Формулировка задачи контроля для ПАТ:

Для реализации функции контроля объект управления (процесс) должен быть наблюдаем, т.е. должна быть выделена одна или несколько характеристик объекта Y, по которой возможно получить ее оценочное значение Z. Эта характеристика классифицируется, например, по степени соответствия ее текущего значения нормативному значению, после чего объекту управления назначается отношение к некоторому классу E’. На этапе идентификации происходит сравнение текущего класса объекта E’ с областью допустимых или разрешенных для этого объекта состояний (классов), после чего принимается решение о фактическом состоянии объекта управления. Например, это может быть вывод о соответствии

$$E' \in S^0 \tag{2.58}$$

или несоответствии

$$E' \in S^1 \tag{2.59}$$

текущего технологического процесса обслуживания автомобиля нормативному. В случае несоответствия активизируется процесс принятия

управленческих решений, направленный на корректировку текущего состояния объекта (изменения его принадлежности к классу).

Гипотеза представлена на рисунке 2.42.

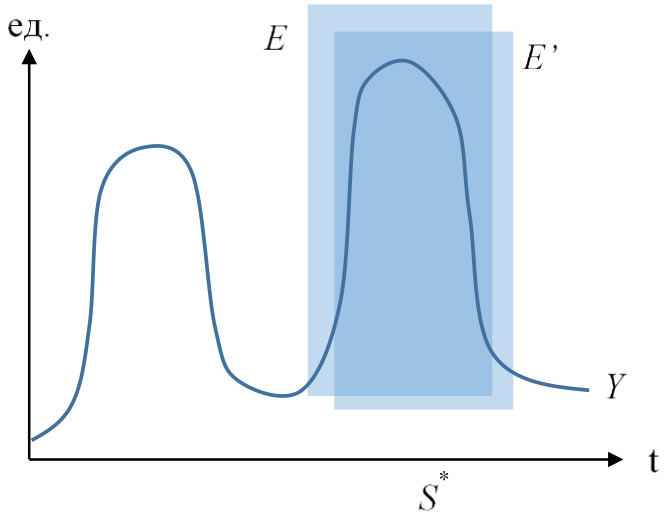


Рисунок 2.42 – Гипотеза о существовании механизма контроля для процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей на предприятии

Гипотеза: процесс обслуживания и ремонта автомобиля является наблюдаемым, классифицируемым и идентифицируемым, т.е. можно найти оценочное значение минимум одной характеристики Y объекта и сопоставить ее с параметрами минимум одного из двух классов E: «без нарушений» и «с нарушениями», определив тем самым состояние S системы.

Гипотезы о видах математических моделей параметров системы контроля представлены ниже на рисунке 2.43.

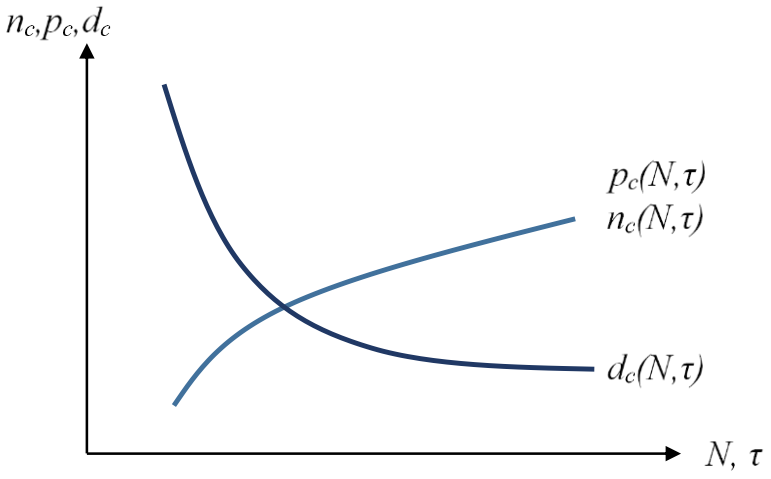


Рисунок 2.43 – Гипотезы о виде математических моделей влияния внешних факторов на параметры системы контроля

$$n_c = a_1 \ln(N) + a_2 \ln(\tau) + a_0, \quad (2.60)$$

$$p_c = a_1 \ln(N) + a_2 \ln(\tau) + a_0, \quad (2.61)$$

$$d_c = a_1 N^{n_1} + a_2 \tau^{n_2} + a_0, \quad (2.62)$$

где n_c - количество точек контроля за смену, ед.;

p_c - величина управляющего воздействия, %;

d_c - время запаздывания реализации управляющего воздействия, ч.;

N – количество поступивших автомобилей в месяц, ед.;

τ – средневзвешенная трудоемкость по видам работ ТО и Р, чел.час.

Для реализации задач контроля используются методы теории распознавания образов. Например, модель должна определять факт и продолжительность нахождения искомого объекта в каждой из заданных зон – в зоне поста, капота, колеса и т.п. Это может быть достигнуто путем определения площади совмещения двух прямоугольников – прямоугольника, описывающего детектируемый нейронной сетью объект, и прямоугольника, описывающего одну из рассматриваемых зон. Для этого используется метрика «пересечение через объединение» (IoU - intersection over union), которая часто используется для оценки точности работы модели сверточной нейронной сети [298]. Она показывает степень пересечения двух прямоугольников (bounding boxes - ограничительных рамок), и большая величина метрики будет соответствовать более полному объединению прямоугольников. Величина является безразмерной, и нулевое ее значение будет говорить о том, что объект не находился в заданной зоне (рисунок 2.44).

$$IoU = \frac{AoI}{AoU}, \quad (2.63)$$

где AoI – площадь пересечения ограничительных рамок объектов (area of intersection) в пискелях;

AoU – площадь объединения ограничительных рамок объектов (area of union) в пискелях.

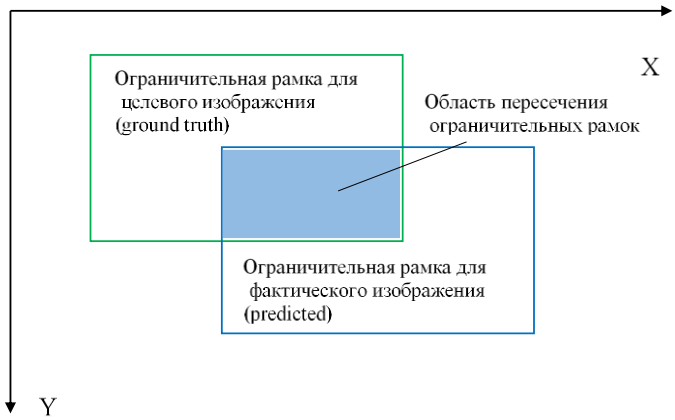


Рисунок 2.44 – Графическое определение показателя «пересечение над объединением» IoU

Таким образом, можно определить основные характеристики каждой подсистемы управления.

Для организационных структур с учетом [8] можно выделить следующие характеристики:

- количество звеньев управления;
- степень централизации управления;
- квалификация менеджеров;
- норма управляемости.

Для производственной структуры можно определить следующие характеристики:

- пропускная способность;
- количество производственных звеньев;
- количество производственных функций на звено;
- трудоемкость функций на звено;
- количество постов (исполнителей) на каждом технологическом звене.

Для подсистемы стимулирования можно выделить следующую характеристику:

- тип системы стимулирования.

Для подсистемы контроля можно выделить следующие характеристики:

- количество управляющих воздействий;
- величина управляющего воздействия;
- время запаздывания управляющего воздействия;
- последовательность выполнения операций текущего технологического процесса;
- время выполнения операций текущего технологического процесса;

- факт выполнения выбранных действий (маркеров) текущего технологического процесса;
- точность модели контроля.

Для подсистемы планирования можно выделить следующие характеристики:

- тип выполняемых работ (услуг);
- входящее количество автомобилей;
- средняя длина технологического маршрута;
- средняя трудоемкость работ;
- реализуемое количество технологических маршрутов;
- соотношение количества основных и вспомогательных функций.

В качестве выходных показателей системы определяются показатели чистой рентабельности NPV, рентабельности инвестиций ROI, затрат (издержек) от функционирования системы, а также ее пропускная способность.

Работа системы может быть реализована при следующих управляемых факторах:

а) различной производственной структуре;

б) различной организационной структуре;

в) различном распределении ресурсов внутри системы;

г) различном стратегическом и оперативном целеполагании;

д) различных подходах к стимулированию элементов организационно-производственной структуры;

е) различных подходах к контролю реализации бизнес-процессов.

Целью системы управления является подбор таких значений управляемых факторов, которые бы позволили достичь глобального оптимума [190].

Задача оптимизации [8] - удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных условиях и ограничений.

2.4.2. Имитационная модель системы

Для проведения исследований было разработано несколько имитационных моделей, каждая из которых направлена на изучение отдельной подсистемы управления ТЭА.

Согласно ГОСТ Р 57412-2017 все разработанные имитационные модели были можно разделить на следующие типы:

- технико-экономические, объектом моделирования в которых являются технические и экономические свойства изучаемой системы;

- структурные, объектом моделирования в которых является структура системы;
- функциональные, объектом моделирования в которых является выделение и описание функций элементов системы, ее структура и взаимосвязи;
- процессные, объектом моделирования в которых является процесс реализации функций системы.

Перечень разработанных имитационных моделей представлен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Перечень разработанных имитационных моделей

№	Название имитационной модели	Тип модели (по ГОСТ Р 57412-2017)	ЯП, фреймворк
1	Имитационная модель работы дилерской станции по продаже и техническому сервису автомобилей	Технико-экономическая	Python
2	Имитационная модель работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода экспертных оценок	Технико-экономическая	Python, Django
3	Имитационная модель работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода генетических алгоритмов	Технико-экономическая	Python, geneticalgorithm
4	Имитационная модель оперативного управления перечнем реализуемых услуг предприятия	Технико-экономическая	Python, SimPy, pm4py
5	Имитационная модель управления ресурсами предприятия	Функциональная	Python, SimPy, pm4py
6	Имитационная модель формирования производственной структуры предприятия	Структурная	Python, SimPy, pm4py
7	Имитационная модель формирования организационной структуры предприятия	Структурная	Python
8	Имитационная модель реализации функции стимулирования	Структурная	Python
9	Имитационная модель определения периодичности, величины и времени запаздывания операций контроля	Структурная	Python, SimPy
10	Имитационная модель контроля продолжительности производства работ	Процессная	Python, C#, Unity

Продолжение таблицы 2.10

11	Имитационная модель контроля последовательности реализации технологических процессов	Процессная	Python, C#, Unity
12	Имитационная модель контроля факта выполнения технологических операций при производстве работ	Процессная	Python, C#, Unity

Алгоритмы разработанных имитационных моделей и их описание представлено ниже.

Имитационная модель работы дилерской станции по продаже и техническому сервису автомобилей

Блок-схема имитационной модели прогнозирования загрузки СТО представлена на рисунке 2.45.

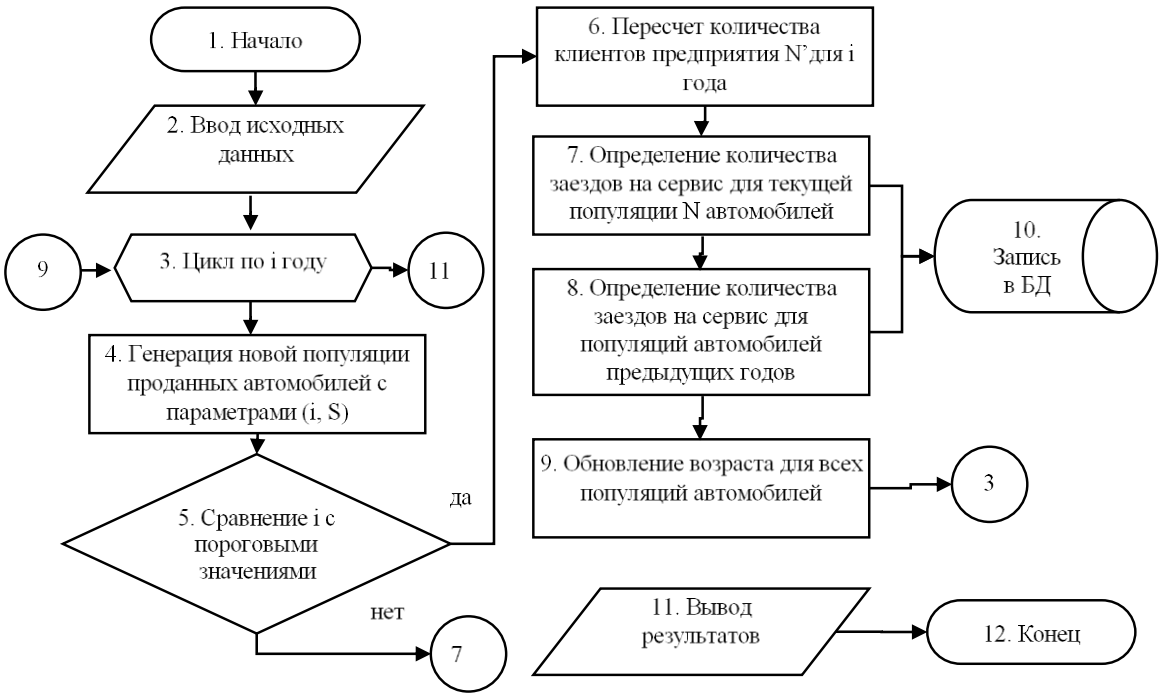


Рисунок 2.45 – Блок-схема имитационной модели прогнозирования загрузки СТО

Описание работы имитационной модели представлено ниже. Шагом моделирования является один год. За каждый шаг генерируется популяция проданных отделом продаж автомобилей, а также автомобилей клиентов, не являвшихся покупателями в данном дилерском центре. Каждая группа проданных автомобилей имеет установленное значение гарантийного периода, которое сравнивается с текущим значением модельного года. В случае превышения срока

гарантийного периода, а также для некоторого заданного процента клиентов до его окончания часть автомобилей клиентов перестает обслуживаться на дилерской станции технического обслуживания и перестает быть клиентами предприятия. Для оставшегося количества клиентов определяется количество обращений на СТО с учетом межсервисного интервала и заданного количества отказов, после чего возраст каждой популяции автомобилей обновляется на единицу.

Расчетные значения регистрируются в базе данных, а затем усредняются для заданного количества итераций модели при одинаковом сочетании исходных факторов. За каждый модельный шаг фиксируется количество проданных автомобилей, количество обращений на сервис, загрузка сервиса, а также значения факторов.

Имитационная модель работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода экспертных оценок

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.46. Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая использует метод экспертных оценок для выбора оптимальных вариантов планирования деятельности предприятия автомобильного транспорта. Модель основана на анализе сочетаний управляемых параметров, их стоимости и балльных оценок, а также применении правила Парето для отбора лучших решений.

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования. Задаются целевые значения k для n показателей эффективности, выбранных из общего множества m показателей. Эти значения формируют множество $K = \{k_n\}$, которое служит ориентиром для оценки результатов.

Устанавливаются шаги изменения управляемых параметров Δx для множества параметров $X = \{x\}$, которые влияют на деятельность предприятия. Эти параметры могут включать ресурсы, затраты, объемы производства и другие характеристики. Задается стоимость изменения управляемых параметров ν в баллах. Эта стоимость используется для расчета балльной оценки каждого варианта.

Следующим этапом создается индексированный список всех возможных сочетаний управляемых параметров $L = \{l_i\}$. Этот список представляет собой декартово произведение значений факторов (например, все возможные комбинации параметров).

Затем начинается цикл перебора всех вариантов из списка L. В рамках каждой итерации выполняется технологический расчет предприятия автомобильного транспорта.

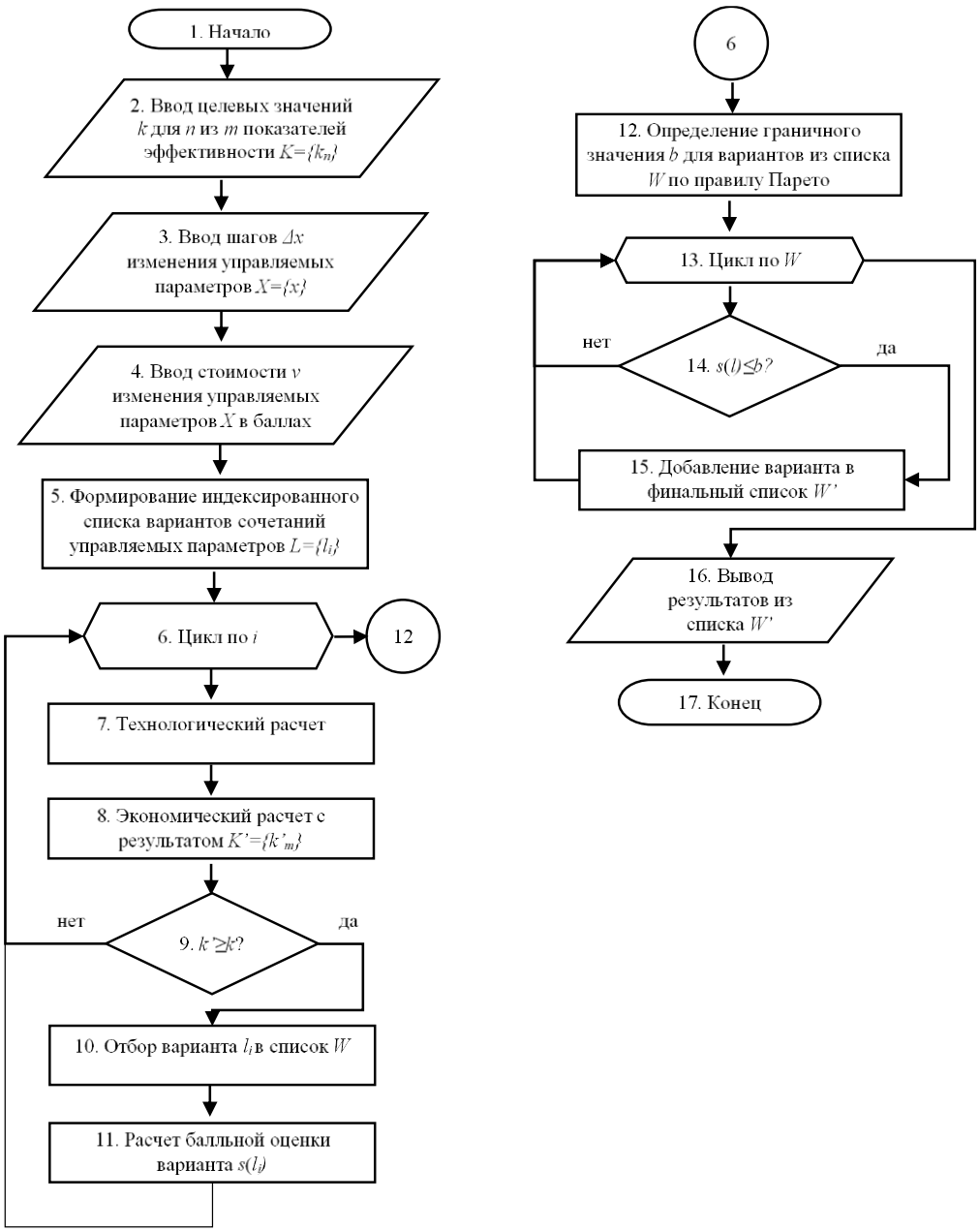


Рисунок 2.46 – Алгоритм имитационной модели работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода экспертных оценок

Для текущего варианта l_i проводится технологический расчет предприятия, который позволяет определить технологические параметры на основе известной методики и исходных данных.

На основе результатов технологического расчета выполняется экономический расчет, который дает значения показателей эффективности $K' = \{k'_m\}$. Эти значения сравниваются с целевыми значениями $K = \{k_n\}$. При этом проверяется условие, достигнуты ли или превышены целевые значения показателей эффективности.

Если условие выполняется, то осуществляется переход к следующему шагу. Если нет, то производится исключение текущего варианта l_i из рассмотрения и

переход к следующей итерации цикла. При выполнении условия k’ ≥ k текущий вариант l_i добавляется в список допустимых вариантов W.

Для варианта l_i рассчитывается балльная оценка $s(l_i)$, которая учитывает стоимость изменения управляемых параметров ν и другие критерии. После этого происходит переход к следующей итерации цикла. По сути, оценка $s(l_i)$ говорит о сложности реализации управленческого решения для достижения целевого значения показателя эффективности.

После завершения перебора всех вариантов из списка L определяется граничное значение b для отбора лучших вариантов из списка W. Это значение рассчитывается с учетом правила Парето, которое обеспечивает оптимальный баланс между показателями эффективности и стоимостью.

Затем начинается цикл перебора вариантов из списка W. При этом проверяется условие, удовлетворяет ли балльная оценка варианта s(l) граничному значению b. Если s(l) ≤ b, то текущий вариант l добавляется в финальный список W’. Если условие не выполнено, то текущий вариант l исключается из рассмотрения и осуществляется переход к следующей итерации цикла.

После завершения цикла выводятся результаты из финального списка W’, которые представляют собой оптимальные варианты планирования деятельности предприятия. Это может быть один или несколько вариантов, а также пустой список. После этого алгоритм завершает работу.

Таким образом, алгоритм моделирует процесс планирования деятельности предприятия автомобильного транспорта с использованием метода экспертных оценок. Он включает этапы формирования вариантов сочетаний управляемых параметров, проведения технологических и экономических расчетов предприятия, оценку вариантов по целевым показателям и применение правила Парето для выбора оптимальных решений. Результатом работы является финальный список вариантов W’, которые обеспечивают наилучший баланс между эффективностью и сложностью их достижения.

Имитационная модель работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода генетических алгоритмов

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.47. Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая использует метод генетических алгоритмов для поиска оптимальных решений в системе планирования деятельности предприятия автомобильного транспорта [276].

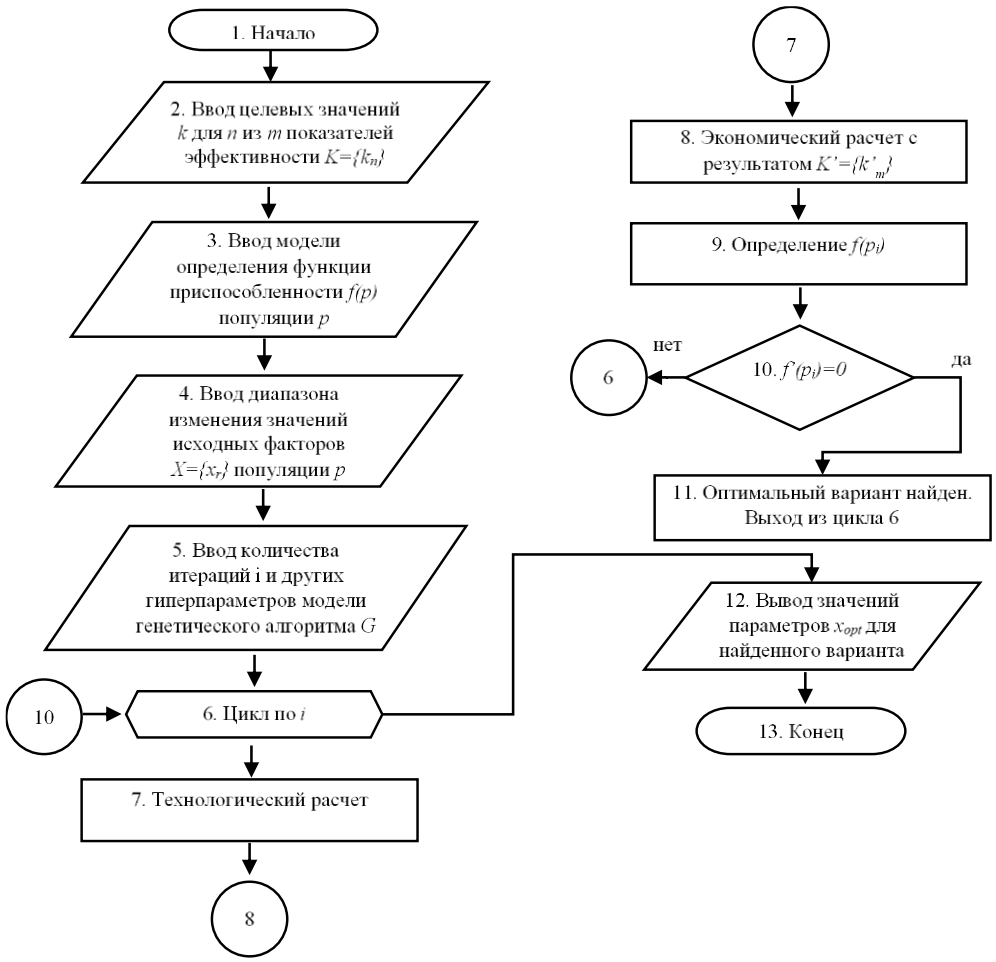


Рисунок 2.47 – Алгоритм имитационной модели работы системы планирования деятельности предприятия с использованием метода генетических алгоритмов

Модель учитывает целевые значения показателей эффективности, функцию приспособленности, исходные факторы и ограничения для оптимизации параметров работы предприятия. Пошаговое описание работы алгоритма приведено ниже.

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования. Задаются целевые значения k для n показателей эффективности, выбранных из общего множества m показателей. Эти значения формируют множество $K = \{k_n\}$, которое служит ориентиром для оптимизации.

Определяется функция приспособленности f(p), которая оценивает качество решений (индивидов) в популяции p. Цель - минимизировать значение этой функции (если целевая функция представляет собой затраты).

Задается диапазон изменения значений исходных факторов $X = \{x_r\}$, которые влияют на решения в популяции. Эти факторы являются исходными данными для проведения технологического и экономического расчета предприятия автомобильного транспорта.

Устанавливаются основные параметры генетического алгоритма, такие как количество итераций i; размер популяции, вероятности мутации и кроссовера и др.

Начинается цикл выполнения итераций генетического алгоритма. На каждой итерации проводится технологический расчет предприятия, который позволяет определить технологические параметры на основе известной методики и исходных данных [105]. Этот расчет служит основой для экономического анализа. На основе результатов технологического расчета выполняется экономический расчет, который дает значения показателей эффективности $K' = \{k'_m\}$. Эти значения сравниваются с целевыми значениями $K = \{k_n\}$.

На основе значений K' и K для текущей итерации i рассчитывается значение функции приспособленности $f(p_i)$ для каждого решения (индивида) в популяции.

После этого проверяется, достигнуто ли минимальное значение функции приспособленности ($f'(p_i) = 0$). Если да, то оптимальный вариант найден, осуществляется выход из цикла. Если нет, то алгоритм переходит к следующей итерации.

После завершения всех итераций выводятся значения параметров x_{opt}, соответствующие найденному оптимальному варианту. Алгоритм завершает работу.

Модель имитирует процесс планирования деятельности предприятия автомобильного транспорта с использованием генетического алгоритма. Он включает этапы ввода целевых показателей, определения функции приспособленности, проведения технологических и экономических расчетов, а также итерационный поиск оптимальных решений. Результатом работы является определение оптимальных значений параметров x_{opt}, которые обеспечивают минимизацию функции приспособленности и достижение целевых показателей эффективности.

Имитационная модель оперативного управления перечнем реализуемых услуг предприятия

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.48. Алгоритм моделирует процесс обслуживания заявок на станции технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом различных вариантов распределения входящего потока заявок. Он учитывает динамику поступления заявок, их обработку на рабочих постах и экономические показатели системы. Результатом работы является определение оптимального варианта распределения потока заявок, который обеспечивает наилучшие экономические показатели для станции.

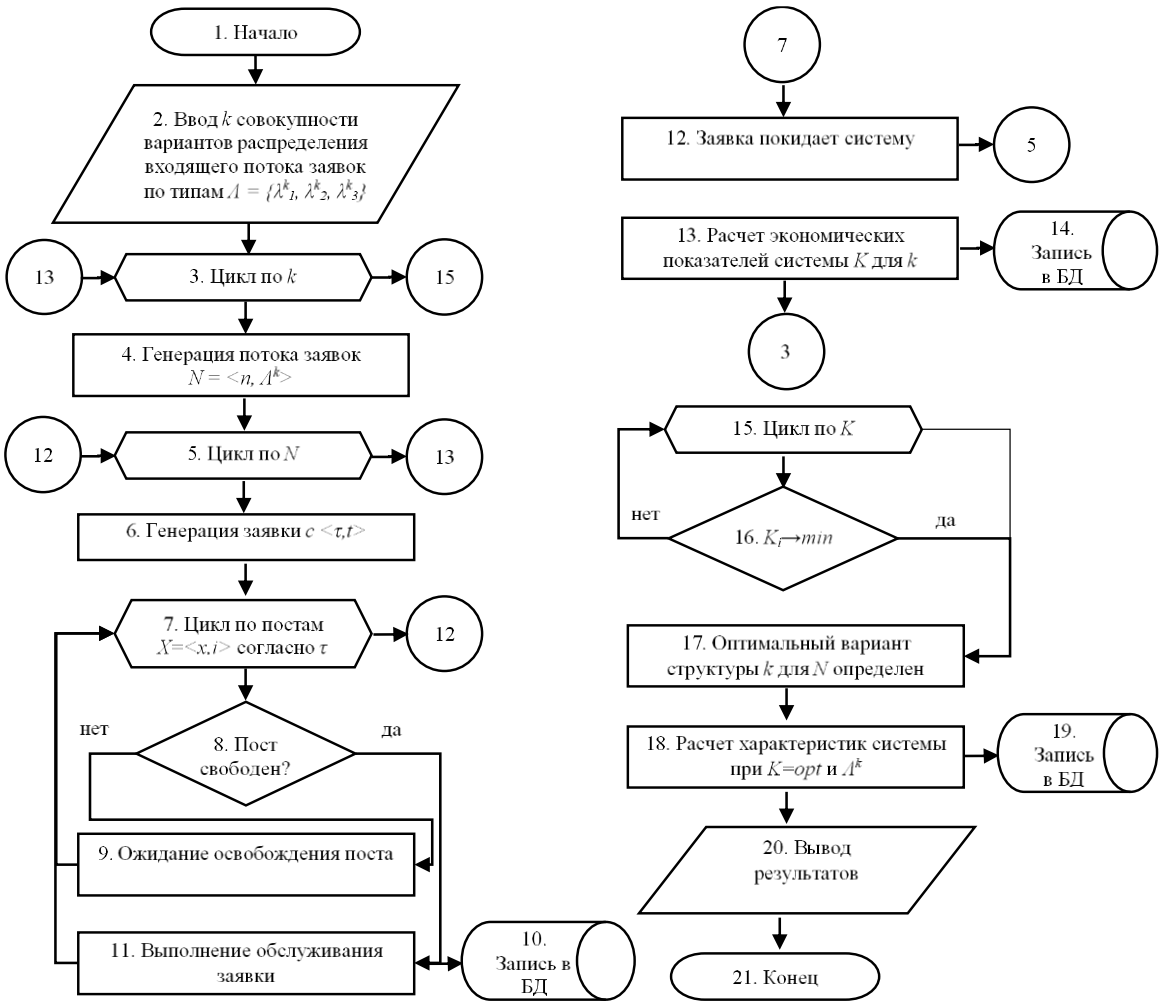


Рисунок 2.48 – Алгоритм имитационной модели оперативного управления перечнем реализуемых услуг

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования.

Далее осуществляется ввод k совокупности вариантов распределения входящего потока заявок по типам Λ = {λk1, λk2, λk3}. Условно их можно охарактеризовать как работы низкой, средней и высокой сложности, которые, однако, обратно распределены по стоимости. Работы с низкой сложностью выполняются быстро, но приносят доход меньше, чем работы высокой сложности, являющиеся более трудоемкими. Задается несколько вариантов распределения входящего потока заявок. Каждый вариант k характеризуется набором интенсивностей поступления заявок по различным типам услуг: λk1 , λk2 , λk3 — интенсивности поступления заявок для каждого типа услуг в рамках текущего варианта. Например, можно установить приоритет для работ низкой сложности, задав их количество в общем числе работ как [0,6; 0,2; 0,2].

Для каждого варианта распределения входящего потока заявок выполняется последовательность действий.

Генерируется поток заявок N = <n, Λk> для текущего варианта k , где n — общее количество заявок; Λk — интенсивности поступления заявок для данного варианта.

Для каждой заявки из сгенерированного потока выполняется последовательность действий. Генерируется конкретная заявка с параметрами <τ, t>, где τ — технологический маршрут заявки; t — трудоемкость обслуживания заявки. Заявка поступает в систему и направляется на обработку на технологические звенья (посты) X = <x, i> согласно технологическому маршруту заявки. Производится перебор рабочих постов системы, где x — количество постов одного типа; i — порядковый номер поста.

При этом проверяется условие, доступен ли текущий пост для обработки заявки. Если пост занят, заявка ожидает его освобождения.

Если пост свободен, начинается обслуживание заявки на текущем посту. После завершения обслуживания заявка покидает систему, и генерируется следующая заявка из потока.

После окончания заданного пользователем модельного времени и завершения обработки всех заявок текущего варианта k производится расчет экономических показателей системы K (например, прибыль, затраты, эффективность использования ресурсов).

Для каждого показателя проверяется, является ли текущий экономический показатель Ki минимальным (или оптимальным в зависимости от критерия). Если нет, берется следующее значение K для анализа. Если да, то текущий вариант k считается оптимальным K = opt.

Для выбранного оптимального варианта соотношения типов заявок Λk рассчитываются детальные характеристики системы (например, загрузка постов, время ожидания заявок, прибыль).

Выводятся результаты моделирования, включая оптимальный вариант распределения потока заявок, экономические показатели и характеристики работы системы. Алгоритм завершает работу.

Имитационная модель управления ресурсами предприятия

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.49.

Алгоритм моделирует процесс обработки заявок на предприятии с учетом ограничений по ресурсам и производственным мощностям. Он учитывает динамику поступления заявок, распределение их между рабочими постами, использование ресурсов и время обслуживания. Результатом работы является

оценка интенсивности использования ресурсов, что позволяет оптимизировать работу предприятия.

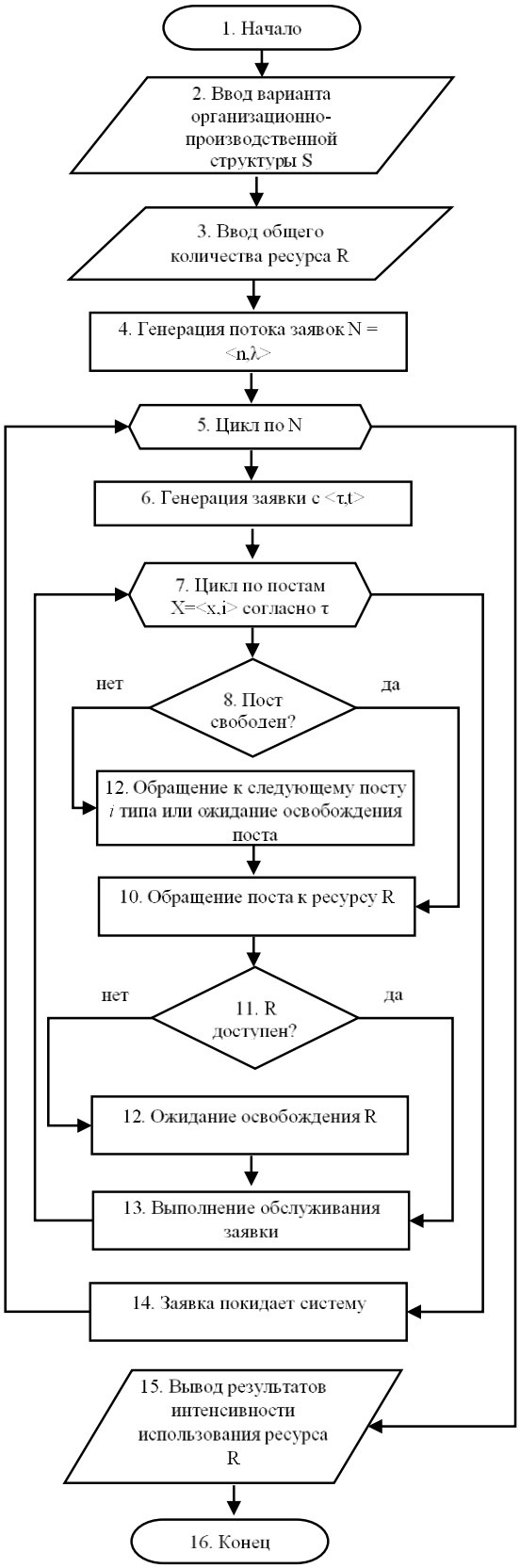


Рисунок 2.49 – Алгоритм имитационной модели определения интенсивности использования ресурсов предприятия

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования.

На этапе ввода варианта организационно-производственной структуры S задается структура предприятия, которая определяет количество и типы рабочих постов, их взаимодействие и логику обработки заявок.

Далее указывается общий объем доступного ресурса R (например, сырье, оборудование или рабочая сила), который будет использоваться для обслуживания заявок. В имитационной модели рассматривается абстрактный ресурс, который необходим каждый раз, когда заявка поступает на следующее технологическое звено производственной структуры. Для условий практического использования можно перейти к конкретным ресурсам путем определения норматива, зависящего от технологического маршрута заявки и типов выполняемых при этом работ.

Следующим этапом является генерация потока заявок:

$$N = <n, \lambda> \tag{2.64}$$

где n — общее количество заявок, которые необходимо обработать; λ — интенсивность поступления заявок (количество заявок в единицу времени).

Для каждой заявки из потока после ее попадания в систему выполняется последовательность действий по обработке. Для каждой заявки определяются параметры $<\tau, t>$, где τ — время поступления заявки; t — время, необходимое для её обслуживания (трудоемкость).

Каждая пришедшая в систему заявка направляется на обработку.

Производится перебор постов технологических звеньев $X = <x, i>$ системы, где x — количество постов каждого типа согласно определенного вначале варианта производственной структуры S; i — номер поста.

Далее осуществляется проверка доступности текущего поста для обработки заявки. Если пост занят, заявка либо обращается к следующему посту того же типа, либо ожидает освобождения текущего поста. При этом фиксируется время ожидания в очереди.

Если пост свободен, заявка обращается к ресурсу R, чтобы начать обслуживание. При этом проверяется условие, доступен ли ресурс R для выполнения операции. Алгоритм предполагает бесконечное количество ресурсов, однако, можно задать ограничение при выбранной системе распределения ресурсов.

Если ресурс занят, заявка ожидает его освобождения. Если ресурс доступен, начинается обслуживание заявки.

Заявка обрабатывается на текущем посте с использованием ресурса R с заданным значением трудоемкости. После завершения обслуживания заявка покидает систему. По завершении обработки всех заявок выводятся результаты моделирования, включая интенсивность использования ресурса R и другие метрики эффективности. Алгоритм завершает работу.

2.4.2.1. Имитационная модель реализации функции организации при управлении ПАТ

Имитационная модель формирования производственной структуры предприятия

Блок-схема алгоритма модели формирования производственной структуры предприятий автомобильного транспорта представлена на рисунке 2.50.

Представленный на рисунке 2.50 алгоритм показан в обобщенном виде для сохранения читаемости и информативности. Некоторые очевидные элементы были упрощены. Например, шаг 7 включает в себя последовательную итерацию по постам разного типа согласно технологическому маршруту заявки, а также итерацию по постам одного типа, если их больше одного. Принцип работы алгоритма модели следующий.

Сначала определяется перечень возможных вариантов организационно-производственных структур управления производством по ТО и Р на предприятии. Он включает в себя типы производственных звеньев, их количество, среднюю трудоемкость выполнения работ, а также распределение основных бизнес-функций между ними. Например, руководство предприятием выбрало в рамках одного бизнес-процесса по реализации услуг по ТО и Р легковых автомобилей следующие бизнес-функции: 1 - «прием/выдача автомобилей», 2 - «прием звонков и запись», 3 - «мойка», 4 - «диагностирование», 5 - «техническое облуживание», 6 - «ремонт», 7 - «заказ и снабжение запасными частями и материалами», 8 - «установка дополнительного оборудования». Задается следующая производственная структура: i_1 - зона приемки/выдачи, i_2 - пост мойки, i_3 - универсальный пост по ТО и ТР с параметрами соответственно: [(2,[25,5,30],3), (1,[30],1), (3,[30,100,120,60],4)], где первое значение: количество постов, второе – трудоемкость выполнения работ по каждой бизнес-функции, третье – количество бизнес-функций на производственный элемент (звено). Так, согласно примеру, зона приемки выполняет функции 1, 2, 7; пост мойки – функцию 3; пост ТО и Р – функции 4, 5, 6, 8. Для такой производственной структуры задается несколько вариантов организационных структур из условия $m \leq i$, где m – количество административных работников, а i – количество типов производственных звеньев.

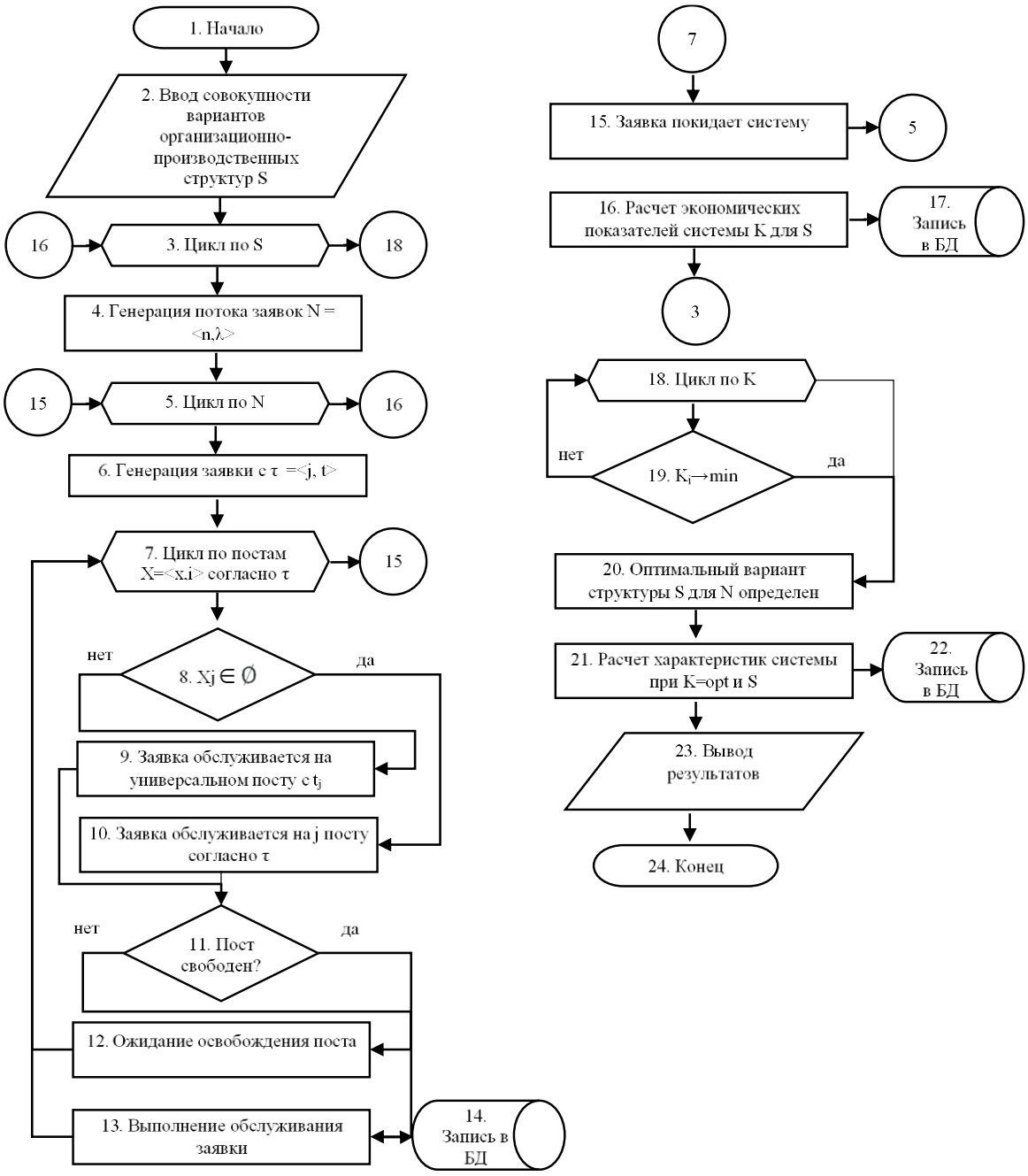


Рисунок 2.50 – Алгоритм имитационной модели формирования производственной структуры предприятий автомобильного транспорта

Для рассматриваемого примера m=3, i=3. Также генерируются различные сочетания связей между административными и производственными звеньями. Принципы их формирования подробно рассмотрены в соответствующем разделе. Если задано несколько вариантов таких структур, то модель последовательно работает с каждым из них в цикле 3.

После этого на шаге 4 генерируются значения внешних факторов: количество заявок на ТО и Р n и процентное соотношение их видов λ. Предположим, что в

среднем СТО обрабатывает в год 5000 клиентов (автомобиле-заездов) со следующим соотношением видов работ: ТО – 50%, работы средней сложности – 30% и сложные работы – 20%. Подробнее о классификации видов работ рассказано в разделе экспериментальных исследований. Каждый вид работ характеризуется некоторой вероятностью выбора технологического маршрута τ, т.е. последовательностью прохождения производственных звеньев i с трудоемкостью t. Каждая генерируемая на шаге 6 конкретная заявка обладает этими характеристиками. Например, в начале модельного часа номер 3 была сгенерирована заявка на выполнение работ по ТО, маршрут которой предполагает последовательное прохождение всех звеньев $i_{1\text{-}3}$. На 8 шаге алгоритм имеет ряд особенностей. Каждая новая заявка (клиент) генерируется с определенным типом потребности (услуги), например, «уборочно-моечные работы» или «работы по кузовному ремонту». Каждой услуге соответствует определенная трудоемкость производства работ. Например, для уборочно-моечных работ – 20 минут, для кузовных – 360 минут. В случае, если на предприятии есть посты, специализированные на выполнении таких работ, то технологический маршрут заявки будет включать этот тип постов. Если на предприятии нет таких постов, то заявка будет обслужена на универсальном посту «service», но с трудоемкостью, соответствующей заявленному типу работ. Таким образом, любая из моделируемых производственных структур может обслужить любой тип заявок, но по мере усложнения структуры появляются посты, специализированные на конкретные работы.

Далее модель имитирует работу постов по обслуживанию заявок согласно традиционному подходу к имитационному моделированию процессов ТО и Р автомобилей [58], регистрируя время ожидания клиента в очереди, длину очереди и другие характеристики работы системы [324]. Выходные характеристики работы системы, включенные в модель, перечислены ниже:

- абсолютная пропускная способность;
- относительная пропускная способность;
- среднее число занятых каналов;
- среднее время простоя каналов;
- среднее число заявок в очереди;
- среднее время ожидания заявки в очереди.

После выполнения работ на одном этапе технологического маршрута клиент переходит на следующий. После выполнения всех работ, предусмотренных технологическим маршрутом, заявка уходит из системы. На шаге 13 производится расчет значения целевой функции для текущего варианта организационно-производственной структуры S и значений влияющих факторов N. Каждая из

функций управления предполагает свою модель целевой функции, которые рассмотрены отдельно в соответствующих разделах.

Критерием нахождения оптимальной структуры будет являться поиск экстремального значения показателя эффективности K. Следовательно, тот вариант структуры S*, при котором K принимает оптимальное значение, и будет являться наиболее эффективным для заданного значения фактора N:

$$S^* = Arg \max K . \qquad (2.65)$$

Для этого варианта определяются численные значения характеристик подсистем управления технической эксплуатацией, которые были рассмотрены ранее.

Таким образом, имитационная модель состоит из пяти основных структурных блоков, представленных на рисунке 2.51.



Рисунок 2.51 – Основные модули имитационной модели

Имитационная модель формирования организационной структуры предприятия

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.52. Данная имитационная модель относится к типу дискретно-событийных моделей процессного типа.

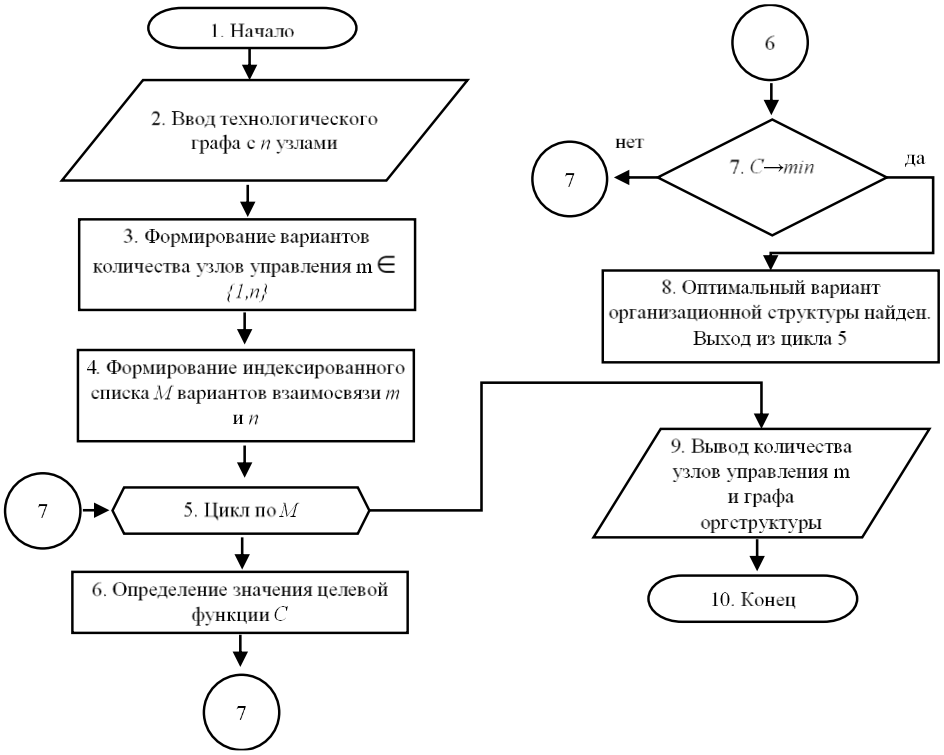


Рисунок 2.52 – Алгоритм имитационной модели формирования организационной структуры предприятия

Данная имитационная модель специализирована на перебор вариантов различных организационных структур для выбранной производственной структуры. Сначала формируется массив вариантов оргструктур, после чего для каждого варианта определяется значение целевой функции. Для каждого варианта оргструктуры производится имитационное моделирование работы предприятия. Варианты организационных структур характеризуются различным количеством управляющих звеньев и взаимосвязями между управляющими и технологическими звеньями. Критерием остановки алгоритма будет достижения минимального значения целевой функции, которое будет означать нахождение оптимальной организационной структуры для текущего варианта производственной структуры предприятия.

2.4.2.2. Имитационная модель реализации функции стимулирования

Имитационная модель реализации функции стимулирования

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.53. Данная имитационная модель также относится к типу дискретно-событийных моделей процессного типа. Модель имитирует работу предприятия с использованием разных базовых систем стимулирования, после чего определяет затраты на них.

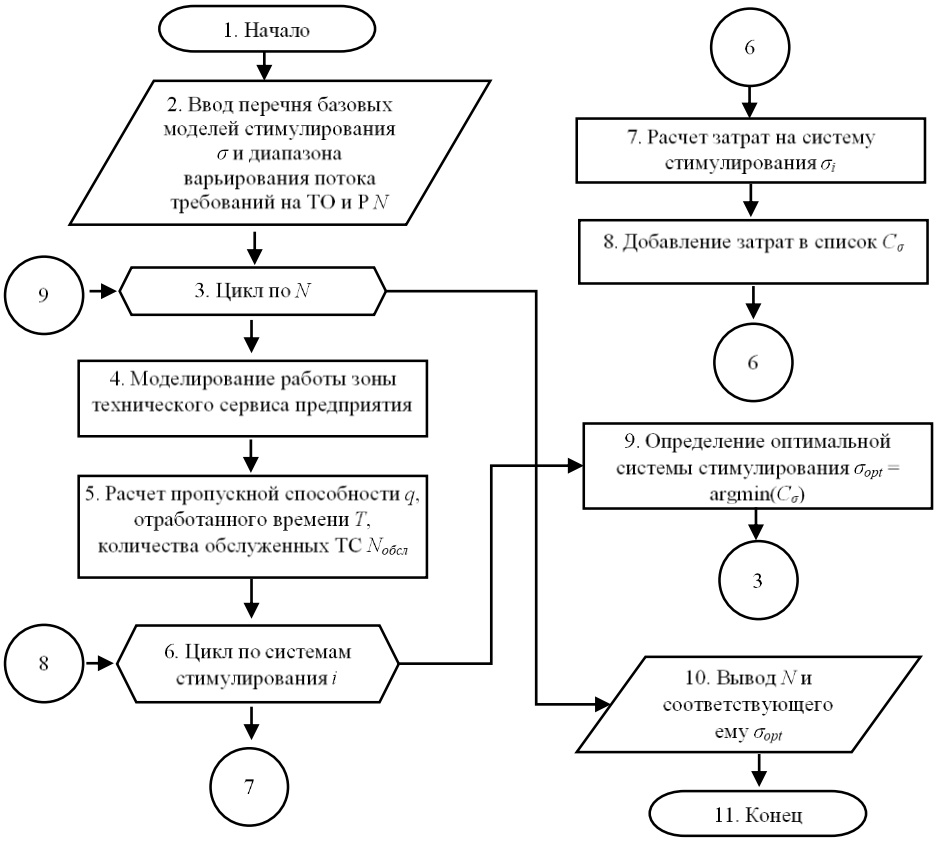


Рисунок 2.53 – Алгоритм имитационной модели реализации функции стимулирования

Алгоритм имитационной модели реализации функции стимулирования производственного персонала по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта представляет собой комплексную модель, направленную на оптимизацию затрат при обеспечении заданного уровня пропускной способности сервисной зоны. Алгоритм включает этапы моделирования работы сервиса, оценки влияния различных систем стимулирования на эффективность работы, а также выбора оптимальной системы с точки зрения экономической целесообразности.

В начале осуществляется ввод перечня базовых моделей стимулирования σ и диапазона варьирования потока требований на ТО и Р N. На данном этапе задается σ - множество возможных базовых систем стимулирования персонала из рассмотренных ранее, а также N - диапазон изменения интенсивности входящего потока заявок на техническое обслуживание и ремонт.

Для каждого значения n_j из N выполняются последующие блоки моделирования и анализа. Далее осуществляется работа имитационной модели процесса обслуживания автомобилей в условиях заданного потока заявок n_j. Модель учитывает количество постов, трудоемкость выполнения операций ТО и ремонта, вероятностные распределения времени прибытия заявок, вероятностные

распределения времени обслуживания, влияние выбранной системы стимулирования σ на интенсивность работы персонала.

Имитационное моделирование реализовано как дискретно-событийная модель (DES), где события — это прибытие автомобиля, начало и окончание обслуживания.

Следующим этапом по результатам моделирования осуществляется расчет пропускной способности q, отработанного времени T, количества обслуженных ТС Nобсл.

Для каждой системы стимулирования σ_i повторяются указанные выше шаги моделирования и проводится расчет затрат C_σ, после чего рассчитанные затраты добавляются в матрицу или список.

Далее выбирается система стимулирования, соответствующая минимальным затратам при данном уровне нагрузки n_j. Таким образом, для каждого n_j находится своя оптимальная базовая система стимулирования.

По результатам моделирования формируется таблица или график зависимости оптимальной системы стимулирования от интенсивности потока заявок, что позволяет разработать рекомендации по адаптации системы стимулирования к изменению загрузки зоны технического сервиса предприятия автомобильного транспорта.

Алгоритм завершается, результаты могут быть использованы для автоматизации выбора системы стимулирования на основе текущего объема работ или прогнозируемой загрузки. Алгоритм можно формализовать как задачу оптимизации в условиях неопределенности, где σ - множество допустимых систем стимулирования, а C_σ - функция затрат, зависящая от типа стимулирования и интенсивности потока заявок.

Представленный алгоритм позволяет на основе имитационного моделирования работы сервисной зоны и анализа затрат выбрать наиболее эффективную систему стимулирования персонала в зависимости от текущей загрузки предприятия. Это способствует гибкому управлению персоналом и снижению себестоимости услуг технического обслуживания и ремонта автомобилей.

2.4.2.3. Имитационная модель реализации функции контроля

Имитационная модель контроля продолжительности производства работ

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.54. Данная имитационная модель относится к агентному типу.

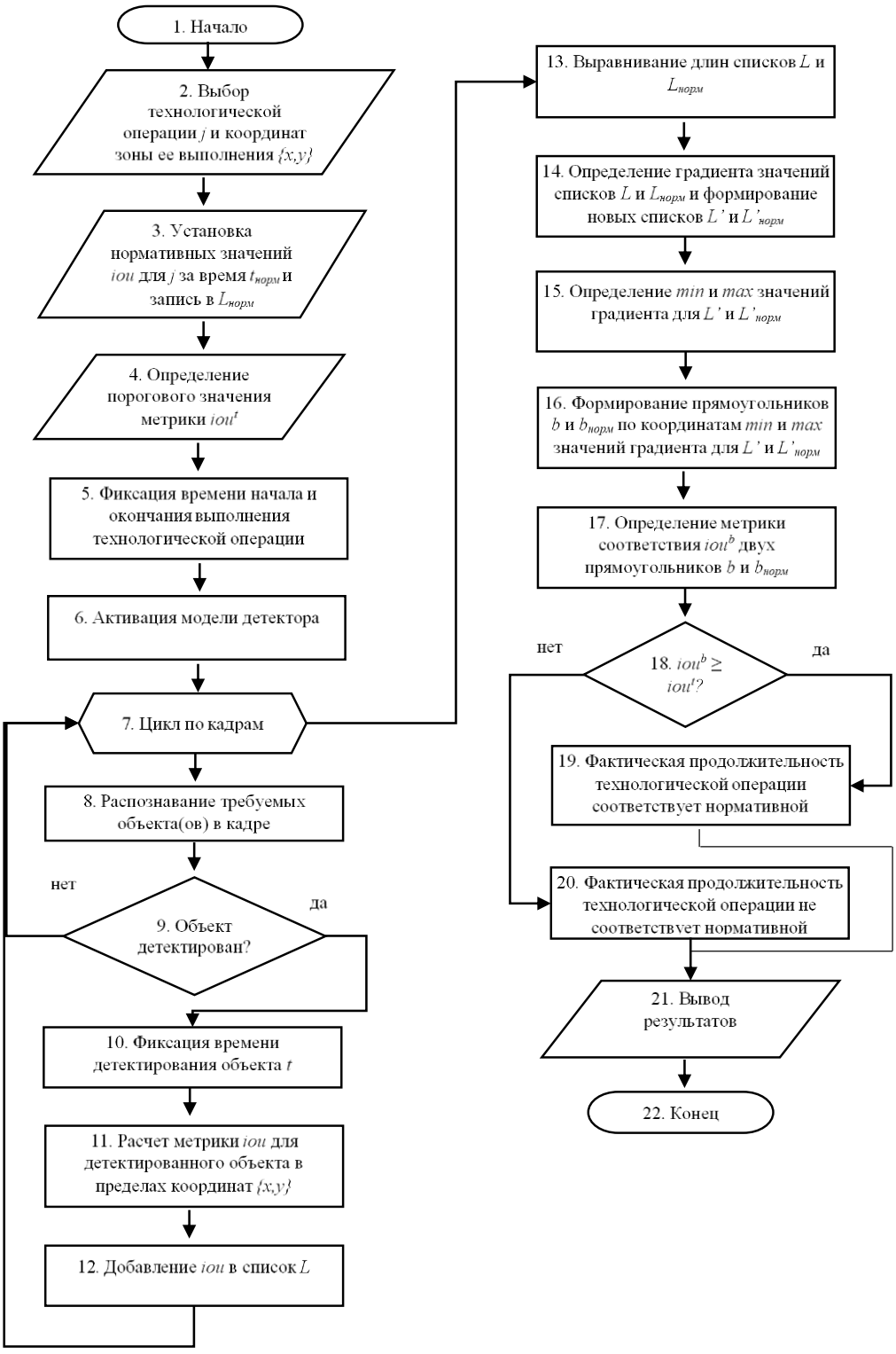


Рисунок 2.54 – Алгоритм имитационной модели контроля продолжительности производства работ по ТО и Р автомобилей

Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая позволяет контролировать фактическую продолжительность выполнения технологических операций на станции технического обслуживания (СТО) с использованием технологий компьютерного зрения. Модель основана на анализе видеопотока,

распознавании объектов и сравнении фактических данных о продолжительности нахождения детектированного объекта в заранее размеченной зоне с нормативными значениями.

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования.

Первым этапом выбирается конкретная технологическая операция j (например, замена масла в двигателе или компьютерная диагностика автомобиля), а также задаются пиксельные координаты зоны выполнения операции в видеопотоке {x, y} — координаты области интереса, где происходит выполнение операции. Поскольку камера закреплена стационарно, то координаты зоны изменяться не будут. Перечень точек реализации технических воздействий определяются по оперативно-постовой карте ТО и Р.

Задаются нормативные значения метрики Intersection over Union (IoU) для выбранной операции j за нормативное время выполнения $t_{норм}$. Эти значения записываются в список $L_{норм}$, который будет использоваться для сравнения с фактическими данными.

Устанавливается минимальное пороговое значение метрики Intersection over Union (IoU) , которое будет использоваться для оценки качества распознавания объектов. При превышении порогового значения алгоритм регистрирует факт нахождения объекта в зоне производства работ. В противном случае фиксируется его отсутствие.

Кроме того, оператор определяет нормативное время начала ($t_{нач}$) и окончания ($t_{кон}$) выполнения операции для дальнейшего анализа продолжительности.

После этого активируется модель компьютерного зрения (детектор), которая будет анализировать видеопоток и распознавать объекты, связанные с выполнением операции. Алгоритм позволяет использовать любую предобученную модель детектора, например, YOLO [264]. Отличие будет заключаться в обработке результатов детекции для приведения их в необходимый для дальнейшей работы программы формат. Модель должна быть способна детектировать людей (объекты класса «person»). Алгоритм также позволяет устанавливать перечень необходимых к распознаванию объектов в виде дополнительных аргументов [215, 217].

Модель обрабатывает каждый кадр из видеопотока. Для повышения производительности можно обрабатывать каждый k-ый кадр. В текущем кадре производится попытка распознать объекты, связанные с выполнением технологической операции.

Для каждого кадра выполняется проверка, был ли успешно распознан требуемый объект. Если нет, то осуществляется переход к следующему кадру. Если

объект успешно распознан, фиксируется продолжительность его детектирования t, то есть продолжительность нахождения объекта в размеченной зоне поста.

Для распознанного объекта рассчитывается метрика Intersection over Union (IoU) в пределах заданной зоны выполнения операции {x, y}. Метрика определяет перекрытие ограничительной рамки объекта и ограничительной рамки поста. Чем она выше, тем более вероятно объект находился в зоне.

Рассчитанное значение IoU добавляется в список фактических значений L. Поскольку списки фактических значений L и и нормативных значений $L_{норм}$ могут иметь разную длину, то производится выравнивание их длин для корректного сравнения.

Для проведения автоматического сравнения списков используется значение градиента метрики IoU. Для этого рассчитываются градиенты (скорости изменения) значений в списках L и $L_{норм}$. На основе этих градиентов формируются новые списки L’ (фактические данные) и $L'_{норм}$ (нормативные данные). Для этих списков определяются минимальные (min) и максимальные (max) значения градиентов. Они используются для формирования ограничительных рамок вокруг графиков изменения градиента функции. На основе найденных min и max значений формируются ограничительные рамки b (фактические данные) и bнорм (нормативные данные).

По этим ограничительным рамкам рассчитывается метрика IoU_b, которая показывает степень пересечения двух ограничительных рамок b и $b_{норм}$.

Далее производится проверка, превышает ли метрика IoU_b установленный порог IoU_t. Если да, то фактическая продолжительность выполнения операции соответствует нормативной. Если нет, то делается вывод о том, что фактическая продолжительность выполнения операции не соответствует нормативной.

После этого выводится информация о соответствии фактической продолжительности выполнения операции нормативным требованиям и алгоритм завершает работу.

Таким образом, алгоритм использует технологии компьютерного зрения для контроля продолжительности выполнения технологических операций на станции технического обслуживания. Он анализирует видеопоток, распознает объекты, связанные с выполнением операции, и сравнивает фактические данные с нормативными значениями. Результатом работы является определение, соответствует ли фактическая продолжительность выполнения операции установленным нормативам. Отличительной особенностью алгоритма является автоматизация процесса контроля и минимальное участие оператора в интерпретации результатов.

Имитационная модель контроля последовательности реализации технологических процессов

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.55.

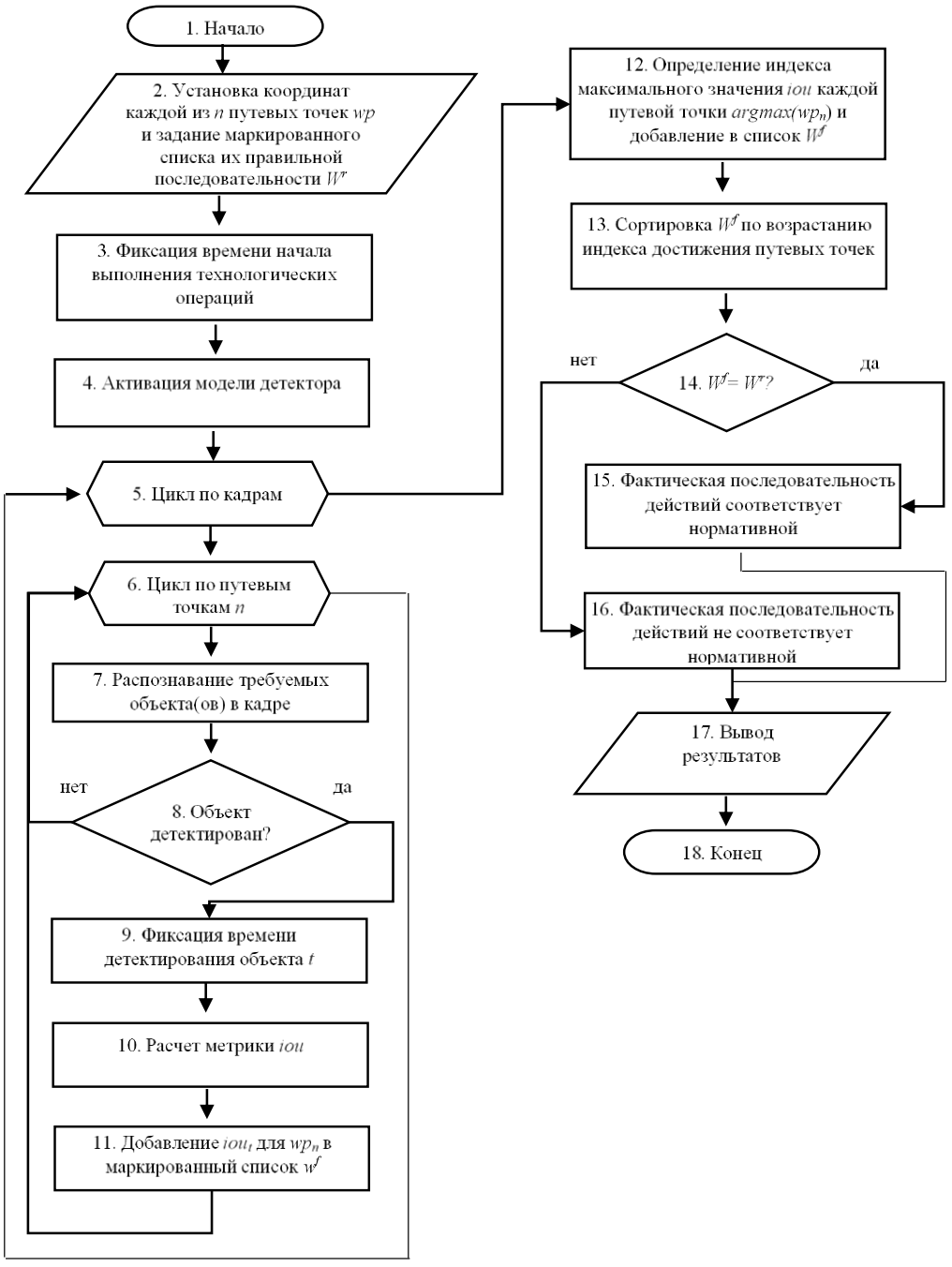


Рисунок 2.55 – Алгоритм имитационной модели контроля последовательности реализации технологических процессов

Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая позволяет контролировать правильность последовательности выполнения технологических

операций автотранспортном предприятии и на станции технического обслуживания с использованием технологий компьютерного зрения. Модель основана на анализе видеопотока, распознавании объектов в определенных путевых точках и сравнении фактической последовательности действий с нормативной. Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования.

Далее осуществляется установка координат каждой из n путевых точек wp и задание маркированного списка их правильной последовательности Wr. Для этого пользователем задается количество путевых точек n и пиксельные координаты каждой из них (wp_1, wp_2, ..., wp_n), которые соответствуют ключевым этапам выполнения технологической операции. Например, первая путевая точка – пульт управления подъемником, вторая – зона вокруг капотного пространства автомобиля, третья – зона получения запасных частей и расходных материалов. Также формируется маркированный список Wr, содержащий правильную последовательность прохождения этих точек.

Алгоритм фиксирует время начала выполнения технологических операций для дальнейшего анализа.

Затем активируется предобученная модель компьютерного зрения (детектор), которая будет анализировать видеопоток и распознавать объекты, связанные с выполнением операций. Перечень распознаваемых объектов – человек («person»), автомобиль («car»).

Производится обработка каждого кадра из видеопотока. Для каждой путевой точки wpn выполняется следующая последовательность действий. В текущем кадре производится попытка распознать объекты, связанные с выполнением операции в пределах координат путевой точки wp_n.

Далее проверяется условие, был ли в зоне путевой точки успешно распознан требуемый объект. Если нет, то осуществляется переход к следующему кадру. Если объект успешно распознан, фиксируется время его детектирования t.

Для распознанного объекта рассчитывается метрика Intersection over Union (IoU), которая показывает степень совпадения распознанного объекта с ожидаемой зоной путевой точки.

Рассчитанное значение IoU добавляется в маркированный список w_f, который содержит данные о факте наличия человека в зоне каждой путевой точки.

Для каждой путевой точки wpn определяется индекс максимального значения IoU argmax(wp_n) (то есть момент, когда объект был наиболее точно распознан). Эти индексы добавляются в новый список W_f, который отражает фактическую последовательность прохождения путевых точек.

Список W_f сортируется по возрастанию индексов достижения путевых точек, что позволяет получить фактическую последовательность выполнения операций.

Далее осуществляется сравнение фактической последовательности выполнения операций (W_f) с нормативной последовательностью (W_r). Если условие выполняется, то принимается решение о том, что фактическая последовательность действий соответствует нормативной. Если условие не выполняется, то принимается решение о том, что фактическая последовательность действий не соответствует нормативной.

Последним этапом является вывод информации о соответствии фактической последовательности выполнения операций нормативным требованиям, после чего алгоритм завершает работу.

Алгоритм использует технологии компьютерного зрения для контроля последовательности выполнения технологических операций на станции технического обслуживания. Он анализирует видеопоток, распознает объекты в заданных путевых точках и сравнивает фактическую последовательность действий с нормативной. Результатом работы является определение, соответствует ли фактическая последовательность выполнения операций установленным нормативам.

Имитационная модель контроля факта выполнения технологических операций при производстве работ

Алгоритм имитационной модели представлен на рисунке 2.56. Алгоритм представляет собой процесс обучения сверточной нейронной сети (CNN) на основе предобученной модели YOLO (You Only Look Once) для задачи детектирования объектов [296]. С некоторыми изменениями алгоритм может быть адаптирован для работы с другими типами сверточных нейронных сетей. Алгоритм включает этапы загрузки данных, настройки параметров, обучения модели и оценки её точности.

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для обучения модели. Далее производится загрузка предобученной модели YOLO, которая уже содержит начальные веса w. Эти веса используются как отправная точка для дальнейшего обучения модели на новых данных. Устанавливаются необходимые библиотеки, зависимости и модули, которые требуются для работы модели и обработки данных (например, библиотеки для работы с изображениями, метриками и т.д.).

Для обучения модели необходимо заранее сформировать набор данных (датасет) и разметить его. Набор должен содержать фотографии детектируемого объекта. Разметка предполагает определение координат объекта на изображениях и сохранение их в отдельном файле.

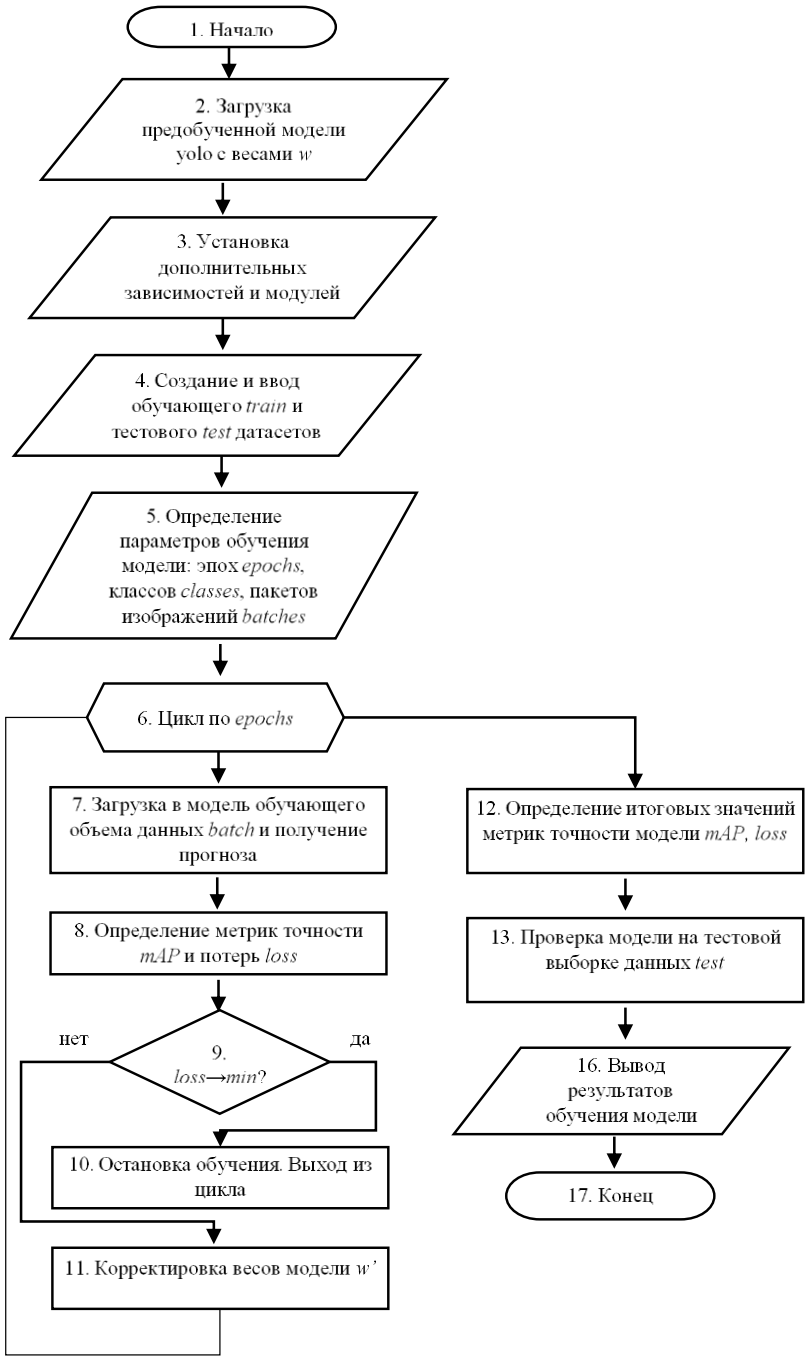


Рисунок 2.56 – Алгоритм обучения сверточной нейронной сети для детектирования объектов

Весь исходный набор данных с использованием рандомизаторов разделяется на два набора данных:

- train — обучающий датасет, который используется для обучения модели;
- test — тестовый датасет, который используется для проверки качества обученной модели.

Пользователем задаются основные параметры обучения модели:

- epochs — количество эпох (полных проходов по обучающему датасету);
- classes — количество классов объектов, которые модель должна научиться распознавать;
- batches — размер пакетов изображений, которые будут подаваться на вход модели за один шаг обучения.

После компиляции модель запускается цикл ее обучения, который выполняется заданное количество итераций (эпох - epochs).

В модель загружается пакет изображений (batch) из обучающего датасета, и модель делает прогноз для этих изображений.

Рассчитываются метрики качества модели:

- mAP (mean Average Precision) — средняя точность модели при детектировании объектов;
- loss — функция потерь, которая показывает, насколько прогнозы модели отличаются от истинных значений.

После каждой эпохи проверяется, достигла ли функция потерь минимального значения. Если да, то обучение прекращается, так как дальнейшее улучшение модели невозможно или нецелесообразно. Производится остановка обучения и выход из цикла. Если нет, то модель переходит к следующему шагу обучения. При этом веса модели корректируются с использованием установленных пользователем методов оптимизации (например, градиентного спуска). Новые веса обозначаются как w’.

Предыдущие эпохи обучения повторяются до достижения высокой точности распознавания или завершения заданного количества эпох. После завершения цикла рассчитываются итоговые значения метрик mAP и loss, которые характеризуют точность обученной модели.

Модель проверяется на тестовом датасете (test), чтобы оценить её способность обобщать знания и работать с новыми данными. Затем выводятся результаты обучения модели, включая итоговые значения метрик mAP и loss, а также примеры работы модели на тестовых данных. После этого алгоритм завершает работу.

Таким образом, приведенный выше алгоритм описывает процесс обучения сверточной нейронной сети YOLO для задачи детектирования объектов. Он включает загрузку предобученной модели, подготовку данных, настройку параметров, цикл обучения с корректировкой весов и оценку качества модели на тестовых данных. Результатом работы является обученная модель, способная эффективно распознавать и локализовать объекты на изображениях.

Алгоритм модели контроля факта выполнения технологических операций при производстве работ по ТО и Р автомобилей представлен на рисунке 2.57.

Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая позволяет контролировать факт выполнения технологических операций на станции технического обслуживания (СТО) с использованием технологий компьютерного зрения. Модель основана на анализе видеопотока, распознавании объектов и фиксации факта и времени их детектирования для подтверждения выполнения операций.

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования. Первым этапом является ввод данных о параметрах технологического процесса и классах детектируемых объектов. При этом задаются параметры технологического процесса, такие как типы операций, которые необходимо контролировать, а также классы объектов, которые должны быть распознаны в видеопотоке. Например, это могут быть инструменты, запасные части или оборудование, связанные с выполнением операций.

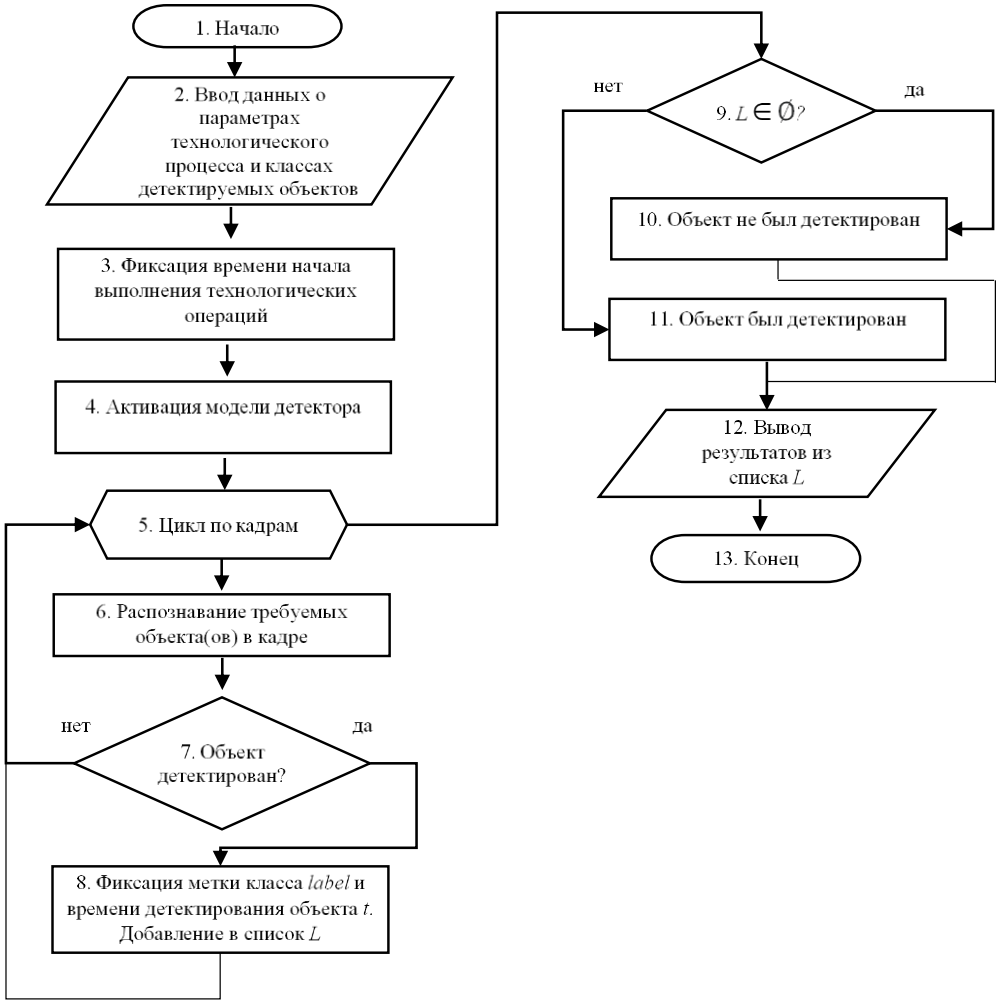


Рисунок 2.57 – Алгоритм модели контроля факта выполнения технологических операций при производстве работ по ТО и Р автомобилей

Фиксируется время начала выполнения технологических операций ($t_{нач}$) для дальнейшего анализа.

Затем активируется модель компьютерного зрения (детектор), которая будет анализировать видеопоток и распознавать объекты, связанные с выполнением операций.

Производится обработка каждого кадра из видеопотока. В текущем кадре производится попытка распознать объекты, связанные с выполнением операции. Проверяется, был ли успешно распознан требуемый объект. Если да, то производится фиксация метки класса распознанного объекта label и времени его детектирования t. Эти данные добавляются в маркированный список L, который содержит информацию о всех распознанных объектах. Если нет, то производится переход к следующему кадру.

После обработки всех кадром проверяется, пуст ли список L. Если да, то объект не был детектирован, что может свидетельствовать о том, что операция не была выполнена. Если нет, то объект был детектирован, что подтверждает факт выполнения операции.

После завершения цикла по кадрам выводятся результаты из списка L, которые содержат информацию о распознанных объектах, их классах и времени детектирования. Это позволяет подтвердить факт выполнения технологических операций. Затем алгоритм завершает работу.

Таким образом, алгоритм использует технологии компьютерного зрения для контроля факта выполнения технологических операций на станции технического обслуживания. Он анализирует видеопоток, распознает объекты, связанные с выполнением операций, и фиксирует время их детектирования. Результатом работы является подтверждение или отсутствие факта выполнения операций на основе данных о распознанных объектах.

Имитационная модель определения периодичности, величины и времени запаздывания операций контроля

Алгоритм модели представлен на рисунке 2.58. Алгоритм представляет собой имитационную модель, которая позволяет оценить эффективность системы контроля производственных процессов на станции технического обслуживания (СТО). Модель учитывает параметры системы контроля, такие как количество точек контроля, величина управляющего воздействия (УВ) и время его запаздывания. Результатом работы является определение затрат на систему контроля при заданных значениях ее параметров.

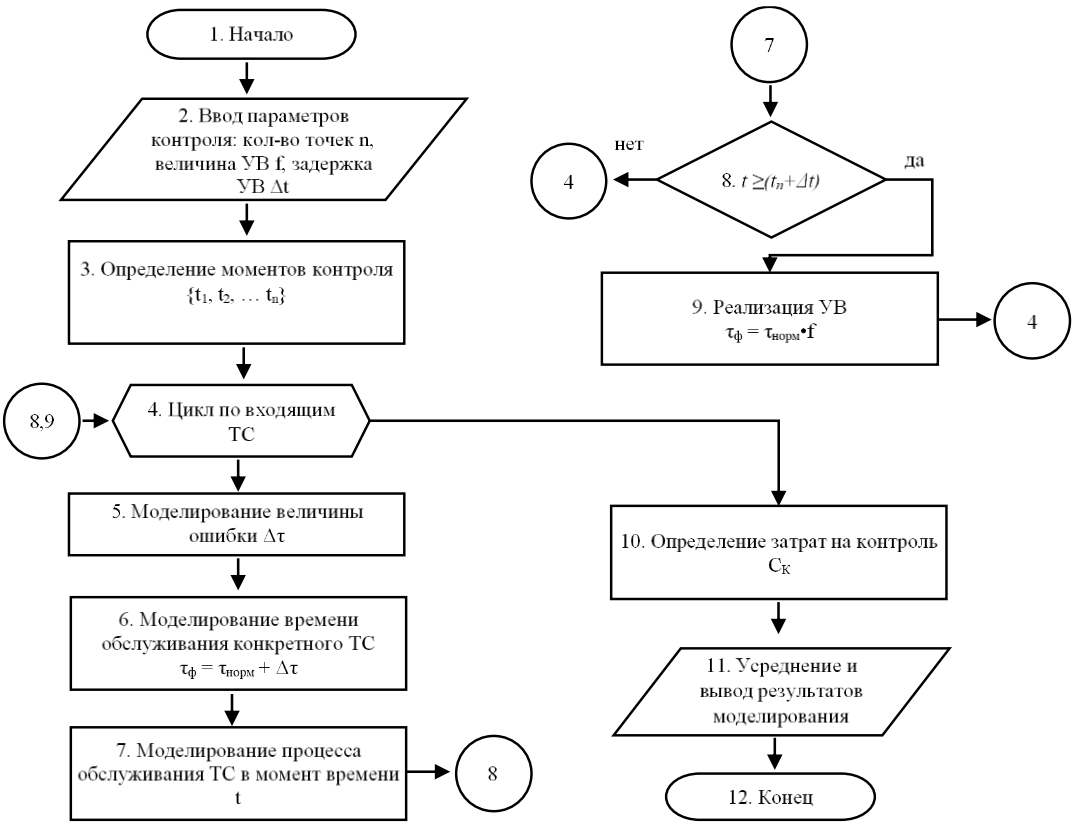


Рисунок 2.58 – Алгоритм имитационной модели контроля производственных процессов по ТО и Р автомобилей

Алгоритм начинается с инициализации всех необходимых параметров и данных для моделирования. Пользователем задаются основные параметры системы контроля:

- n — количество точек контроля в течение рабочей смены;
- f — величина управляющего воздействия (УВ), выраженная в процентах (от 0 до 100%);
- Δt — задержка применения УВ в часах;
- $\tau_{норм}$ — нормативная трудоемкость обслуживания и ремонта входящих автомобилей.

На основе количества точек контроля n определяются моменты времени $\{t_1, t_2, \dots t_n\}$ в течение рабочей смены, в которые будут проводиться контроль выполнения технологических операций.

Для каждого автомобиля, поступающего в зону сервиса, выполняется следующая последовательность действий. Моделируется величина ошибки Δτ, которая постепенно нарастает и увеличивает фактическое время выполнения технологических операций по техническому обслуживанию и ремонту автомобиля исполнителями. Затем осуществляется моделирование времени обслуживания

конкретного ТС на рабочем посту при случайном значении ошибки. Фактическое время обслуживания автомобиля исполнителем рассчитывается как:

$$\tau_ф=\tau_{норм}+\Delta\tau, \quad (2.66)$$

где $\tau_ф$ — фактическое время обслуживания, $\tau_{норм}$ — нормативное время, $\Delta\tau$ — величина ошибки.

Далее проверяется условие, достигнуто ли время $(t_n + \Delta t)$, то есть момент, когда должно быть применено управляющее воздействие (УВ). Если да, то моделируется применение управляющего воздействия, которое снижает фактическую трудоемкость выполнения работ до нормативного значения по формуле:

$$\tau_ф=\tau_{норм}\cdot f. \quad (2.67)$$

После обработки всех автомобилей определяются затраты на систему контроля $C_К$, которые учитывают стоимость каждого управляющего воздействия и потери предприятия, связанные с увеличением фактического времени производства работ.

Результаты моделирования усредняются для анализа эффективности системы контроля. Выводится изменение во времени показателей средней величины ошибки $\Delta\tau$; фактического времени обслуживания автомобилей $\tau_ф$; затрат на систему контроля $C_К$. После этого алгоритм завершает работу.

Таким образом, приведенный алгоритм позволяет моделировать процесс контроля производственных операций на станции технического обслуживания, учитывая параметры контроля, такие как количество точек контроля, величина управляющего воздействия и время его запаздывания. Модель позволяет оценить влияние ошибок на выполнение технологических операций и рассчитать затраты на систему контроля. Результатом работы является определение оптимальных параметров контроля для минимизации потерь и повышения производительности.

2.5. Показатели эффективности функционирования системы

2.5.1. Анализ показателей эффективности технической эксплуатации автомобилей

В теории управления предприятиями используется широкий перечень показателей эффективности [131].

Выделяют понятия эффекта и эффективности [210]. Эффект - результат деятельности, являющийся абсолютной величиной и выражающийся в определенных единицах (рублях, количестве клиентов и т.д.)

Эффективность - отношение этого результата (эффекта) к затратам, являющийся относительной величиной и выражается в процентах. В системном анализе под эффективностью процесса понимают степень его приспособленности к достижению цели [8].

Показатель – характеристика, отражающая качество системы или целевую направленность процесса, реализуемого системой [8]. Показатели делятся на частные показатели эффективности, отражающие существенное свойство системы, и обобщенные показатели эффективности, содержащие совокупность свойств системы в целом.

К показателям экономического эффекта относятся:

- прибыль;
- снижение затрат в абсолютном выражении;
- прирост стоимости собственного капитала;
- снижение налогового бремени;
- рост производительности труда.

К показателям экономической эффективности относятся:

- показатели рентабельности (прибыль/затраты);
- фондоотдача;
- оборачиваемость (оборотных активов, собственного капитала, заемного капитала).

Существует устоявшийся перечень показателей оценки эффективности бизнеса (или KPI). Сущность этих показателей раскрыта в [1, 266]. Перечислим основные из них:

•sales revenue (выручка от реализации);

•net profit margin (чистая рентабельность бизнеса);

•gross margin (валовая прибыль);

•cost of customer acquisition (стоимость привлечения клиента);

•customer lifetime value (пожизненная ценность клиента);

•customer loyalty and retention (лояльность и возвращаемость клиентов);

•return on investment (коэффициент рентабельности инвестиций);

•churn rate (показатель оттока клиентов).

Достаточно подробный обзор показателей эффективности при управлении транспортным предприятием представлен в работе [181]. Показатели эффективности могут отличаться в зависимости от области применения автомобилей [247, 312, 117].

В качестве основных показателей эффективности предприятия часто применяется чистая рентабельность бизнеса (NPM - Net Profit Margin), учитывающая также потери от недополученной выгоды, связанной с неэффективной организацией работы системы, и рентабельность инвестиций (ROI - Return On Investment), определяемые по формулам (2.68) и (2.69):

$$NPM = \frac{NI}{R} \cdot 100\%, \tag{2.68}$$

где NPM – чистая рентабельность, %;
NI – чистая прибыль, тыс.руб;
R – доход, тыс.руб.

$$ROI = \frac{NRI}{CI} \cdot 100\%, \tag{2.69}$$

где ROI - рентабельность инвестиций, %;
NRI – чистая рентабельность инвестиций, тыс.руб;
CI – стоимость инвестиций, тыс.руб.

Поскольку чистая рентабельность отражает текущий уровень затрат и прибыли предприятия, то можно говорить о том, что она является выходным значением некоторой функции затрат на функционирование системы управления:

$$NPM = f(C_{упр}). \tag{2.70}$$

Рентабельность инвестиций является функцией от затрат, связанных с организацией работы системы управления:

$$ROI = f(C_{орг}). \tag{2.71}$$

Использование двух показателей эффективности обусловлено тем, что первый показатель (NPM) учитывает эффективность текущей производственной деятельности без учета капитальных затрат на сооружение и оснащение предприятия, а второй показатель (ROI) учитывает первоначальные вложения и срок их окупаемости за счет получаемой от операционной деятельности прибыли. Очевидно, что предприятие может показывать положительную динамику по первому показателю, но при этом будет не способно окупить первоначальные вложения, либо на это может потребоваться большой срок. Поэтому для руководства предприятием может быть важно оценить эффективность предприятия сразу по двум приведенным показателям.

В теории управления организационными системами авторами приведены методики оценки эффективности организационной структуры предприятия [125]. Организационная структура представлена в виде графа. В результате анализа установлено, что содержание каждого узла графа организационной структуры ассоциируется с определенными ресурсными затратами. Предполагается, что величина затрат на поддержание функционирования узла v зависит от информационного потока, непосредственно контролируемого данным узлом, и может быть описана некоторой функциональной зависимостью K. Таким образом, общая стоимость $P(G)$ графа организационной структуры $G=\langle V,E\rangle$, где V представляет собой множество управляющих узлов (вершин графа, обладающих подчиненными), а E — множество дуг, определяющих иерархические связи между узлами, выражается как сумма стоимостей всех узлов:

$$P(G)=\sum_{\upsilon\in V}K(\upsilon). \qquad (2.72)$$

Следовательно, задача определения оптимальной структуры системы управления технологическими процессами формулируется как задача поиска оптимального орграфа организации для заданной группы исполнителей N с учетом функционала стоимости узла.

Затраты на поддержание узла управления определяются объемом информационного потока, который данный узел контролирует. Поскольку узлом управления является человеческий агент, авторы акцентируют внимание на когнитивных ограничениях, присущих переработке информации человеком. Каждая дополнительная единица информации воспринимается с возрастающей сложностью, требуя увеличения временных, энергетических и квалификационных ресурсов. Данное явление находит отражение в выпуклости функции затрат K относительно компонент информационного потока, что свидетельствует о нелинейном характере зависимости затрат от объема обрабатываемой информации.

Таким образом, модель учитывает ограниченную пропускную способность человеческого агента как процессора информации, что обусловливает необходимость минимизации издержек при проектировании оптимальной организационной структуры.

Показатели эффективности перевозок автомобильным транспортом приведены в работе [144].

Используют также понятие критерия эффективности. Это обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы (лучшего решения) [8].

Обычно используют критерии минимизации или максимизации значения целевой функции, т.е. лучшее решение определяется либо при достижении наименьшего, либо наибольшего значения показателя эффективности системы.

Методика оценки экономической эффективности комплексного использования транспорта при планировании грузовых и пассажирских перевозок представлена в работе [18].

Основными показателями оценки эффективности технической эксплуатации автомобилей на предприятии является коэффициент выпуска $\alpha_в$ и коэффициент технической готовности $\alpha_т$ [178]. Эти показатели были подробно рассмотрены в 1 главе диссертации. Некоторые исследователи [76] используют также коэффициент нерабочих дней $\alpha_н$, который характеризует долю календарного времени, в течение которого исправный автомобиль не используется по организационным причинам и равен отношению числа дней простоя в исправном состоянии по организационным причинам $Д_н$ к числу дней в цикле $Д_ц$:

$$\alpha_н = \frac{Д_н}{Д_ц}. \qquad (2.73)$$

Те же авторы предлагают следующую взаимосвязь показателей оценки эффективности эксплуатации автомобилей:

$$\alpha_Т = \alpha_В + \alpha_Н. \qquad (2.74)$$

Также используют комплексные показатели оценки эффективности эксплуатации автомобилей [191]. Такие показатели используют большое количество эмпирических коэффициентов, учитывающих различные факторы, влияющие на эффективность, например, количество отказов автомобиля, уровень безопасности, экологичность и т.п.

Применительно к предприятиям автомобильного сервиса выделяют несколько групп показателей, характеризующих эффективность [155]:

- общая эффективность деятельности;
- эффективность использования трудовых ресурсов;
- эффективность использования производственных фондов;
- эффективность использования финансовых ресурсов.

Тем не менее, «главным показателем эффективности работы предприятия технического сервиса является прибыль» [155]. Прибыль является абсолютным показателем. Применяются и такие относительные показатели, как рентабельность.

Следует отметить, что наиболее часто в качестве показателей оптимизации сложных транспортных систем используются экономические показатели. Как правило, это затраты на транспортное обслуживание, обеспечение готовности техники и т.п. Например, для определения оптимального количества структурных элементов транспортной системы автором [44] используются критерии оптимизации, заключающиеся в минимизации приведенных затрат на доставку

грузов и пассажиров, учитывающие стоимость груза, затраты на его транспортировку, на оплату услуг участников процесса доставки и суммарные затраты времени на доставку.

Используются и удельные показатели оценки эффективности работы предприятий технического сервиса. В работе [120] предлагается производить оценку эффективности процессов ТО и Р предприятий автосервиса, а, следовательно, и вариантов ОФТП этих предприятий по показателю удельных затрат на производство услуг по ТО и Р – C_{irk} и его составляющей – удельных затрат на производство кооперативно предоставляемых услуг $C_{кооп}$. C_{irk} можно также охарактеризовать как приведенные затраты, приходящиеся на выполнение r-го вида услуг k-й марки автомобиля на j-м предприятии автосервиса. Авторы определили факторы, оказывающие наибольшее влияние на указанные показатели эффективности: степень $C_м$ и уровень механизации $У_м$, уровень специализации $У_{сп}$ и продуктивность ремонтно-обслуживающего персонала Q:

$$\left\{\begin{matrix} C_{irk} = f(У_м, C_м, У_{сп}, Q) \\ C_{кооп} = f(У_м, C_м, У_{сп}, Q) \end{matrix}\right\}. \qquad (2.75)$$

Некоторые исследователи применяют интегральные критерии для оценки эффективности функционирования транспортно-технологических систем. Так, например, в работе [143] железнодорожная промышленная транспортная система представляется в виде сложной транспортно-логистической системы, эффективность которой можно оценить интегральным показателем:

$$F = \sum_{i=1}^{M} q_i \to \min, \qquad (2.76)$$

где q – вместимость или запас транспортного элемента (потока);

M – общее количество накопительных элементов в системе.

Представленный критерий позволяет решить задачу повышения качества транспортного обслуживания клиентов путем уменьшения величины транспортно-грузовых партий, минимизируя запасы в накопительных элементах системы.

Поскольку доказано, что зона технического сервиса автомобилей является системой массового обслуживания (СМО) [79], то для оценки ее эффективности используют показатели оценки из теории массового обслуживания, такие как [40, 30]:

- абсолютная пропускная способность - среднее число заявок, которое может обслужить СМО в единицу времени;

- относительная пропускная способность - отношение среднего числа обслуженных заявок за единицу времени к среднему числу всех поступивших заявок за тоже время, т.е. средняя доля обслуженных заявок среди всех поступивших;
- среднее число занятых каналов;
- среднее относительное время простоя системы в целом и отдельного канала;
- среднее число заявок в очереди;
- среднее число заявок в системе (в очереди и под обслуживанием);
- среднее время ожидания заявки в очереди;
- среднее время пребывания заявки в системе,

и другие характеристики.

Экономическая эффективность СМО в общем виде может быть оценена показателем издержек от функционирования системы [178]:

$$И = C_1 r + C_2 n_{св} + (C_1 + C_2)\rho, \qquad (2.77)$$

где C_1 – стоимость простоя автомобиля в очереди;

r – средняя длина в очереди;

C_2 – стоимость простоя обслуживающего канала;

$n_{св}$ – количество простаивающих каналов.

ρ – приведенная плотность потока требований на проведение технических воздействий

Подобный подход в различных вариациях используется достаточно часто. Так, например, В.М. Власов определяет количественную оценку величины эффекта от внедрения прогрессивных организационно-технологических мероприятий путем сравнения суммарных затрат на функционирование системы обслуживания заданной мощности и прибыли, получаемой за счет сокращения потерь линейного времени автомобилей [33]. Вид предлагаемой автором целевой функции был рассмотрен в главе аналитических исследований, характер изменения затрат и потерь в рамках рассматриваемого «затратного» подхода представлен на рисунке 2.59.

С увеличением затрат на содержание системы обслуживания увеличивается вероятность выполнения производственной программы в срок, однако снижается прибыль предприятия из-за изъятия автомобилей из транспортного процесса на время обслуживания и ремонта. График изменения суммарных затрат будет иметь точку минимума, которая и будет соответствовать оптимальной ОФТП.

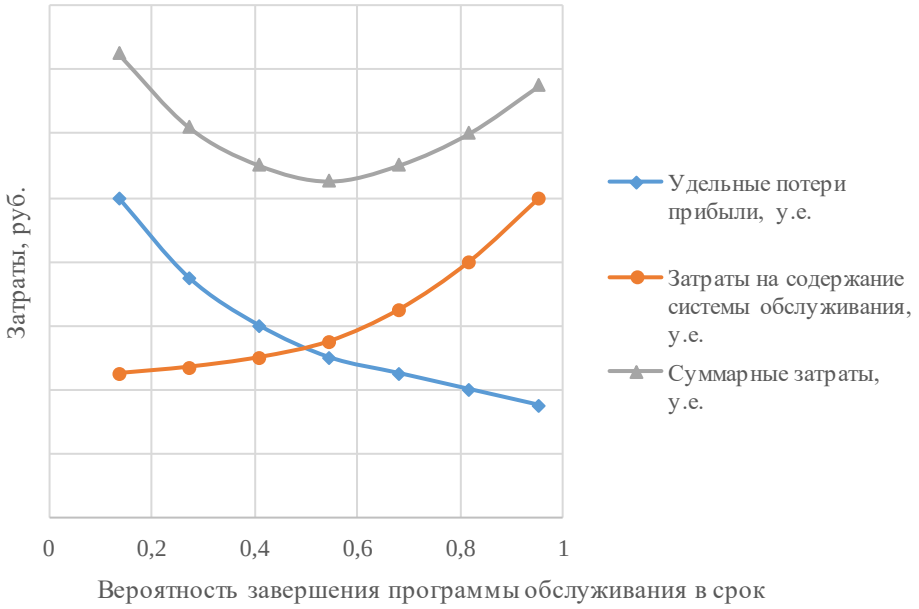


Рисунок 2.59 – Характер изменения затрат и потерь целевой функции определения оптимальной формы организации технологического процесса [33]

2.5.2. Показатели и критерий эффективности организационной структуры предприятия автомобильного транспорта

Оценка разных вариантов организации дерева управления производится по критерию минимизации суммарной стоимости графа управления [278]. Стоимость графа состоит из затрат на содержание узлов графа организации и затрат на работу одного узла. Первая составляющая затрат зависит от количества узлов контроля (менеджеров), а вторая - от количества функций, контролируемых одним узлом. В источниках [283] утверждается, что у людей есть ограничения на перерабатываемый объем информации - каждая новая единица информации усваивается (и контролируется) тяжелее, чем предыдущая. Выделяют понятие «норма управляемости», которая равна семи подчиненным либо семи несвязанным между собой объектам – задачам или бизнес-функциям [292]. Можно предположить, что при увеличении количества контролируемых функций относительно семи вероятность возникновения ошибки будет расти [286]. Психолог и нобелевский лауреат Д.Канеман говорит об ограниченности ментальных ресурсов для принятия решений, называя это «истощением эго» [72]. При превышении предела накопленной психоэмоциональной энергии человек начинает плохо справляться с задачами, требующими использования так называемой «системы 2» или интеллектуальных способностей своего мозга. Это соотносится с понятием нормы управляемости и в целом говорит о некотором пределе интеллектуальных задач, которые может выполнить человек. Следовательно, функция затрат на работу одного узла будет расти при увеличении

количества контролируемых функций на 1 узел. Эти затраты также можно назвать потерями, возникающими вследствие ошибок управления при большом количестве функций на одном менеджере [287]. При этом затраты на содержание узлов будут уменьшаться пропорционально уменьшению их количества, поскольку один руководящий узел будет забирать на себя контроль всех производственных функций [313]. Следовательно, график суммарной стоимости графа будет являться выпуклым и иметь вид, показанный на рисунке 2.60 [125 стр. 345].

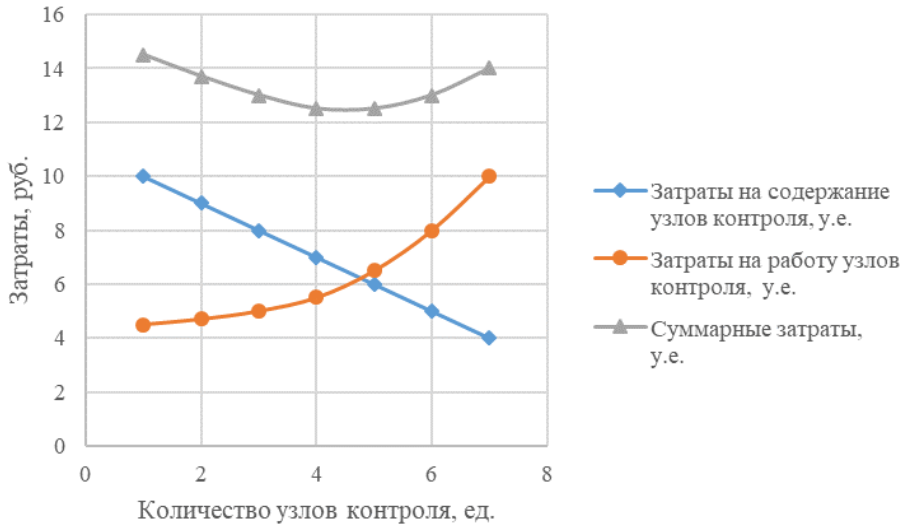


Рисунок 2.60 – Характер изменения составляющих затрат целевой функции

Таким образом, целевая функция для поиска оптимальной организационной структуры будет равна:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{р.}} + C_{\text{с.}} \rightarrow min, \tag{2.78}$$

где C_{Σ} – суммарные затраты на организационную структуру, руб.;
$C_{\text{р.}}$ – затраты на работу узлов контроля, руб.;
$C_{\text{с.}}$ – затраты на содержание узлов контроля, руб.

$$C_{\text{с.}} = m \cdot C_{\text{з.п.}}, \tag{2.79}$$

где m – количество узлов контроля (менеджеров), ед.;
$C_{\text{з.п.}}$ – годовая заработная плата одного управляющего работника, руб.

$$C_{\text{р.}} = N_{\text{кл.}} \cdot C_{\text{пот.}} \cdot P_{\text{ош}} \cdot \sum_{i=1}^{n} (N_i)^{\alpha\beta}, \tag{2.80}$$

где $N_{\text{кл}}$ – годовое количество автомобиле-заездов в зону технического сервиса, ед.; для АТП данный показатель будет зависеть от размера парка $A_{\text{сс}}$ и интенсивности эксплуатации ω, т.е. $N_{кл} = f(A_{сс}; \omega)$;

$C_{пот}$ – стоимость потери одного клиента в год, руб.; для АТП – величина недополученной прибыли вследствие снижения эффективности контроля, руб.;

$P_{ош}$ – вероятность потери клиента (совершения ошибки управления) вследствие снижения эффективности контроля;

N – количество технологических звеньев под управлением одного менеджера, ед.;

α – степень однородности технологического процесса (коэффициент);

β – уровень квалификации управленческого персонала (коэффициент).

Параметр α характеризует сложность управления и зависит от количества постов (исполнителей) x и функций b на каждом технологическом звене и варьирует в пределах от 1 до 1,5. Максимальные значения α достигаются при большом количестве исполнителей и функций под управлением одного менеджера.

$$\alpha = \frac{(x_i b_i - \min(xb))(1.5-1)}{\max(xb) - \min(xb)} + 1, \qquad (2.81)$$

где k – количество разнородных технологических звеньев, управляемых одним менеджером, ед.

Для менеджеров высокой квалификации параметр β равен 1. Увеличение параметра β говорит о снижении квалификации управляющих звеньев.

2.5.3. Показатели и критерий эффективности производственной структуры предприятия автомобильного транспорта

Используя описанные выше подходы к оценке эффективности систем массового обслуживания, можно применить для оценки эффективности производственной структуры предприятия показатель суммарных затрат на организацию производства, определяемый как сумма величины издержек от функционирования системы массового обслуживания:

$$C_{пр\Sigma} = C_1 r + C_2 n_{св} + (C_1 + C_2)\rho \to \min, \qquad (2.82)$$

где C_1 – стоимость простоя автомобиля в очереди;

r – средняя длина очереди;

C_2 – стоимость простоя обслуживающего канала;

$n_{св}$ – количество простаивающих каналов.

ρ – приведенная плотность потока требований на проведение технических воздействий

$$\rho = \frac{\omega}{\mu}, \tag{2.83}$$

где ω – параметр потока требований (треб/ч);
μ – интенсивность обслуживания (обсл./ч).

При увеличении μ плотность потока требований ρ уменьшается, а при уменьшении - растет. Это говорит о том, что при повышении эффективности работы поста величина ρ будет снижаться, вследствие чего будут снижаться и издержки на функционирование системы.

Задачей модели оптимизации будет являться поиск такой производственной структуры, при которой основные бизнес-функции будут распределены между производственными звеньями таким образом, чтобы был достигнут минимум суммарных затрат (2.82).

2.5.4. Показатели и критерий эффективности модели стимулирования технического персонала предприятия автомобильного транспорта

Как уже было представлено ранее, целевой функцией для подсистемы стимулирования производственных работников являются затраты на реализуемый тип базовой системы стимулирования при заданных значениях влияющих на систему факторов, а критерием эффективности – минимизация этих затрат при условии выполнения заданного объема работ по ТО и Р с надлежащим качеством:

$$C_{\sigma.opt} = \arg\min[\, C_K, C_C, C_L, C_D \,], \tag{2.84}$$

где C_K – затраты на компенсаторную систему стимулирования К-типа, руб.;
C_C - затраты на скачкообразую систему стимулирования С-типа, руб.;
C_L - затраты на пропорциональную систему стимулирования L-типа, руб.;
C_D - затраты на систему стимулирования D-типа, основанную на перераспределении дохода, руб.

Составляющие затрат на каждую базовую систему были рассмотрены на этапе построения математической модели системы.

2.5.5. Показатели и критерий эффективности контроля производственного процесса на предприятиях автомобильного транспорта

Технологический процесс ТО и Р автомобиля можно представить в виде ориентированного графа, вершинами которого являются технологические звенья

(посты) разных типов. Надстройкой к этому графу является организационная структура, которая определяет количество узлов управления (административных, инженерно-технических работников или менеджеров) и их взаимосвязи с технологическими звеньями (какой менеджер контролирует те или иные узлы). Так, каждый менеджер может контролировать определенное количество технологических звеньев. Каждое такое звено реализует одну или несколько технологических операций. Следовательно, каждое звено управления будет контролировать некоторую совокупность технологических операций (функций). Очевидно, что при большом количестве контролируемых функций на одного менеджера (норма управляемости) потребуется меньшее количество таких узлов управления [2]. При этом неограниченный рост возложенных на менеджера функций будет вызывать его перегрузку и приводить к возникновению ошибок. В случае с ошибкой при управлении основным бизнес-процессом (работами по ТО и Р автомобиля) можно получить значительные потери, связанные с потерей клиента (для станции технического обслуживания) или с увеличением простоя в ТО и Р и недополученной выгодой (для АТП, УТТ). Тогда целевая функция подсистемы контроля производственного процесса может иметь следующий вид:

$$C_{\text{к}} = C_{\text{оч}} + C_{\text{ош}} \rightarrow min, \tag{2.85}$$

где $C_{\text{к}}$ – суммарные затраты на контроль, руб.;

$C_{\text{оч}}$ – потери, связанные с нахождением автомобилей в очереди на техническое обслуживание и ремонт на одном из технологических звеньев, руб.;

$C_{\text{ош}}$ – потери, связанные с ошибками управления из-за несвоевременного контроля (или отсутствия контроля) производственных процессов, руб.

В свою очередь составляющие суммарных затрат определяются следующим образом.

$$C_{\text{оч}} = C_L \cdot r \cdot N_{\text{ТО,Р}}, \tag{2.86}$$

где r – средняя длина очереди, ч.;

C_L – стоимость единицы времени простоя в очереди, руб.;

$N_{\text{ТО,Р}}$ – производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед/сут.

$$C_{\text{ош}} = N_{\text{ТО,Р}} \cdot C_{\text{пот.}} \cdot P_{\text{ош}} \cdot \sum_{i=1}^{n} (N_i)^{\alpha\beta} \quad , \tag{2.87}$$

где $C_{\text{пот}}$ – стоимость потери одного клиента в год, руб.;

$P_{\text{ош}}$ – вероятность потери клиента вследствие снижения эффективности контроля, %;

N – количество технологических звеньев под управлением одного менеджера, ед.;

α – степень однородности технологического процесса (коэффициент);

β – уровень квалификации управленческого персонала (коэффициент).

График затрат целевой функции для разного количества точек контроля будет иметь вид (рисунок 2.61).

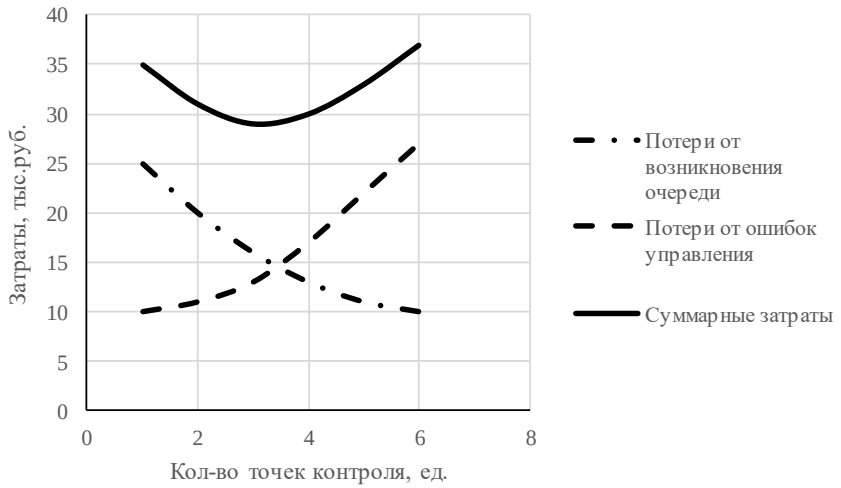


Рисунок 2.61 – График изменения затрат целевой функции от количества точек контроля

При увеличении количества точек контроля управляемая величина будет чаще возвращаться в пределы своих нормативных значений. Это уменьшит длину очереди и сократит потери $C_{оч}$. При этом будет увеличиваться количество управленческих функций на одного менеджера, поскольку точка контроля и реализации управляющего воздействия также является функцией менеджера. Тогда затраты на управление и потери от управленческих ошибок будут расти. В этих условиях требуется определить рациональное количество точек контроля, при котором суммарные затраты на контроль будут минимальны.

В качестве целевой функции исследования используются затраты на реализацию системы управления ТЭА на предприятиях автомобильного транспорта, а критерием оптимизации является минимизация значения целевой функции:

$$C_{\Sigma} = C_F + C_{SA} + C_U + C_K \to \min, \qquad (6)$$

где C_{Σ} – суммарные затраты на систему управления ТЭА, руб.;

C_F – затраты на подсистему планирования, зависят от величины расхождения между запланированными и фактическими значениями показателей, т.е. от точности плана, руб.;

C_{SA} – затраты на подсистему организации, зависят от изменения пропускной способности системы при текущей организационно-производственной структуре, а также от потерь, связанных с избыточными либо недостаточными параметрами этой структуры, руб.;

C_U – затраты на подсистему стимулирования, зависят от величины компенсации затрат исполнителей на выполнение работ по ТО и Р при выбранном базовом механизме стимулирования, руб.;

C_K – затраты на подсистему контроля, зависят от величины потерь, связанных с нарушениями производственных процессов вследствие неэффективности реализуемых контрольных мероприятий, руб.

Таким образом, итоговый перечень общих и частных показателей эффективности системы управления ТЭА на предприятии автомобильного транспорта представлен на рисунке 2.62.



Рисунок 2.62 – Показатели оценки эффективности ТЭА на предприятии автомобильного транспорта

2.6. Выводы по 2 главе

Во второй главе были проведены теоретические исследования, посвященные синтезу знаний о существенных связях между системой управления технической эксплуатацией автомобилей и окружающей средой. Определена структура изучаемой системы, установлены взаимосвязи между ее элементами. Сформированы гипотезы о видах математических моделей закономерностей влияния внешних к системе факторов на параметры системы управления ТЭА. Определены частные целевые функции для формирования эффективных параметров функционирования подсистем управления.

Рассмотрим полученные во второй главе результаты более подробно.

1. Представлен перечень используемых в работе методов исследования. К основным из них можно отнести эксперимент, анализ и синтез, индукцию и дедукцию, моделирование. В основу методологического подхода исследования положен системный анализ. Для описания бизнес процессов предприятия был

использован метод управления процессами BPM (Business Process Management). Для исследования, визуализации и повышения эффективности производственных процессов ТО и Р автомобилей на предприятии автомобильного транспорта был использован метод исследования процессов PM (process mining). Для математического описания системы использовались положения и математический аппарат теории управления организационными системами и теории автоматического управления. Для изучения поведения системы во времени и при возникновении событий использовалось дискретно-событийное имитационное моделирование и моделирование агентного типа. Для моделирования организационно-производственных структур использовалась теория графов. Для реализации практических инструментов контроля производственных процессов использовались методы и технологии компьютерного зрения. Для решения задач многофакторной обратной оптимизации применялись методы генетических алгоритмов. Для установления моделей закономерностей использовался корреляционно-регрессионный анализ, гармонический анализ, методы кластеризации, а также полносвязные искусственные нейронные сети.

2. Разработана математическая модель системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта. Модель реализуется с использованием теоретико-множественного подхода и описывает элементы структуры системы и взаимосвязи между ними. Производственная структура предприятия представляет собой ориентированный граф. Вершинами графа являются технологические звенья, реализующие работы по ТО и Р автомобилей, ребрами являются части технологических маршрутов ТО и Р, определяемых содержанием технологического процесса. Организационная структура является надстройкой над технологическим графом и представляет собой совокупность узлов управления. Совокупность технологических звеньев, организационной структуры предприятия и стратегии стимулирования составляет мотивационную структуру предприятия. Совокупность технологических звеньев и стратегий контроля формирует систему контроля реализации производственных процессов на предприятии. Формализована модель системы управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта, определены внешние неуправляемые факторы и внутренние управляемые факторы, к которым отнесена совокупность параметров подсистемы планирования и основной производственный процесс.

3. Сформулированы гипотезы о видах моделей закономерностей формирования подсистем управления технической эксплуатацией автомобилей. Гипотезы предполагают различные виды моделей аппроксимации, включая многофакторные нелинейные модели, основанные на главных эффектах.

4. Математическая модель для проведения экспериментальных исследований реализована в виде имитационной модели. Последняя представляет предприятие автомобильного транспорта как систему массового обслуживания, которая обрабатывает входящий поток заявок на ТО и Р автомобилей. Модель позволяет оценивать эффективность работы системы при различных вариантах и параметрах структуры управления. Выходными характеристиками имитационной модели являются относительная пропускная способность и затраты на функционирование системы.

5. Разработанный комплекс имитационных моделей состоит из одиннадцати имитационных моделей, представленных в диссертации в виде алгоритмов с детальным описанием. Он включает дискретно-событийные модели процессного типа, агентные модели, а также модели, основанные на методах системной динамики.

6. Для каждой из четырех рассматриваемых подсистем определены показатели и критерии эффективности. В качестве целевой функции исследования используются затраты на реализацию системы управления ТЭА на предприятиях автомобильного транспорта, а критерием оптимизации является минимизация значения целевой функции. В общем виде затраты на управление можно представить как сумму затрат на содержание системы и потерь, связанных с ее неэффективной организацией.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Обработка экспериментальных данных о параметрах системы управления технической эксплуатацией

Для определения типов и параметров законов распределения случайных величин был проведен пассивный эксперимент по обработке статистических данных о работе предприятия автомобильного транспорта.

В качестве источников данных выступили 16 станций технического обслуживания и ремонта автомобилей г. Тюмени. Анализировались данные о работе предприятий с 2020 по 2024 гг. Для анализа параметров 5, 9, 11 (таблица 3.1) дополнительно использовались данные из открытых источников.

Полученные данные были проверены на наличие грубых ошибок. Поскольку законы распределения случайных величин могут отличаться от нормального, то была использована методика интерквартильного размаха [187].

Очищенные от грубых ошибок данные были обработаны на предмет установления теоретических законов распределения. Методика построения функции распределения подробно рассмотрена в монографии [63].

Для группировки статистической выборки было определено число интервалов N. Поскольку каждая исследуемая величина имеет разные объемы выборки, то N определялось для каждого фактора отдельно. Выбор закона распределения производился по виду гистограммы [63, стр. 36]. Для оценки соответствия выбранного закона эмпирическому распределению использовался критерий Пирсона χ^2. Значение χ^2 не должно превышать табличное, определенное для данного числа степеней свободы, с определенной вероятностью. Установленные в ходе проведения пассивного эксперимента законы распределения и их параметры представлены в таблице 3.1 и на рисунке 3.1.

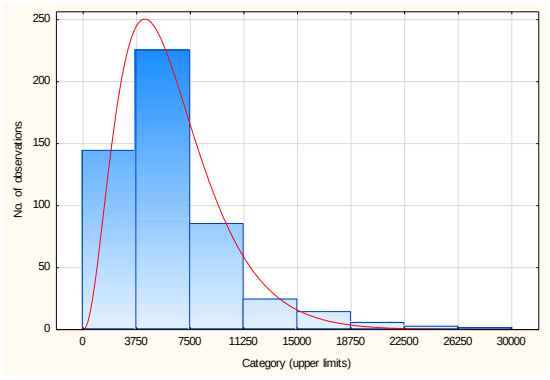
Таблица 3.1 – Установленные теоретические законы распределения случайных величин и их параметры

№	Наименование параметра	N_{int}	Закон распределения	Параметры закона распределения	Оценка соответствия
1	Входящий поток требований на ТО и Р, заявок в год	8	Гамма	$X_{ср}$=6233; σ=3886	$\chi^2 = 13{,}8 < \chi^2_{0{,}025;6} = 14{,}4$
2	Входящий поток требований на ТО и Р, заявок в мес.	13	Логнормальный	$X_{ср}$=474; σ=308	$\chi^2 = 3{,}3 < \chi^2_{0{,}05;11} = 19{,}7$

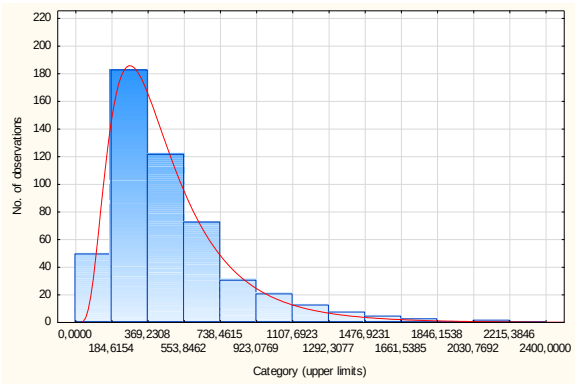
Продолжение таблицы 3.1.

3	Входящий поток требований на ТО и Р, заявок в смену	13	Логнормальный	$X_{ср}$=18; σ=10	$\chi^2 = 2,5 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
4	Входящий поток требований на ТО и Р, заявок в час	13	Логнормальный	$X_{ср}$=1,8; σ=1	$\chi^2 = 8,8 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
5	Реализуемый перечень работ (услуг) по ТО и Р, ед.	8	Логнормальный	$X_{ср}$=11; σ=4	$\chi^2 = 13,2 < \chi^2_{0,025;6} = 14,4$
6	Трудоемкость реализации одной услуги, ч	13	Логнормальный	$X_{ср}$=3,16; σ=0,9	$\chi^2 = 2,9 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
7	Реализованный объем работ по ТО и Р, час. в мес.	13	Логнормальный	$X_{ср}$=1541; σ=992	$\chi^2 = 2,3 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
8	Реализованный объем работ по ТО и Р, час. в год.	8	Экспоненциальный	$X_{ср}$=19905; σ=14017	$\chi^2 = 4,1 < \chi^2_{0,05;7} = 14,1$
9	Количество постов по ТО и Р, ед.	8	Экспоненциальный	$X_{ср}$=5; σ=4	$\chi^2 = 11,1 < \chi^2_{0,05;7} = 14,1$
10	Доход от реализации 1 услуги по ТО и Р, руб.	13	Логнормальный	$X_{ср}$=12821; σ=5387	$\chi^2 = 9,1 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
11	Площадь производственного корпуса, $м^2$	8	Экспоненциальный	$X_{ср}$=856; σ=762	$\chi^2 = 5,4 < \chi^2_{0,05;7} = 14,1$
12	Коэффициент загрузки постов	13	Логнормальный	$X_{ср}$=0,42; σ=0,29	$\chi^2 = 4,1 < \chi^2_{0,05;11} = 19,7$
13	Количество административных работников, чел.	8	Бета	$X_{ср}$=5; σ=3	$\chi^2 = 11,4 < \chi^2_{0,05;6} = 12,6$
14	Среднемесячный пробег автомобилей АТП, км.	8	Экспоненциальный	$X_{ср}$=2333; σ=2976	$\chi^2 = 4,7 < \chi^2_{0,05;7} = 14,1$

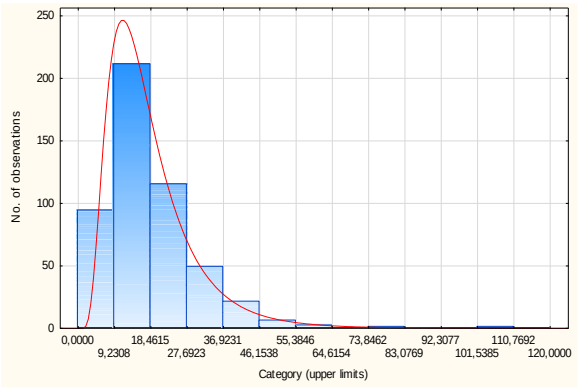
Гистограммы распределения количества попаданий в интервал и графики плотности распределения для рассматриваемых переменных, построенные в программе STATISTICA, представлены на рисунке 3.1.


No. of observations
Category (upper limits)
0
3750
7500
11250
15000
18750
22500
26250
30000

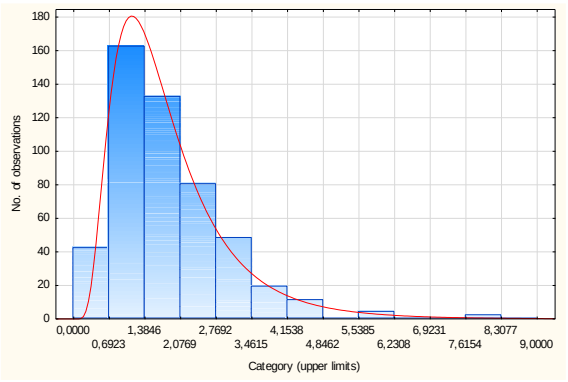
а


No. of observations
Category (upper limits)
0,0000
184,6154
369,2308
553,8462
738,4615
923,0769
1107,6923
1292,3077
1476,9231
1661,5385
1846,1538
2030,7692
2215,3846
2400,0000

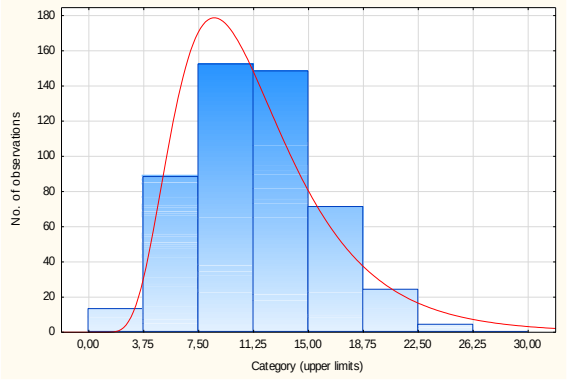
б


No. of observations
Category (upper limits)
0,0000
9,2308
18,4615
27,6923
36,9231
46,1538
55,3846
64,6154
73,8462
83,0769
92,3077
101,5385
110,7692
120,0000

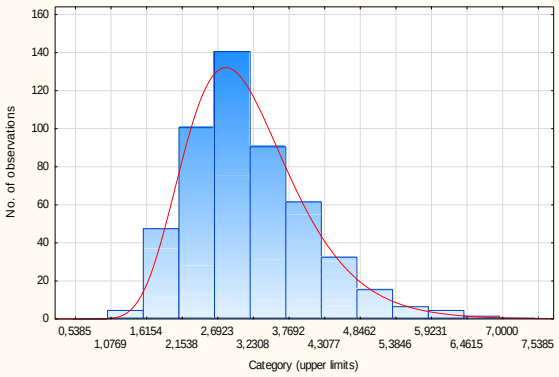
в


No. of observations
Category (upper limits)
0,0000
0,6923
1,3846
2,0769
2,7692
3,4615
4,1538
4,8462
5,5385
6,2308
6,9231
7,6154
8,3077
9,0000

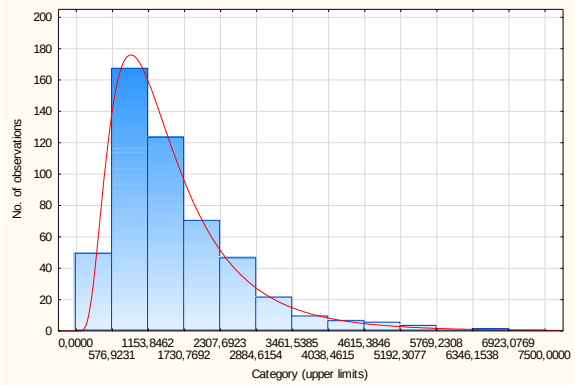
г


No. of observations
Category (upper limits)
0,00
3,75
7,50
11,25
15,00
18,75
22,50
26,25
30,00

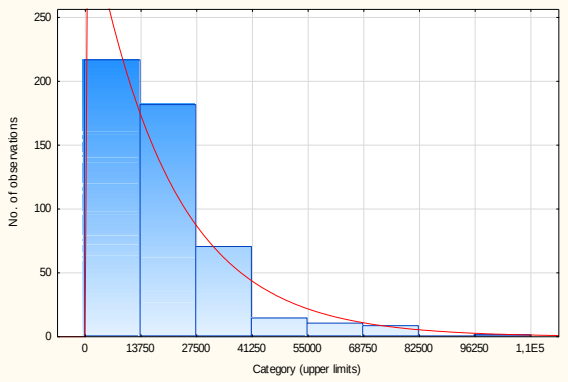
д


No. of observations
Category (upper limits)
0,5385
1,0769
1,6154
2,1538
2,6923
3,2308
3,7692
4,3077
4,8462
5,3846
5,9231
6,4615
7,0000
7,5385

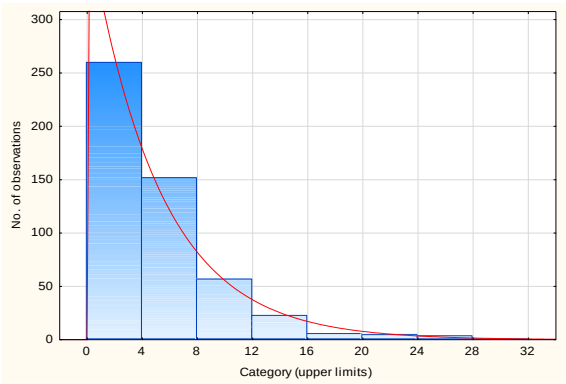
е


No. of observations
Category (upper limits)
0,0000
576,9231
1153,8462
1730,7692
2307,6923
2884,6154
3461,5385
4038,4615
4615,3846
5192,3077
5769,2308
6346,1538
6923,0769
7500,0000

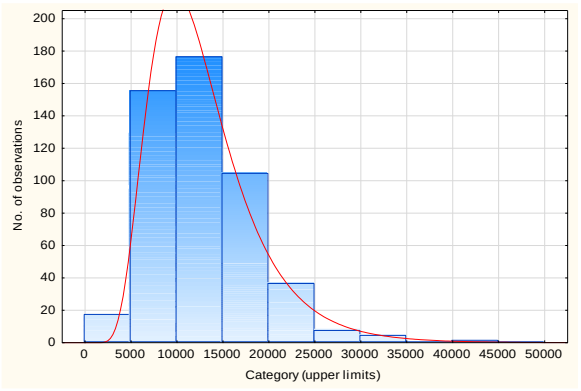
ж


No. of observations
Category (upper limits)
0
13750
27500
41250
55000
68750
82500
96250
1,1E5

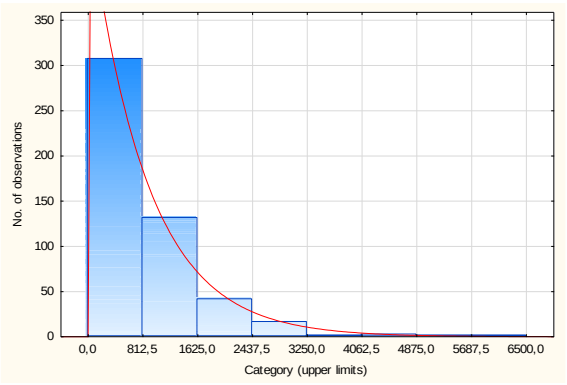
з



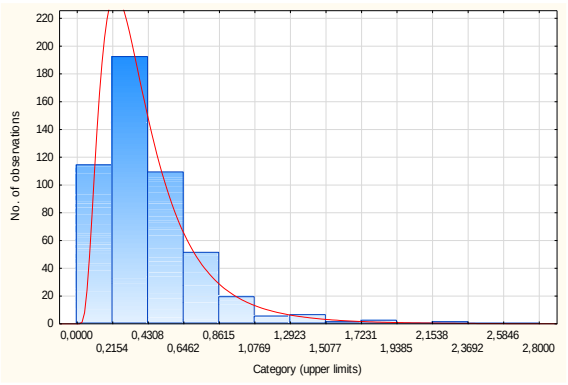
и



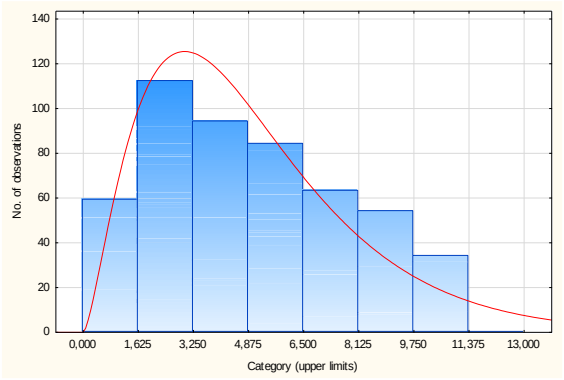
к



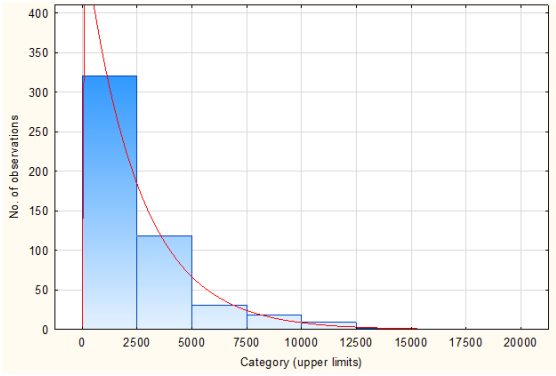
л



м



н



о

Рисунок 3.1 – Гистограммы распределения значений случайных факторов: а - входящий поток требований на ТО и Р, заявок в год; б - входящий поток требований на ТО и Р, заявок в мес.; в - входящий поток требований на ТО и Р, заявок в смену; г - входящий поток требований на ТО и Р, заявок в час; д - реализуемый перечень работ (услуг) по ТО и Р, ед.; е - трудоемкость реализации одной услуги, ч; ж - реализованный объем работ по ТО и Р, час. в мес.; з - реализованный объем работ по ТО и Р, час. в год.; и - количество постов по ТО и Р, ед.; л - доход от реализации 1 услуги по ТО и Р, руб.; к - площадь производственного корпуса, м^2; л - коэффициент загрузки постов; м - количество административных работников, чел.; о - среднемесячный пробег автомобилей АТП, км.

Для моделирования работы автотранспортных предприятий использовались экспериментальные данные, полученные автором в работе [81] для корпоративного парка транспортных средств крупного предприятия нефтепроводной отрасли Тюменской области, и актуализированные за 2008-2019 гг. При моделировании использовались значения межсервисных интервалов для автомобилей КАМАЗ, равные 15 000 км.[133], трудоемкости, указанные в нормативных документах [179], и вероятность отказа автомобиля, равная 0,01 отказ/100 км.пробега. Для моделирования изменения интенсивности эксплуатации техники в течение года использовалась закономерность, полученная в диссертации [142]:

$$L = 270 + 27{,}8 \cdot \cos(30(T - 2{,}4)). \quad (3.1)$$

Среднее время простоя автомобилей в текущем ремонте для анализируемого автотранспортного предприятия составляет 2,6 дня (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Анализ времени простоя в текущем ремонте для автотранспортного предприятия нефтепроводной отрасли

Месяц	Кол-во ТС, ед.	Суммарный простой в ТР, дней	Простой в ТР одного ТС, дней
1	85	60	0,7
2	85	925	10,9
3	81	17	0,2
4	81	83	1,0
5	79	107	1,4
6	79	131	1,7
7	80	54	0,7
8	79	43	0,5
9	80	72	0,9
10	80	1022	12,8
11	81	35	0,4
12	79	40	0,5
Среднее значение:			2,6

Была проанализирована информация об изменении показателей деятельности станции технического обслуживания автомобилей в течение года в г. Тюмени за период с 2020 по 2024 г.

Анализируемые показатели:

- производственная программа по ТО и Р $N_{мес}$, авт/мес.;
- реализованный объем работ по ТО и Р $V_{мес}$, ч./мес.;
- доход от реализации 1 услуги по ТО и Р (средний чек) $D_{мес}$, руб./мес.

Временной ряд согласно [63] состоит из трех составляющих: постоянной (трендовой) Y_C, периодической Y_T и случайной Y_P.

Для поиска постоянной составляющей были проанализированы усредненные по году данные на протяжении четырех лет (рисунок 3.2).

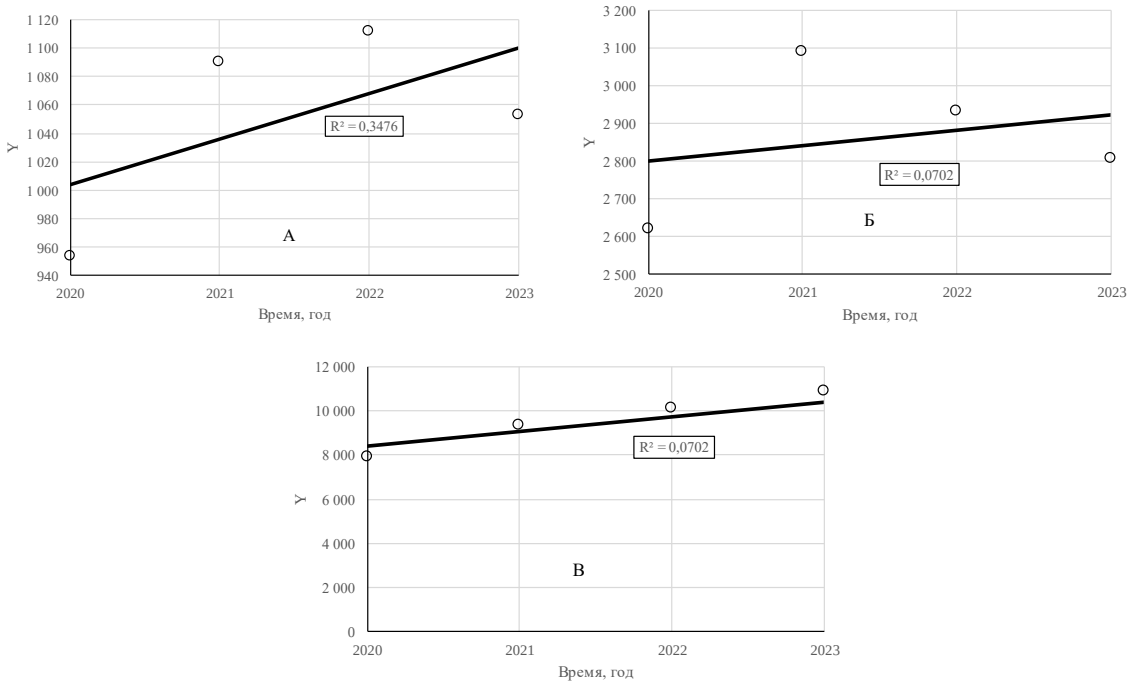


Рисунок 3.2 – Изменение показателей функционирования станции технического обслуживания по годам: А – заезды на СТО; Б – объем работ по ТО и Р; В – доход от реализации услуги

Проверка статистической значимости коэффициентов корреляции по t-статистике Стьюдента показала, что для первого рассматриваемого параметра коэффициент парной корреляции между Y_C и Т, равный 0,34 статистически значим при $t_{0,95} = 2,23$. Это говорит о наличии трендовой составляющей временного ряда, т.е. для рассматриваемой СТО количество автомобиле-заездов по годам увеличивается. Для двух других показателей коэффициенты парной корреляции статистически незначимы (таблица 3.3).

Анализ изменения усредненного значения показателей по месяцам в течение года показал наличие сезонной неравномерности, выражающейся в отклонении значений в весенние (апрель) и осенние (октябрь) месяцы от средних величин (рисунок 3.3).

Для аппроксимации эмпирических данных следует использовать гармонические модели. Процедура проведения гармонического анализа подробно описана в работе [63].

Таблица 3.3 – Значимость коэффициентов парной корреляции изменения исследуемого показателя по годам

№	Показатель	r^2	r	t_r
1	Производственная программа по ТО и Р, авт/мес	0,34	0,58	2,27
2	Реализованный объем работ по ТО и Р, ч./мес.	0,07	0,26	0,87
3	Доход от реализации 1 услуги по ТО и Р (средний чек), руб./мес.	0,07	0,26	0,87

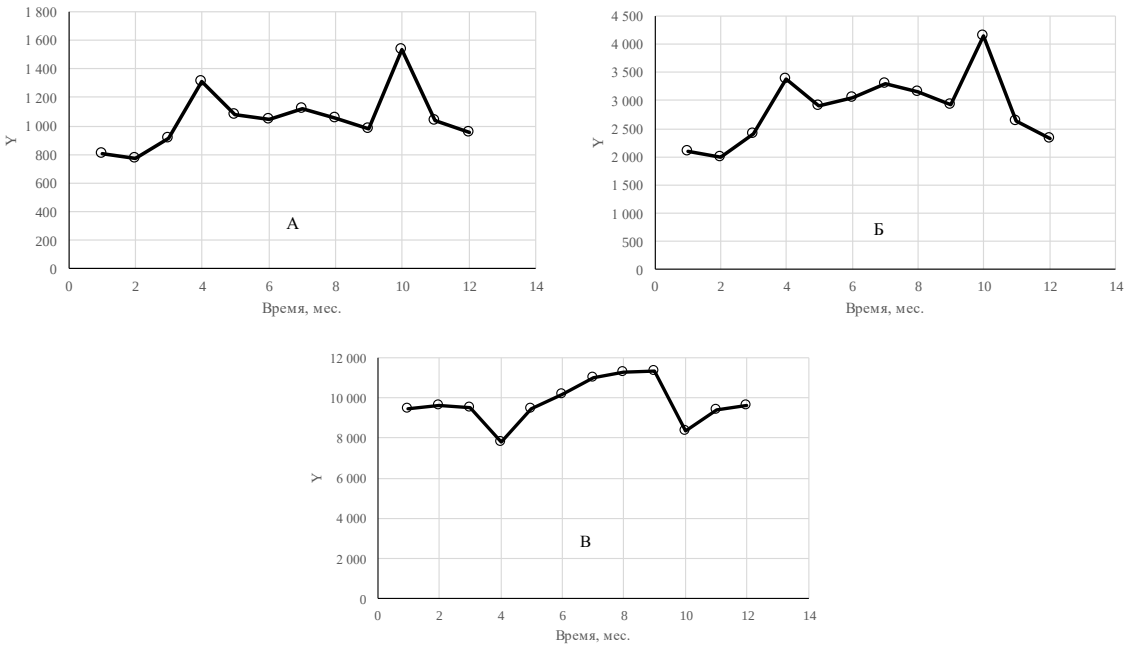


Рисунок 3.3 – Изменение показателей функционирования станции технического обслуживания по месяцам года: А – заезды на СТО; Б – объем работ по ТО и Р; В – доход от реализации услуги

Было рассмотрено пять гармоник и оценено влияние каждой на изменение функции отклика. Для оценки значимости каждой гармоники производилась линеаризация, что позволило оценить значимость каждой из них.

В результате было установлено, что из всех гармоник статистически значимой является вторая. Для каждой гармоники определялась полуамплитуда колебания, начальная фаза, а также коэффициент корреляции, табличное и эмпирическое значение t-критерия Стьюдента. Параметры гармонических моделей и оценка статистической значимости гармоник для каждого показателя представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Статистическая значимость гармоник для разработанных моделей закономерностей

Пок-ль	Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	r^2	r	t_r	$t_{0,95}$
$N_{мес}$	1	128,32	7,88	0,2056	0,4534	1,61	2,23
	2	178,48	8,63	0,3978	0,6307	2,57	2,23
	3	35,37	8,73	0,0156	0,1249	0,40	2,23
	4	142,89	4,07	0,2552	0,5052	1,85	2,23
	5	50,48	1,78	0,0319	0,1786	0,57	2,23
$V_{мес}$	1	573,60	7,68	0,2056	0,4534	1,61	2,23
	2	394,33	8,32	0,3978	0,6307	2,57	2,23
	3	87,59	7,78	0,0156	0,1249	0,40	2,23
	4	371,75	3,95	0,2552	0,5052	1,85	2,23
	5	126,14	2,08	0,0319	0,1786	0,57	2,23
$D_{мес}$	1	857,42	8,02	0,2056	0,4534	1,61	2,23
	2	916,54	2,99	0,3978	0,6307	2,57	2,23
	3	99,17	1,17	0,0156	0,1249	0,40	2,23
	4	624,01	10,40	0,2552	0,5052	1,85	2,23
	5	122,15	9,95	0,0319	0,1786	0,57	2,23

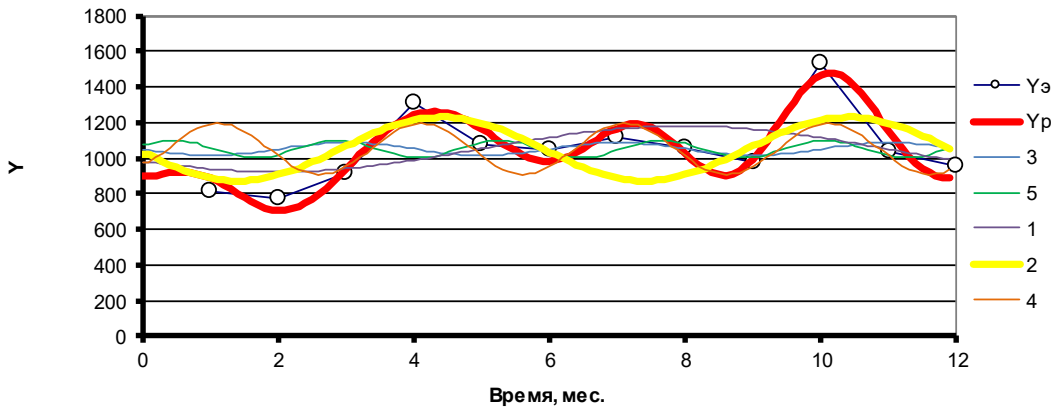
Гармонические модели изменения производственной программы по ТО и Р ($N_{мес}$), реализованного объема работ по ТО и Р на станции технического сервиса ($V_{мес}$), дохода от реализации одной услуги ($D_{мес}$) по месяцам года (T) приведены ниже:

$$N_{мес} = 1052 + 178{,}48 \cdot \cos(30(2T - 8{,}63)), \quad (3.2)$$

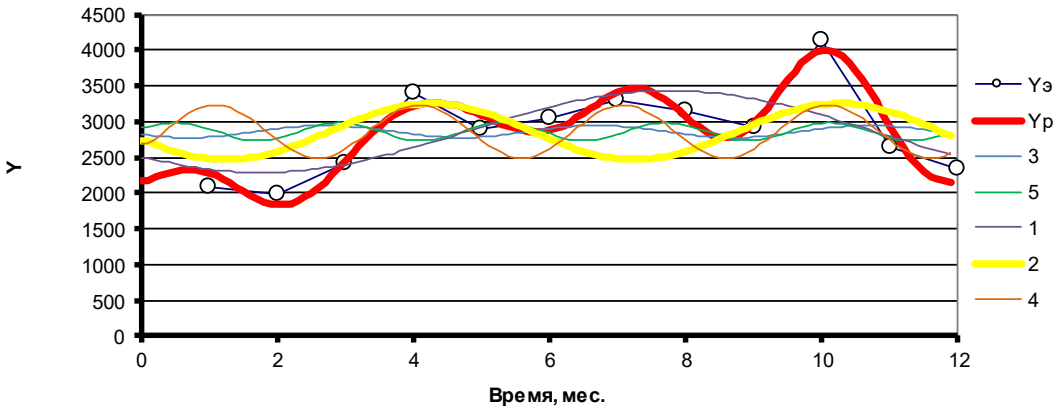
$$V_{мес} = 2861 + 394{,}33 \cdot \cos(30(2T - 8{,}32)), \quad (3.3)$$

$$D_{мес} = 9757 + 916{,}54 \cdot \cos(30(2T - 2{,}99)). \quad (3.4)$$

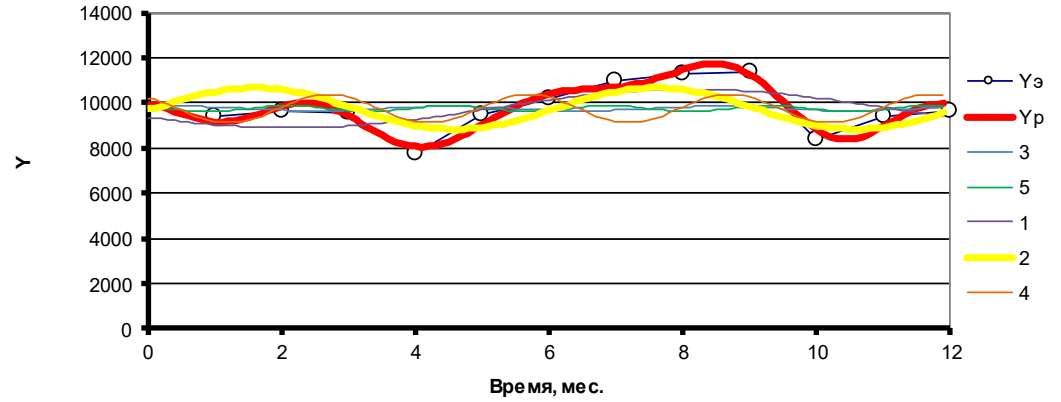
Графики изменения гармоник в течение года для каждого показателя представлены на рисунке 3.4.



а)



б)



в)

Рисунок 3.4 – Изменение по времени параметров а -$N_{мес}$, б -$V_{мес}$, в - $D_{мес}$ соответственно: справа указаны номера гармоник, а также расчетные ($Y_р$) и эмпирические ($Y_э$) данные

Таким образом, были разработаны модели изменения показателей функционирования станции технического обслуживания автомобилей в течение года. Установлено, что годовой тренд изменения рассматриваемого показателя существует только для количества заездов на СТО. Все показатели имеют существенные циклические изменения в течение года. Статистически значимой для всех рассматриваемых показателей является вторая гармоника.

3.2. Оценка адекватности имитационной модели

В процессе работы имитационной модели регистрируются следующие параметры:

- количество поступивших в систему автомобилей, ед. (рисунок 3.5 а);
- количество обслуженных автомобилей, ед. (рисунок 3.5 б);
- среднее время ожидания в очереди (рисунок 3.5 в);
- среднее время обслуживания одного автомобиля (рисунок 3.5 г).

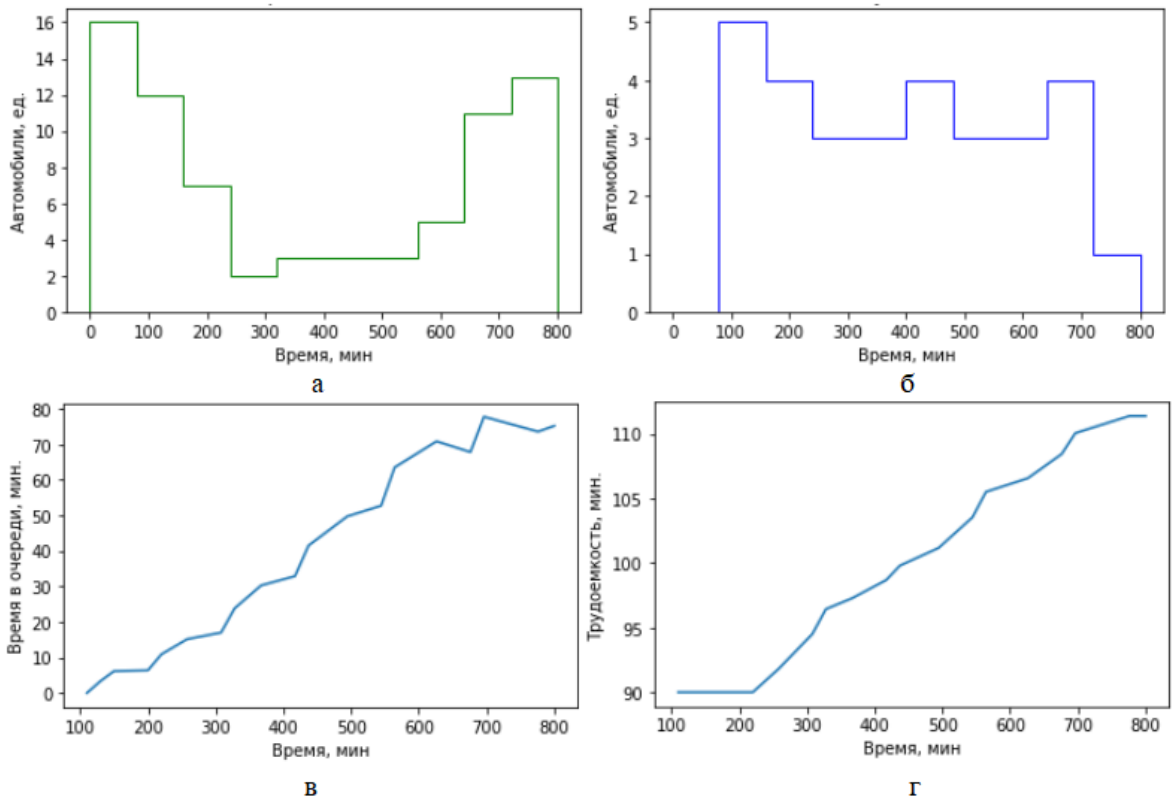


Рисунок 3.5 – Выходные параметры имитационной модели

После выполнения одной имитации регистрируются такие показатели, как пропускная способность системы, издержки на ее функционирование, реализованный объем работ, время простоя постов и некоторые другие.

Согласно ГОСТ Р 57412-2017 выделяется два вида процедур проверки имитационной модели: подтверждение адекватности модели моделируемому объекту реального мира - валидация; подтверждение соответствия компьютерной реализации математической (либо информационной) модели – верификация.

Лоу и Кельтон пишут, что для проверки адекватности имитационной модели оценивается идентичность ее выходных данных данным, ожидаемым от реальной системы. «В случае, если два набора данных оказываются подобными, модель существующей системы считается адекватной. Затем модель модифицируют так, чтобы она представляла предложенную систему. Чем больше общего между существующей и предложенной системой, тем больше уверенность в правильности модели предложенной системы» [75, стр. 333].

Для валидации модели использовался метод частичной трассировки [75 стр. 323]. Метод предполагает вывод состояний моделируемой системы, например, содержание списка событий, переменных состояния, выходных данных и т.п., и дальнейшее сравнение этих данных с логикой поведения реальной системы. В таблице 3.5 представлен фрагмент трассировки работы имитационной модели станции технического обслуживания автомобилей.

Таблица 3.5 – Частичная трассировка имитационной модели станции технического обслуживания с 10 постами

Номер записи	Порядковый номер автомобиля	Тип производственного звена	Отметка времени
…			
102	17	call	2025-03-04 18:23:00
103	17	reception	2025-03-04 18:28:00
104	16	service	2025-03-04 18:29:00
105	14	warehouse	2025-03-04 18:30:00
106	17	service	2025-03-04 18:53:00

Выгруженную трассировку можно интерпретировать следующим образом. Клиент номер 17 сделал звонок в колл-центр СТО в 18:23, после чего приехал на пункт приема автомобиля в ремонт в 18:28. В 18:53, после 25 минут взаимодействия с мастером-приемщиком, автомобиль клиента был поставлен в сервисную зону на пост по ТО и Р. В это время на другой пост поступил автомобиль клиента 16, а по заказ-наряду клиента 14 производилось получение запасных частей на складе предприятия. Всего за рабочий день на предприятие поступило 18 автомобилей, что соответствует интенсивности около 2-х автомобилей в час.

Диаграмма состояний, разработанная по полной трассировке модели, представлена на рисунке 3.6.

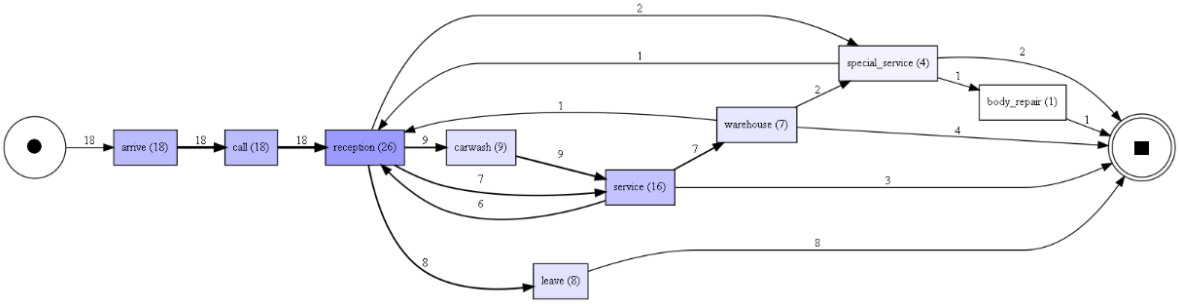


Рисунок 3.6 – BPMN-диаграмма состояний по тестовому прогону имитационной модели

Представленная на рисунке 3.6 диаграмма также не противоречит реализации основных бизнес-процессов на предприятии автомобильного транспорта. В скобках внутри прямоугольников, обозначающих технологические звенья, указано

количество обработанных ими автомобилей. По состоянию на окончание рабочего дня предприятием было полностью обслужено 8 автомобилей. Можно заключить, что логика работы имитационной модели соответствует логике работы реальной станции технического обслуживания, т.е. модель валидирована.

Для верификации модели использовалась выходная характеристика реальной системы, полученная по результатам сбора данных от предприятия, а также модельные значения выходной характеристики, полученные с помощью имитационной модели для аналогичных параметров предприятия. В качестве выходной характеристики использовался суммарный реализованный объем работ по ТО и Р автомобилей за один месяц в часах. Моделировалась работа предприятия со следующими параметрами:

- количество постов, ед.: 10;
- срок моделирования, дней: 30;
- продолжительность смены, ч: 10;
- средняя величина интенсивности поступления автомобилей, авто/час: 3,5;
- средняя трудоемкость обслуживания заявки, чел.час..: 2,5.

Случайные величины моделировались согласно установленным теоретическим законам распределения.

Фактическая и полученная выборки оценивались на предмет наличия статистически значимых отличий по методике параметрического сравнения количественных данных двух независимых групп [42]. Для оценки использовались значения выборочных средних, дисперсий и среднеквадратических отклонений. Нулевая гипотеза предполагает, что различия между сравниваемыми выборками отсутствуют. Принятие решения о статической значимости нулевой гипотезы осуществляется по t-статистике Стьюдента ($t_{эмп} < t_{кр}$) при заданном уровне значимости α=0,05. Выборки были получены после трех экспериментов на имитационной модели, после чего сравнивались с реальными данными, проверенными на наличие грубых ошибок. Результаты представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты трех экспериментов методом сравнения выборок

Эксперимент	Объем выборки n	$\overline{X}$	D_x	S_x	t-критерий
1	30	2 527	47 469	217	$t_{эмп} = 1,96 < t_{\alpha=0.05;\ 71}=2,00$
2	30	2 354	47 966	219	$t_{эмп} = 3,8 > t_{\alpha=0.05;\ 71}=2,00$
3	30	2 651	38 027	195	$t_{эмп} = 0,62 < t_{\alpha=0.05;\ 71}=2,00$
Реальные данные	43	2 707	292 338	540	

В двух экспериментах из трех (1 и 3 эксперименты) нулевая гипотеза о равенстве выборок принимается, следовательно, можно заключить, что результаты, полученные с помощью имитационной модели, соответствуют реальной системе. Таким образом, имитационная модель верифицирована и может быть использована для экспериментальных исследований.

3.3. Варианты производственных структур для моделирования

Варианты функциональных схем производственных структур для моделирования представлены ниже. Для формирования схем использовался графический язык BPMN-нотации [302, 321]. Обозначения на схемах:

- arrive – прибытие заявки в систему, не является функциональным блоком, нужен для регистрации событий;
- call – колл-центр;
- reception – мастер-приемщик;
- service – универсальный пост по ТО и Р;
- carwash – пост уборочно-моечных работ;
- warehouse – склад по заказу, хранению и выдаче запасных частей и расходных материалов;
- special_service – пост (участок) по выполнению специализированных ремонтных работ, в том числе со снятыми агрегатами;
- body_repair – участок по выполнению специализированных ремонтных работ по ремонту элементов кузова и прочих специализированных работ;
- control – пост контрольного осмотра ТС перед и после выезда на линию;
- diagnostics – зона проведения работ по диагностированию систем автомобиля;
- post_repair – зона постовых работ по ТР;
- site_repair – ремонтные участки;
- heavy_repair –участок по ремонту силовых агрегатов автомобиля;
- leave - уход заявки из системы, не является функциональным блоком, нужен для регистрации событий.

Стрелки соответствуют направлению движения заявки между производственными звеньями. Числа над стрелками показывают количество сгенерированных моделью заявок, участвовавших в каждом подпроцессе, что для задач описания схемы на настоящий момент не является существенным.

3.3.1. Варианты производственных структур для моделирования работы станций технического обслуживания автомобилей

Было рассмотрено 5 вариантов производственных структур для СТО по степени их усложнения в рамках добавления технологических звеньев, отвечающих за реализацию отдельных работ по ТО и Р автомобилей. Схемы каждой структуры в BPMN-нотации представлены на рисунках 3.7 – 3.11.

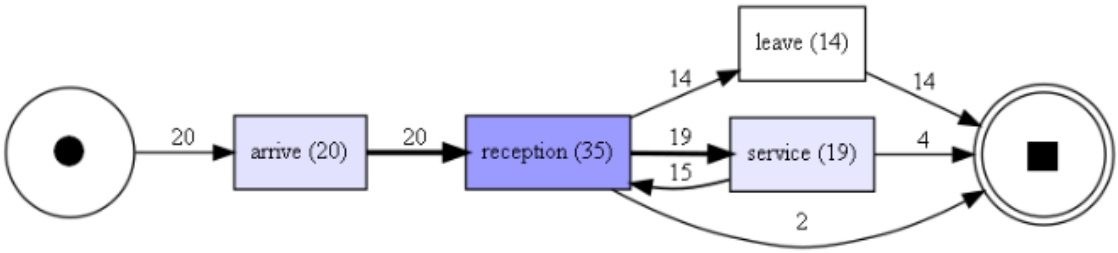


Рисунок 3.7 – 1 вариант производственной структуры со следующими звеньями: мастер приемщик – универсальный пост по ТО и Р

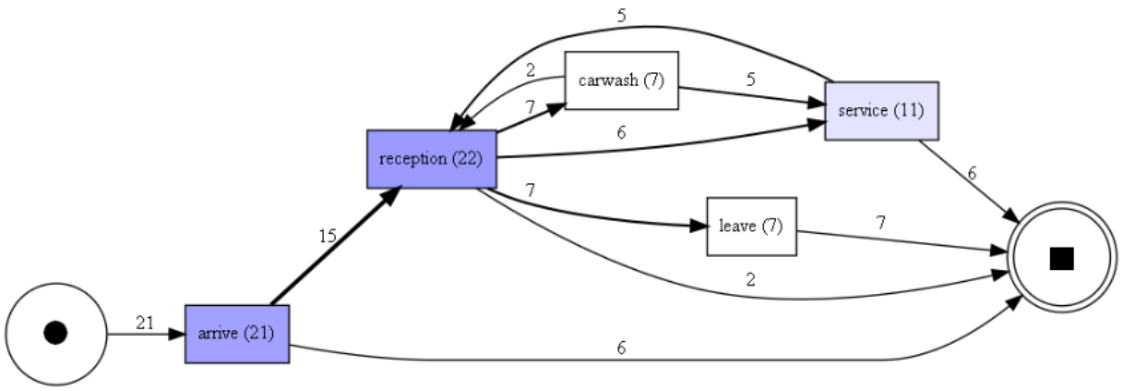


Рисунок 3.8 – 2 вариант производственной структуры со следующими звеньями: мастер приемщик – специализированный пост (УМР) - универсальный пост по ТО и Р

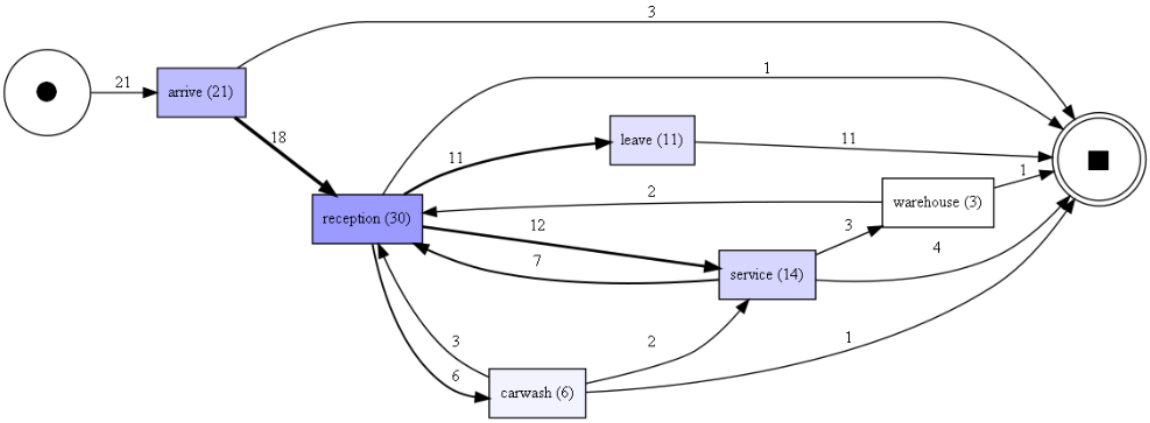


Рисунок 3.9 – 3 вариант производственной структуры со следующими звеньями: мастер приемщик – специализированный пост (УМР) - универсальный пост по ТО и Р – склад и заказ запасных частей

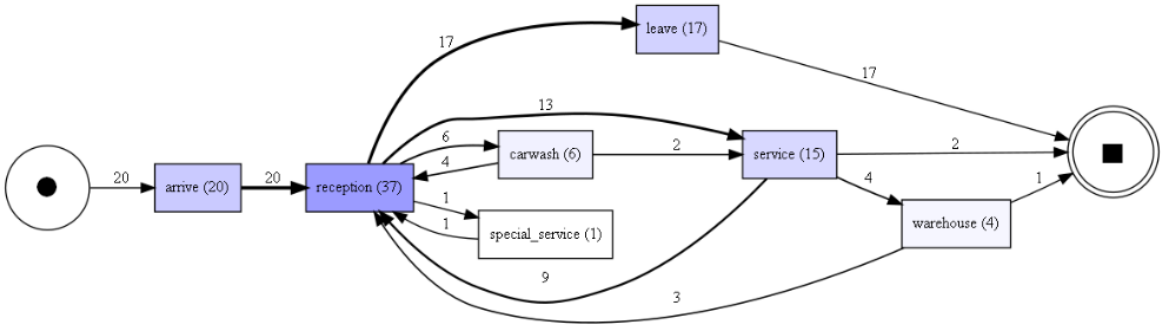


Рисунок 3.10 – 4 вариант производственной структуры со следующими звеньями: мастер приемщик – специализированный пост (УМР) - универсальный пост по ТО и Р – склад и заказ запасных частей - специализированный пост (ТО и Р)

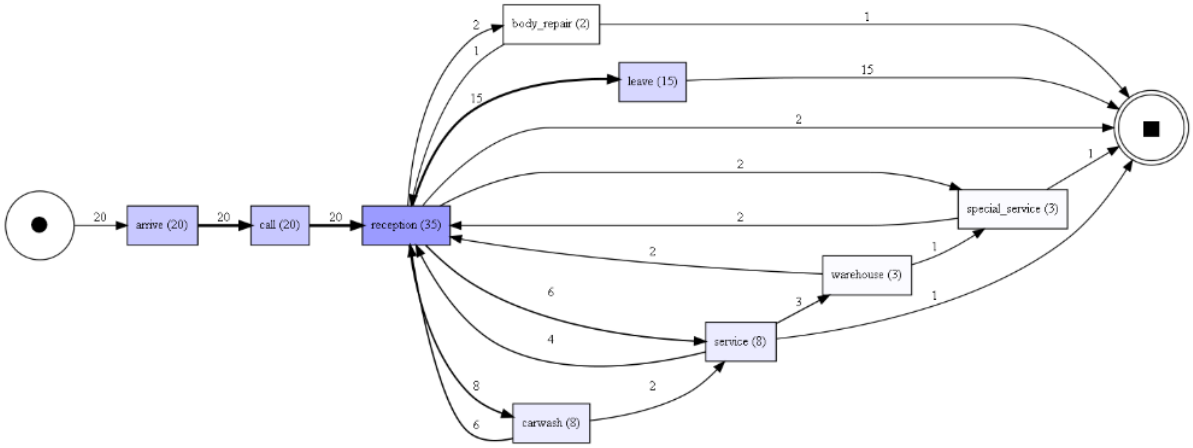


Рисунок 3.11 – 5 вариант производственной структуры со следующими звеньями: колл-центр - мастер приемщик – специализированный пост (УМР) - универсальный пост по ТО и Р – склад и заказ запасных частей - специализированный пост (ТО и Р) - специализированный пост (кузовной ремонт)

Параметры представленных вариантов производственных структур представлены в таблице 3.7 и 3.8. Функции – производственне задачи, выполняемые технологическим звеном при реализации основного бизнес-процесса по ТО и Р автомобиля.

Таблица 3.7 – Распределение функций по технологическим звеньям для рассматриваемых схем производственных структур

Технологические звенья	Количество функций				
	Схемы				
	1	2	3	4	5
звено 1	16	16	12	12	5
звено 2	16	4	4	4	7
звено 3		12	12	8	4
звено 4			4	4	4

Продолжение таблицы 3.7

звено 5				4	4
звено 6					4
звено 7					4

Таблица 3.8 – Параметры вариантов производственных структур

№	Показатель	Значения показателей для варианта производственной структуры				
1	Количество производственных звеньев, ед.	2	3	4	5	7
2	Количество производственных функций на звено, ед.	16	11	8	6	5
3	Трудоемкость функций на звено, чел.час.	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4
4	Количество технологических маршрутов, ед.	1	3	5	6	7
5	Количество ветвлений технологического процесса, ед.	0	2	3	4	5
6	Средняя длина технологического маршрута	3	3,3	3,8	3,8	5,6
7	Коэффициент вариации количества производственных функций на звено	0	0,57	0,58	0,56	0,25
8	Коэффициент вариации трудоемкости функций на звено	0,26	0,58	0,72	0,79	1,38

3.3.2. Варианты производственных структур для моделирования работы технической службы автотранспортных предприятий

Было рассмотрено 5 вариантов производственных структур для АТП по степени их усложнения в рамках добавления технологических звеньев, отвечающих за реализацию отдельных работ по ТО и Р автомобилей. Схемы каждой структуры в BPMN-нотации представлены на рисунках 3.12-3.16.

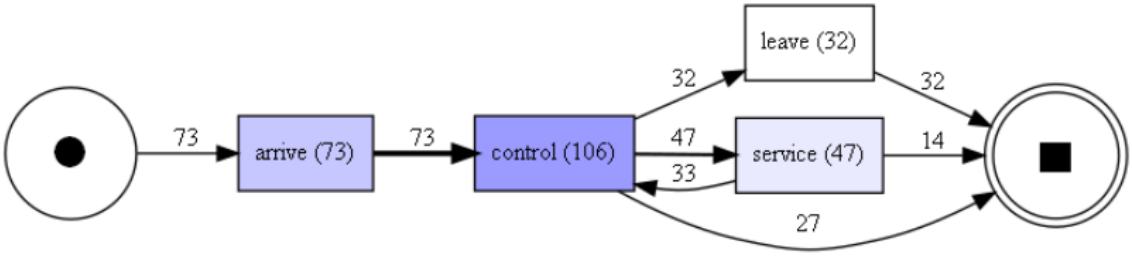


Рисунок 3.12 – 1 вариант производственной структуры со следующими звеньями: контрольный механик – универсальный пост по ТО и Р

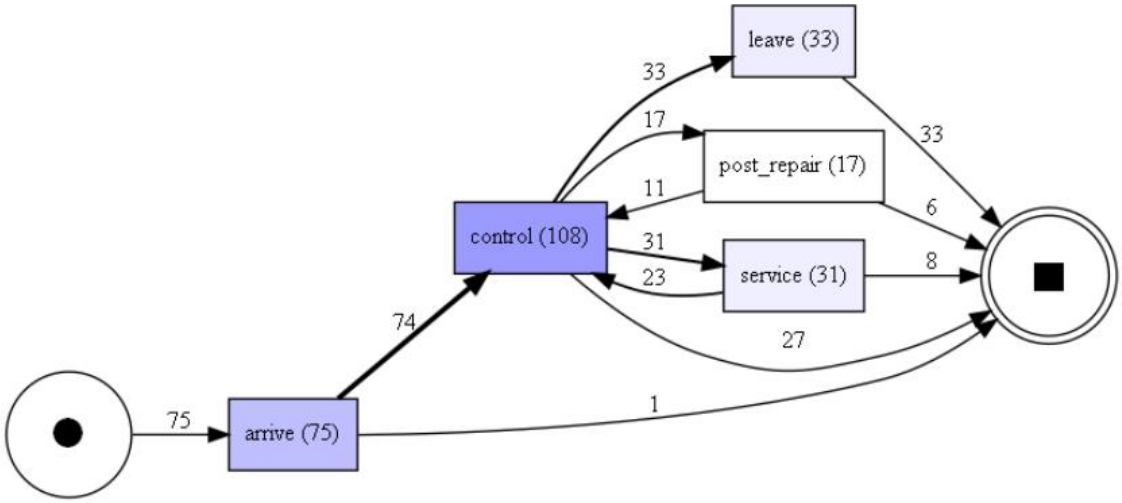


Рисунок 3.13 – 2 вариант производственной структуры со следующими звеньями: контрольный механик – пост по ТО – универсальный пост по ТР

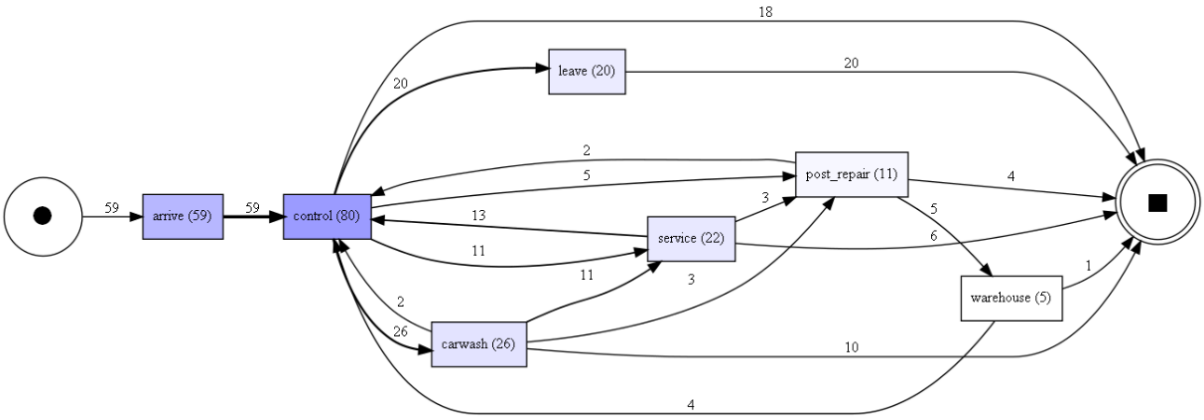


Рисунок 3.14 – 3 вариант производственной структуры со следующими звеньями: контрольный механик – пост по ТО – пост по ЕО - универсальный пост по ТР - склад

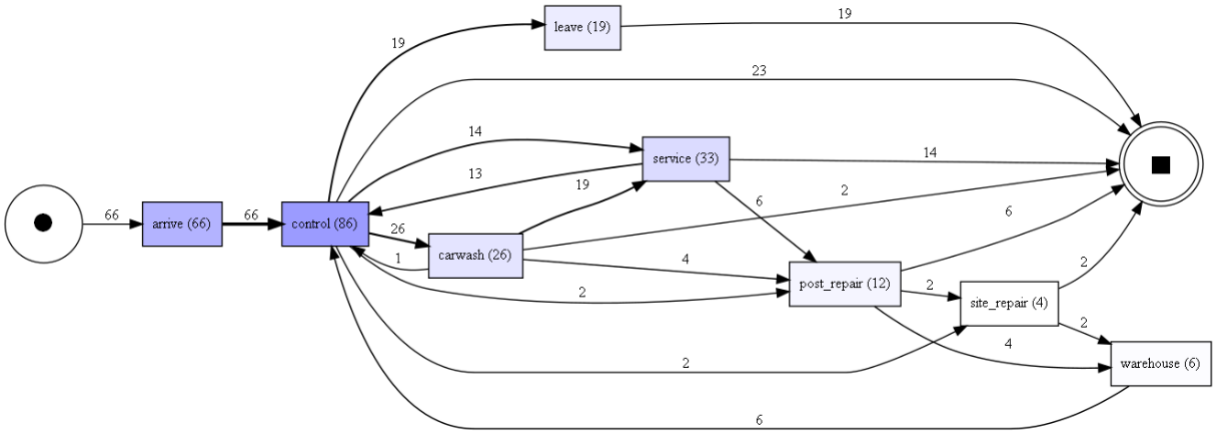


Рисунок 3.15 – 4 вариант производственной структуры со следующими звеньями: контрольный механик – пост по ТО – пост по ЕО - пост по ТР – участок ТР - склад

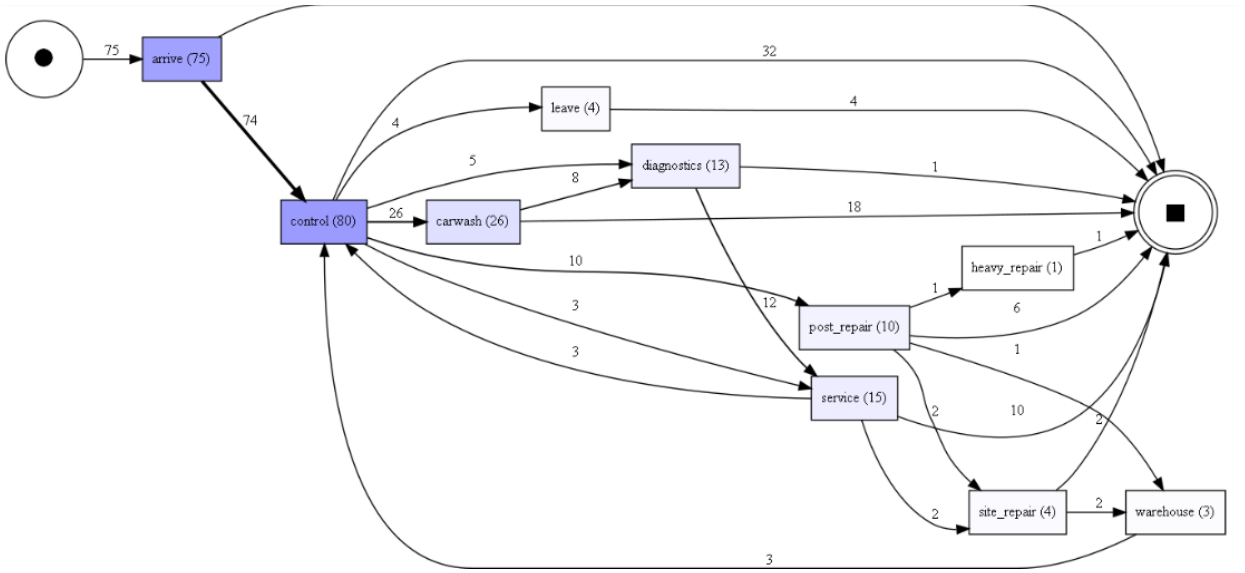


Рисунок 3.16 – 5 вариант производственной структуры со следующими звеньями: контрольный механик – пост по ТО – пост по ЕО – пост по диагностированию - пост по ТР – агрегатный участок – ремонтный участок прочих узлов и агрегатов - склад

Параметры представленных вариантов производственных структур представлены в таблице 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9 – Распределение функций по технологическим звеньям для рассматриваемых схем производственных структур

Технологические звенья	Количество функций				
	Схемы				
	1	2	3	4	5
звено 1	12	12	12	12	12

Продолжение таблицы 3.9

звено 2	12	8	1	1	1
звено 3		4	4	4	1
звено 4			3	1	3
звено 5			4	2	1
звено 6				4	1
звено 7					1
звено 8					4

Таблица 3.10 – Параметры вариантов производственных структур

№	Показатель	Значения показателей для варианта производственной структуры				
1	Количество производственных звеньев, ед.	2	3	5	6	8
2	Количество производственных функций на звено, ед.	12	8	5	4	3
3	Трудоемкость функций на звено, чел.час.	7,8	5,2	3,1	2,6	1,9
4	Количество технологических маршрутов, ед.	1	2	7	9	12
5	Количество ветвлений технологического процесса, ед.	0	1	4	7	10
6	Средняя длина технологического маршрута	3	3	4	4	5
7	Коэффициент вариации количества производственных функций на звено	0,00	0,50	0,88	1,04	1,27
8	Коэффициент вариации трудоемкости функций на звено	1,25	1,22	1,62	1,05	1,05

3.4. Кластеризация технологических операций по ТО и Р автомобилей

Для классификации технологических операций по ТО и Р автомобилей были использованы данные по перечню услуг СТО и частоте их реализации, собранные [189]. Также в таблицу была добавлена стоимость технологических операций, взятая из открытых интернет прайс-листов станций технического обслуживания автомобилей в г.Тюмени [48]. Информация по необходимости использования специализированного оборудования и/или участка для проведения работ была заполнена на основании экспертного опроса ИТР автосервиса. Данные по трудоемкости технологических операций были взяты из [153], при этом, хотя в документе представлена информация для устаревших марок и моделей автомобилей, для задач кластеризации важным является соотношение факторов между наблюдениями, что было достижимо с использованием указанного источника. Кроме того, были использованы данные из следующих открытых источников [146, 147, 163]. Таблица 3.11 с данными и индексами всех технологических операций представлена ниже.

Таблица 3.11 – Исходные данные для кластеризации перечня услуг СТО

Индекс	Операции	Частота	Стоимость	Спец.оборудование/участок	Трудоемкость, ч.
1	ТО	6,7	5000	0	2,2
2	Уборочно-моечные	4,0	600	1	1,2
3	Контрольно-диагностические	6,3	1200	1	2,4
4	Смазочно-заправочные	5,3	1000	0	0,9
5	Регулировка фар	1,3	720	0	0,1
6	Регулировка углов установки колес	2,5	2500	1	0,4
7	Регулировка топливной аппаратуры бензин	2,1	2000	0	0,4
8	Регулировка топливной аппаратуры дизель	0,6	2500	0	0,4
9	Электротехнические работы	6,0	1500	0	0,6
10	Регулировка тормозной системы	3,0	700	0	0,3

Продолжение таблицы 3.11

11	Регулировка сцепления	1,9	200	0	0,7
12	Регулировка рулевого управления	1,5	1200	0	0,3
13	Регулировка двигателя	1,6	800	0	0,8
14	Замена агрегатов	4,5	2000	0	1,2
15	Ремонт двигателей	4,0	16000	1	17,0
16	Ремонт КПП	3,0	12000	1	4,0
17	Ремонт рулевого управления и подвески	4,2	8000	0	2,2
18	Ремонт тормозной системы	3,8	3000	0	1,0
19	Ремонт электрооборудования со снятием	5,35	4000	0	1,8
20	Ремонт кузовов	3,5	12000	1	4,0
21	Арматурные работы	3,3	2000	0	1,4
22	Подготовка к окраске и окраска	2,4	15000	1	4,0
23	Работы по защите от коррозии	0,7	15000	0	1,0
24	Шиномонтаж	3,5	1000	1	0,4
25	Ремонт повреждений шин и дисков	1,4	1000	0	0,2
26	Ремонт мостов	1,3	12000	0	6,8
27	Жестяницко-сварочные работы	2,4	2000	1	3,0
28	Зарядка АКБ	1,4	360	0	0,3
29	Эвакуация	0,9	1500	1	2,0
30	Ремонт и изготовление деталей	0,3	2500	1	6,0
31	Установка доп.оборудования	2,5	5000	0	1,2
32	Предпродажная подготовка	1,4	2000	0	1,0

Продолжение таблицы 3.11

33	Определение токсичности ОГ	0,6	1200	1	0,6
35	Гарантийное обслуживание и ремонт	1,5	2000	0	1,2
36	Ошиповка шин	0,1	1000	0	1,0
37	Ремонт системы выпуска ОГ	2,4	4000	0	3,0
38	Тюнинг	2,0	5000	1	2,0

Результаты кластеризации технологических операций по методу самоорганизующихся карт SOM [204, 271] (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Разделение работ по ТО и Р на кластеры по методу SOM

Метод позволил разделить данные на три кластера, каждый из которых представлен отдельным цветом на рисунке. Нумерация точек на графиках соответствует индексам технологических операций, представленных в таблице.

Использование метода главных компонент PCA позволяет проанализировать визуальное распределение точек данных на кластеры [199]. Здесь четко прослеживается разделение точек на две области, причем права область (точки 15, 19, 21 и 14) визуально образуют еще один, третий кластер (рисунок 3.18).

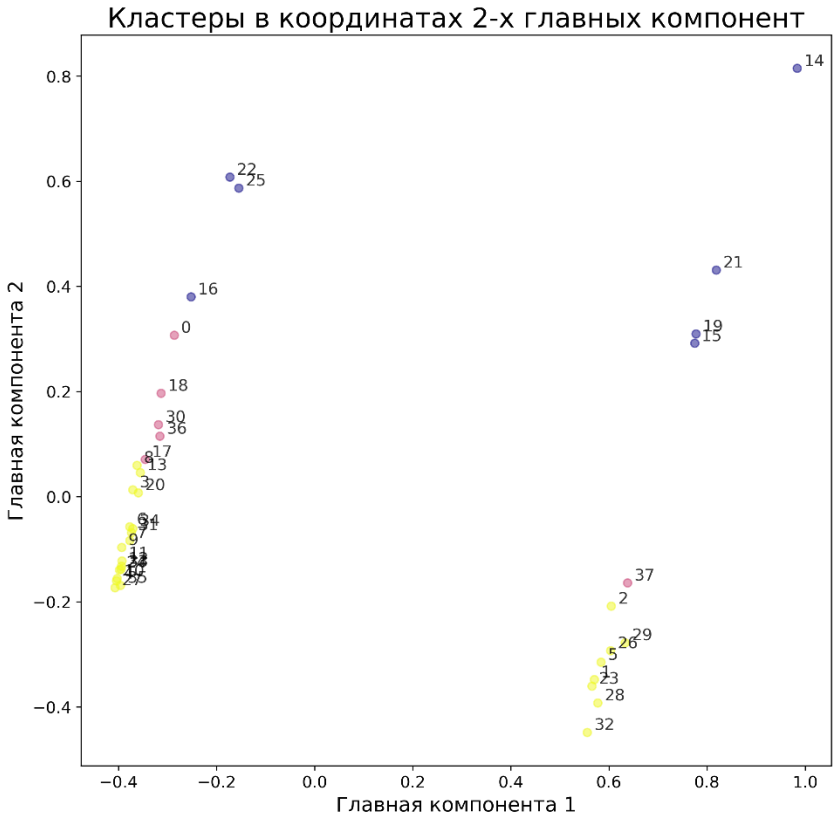


Рисунок 3.18 – Визуализация разделения работ по ТО и Р на кластеры с использованием метода главных компонент

Кластерный анализ методом k-средних (k-Means) разделяет точки данных на три или шесть кластеров [304] (рисунок 3.19). Точка снижения интенсивности инерции на графике говорит о предполагаемом количестве кластеров.

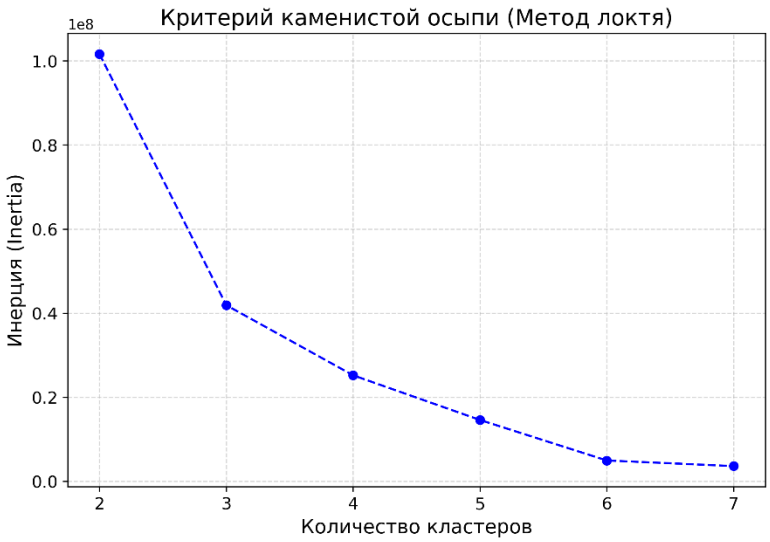


Рисунок 3.19 – Определение количества кластеров методом каменистой осыпи

Произведем визуализацию разделения точек на три и шесть кластеров с использованием метода k-средних (рисунок 3.20).

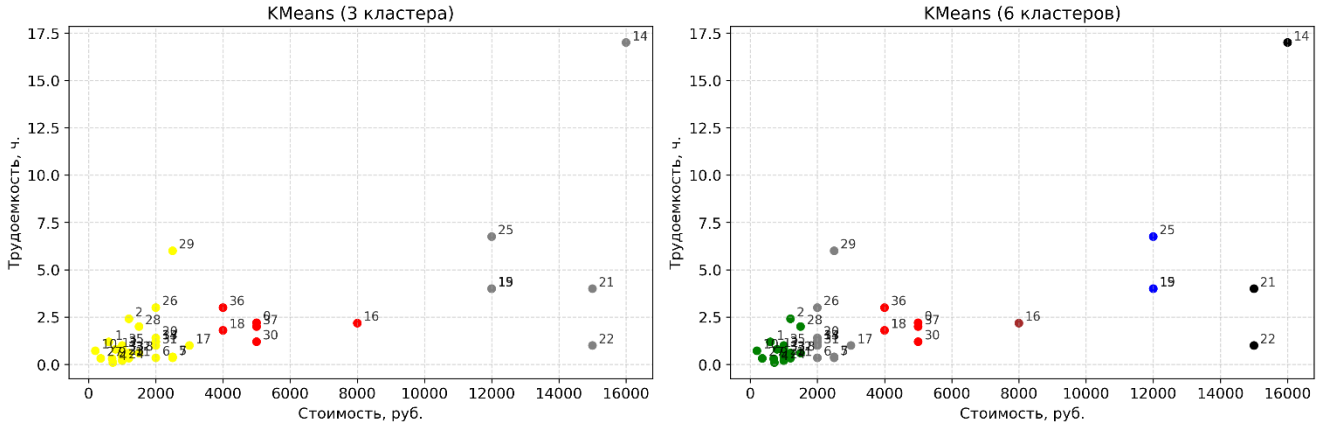


Рисунок 3.20 – Кластеризация работ по ТО и Р методом Kmeans при разном количестве кластеров: три слева и шесть справа

Разделение на три кластера кажется более логичным и обоснованным, поскольку в каждый кластер входит более чем два значения (рисунок 3.20). Работы, входящие в первый кластер (желтые точки) находятся в левой части графика. Это работы низкой стоимости и трудоемкости. Второй кластер, куда входят красные точки – в центре, а третий кластер с серыми точками – в правой части графика. Это дорогостоящие и трудоемкие работы.

Дендрограмма распределения данных на кластеры представлена ниже (рисунок 3.21). Дендрограмма представляет собой древовидную диаграмму, которая показывает иерархическую структуру кластеров. Горизонтальные линии представляют объединение двух кластеров или элементов. Чем длиннее горизонтальная линия — тем больше расстояние между объединяемыми группами. Вертикальные линии соединяют элементы или поддеревья. Высота вертикальной линии показывает уровень расстояния, при котором произошло объединение.

По оси X отложено расстояние, на котором происходит объединение (в данном случае — косинусное). Чем правее объединяются элементы, тем они менее похожи. Если провести линию на уровне расстояния 0.4, то она пересечёт 3 вертикальные ветви, следовательно, метод разделяет все технологические операции на 3 кластера.

Кластеризация методом Gaussian Mixture Model (GMM) также показала наличие трех кластеров [297] (рисунок 3.22).

Примененные методы являются стохастическими, но, тем не менее, за несколько реализаций дают результаты достаточно высокой сходимости, что говорит об устойчивости кластеров.

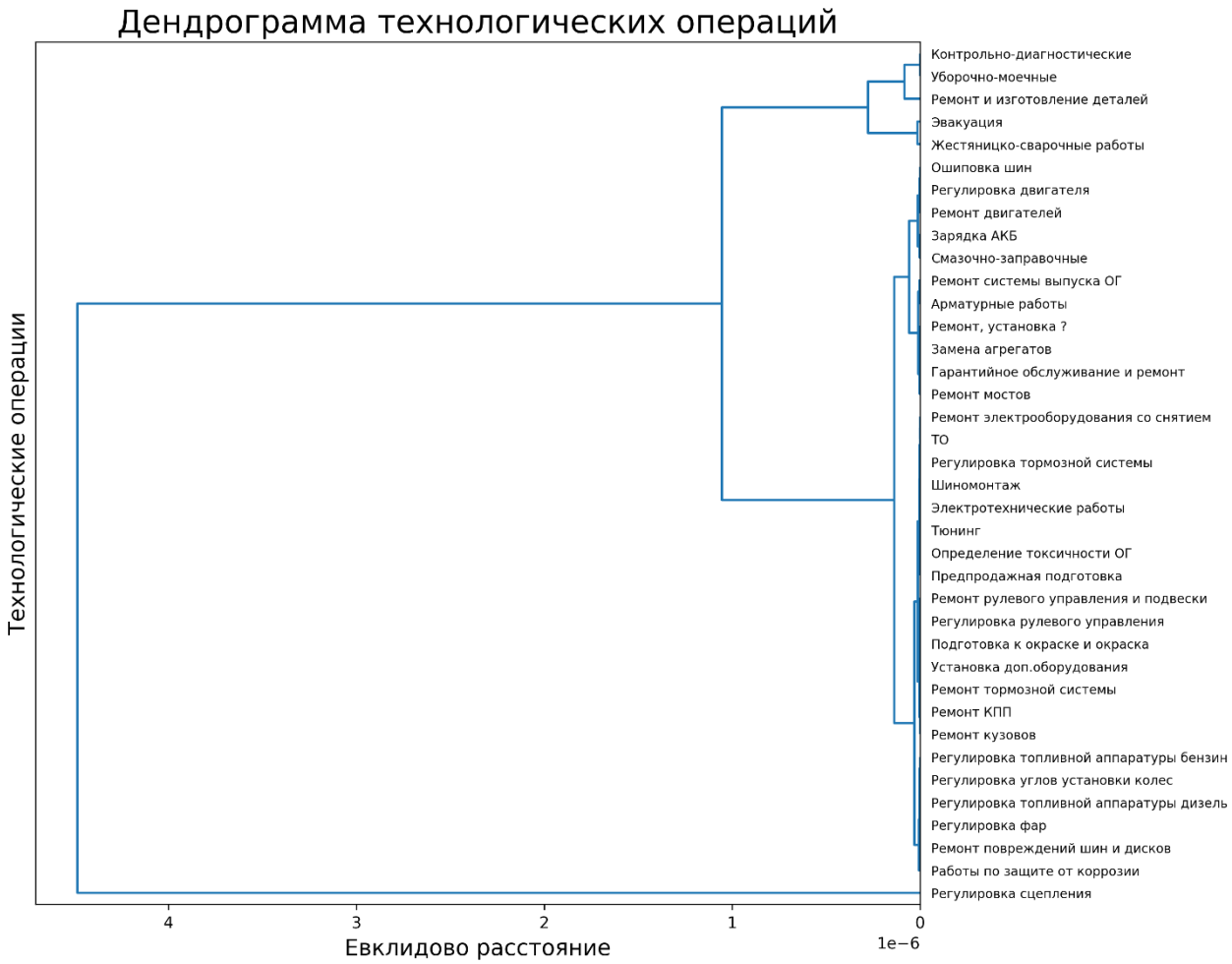


Рисунок 3.21 – Дендрограмма разделения работ по ТО и Р на кластеры

Все примененные методы позволили получить схожие результаты. Наиболее показательным является результат, полученный с использованием метода SOM. Его можно интерпретировать следующим образом. В первый кластер (красные точки) входят операции с низкой трудоемкостью, частотой реализации и стоимостью. К ним можно отнести, например, уборочно-моечные, контрольно-диагностические, смазочно-заправочные операции. Во второй кластер (синие точки) относятся операции со средней стоимостью и частотой реализации, например, техническое обслуживание. В третий кластер (желтые точки) относятся все трудоемкие и дорогостоящие технологические операции, связанные, как правило, с ремонтом агрегатов автомобиля.

Полученная кластеризация может служить основой для принятия управленческих решений по перечню реализуемых работ, их стоимости, по нормированию труда исполнителей, реализующих эти работы.

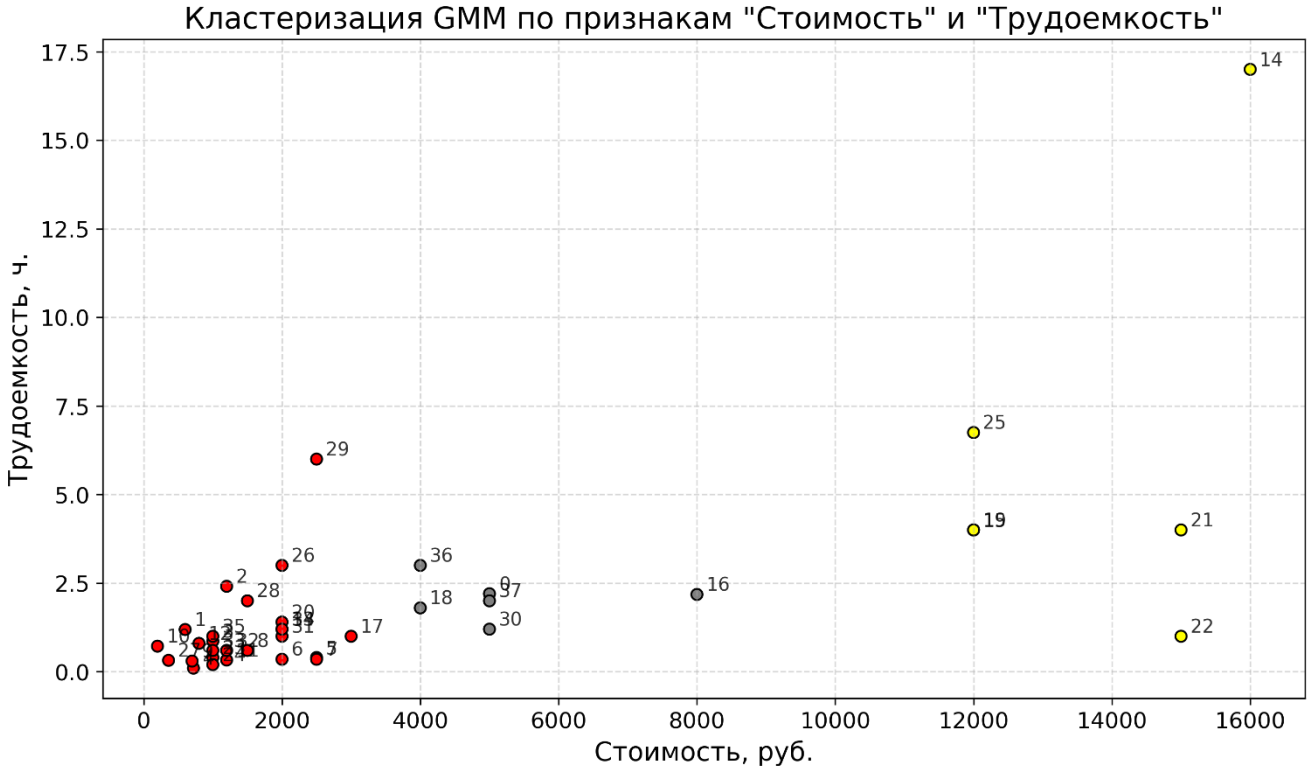


Рисунок 3.22 – Кластеризация работ по ТО и Р методом Gaussian Mixture Model

Ниже приведены границы параметров каждого кластера, которые будут использованы при моделировании процессов управления предприятиями (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Параметры кластеров

Кластер	Частота (среднее/диапазон)	Стоимость (среднее/диапазон)	Спец.оборудование/участок	Трудоемкость (среднее/диапазон)	Количество операций
1	2,7 0,7 - 4,2	12857 8000 - 16000	1	5,6 1 - 17	7
2	2,9 0,3 - 6,7	3722 2500 - 5000	1	2,0 0,35 - 6	9
3	2,5 0,1 - 6,3	1226 200 - 2000	0	0,9 0,1 - 3	22

Распределение технологических операций по группам (кластерам) показано на рисунке 3.23.



Рисунок 3.23 – Распределение работ по ТО и Р по кластерам по количеству

3.5. Классификация функций основного производственного персонала

Перечень основных функций участников производственного процесса ТО и Р автомобиля для станции технического обслуживания и автотранспортного предприятия представлены в таблицах 3.13 и 3.14 соответственно.

Таблица 3.13 – Перечень основных функций участников производственного процесса СТО, приведенный к одному клиенту

№	Функция	Должность (звено)	Трудоемкость, чел-мин
1	Прием звонков, консультирование	Специалист колл-центра	2
2	Запись		1
3	Проверка записи		1
4	Бронирование поста		1
5	Подитог функций	5	5
6	Прием клиента и консультирование	Мастер-приемщик	5
7	Оформление и оплата		5
8	Определение поста и исполнителя		2
9	Определение расходных материалов и запасных частей		3
10	Определение стоимости работ		2
11	Определение объема работ		3
12	Перегон автомобиля		5
13	Подитог функций	7	25
14	Получение заказ-наряда	Механик	5
15	Выбор технологии производства работ		5

Продолжение таблицы 3.13

16	Работа со складом		10
17	Проведение работ		60
18	Подитог функций	4	80
19	Определение технологии производства работ	Технолог	5
20	Контроль проведения работ		5
21	Оперативное управление		10
22	Подитог функций	3	25
23	Заказ запасных частей	Логист	10
24	Прием запасных частей		5
25	Комплектация склада		5
26	Выдача запасных частей и материалов		5
27	Подитог функций	4	25
	Итого	23	160

Таблица 3.14 – Перечень основных функций участников производственного процесса АТП, приведенный к одному автомобилю

№	Функция	Должность (звено)	Трудоемкость, чел-мин
1	Контрольный осмотр автомобиля	Механик КТП	10
2	Проверка документов		5
3	Подитог функций	2	15
4	Формирование графика технического обслуживания	Механик РММ	5
5	Определение поста и исполнителя		2
6	Определение расходных материалов и запасных частей		3
7	Согласование стоимости работ		2
8	Определение объема работ		3
9	Перегон автомобиля		5
10	Определение технологии производства работ		5
11	Контроль проведения работ		5
12	Оперативное управление		10
13	Подитог функций	10	40

Продолжение таблицы 3.14

14	Получение заказ-наряда	Механик/ автослесарь	5
15	Выбор технологии производства работ		5
16	Работа со складом		10
17	Проведение слесарных работ		80
18	Проведение электротехнических работ		30
19	Проведение диагностических работ		30
20	Проведение работ по ремонту агрегатов		60
21	Проведение работ по ежедневному обслуживанию		20
22	Подитог функций	8	240
23	Заказ запасных частей	Логист	10
24	Прием запасных частей		5
25	Комплектация склада		5
26	Выдача запасных частей и материалов		5
27	Подитог функций	4	25
	Итого	24	320

3.6. Планирование эксперимента

Для проверки гипотез и установления параметров моделей закономерностей был проведен активный эксперимент на имитационной модели [157].

Методика планирования эксперимента включает следующие этапы [241, 158]:

- определение факторов и функции отклика;
- определение уровней изменения факторов;
- кодирование факторов;
- составление матрицы планирования эксперимента;
- определение количества измерений (прогонов модели) в каждой точке плана.

Факторы могут быть количественные или качественные [75].

Перечислим факторы, исследуемые при проведении эксперимента:

X_1 – для СТО: производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед/мес.; для АТП – размер парка автомобилей, ед.;

X_2 – для СТО: соотношение работ по ТО и Р по типам, качественная (категориальная) переменная; для АТП – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес.

X_3 – тип производственной структуры предприятия, качественная (категориальная) переменная;

X_4 – количество административных работников (менеджеров), чел.;

X_5 – тип модели стимулирования, категориальная переменная;

X_6 – количество точек контроля в течение рабочей смены, ед.;

X_7 – величина управляющего воздействия, %;

X_8 – задержка реализации управляющего воздействия, ч.

X_9 – соотношение типов работ по трудоемкости, класс;

X_{10} – соотношение типов работ по стоимости, класс.

Уровнем фактора называется его значение, фиксируемое в эксперименте. Различают верхний, нижний и нулевой уровни. Верхний и нижний уровни соответствуют границам области определения X_{imax} и X_{imin}. Нулевой уровень соответствует середине интервала. Интервалы варьирования значений факторов были установлены в ходе проведения пассивного эксперимента.

Для фактора X_1 определены следующие уровни:

СТО: $X_{1min} = 50$; $X_{10} = 700$; $X_{1max} = 1350$;

АТП: $X_{1min} = 50$; $X_{10} = 275$; $X_{1max} = 500$.

Для фактора X_2 (СТО) определены следующие категориальные значения переменных для кластеров, определенных в предыдущем подразделе (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Категории значений для фактора X_2

Категория	Содержание видов работ по кластерам, %		
	I	II	III
1	60	20	20
2	20	60	20
3	20	20	60

Для фактора X_2 (АТП) определены следующие уровни: $X_{2min} = 1000$; $X_{20} = 3000$; $X_{2max} = 5000$. Для фактора X_3 определены следующие категориальные значения переменных для вариантов производственных структур, рассмотренных в подразделе моделирования структур (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Категории значений для фактора X_3

Категория	Номер варианта производственной структуры
1	1
2	3
3	5

Для фактора X_4 определены следующие уровни: $X_{4\,min} = 1$; $X_{40} = 3$; $X_{4\,max} = 6$. Для фактора X_5 определены следующие категориальные значения переменных для вариантов систем стимулирования K, L, C-типов, рассмотренных разделе теоретических исследований (таблица 3.17). Система D-типа рассматривалась отдельно.

Таблица 3.17 – Категории значений для фактора X_5

Категория	Тип системы стимулирования
1	K
2	L
3	C

Для фактора X_6 определены следующие уровни: $X_{6\,min} = 1$; $X_{60} = 5$; $X_{6\,max} = 10$. Для фактора X_7 определены следующие уровни: $X_{7\,min} = 25$; $X_{70} = 63$; $X_{7\,max} = 100$. Для фактора X_8 определены следующие уровни: $X_{8\,min} = 0$; $X_{80} = 1$; $X_{8\,max} = 2$.

Факторы X_9, X_{10} являются категориальными переменными (таблицы 3.18, 3.19). Их значения выбирались из следующего принципа: 1 категория – разница параметра между классами не превышает 25%; 2 категория – разница параметра между классами не превышает 100%; 3 категория – разница параметра между классами превышает 100%.

Таблица 3.18 – Категории значений для фактора X_9

Категория	Трудоемкость работ по типам Δt, чел.час.		
1	1	1,25	1,60
2	1	1,75	3,00
3	1	2,50	6,25

Таблица 3.19 – Категории значений для фактора X_{10}

Категория	Стоимость работ по типам ΔC, руб.		
1	2000	5000	12500
2	2000	3500	6125
3	2000	2500	3125

В качестве функции отклика фиксируются следующие выходные данные:

Y_1 – относительная пропускная способность системы, %;

Y_2 – среднее время простоя автомобилей в очереди, ч.;

Y_3 - среднее время простоя постов, ч.;

Y_4 - суммарное время обслуживания автомобилей, ч.;

Y_5 – количество обслуженных автомобилей, ед.;

Y_6 – количество поступивших автомобилей, ед.;

Y_7 – затраты (издержки) для моделей оптимизации, руб.;

Y_8 – количество инженерно-технических работников (ИТР) (для моделирования организационной структуры), чел.;

Y_9 – управляющие взаимосвязи между ИТР и технологическими звеньями (для моделирования организационной структуры), чел.;

Y_{10} – прибыль предприятия от реализации услуг по ТО и Р автомобилей, руб.

Уровни факторов для каждой подсистемы представлены в таблице 3.20. Факторы X_1 и X_2 учитывались в каждом эксперименте, а факторы $X_{3\text{-}10}$ в частных экспериментах для каждой подсистемы управления.

Таблица 3.20 – Уровни факторов для проведения активного эксперимента и их распределение по группам

№	Группа факторов	Фактор	Уровни факторов		
			X_{min}	X_0	X_{max}
1	Входящие факторы	$X_{1\ (СТО)}$	50	650	1350
		$X_{1\ (АТП)}$	50	275	500
		$X_{2\ (СТО)}$	1	2	3
		$X_{2\ (АТП)}$	1000	3000	5000
2	Производственная структура	X_3	1	2	3
3	Организационная структура	X_4	1	3	6
4	Стимулирование	X_5	1	2	3
5	Контроль	X_6	1	4	9
		X_7	0	50	100
		X_8	0	1	2
6	Планирование	X_9	1	2	3
		X_{10}	1	2	3

Авторы книги [157] отмечают, что для эксперимента целесообразно перейти от натуральных значений факторов к кодированным. Следовательно, значения факторов были кодированы как -1, 0 и +1 для X_{min}, X_0 и X_{max} соответственно.

Таким образом, все исследуемые факторы имеют 3 уровня, т.е. n = 3. Для составления плана факторного эксперимента необходимо также определить количество факторов k.

Всего было сформировано 5 планов эксперимента согласно рассматриваемым функциям управления. Для функции организации было реализовано два эксперимента – для производственной и организационной структуры отдельно. Разработанные рандомизированные планы эксперимента для каждой подсистемы управления ТЭА представлены в таблицах 3.21-3.24 [195].

Таблица 3.21 – План проведения эксперимента для изучаемых подсистем

№	Подсистема	Количество факторов k	Уровни факторов n	План эксперимента
1	Производственная структура	3	3	$3^{(3-1)}$ дробный факторный план
2	Организационная структура	3	3	
3	Стимулирование	3	3	
4	Контроль	5	3	$3^{(5-0)}$ полный факторный план
5	Планирование	4	3	$3^{(4-0)}$ полный факторный план

Планы экспериментов, полученные с помощью программы STATISTICA, представлены в таблицах ниже.

Таблица 3.22 – $3^{(3-1)}$ дробный факторный план для моделирования производственной, организационной структуры и системы стимулирования

№	Факторы		
	X_1	X_2	X_{3-5}
1	1	-1	0
2	1	0	-1
3	-1	-1	-1
4	-1	0	1
5	0	1	-1
6	1	1	1
7	0	0	0
8	-1	1	0
9	0	-1	1

Таблица 3.23 – $3^{(5-0)}$ полный факторный план для моделирования подсистемы контроля

№	Факторы				
	X_1	X_2	X_6	X_7	X_8
1	-1	0	-1	1	-1
2	1	1	1	1	0
3	1	-1	-1	0	-1
4	-1	-1	-1	0	1
5	-1	-1	-1	-1	-1
6	1	0	1	-1	0
	…				
243	-1	-1	-1	1	0

Таблица 3.24 – $3^{(4-0)}$ полный факторный план для моделирования подсистемы планирования

№	Факторы			
	X_1	X_2	X_9	X_{10}
1	0	-1	1	0
2	-1	1	1	0
3	-1	0	1	0
4	-1	-1	1	-1
…				
81	1	1	-1	-1

Для каждой точки плана эксперимента определялось количество измерений по формуле, представленной в [63 стр. 28].

$$n = \frac{\nu^2 \cdot t_\alpha^2}{\Delta^2}, \tag{3.5}$$

где υ – коэффициент вариации измеряемой величины;

t_α – статистика Стьюдента для доверительной вероятности α;

Δ – относительная ошибка.

Определим n для υ = 0,3; $t_{\alpha=0,1;\ N>120}$ =1,65; Δ=0,1. Количество измерений принято равным 6.

В результате проведения активного эксперимента на имитационной модели с учетом заданного количества измерений в каждой точке плана были получены экспериментальные данные.

Методика обработки результатов эксперимента была сформирована на основе монографии [63] и представлена на рисунке 3.24.

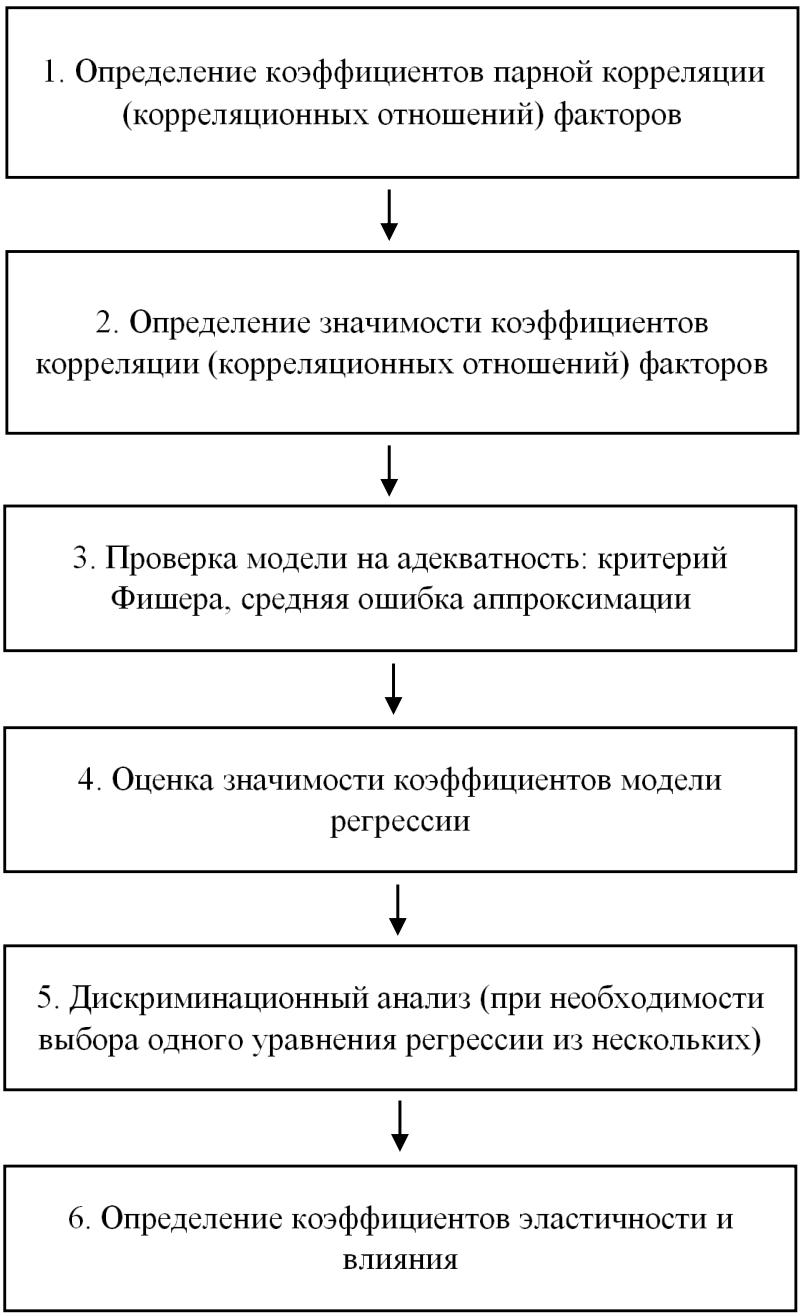


Рисунок 3.24 – Методика обработки результатов эксперимента

Результаты эксперимента обрабатывались с использованием программы STATISTICA.

3.7. Моделирование функций организации при управлении производством производства по ТО и Р автомобилей

3.7.1. Моделирование производственной структуры

Моделирование для станций технического обслуживания автомобилей

Фрагмент полученных из имитационной модели экспериментальных данных для оценки производственной структуры предприятия представлен в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Экспериментальные данные об изменении выходных показателей предприятия от факторов X_1, X_2, X_3

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Отн.пропуск.спос-ть, %	Время простоя в очереди, ч	Время простоя постов, ч	Время обслуживания, ч	Количество обслуженных, ед.	Количество поступивших, ед.
0,49	1307	1704	2496	620	1283
0,50	1297	1739	2461	622	1258
0,49	1287	1760	2440	613	1259
0,51	1178	1776	2424	633	1252
0,48	1226	1819	2381	602	1260
…					

В таблице 3.26 представлена матрица коэффициентов корреляции факторов. Для удобства восприятия значимые коэффициенты корреляции для α=0,05 были выделены цветом.

Таблица 3.26 – Матрица коэффициентов корреляции

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	X1	X2	X3
Y1	1,00	-0,56	0,63	-0,63	0,02	-0,68	-0,70	-0,36	0,37
Y2	-0,56	1,00	-0,67	0,67	0,14	0,87	0,83	-0,08	0,12
Y3	0,63	-0,67	1,00	-1,00	-0,65	-0,94	-0,96	0,06	0,05
Y4	-0,63	0,67	-1,00	1,00	0,65	0,94	0,96	-0,06	-0,05
Y5	0,02	0,14	-0,65	0,65	1,00	0,44	0,46	-0,50	0,07
Y6	-0,68	0,87	-0,94	0,94	0,44	1,00	0,99	-0,01	0,01
X1	-0,70	0,83	-0,96	0,96	0,46	0,99	1,00	0,00	0,00
X2	-0,36	-0,08	0,06	-0,06	-0,50	-0,01	0,00	1,00	0,00
X3	0,37	0,12	0,05	-0,05	0,07	0,01	0,00	0,00	1,00

Матрица корреляционных полей рассматриваемых факторов и функции отклика представлена на рисунке 3.25.

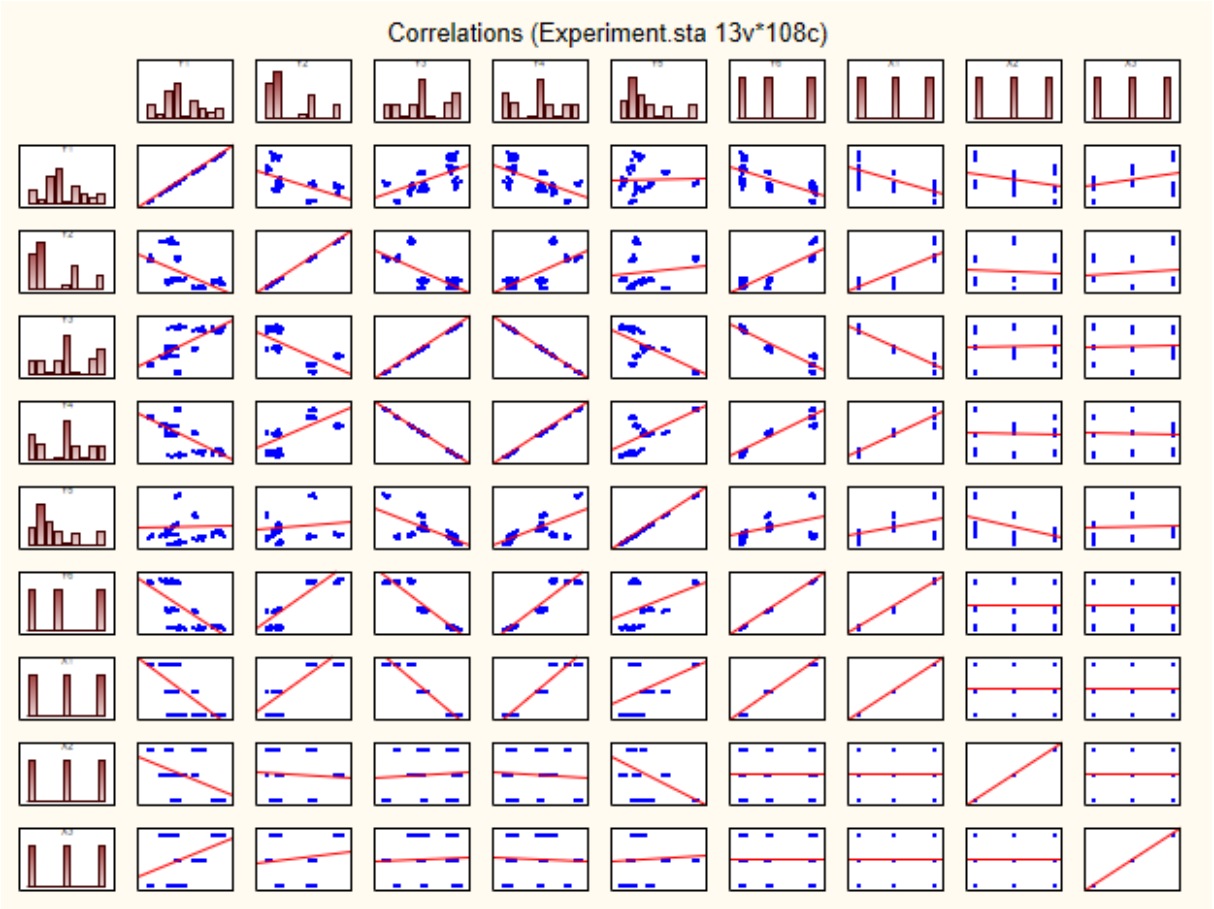


Рисунок 3.25 – Матрица корреляционных полей факторов и функции отклика

Таблица t-статистик коэффициентов парной корреляции для уровня значимости α=0,05, числа измерений n=108 и табличного значения t-критерия Стьюдента $t_{табл}$ = 2,00 представлена ниже. Значимые коэффициенты из условия t≥ $t_{табл}$ выделены цветом (таблица 3.27).

Таблица 3.27 – t-статистики коэффициентов парной корреляции

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	X1	X2	X3
Y1	0,00	6,93	8,36	8,36	0,25	9,54	10,03	3,97	4,11
Y2	6,93	0,00	9,38	9,38	1,48	18,02	15,11	0,78	1,28
Y3	8,36	9,38	0,00	0,00	8,73	28,85	33,59	0,66	0,52
Y4	8,36	9,38	0,00	0,00	8,73	28,85	33,59	0,66	0,52
Y5	0,25	1,48	8,73	8,73	0,00	4,98	5,34	5,94	0,70
Y6	9,54	18,02	28,85	28,85	4,98	0,00	93,45	0,12	0,06
X1	10,03	15,11	33,59	33,59	5,34	93,45	0,00	0,00	0,00
X2	3,97	0,78	0,66	0,66	5,94	0,12	0,00	0,00	0,00
X3	4,11	1,28	0,52	0,52	0,70	0,06	0,00	0,00	0,00

Основным оцениваемым параметром являлась относительная пропускная способность системы Y_1. Анализ корреляционных таблиц показывает, что все три рассматриваемых фактора X_1, X_2, X_3 оказывают значимое влияние на функцию отклика. Поэтому принято решение включить указанные факторы в модель регрессии.

Для формирования уравнения регрессии качественные категориальные значения факторов X_2 и X_3 были переведены в количественные дискретные значения.

Фактор X_2 может быть охарактеризован таким показателем X_{21}, как средневзвешенная трудоемкость производства работ, который рассчитывается для каждой категории следующим образом:

$$t_{с.в.i} = n_{Ii} \cdot t_I + n_{IIi} \cdot t_{II} + n_{IIIi} \cdot t_{III}, \quad (3.6)$$

где n - количество работ данного типа в общем объеме работ, %;

t – трудоемкость работ в кластере, чел.час.;

i – категория значений для фактора X_2.

Рассчитанное по формуле (3.6) значение средневзвешенной трудоёмкости для каждой категории представлено в таблице 3.28.

Таблица 3.28 – Количественное значение фактора X_2

Категория	Средневзвешенная трудоёмкость, чел.час.
1	2,0
2	2,5
3	4,0

Количественный фактор X_{21} также имеет значимую корреляцию с функцией отклика Y_1, поэтому может быть использован для формирования модели регрессии (таблица 3.29).

Таблица 3.29 – Корреляция количественных параметров фактора X_2 и функции отклика Y_1

	Y_1	X_2	X_{21}
Y_1	1,00	-0,35	-0,33
X_2	-0,35	1,00	0,96
X_{21}	-0,33	0,96	1,00

Фактор X_3 характеризуется следующими количественными значениями: трудоемкостью на звено X_{31}, количеством технологических звеньев X_{32}, количеством производственных функций на звено X_{33}. Количественные значения для факторов X_{31}, X_{32}, X_{33} представлены в таблице 3.30.

Таблица 3.30 – Количественное значение фактора X_{31}, X_{32}, X_{33}

Тип производственной структуры	Трудоемкость на звено X_{31}, чел.час./ед.	Количество технологических звеньев X_{32}, ед.	Количеством производственных функций на звено X_{33}.
1	1,3	2,0	16,0
3	0,7	4,0	8,0
5	0,4	7,0	5,0

Указанные параметры были оценены по величине коэффициента корреляции с функцией отклика Y_1, после чего проверены на значимость по критерию Стьюдента. Показатели X_{31} и X_{33} являются относительными, что не всегда удобно использовать на практике. Поэтому по итогу принято решение выбрать показатель X_{32}, как коррелированный с функцией отклика фактор со значимым коэффициентом корреляции (таблица 3.31).

Таблица 3.31 – Корреляция количественных параметров фактора X_3 и функции отклика Y_1

	Y_1	X_3	X_{31}	X_{32}	X_{33}
Y_1	1,00	0,37	-0,43	0,33	-0,41
X_3	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00
X_{31}	-0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
X_{32}	0,33	1,00	-0,98	0,99	-0,99
X_{33}	-0,41	-0,98	1,00	-0,95	1,00

Таким образом, при формировании модели регрессии учитываются 3 фактора:

X_1 - производственная программа по ТО и Р автомобилей N, ед/мес;

X_2 – соотношение работ по ТО и Р по типам, выражающееся в средневзвешенной трудоемкости по видам работ ТО и Р τ, чел.час.;

X_3 – тип производственной структуры предприятия, выражающийся в количестве типов технологических звеньев на СТО x, ед.

В качестве зависимой переменной Y_1 рассматривается относительная пропускная способность СТО q.

Физический смысл параметров модели не предполагает наличие отрицательных значений факторов. Кроме того, существует предел минимальной и максимальной пропускной способности системы. Это говорит о нелинейном характере изменения функции отклика от влияющих факторов. Поэтому производилась оценка нескольких вариантов моделей многофакторной регрессии – с линейными и нелинейными параметрами. Для получения нелинейной модели использовался метод линеаризации переменных в модуле нелинейного оценивания программы STATISTICA. Модели оценивались по совокупности статистических критериев, рассмотренных в схеме методики обработки результатов эксперимента. В результате была выбрана модель, наибольшим образом удовлетворяющая этим критериям.

Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$q = 1{,}25 - 0{,}085 \cdot \ln(N) - 0{,}24 \cdot \tau^{0{,}5} + 0{,}13 \cdot \ln(x), \qquad (3.7)$$

где q – относительная пропускная способность СТО, %;

N – количество поступивших автомобилей в месяц, ед.;

τ – средневзвешенная трудоемкость по видам работ ТО и Р, чел.час.;

x – количество типов технологических звеньев на СТО, ед.

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым при выполнении условия $t \geq tp$. Значение t-статистики коэффициентов модели для уровня значимости $\alpha=0{,}05$ приведено в таблице 3.32.

Таблица 3.32 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Наименование показателя	t-статистика Стьюдента
A_0	17,58
N	-14,22
τ	8,02
x	-7,01

Все коэффициенты модели являются значимыми, т.к. соблюдается условие $t \geq tp$ (таблица 3.33).

Таблица 3.33 – Статистические характеристики многофакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	108
2	Коэффициент множественной детерминации	0,74
3	Коэффициент множественной корреляции	0,86
4	t-статистика Стьюдента	17,585
5	$t_{\alpha=0,05}$	1,98
6	Дисперсионное отношение Фишера	105,34
7	$F_{\alpha=0,05}$	3,98
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	8,7

Значения коэффициентов эластичности λ и влияния β факторов модели на результирующий признак представлены в таблице 3.34.

Таблица 3.34 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
N	0,085	1,05	260,37
τ	0,24	0,76	1,18
x	0,13	0,36	1,54

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 0,013$.

График модели регрессии с фиксированным значением одного из трех факторов будет представлять собой поверхность. На рисунках 3.26, 3.27, 3.28 представлены трехмерные графики влияния факторов X_1 и X_3 на относительную пропускную способность системы при фиксированных значениях X_2, равных 2,0; 2,5; 4,0.

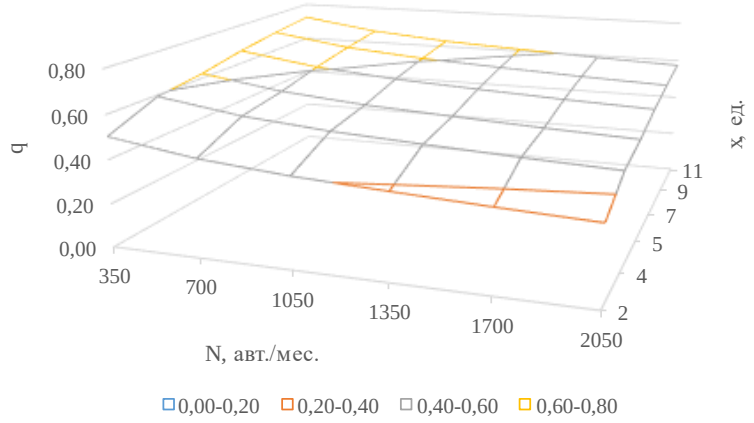


Рисунок 3.26 – График зависимости относительной пропускной способности q от производственной программы N и количества технологических звеньев x при средневзвешенной трудоемкости работ τ = 2,0 чел.час.

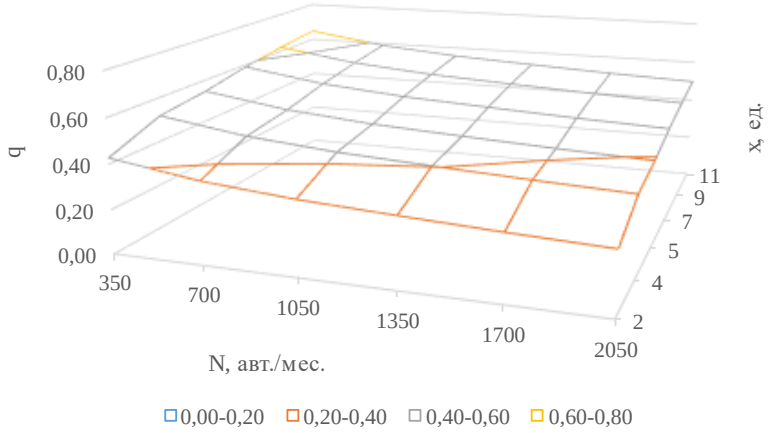


Рисунок 3.27 – График зависимости относительной пропускной способности q от производственной программы N и количества технологических звеньев x при средневзвешенной трудоемкости работ τ = 3,0 чел.час.

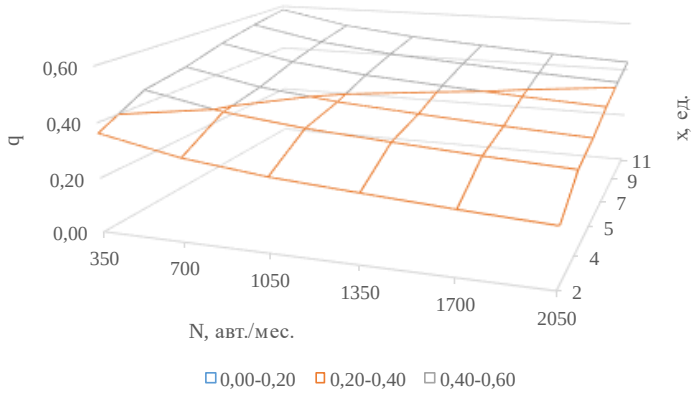


Рисунок 3.28 – График зависимости относительной пропускной способности q от производственной программы N и количества технологических звеньев x при средневзвешенной трудоемкости работ τ = 4,0 чел.час.

Далее производилось определение оптимального по установленной целевой функции значения количества технологических звеньев при разных значениях факторов N и τ.

Для этого согласно плану эксперимента для каждого уровня факторов определялось количество технологических звеньев x, при которых достигаются минимальные издержки функционирования системы. Результат определения усредненного значения издержек для заданного количества измерений в каждой точке плана, отсортированный по возрастанию факторов, представлен в таблице 3.35.

Таблица 3.35 – Определение оптимального количества технологических звеньев по критерию минимизации затрат

№	Значения факторов		Издержки при разных уровнях фактора x, ед.			Принятое оптимальное значение x, ед.
	N, авт./мес.	τ,чел.час..	2	4	7	
1	350	2	10352	11091	13528	2
2	350	2,5	9065	10403	12752	2
3	350	4	10453	10177	13570	4
4	650	2	9656	8880	9790	4
5	650	2,5	11127	11064	11080	4
6	650	4	9892	8983	12614	4
7	1350	2	20919	13699	19114	4
8	1350	2,5	19364	12966	12511	7
9	1350	4	17903	12952	13876	7

Для каждой точки плана эксперимента определялось минимальное значение количества технологических звеньев x, после чего полученное значение использовалось в качестве функции отклика при формировании регрессионной модели. Так, для 4-ой точки плана оптимальной по критерию минимума затрат будет производственная структура предприятия с четырьмя технологическими звеньями (рисунок 3.29).

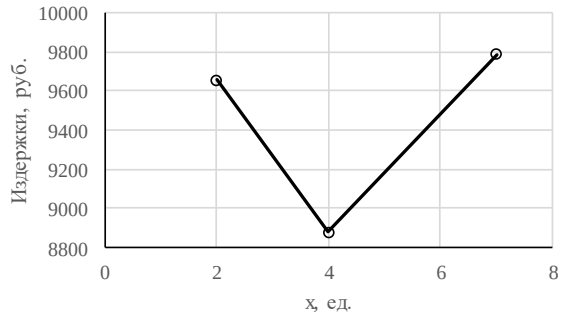


Рисунок 3.29 – Определение оптимального количества технологических звеньев для точки плана эксперимента

Существенного взаимодействия (смешанных эффектов) между факторами N и τ обнаружено не было. Поэтому на основании полученных оптимальных значений фактора x была разработана регрессионная двухфакторная модель на главных эффектах:

$$x_{опт} = -13{,}9 + 2{,}46 \cdot \ln(N) + 0{,}74 \cdot \tau, \qquad (3.8)$$

где $x_{опт}$ – оптимальное по экономическому критерию количество типов технологических звеньев на СТО, ед.;

N – количество поступивших автомобилей в месяц, ед.;

τ – средневзвешенная трудоемкость по видам работ ТО и Р, чел.час.

Статистические характеристики модели представлены в таблице 3.36.

Таблица 3.36 – Статистические характеристики двухфакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,79
3	Коэффициент множественной корреляции	0,88
4	t-статистика Стьюдента	3,50
5	$t_{\alpha=0,1}$	1,94
6	Дисперсионное отношение Фишера	11,31
7	$F_{\alpha=0,01}$	10,92
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	19

Значение t-статистики для коэффициентов регрессионной модели составляют 2,0 и 4,3. Оба коэффициента статистически значимы.

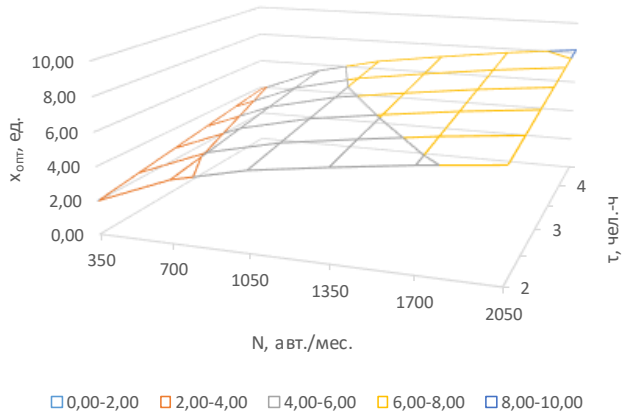


Рисунок 3.30 – График двухфакторной регрессионной модели определения оптимального количества технологических звеньев

График двухфакторной модели регрессии представлен на рисунке 3.30.

Полученная зависимость справедлива на области определения $N \in [200; 2200]$, $\tau \in [1{,}5; 5]$.

Значения коэффициентов эластичности и влияния для полученной двухфакторной модели представлены в таблице 3.37.

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 1{,}44$.

Далее по критерию минимума затрат целевой функции было определено оптимальное количество постов всех типов.

Таблица 3.37 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Наименование показателя	Коэффициент модели	Коэффициенты	
		эластичности λ	влияния β
N	2,46	3,89	604,86
τ	0,74	0,18	0,37

Для этого для каждой точки плана эксперимента с заданным количеством повторений определялись издержки на функционирование системы при различном суммарном количестве постов. Количество постов выбиралось из промежутка $X \in [3;5;7;11;13]$.

Фрагмент экспериментальных данных по определению издержек представлен в таблице 3.38.

Таблица 3.38 – Определение издержек на функционирование системы при различном количестве постов

Точка плана	Факторы			Издержки при заданном количестве постов					Хопт
	X_1	X_2	X_3	13	11	7	5	3	
1	1350	2	4	300731	380097	461366	502959	1588522	13
2	1350	2	4	302770	377688	454990	489066	1594536	13
3	1350	2	4	308583	381013	458610	469146	1375975	13
4	1350	2	4	304056	369243	464799	486038	1829842	13
…									
108	650	2	2	412587	343352	366912	372266	354693	11

Определено, что при различной производственной программе изменяется предпочтение к выбору производственной структуры. Так, при фиксированном значении фактора X_2 производственная структура 1 с 2-мя типами технологических звеньев будет эффективна только при малом количестве автомобилезаездов. Структура 3 с 4-мя типами технологических звеньев эффективна на широком

диапазоне значений N, однако, при значительной интенсивности поступления автомобилей в сервисную зону предпочтение меняется на структуру 5 с семью типами технологических звеньев. Это продемонстрировано на рисунке 3.31.

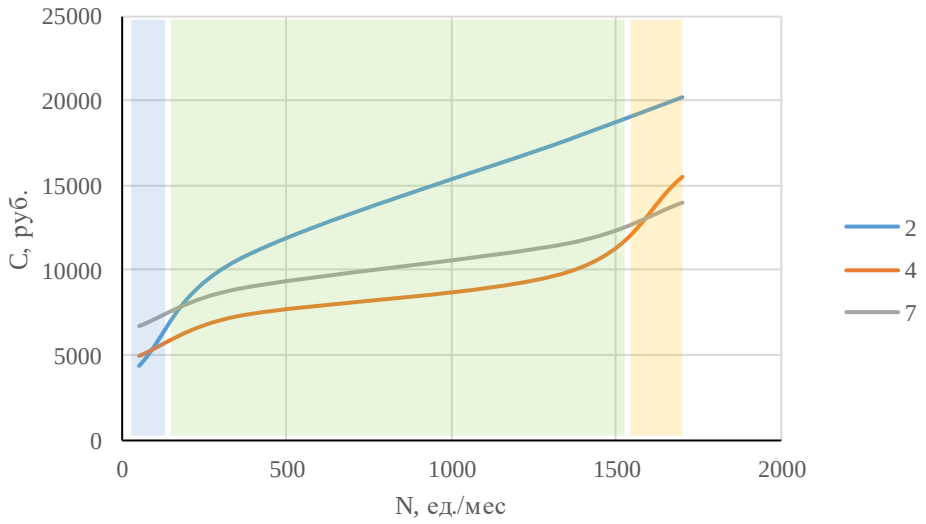


Рисунок 3.31 – Экспериментальные данные об изменении издержек на функционирование системы за рабочую смену при различных типах производственных структур (с 2-мя, 4-мя и 7 типами технологических звеньев) в зависимости от месячной производственной программы по ТО и Р автомобилей

Для каждого варианта производственной структуры характерна своя закономерность изменения оптимального количества постов от входящего потока клиентов. Поскольку каждая схема характеризуется разным количеством типов технологических звеньев, то следует говорить об оптимальном количестве единиц звеньев одного типа. Результаты определения оптимального количества постов каждого типа для всех вариантов производственных структур будут представлены ниже. Следует отметить, что при выборе варианта производственной структуры руководитель может руководствоваться как изменением типа технологических звеньев, так и количества однотипных звеньев в рамках одной структуры. Это утверждение продемонстрировано на рисунке 3.32.

Минимальные издержки согласно рис.3.32 наблюдаются при варианте производственной структуры номер 2 до 5 постов. При увеличении количества постов выше 5 рациональным будет использование схемы номер 4 с меньшим количеством постов.

В процессе имитационного моделирования было выявлено, что каждая производственная структура имеет «узкие» места, которые ограничивают рост пропускной способности системы при увеличении количества постов.

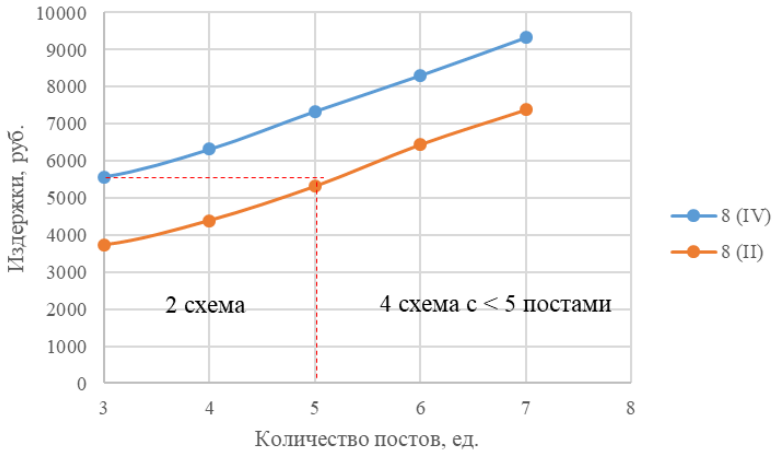


Рисунок 3.32 – Издержки системы для двух разных производственных структур (2 и 4) при интенсивности поступления клиентов 8 авто/смену

Это обусловлено взаимосвязями технологических звеньев в рамках одного маршрута. Например, производительность звена «мастер-приемщик» ограничивает производительность последующих звеньев, таких как «универсальный пост по ТО и Р», а также специализированных постов. Это можно наблюдать на следующем рисунке, где показана загруженность разных технологических звеньев во время моделирования (рисунок 3.33).

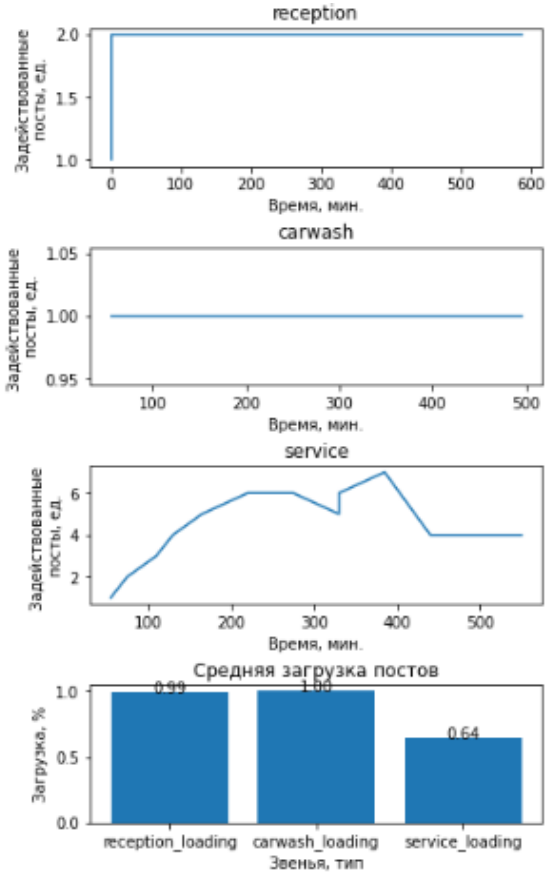


Рисунок 3.33 – Загрузка разных технологических звеньев для схемы 2 при интенсивности поступления клиентов, равной 25 авто/смену

Имеющиеся 2 мастера-приемщика являются постоянно загруженными, что снижает загрузку следующих постов типа «service», в результате общая загрузка этого типа постов равна 0,64, и в каждый момент модельного времени простаивает от 2 до 4-х из 7 постов этого типа.

В результате моделирования разного количества мастеров-приемщиков было выявлено, что для каждого значения интенсивности поступления клиентов существует их оптимальное количество (рисунок 3.34).

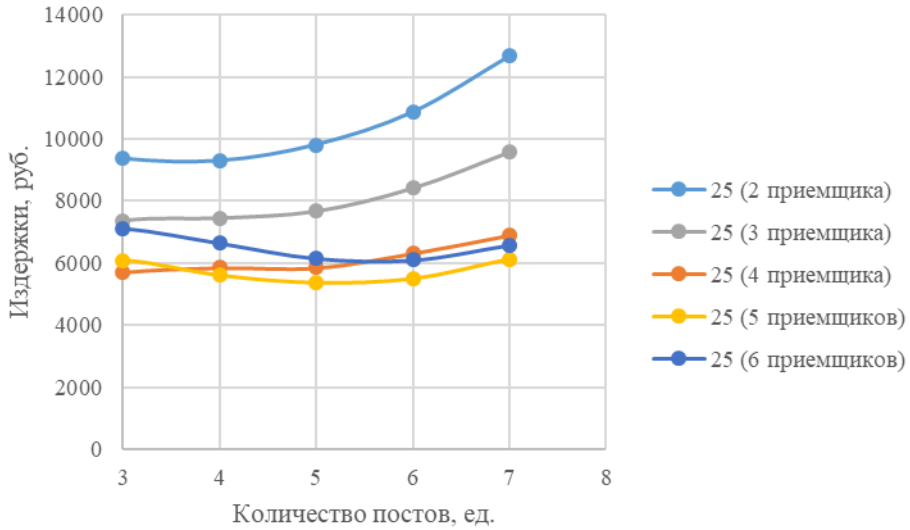


Рисунок 3.34 – Изменение издержек системы при различном количестве постов по ТО и Р и мастеров-приемщиков для интенсивности поступления клиентов 25 авто/смену и схемы производственной структуры номер 2

Для представленного на рисунке 3.34 примера минимальные издержки системы достигаются при 5 мастерах-приемщиках.

На основании регрессионного анализа полученных экспериментальных данных было разработано уравнение регрессии зависимости оптимального количества постов по ТО и Р автомобилей на предприятии от месячной производственной программы N и типа производственной структуры x. Установлено, что коэффициент уравнения регрессии при факторе τ статистически не значим, поэтому он был исключен из итоговой модели.

Итоговый вид уравнения регрессии представлен ниже:

$$X_{опт} = 5{,}95 + 0{,}00529 \cdot N - 0{,}3636 \cdot x, \qquad (3.9)$$

где $X_{опт}$ – оптимальное по критерию минимизации затрат суммарное количество постов по ТО и Р, ед.;

N – количество поступивших автомобилей в месяц, ед.;

x – количество типов технологических звеньев на СТО, ед.

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым при выполнении условия t ≥ tp. Значение t-статистики коэффициентов модели для уровня значимости α=0,05 приведено в таблице 3.39.

Таблица 3.39 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Наименование показателя	t-статистика Стьюдента
A_0	8,34
N	14,16
τ	0,03
x	3,75

Коэффициенты модели являются значимыми, когда соблюдается условие t ≥ tp. Такое условие соблюдается только для коэффициентов при N и x для tp = 1,98.

Оценивалось также влияние смешанного эффекта на функцию отклика. В таблице 3.40 представлены статистические характеристики регрессионной модели на смешанных и на главных эффектах. Поскольку результаты модели на главных эффектах статистически более устойчивы, было принято решение использовать ее в качестве итоговой.

Таблица 3.40 – Статистические характеристики многофакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значения	
		Главные эффекты	Смешанные эффекты
1	Объем выборки	108	108
2	Коэффициент множественной детерминации	0,74	0,79
3	Коэффициент множественной корреляции	0,61	0,62
4	t-статистика Стьюдента	12,7	7,7
5	$t_{\alpha=0,05}$	1,98	1,98
6	Дисперсионное отношение Фишера	105,6	72,5
7	$F_{\alpha=0,05}$	3,98	3,98
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	18	30

Значение коэффициентов эластичности λ и влияния β факторов модели на результирующий признак представлено в таблице 3.41.

Таблица 3.41 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
N	0,005	0,45	0,81
x	-0,363	-0,20	-0,22

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 5,14$.

Моделирование для автотранспортных предприятий

Фрагмент полученных из имитационной модели экспериментальных данных для оценки производственной структуры предприятия представлен в таблице 3.42.

Таблица 3.42 – Экспериментальные данные об изменении выходных показателей предприятия от факторов X_1, X_2, X_3

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Отн.пропуск.спос-ть, %	Время простоя в очереди, ч	Время простоя постов, ч	Время обслуживания, ч	Количество обслуженных, ед.	Количество поступивших, ед.
0,99	250	7043	11968	900	905
0,32	24299	30	40132	1050	3248
0,79	276	17126	1590	77	97
0,78	173	15898	2944	237	304
0,45	21237	75	36872	1193	2667
0,35	31285	12	44300	1885	5438
…					

В таблице 3.43 представлена матрица коэффициентов корреляции факторов. Для удобства восприятия значимые коэффициенты корреляции для α=0,1 были выделены цветом.

Установлено, что факторы $X_{1\text{-}3}$ коррелируют с функцией отклика Y1, и эта связь является статистически значимой. Следовательно, для нее возможно установить модель аппроксимации.

Таблица 3.43 – Матрица коэффициентов корреляции

	X_1	X_2	X_3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X_1	1,00	0,04	-0,04	-0,56	0,59	-0,76	0,71	0,62	0,71
X_2	0,04	1,00	-0,04	-0,52	0,58	-0,50	0,59	0,46	0,61
X_3	-0,04	-0,04	1,00	0,28	-0,24	0,17	-0,24	0,17	-0,07
Y1	-0,56	-0,52	0,34	1,00	-0,91	0,68	-0,89	-0,44	-0,86
Y2	0,59	0,58	-0,24	-0,91	1,00	-0,66	0,96	0,45	0,92
Y3	-0,76	-0,50	0,17	0,68	-0,66	1,00	-0,83	-0,83	-0,83
Y4	0,71	0,59	-0,24	-0,89	0,96	-0,83	1,00	0,62	0,96
Y5	0,62	0,46	0,17	-0,44	0,45	-0,83	0,62	1,00	0,73
Y6	0,71	0,61	-0,07	-0,86	0,92	-0,83	0,96	0,73	1,00

Матрица корреляционных полей рассматриваемых факторов и функции отклика представлена на рисунке 3.35.

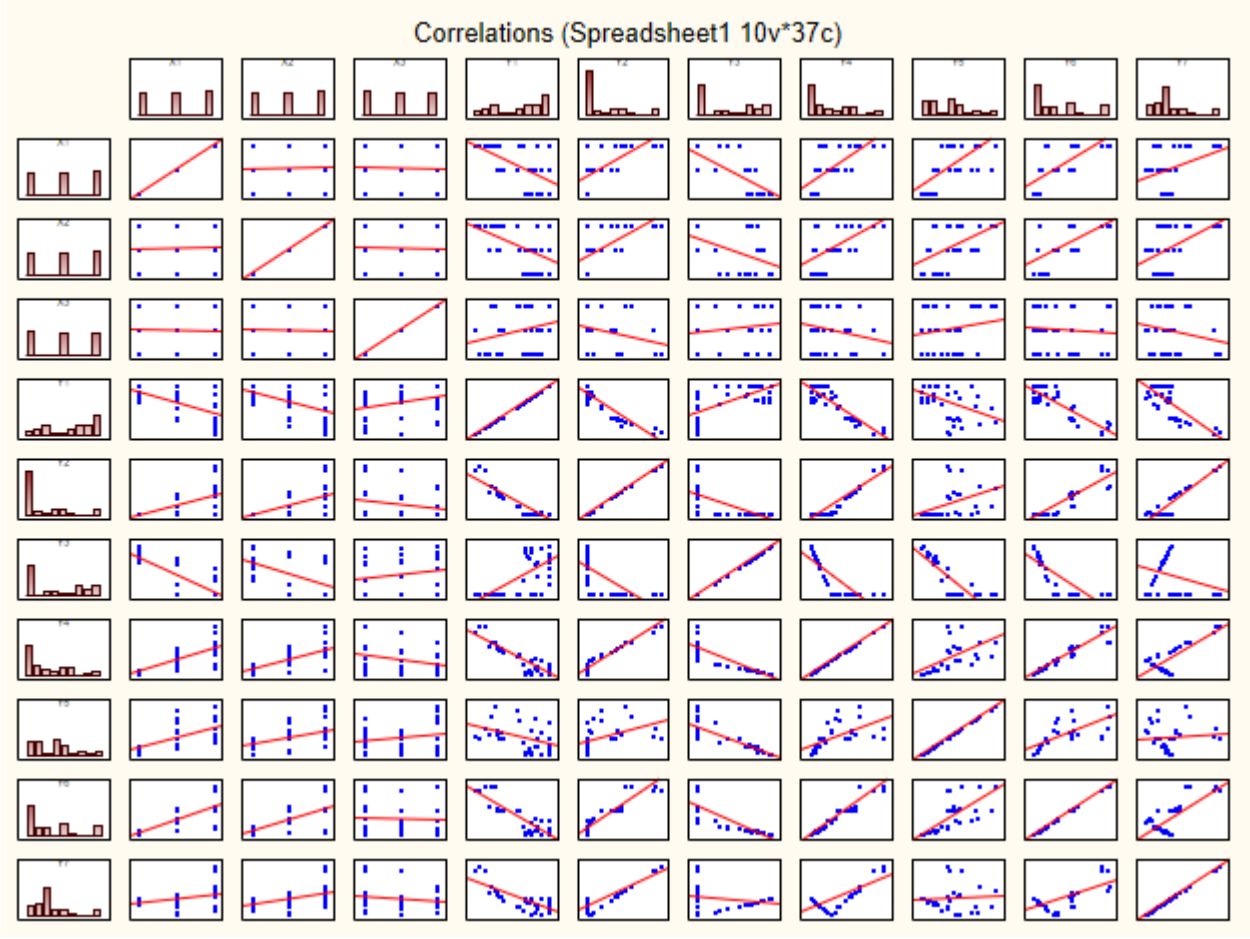


Рисунок 3.35 – Матрица корреляционных полей факторов и функции отклика

Таблица t-статистик коэффициентов парной корреляции для уровня значимости α=0,1, числа измерений n=108 и табличного значения t-критерия Стьюдента $t_{табл}$ = 1,7 представлена ниже. Значимые коэффициенты из условия $t \geq t_{табл}$ выделены цветом (таблица 3.44).

Таблица 3.44 – t-статистики коэффициентов парной корреляции

	X_1	X_2	X_3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	*C*
X_1		0,23	0,23	4,03	4,36	6,91	5,91	4,72	5,94	1,96
X_2	0,23		0,23	3,60	4,19	3,38	4,31	3,07	4,56	2,98
X_3	0,23	0,23		1,73	1,43	0,99	1,49	1,00	0,39	1,24
Y1	4,03	3,60	2,14		12,72	5,46	11,76	2,88	10,08	7,05
Y2	4,36	4,19	1,43	12,72		5,24	21,40	2,95	14,03	11,91
Y3	6,91	3,38	0,99	5,46	5,24		8,90	8,92	8,69	1,59
Y4	5,91	4,31	1,49	11,76	21,40	8,90		4,68	20,97	6,66
Y5	4,72	3,07	1,00	2,88	2,95	8,92	4,68		6,41	0,48
Y6	5,94	4,56	0,39	10,08	14,03	8,69	20,97	6,41		5,75
C	1,96	2,98	1,24	7,05	11,91	1,59	6,66	0,48	5,75	

Основным оцениваемым параметром являлась относительная пропускная способность системы Y_1. Анализ корреляционных таблиц показывает, что все три рассматриваемых фактора X_1, X_2, X_3 оказывают значимое влияние на функцию отклика. Поэтому принято решение включить указанные факторы в модель регрессии.

Для формирования уравнения регрессии качественные категориальные значения фактора X_3 были переведены в количественные дискретные значения аналогичным образом, как для эксперимента с СТО. Принято решение оценивать фактор X_3 таким показателем, как количество технологических звеньев X_{32} для каждой рассматриваемой схемы производственной структуры. Количественные значения для фактора X_3 представлены в таблице 3.45.

Таблица 3.45 – Количественное значение фактора X_3

Тип производственной структуры	Количество технологических звенье, ед.
1	2,0
3	5,0
5	8,0

Таким образом, при формировании модели регрессии учитываются 3 фактора:

X_1 - размер парка автомобилей A_{cc}, ед.;

X_2 – интенсивность эксплуатации подвижного состава ω, км./мес;

X_3 – тип производственной структуры предприятия, выражающийся в количестве типов технологических звеньев на АТП *x*, ед.

В качестве зависимой переменной Y_1 рассматривается относительная пропускная способность производственной зоны АТП или СТО q.

Поэтому производилась оценка нескольких вариантов моделей многофакторной регрессии – с линейными и нелинейными параметрами. Для получения нелинейной модели использовался метод линеаризации переменных в модуле нелинейного оценивания программы STATISTICA. Модели оценивались по совокупности статистических критериев, рассмотренных в схеме методики обработки результатов эксперимента. В результате была выбрана модель, наибольшим образом удовлетворяющая этим критериям.

Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$q = 0{,}99 - 0{,}000748 \cdot A_{cc} - 0{,}000077 \cdot \omega + 0{,}1173 \cdot \ln(x), \qquad (3.10)$$

где q – относительная пропускная способность СТО, %;

A_{cc} – размер парка автомобилей, ед.;

ω – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес;

x – количество типов технологических звеньев на АТП, ед.

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым при выполнении условия t ≥ tp. Значение t-статистики коэффициентов модели для уровня значимости α=0,05 приведено в таблице 3.46.

Таблица 3.46 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Наименование показателя	t-статистика Стьюдента
A_0	9,89
A_{cc}	5,04
ω	4,62
x	2,48

Все коэффициенты модели являются значимыми, т.к. соблюдается условие t ≥ tp = 1,98 (таблица 3.47).

Таблица 3.47 – Статистические характеристики многофакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	108
2	Коэффициент множественной детерминации	0,63
3	Коэффициент множественной корреляции	0,79

Продолжение таблицы 3.43

4	t-статистика Стьюдента	9,8
5	$t_{\alpha=0,05}$	1,98
6	Дисперсионное отношение Фишера	19,23
7	$F_{\alpha=0,05}$	3,98
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	16

Значения коэффициентов эластичности λ и влияния β факторов модели на результирующий признак представлены в таблице 3.48.

Таблица 3.48 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
A_{cc}	-0,000748	-0,29	-0,53
ω	-0,000077	-0,33	-0,49
x	0,117300	0,81	1,11

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 0,026$.

График модели регрессии с фиксированным значением одного из трех факторов будет представлять собой поверхность. На рисунках 3.36, 3.37, 3.38 представлен трехмерный график влияния факторов A_{cc} и x на относительную пропускную способность системы при фиксированных значениях ω, равных 1000; 3000; 5000.

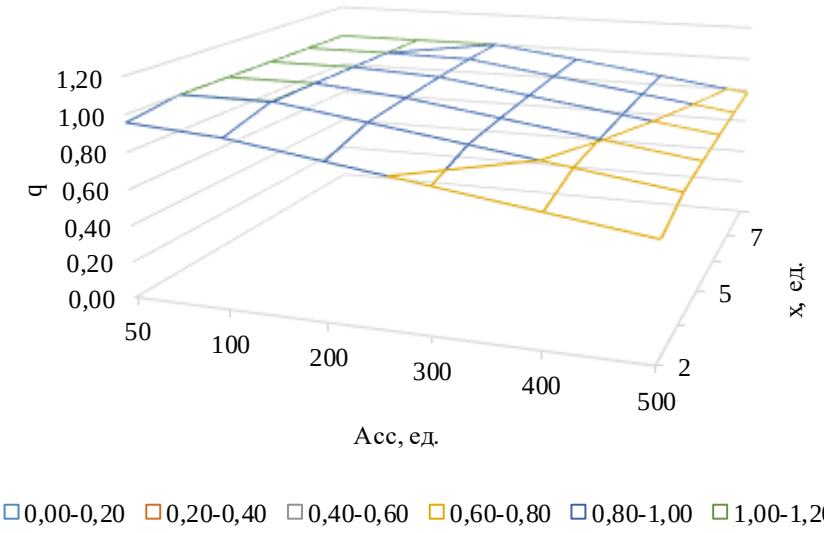


Рисунок 3.36 – График зависимости относительной пропускной способности q от размера парка A_{cc} и количества технологических звеньев x при интенсивности эксплуатации ω = 1000 км/мес

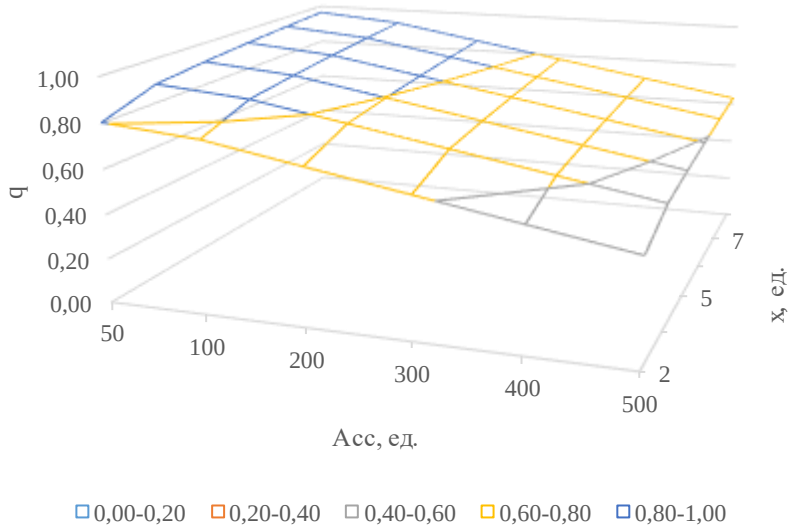


Рисунок 3.37 – График зависимости относительной пропускной способности q от размера парка A_{cc} и количества технологических звеньев x при интенсивности эксплуатации ω = 3000 км/мес

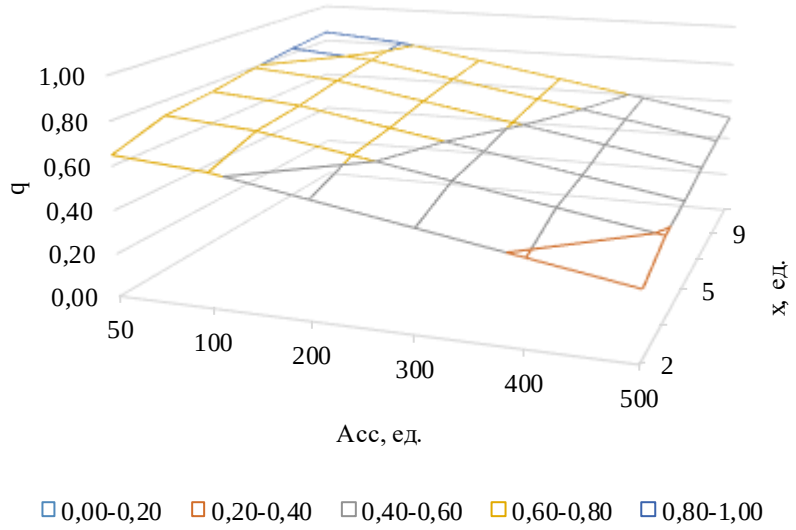


Рисунок 3.38 – График зависимости относительной пропускной способности q от размера парка A_{cc} и количества технологических звеньев x при интенсивности эксплуатации ω = 5000 км/мес

Далее производилось определение оптимального по установленной целевой функции значения количества технологических звеньев при разных значениях факторов A_{cc} и ω.

Для этого согласно плану эксперимента для каждого уровня факторов определялось количество технологических звеньев x, при которых достигаются минимальные издержки функционирования системы. Результат определения усредненного значения издержек для заданного количества измерений в каждой точке плана представлен в таблице 3.49.

Таблица 3.49 – Определение оптимального количества технологических звеньев по критерию минимизации затрат

№	Значения факторов		Принятое оптимальное значение x, ед.
	A_{cc}, ед.	ω,км/мес	
1	500	5000	8
2	50	1000	2
3	500	1000	2
4	275	5000	8
5	50	3000	2
6	500	3000	8
7	50	5000	2
8	275	3000	5
9	275	1000	2

Для каждой точки плана эксперимента определялось минимальное значение количества технологических звеньев *x*, после чего полученное значение использовалось в качестве функции отклика при формировании регрессионной модели.

Существенного взаимодействия (смешанных эффектов) между факторами A_{cc} и ω обнаружено не было. Поэтому на основании полученных оптимальных значений фактора *x* была разработана регрессионная двухфакторная модель на главных эффектах:

$$x_{опт} = -17{,}8277 + 0{,}0089 \cdot A_{cc} + 2{,}5244 \cdot \ln(\omega), \qquad (3.11)$$

где $x_{опт}$ – оптимальное по экономическому критерию количество типов технологических звеньев на АТП, ед.;

A_{cc} – размер парка автомобилей, ед.;

ω – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес.

Статистические характеристики модели представлены в таблице 3.50.

Таблица 3.50 – Статистические характеристики двухфакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,73
3	Коэффициент множественной корреляции	0,85

Продолжение таблицы 3.50

4	t-статистика Стьюдента	2,6
5	$t_{\alpha=0,1}$	1,94
6	Дисперсионное отношение Фишера	8,24
7	$F_{\alpha=0,05}$	5,14
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	19

Значение t-статистики для коэффициентов регрессионной модели составляют 2,8 и 2,9. Оба коэффициента статистически значимы.

График двухфакторной модели регрессии представлен на рисунке 3.39.

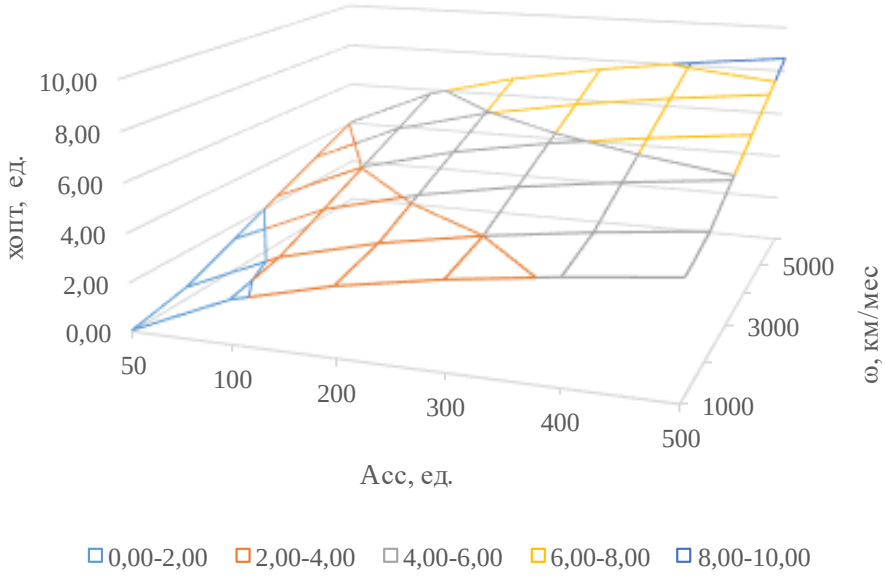


Рисунок 3.39 – График двухфакторной регрессионной модели определения оптимального количества технологических звеньев

Полученная зависимость справедлива на области определения $A_{cc} \in [50; 500]$, $\omega \in [1000; 5000]$.

Значения коэффициентов эластичности и влияния для полученной двухфакторной модели представлены в таблице 3.51.

Таблица 3.51 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Наименование показателя	Коэффициент модели	Коэффициенты	
		эластичности λ	влияния β
A_{cc}	0,008889	0,56	0,59
ω	2,524385	4,66	6,46

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 2,3$.

Далее по критерию минимума затрат целевой функции было определено оптимальное количество постов всех типов. Для этого для каждой точки плана эксперимента с заданным количеством повторений определялись издержки на функционирование системы при различном суммарном количестве постов. Количество постов выбиралось из промежутка $X \in [3;5;7;11;13]$.

Фрагмент экспериментальных данных по определению издержек представлен в таблице 3.52.

Таблица 3.52 – Определение издержек на функционирование системы при различном количестве постов

Точка плана	Факторы			Издержки при заданном количестве постов					Хопт
	X_1	X_2	X_3	6	8	10	12	14	
1	500	1000	5	171 845	350 975	729 475	1 092 775	1 476 075	6
2	500	3000	2	3403 364	2977 111	2429 943	1 787 359	1 822 496	12
3	50	1000	2	976 325	1342 525	1 740 425	2 111 425	2 470 725	6
4	50	3000	8	849 950	1238 050	1 607 250	1 984 250	2 340 350	6
…									
108	275	1000	8	624 950	1000 650	1 384 250	1 749 750	2 123 850	6

На основании регрессионного анализа полученных экспериментальных данных было разработано уравнение регрессии зависимости оптимального количества постов по ТО и Р автомобилей на предприятии от размера парка автомобилей предприятия A_{cc}, интенсивности эксплуатации автомобилей ω и типа производственной структуры x.

Таблица парных корреляций между факторами и функцией отклика представлена в таблице 3.53. Далее представлена таблица значимости парных корреляций при n = 108 и $t_{табл}$ = 2,36 (таблица 3.54). Все коэффициенты статистически значимы.

Таблица 3.53 – Коэффициенты парных корреляций факторов

	Acc	W	x	Хопт
Acc	1,00	0,00	0,00	0,56
W	0,00	1,00	0,00	0,64
x	0,00	0,00	1,00	-0,24
Хопт	0,56	0,64	-0,24	1,00

Значение t-статистики, превышающее указанное выше пороговое значение, говорит о значимости коэффициента парной корреляции.

Таблица 3.54 – Значение t-статистики парных корреляций факторов

	Асс	W	x	Хопт
Асс		0,00	0,00	6,92
W	0,00		0,00	8,53
x	0,00	0,00		2,54
Хопт	6,92	8,53	2,54	

Итоговый вид уравнения регрессии представлен ниже:

$$X_{опт} = 3{,}7 + 0{,}01 \cdot A_{сс} + 0{,}0013 \cdot \omega - 0{,}33 \cdot x, \qquad (3.12)$$

где $X_{опт}$ – оптимальное по критерию минимизации затрат суммарное количество постов по ТО и Р, ед.;

$A_{сс}$ – размер парка автомобилей, ед.;

ω – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес;

x – количество типов технологических звеньев на АТП, ед.

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым при выполнении условия t ≥ tp. Значение t-статистики коэффициентов модели для уровня значимости α=0,1 приведено в таблице 3.55.

Таблица 3.55 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Наименование показателя	t-статистика Стьюдента
A_0	3,34
$A_{сс}$	2,6
ω	3,0
x	2,4

Коэффициенты модели являются значимыми, когда соблюдается условие t ≥ tp. Такое условие соблюдается для всех коэффициентов для tp = 1,66.

Оценивалось также влияние смешанного эффекта на функцию отклика. В таблице 3.56 представлены статистические характеристики регрессионной модели на главных эффектах. Поскольку результаты модели на главных эффектах статистически более устойчивы, было принято решение использовать ее в качестве итоговой.

Таблица 3.56 – Статистические характеристики многофакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значения
1	Объем выборки	108
2	Коэффициент множественной детерминации	0,88
3	Коэффициент множественной корреляции	0,77
4	t-статистика Стьюдента	3,34
5	$t_{\alpha=0,05}$	1,98
6	Дисперсионное отношение Фишера	5,75
7	$F_{\alpha=0,05}$	3,98
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	18

Значение коэффициентов эластичности λ и влияния β факторов модели на результирующий признак представлено в таблице 3.57.

Таблица 3.57 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
A_{cc}	0,010370	0,32	0,56
ω	0,001333	0,45	0,64
x	-0,333333	-0,19	-0,24

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 2,95$.

3.7.2. Моделирование организационной структуры

Моделирование для станций технического обслуживания автомобилей

Для проведения экспериментальных исследований по определению организационной структуры использовался план эксперимента, разработанный в соответствующем подразделе.

Выбор организационной структуры осуществляется для заданной производственной структуры, определенной по оптимизационной модели. Организационная структура выбирается по критерию минимальных затрат на

аппарат управления производством, также являясь результатом оптимизации. Вследствие этого, в процессе проведения эксперимента для каждой точки плана эксперимента определялась оптимальная производственная структура, характеризующаяся показателем количества технологических звеньев x. Для этой структуры методом перебора оценивалось значение затрат для всех вариантов организационных структур из списка $X_4 \in [1; x_{опт}]$. В качестве функции отклика регистрировалось то количество управленческих звеньев Y_8, при котором достигается минимум затрат, а также затраты на систему управления Y_7 и связи между административными и производственными звеньями Y_9.

Полученные из имитационной модели экспериментальные данные для оценки организационной структуры предприятия представлены в таблице 3.58.

Таблица 3.58 – Экспериментальные данные об изменении выходных показателей предприятия от факторов X_1, X_2 для значений $X_{3опт.}$

№	X_1	X_2	$X_{3опт}$	X_4	Y_7	Y_8	Y_9
1	1350	2	5	[1;5]	11933969	4	12324
2	1350	2,5	6	[1;6]	16491741	4	1213442
3	200	2	2	[1;2]	2056229	1	11
4	200	2,5	2	[1;2]	2121235	1	11
5	650	4	5	[1;5]	7649636	3	11233
6	1350	4	7	[1;7]	18191240	5	1213445
7	650	2,5	4	[1;4]	6186511	2	1122
8	200	4	2	[1;2]	2256721	1	11
9	650	2	4	[1;4]	6159091	2	1122

На рисунке 3.40 представлены схемы оптимальных организационных структур для каждой точки плана эксперимента.

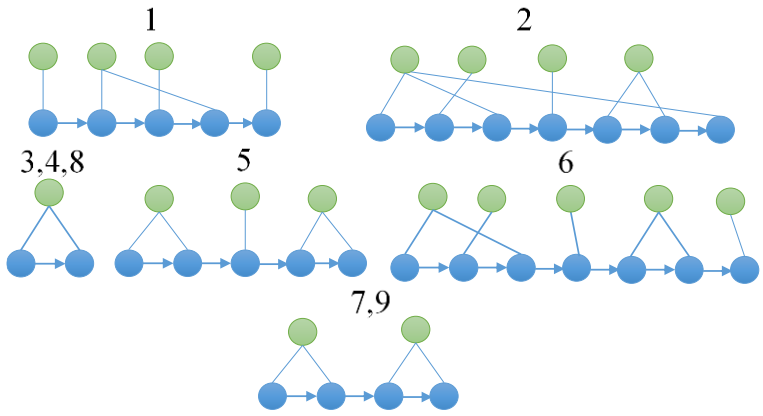


Рисунок 3.40 – Оптимальные организационные структуры для каждой точки плана эксперимента

Матрица парных корреляций факторов представлена в таблице 3.59, а матрица корреляционных полей – на рисунке 3.41.

Таблица 3.59 – Матрица парных корреляций факторов

	X1	X2	Y8	Y7
X1	1,00	-0,00	0,93	0,96
X2	0,00	1,00	0,34	0,17
Y8	0,93	0,34	1,00	0,95
Y7	0,96	0,17	0,95	1,00

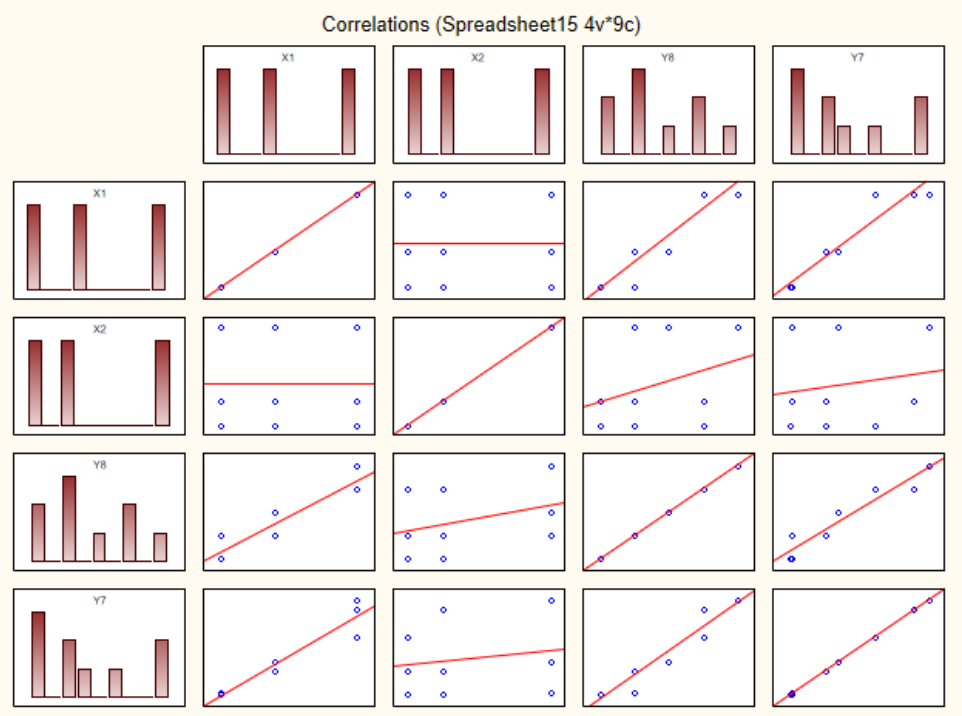


Рисунок 3.41 – Матрица корреляционных полей факторов и функции отклика

Таблица t-статистик коэффициентов парной корреляции для уровня значимости α=0,05, числа измерений n=9 и табличного значения t-критерия Стьюдента $t_{табл}$ = 2,31 представлена ниже (таблица 3.60). Значимые коэффициенты из условия $t \geq t_{табл}$ выделены цветом.

Таблица 3.60 – Значение t-статистики коэффициентов парной корреляции

	X1	X2	Y8	Y7
X1		0,00	6,88	9,10
X2	0,00		0,97	0,47
Y8	6,88	0,97		8,41
Y7	9,10	0,47	8,41	

Можно заключить, что коэффициент корреляции между фактором X_2 и функцией откликаY$_8$ статистически незначим. Поэтому его следует исключить из модели.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$A = 0{,}7378 + 0{,}00263 \cdot N, \qquad (3.13)$$

где A – количество инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами ТО и Р на предприятии, чел.;

N – количество поступивших в зону сервиса автомобилей за месяц, ед.

График модели представлен на рисунке 3.42, а ее статистические характеристики – в таблице 3.61.

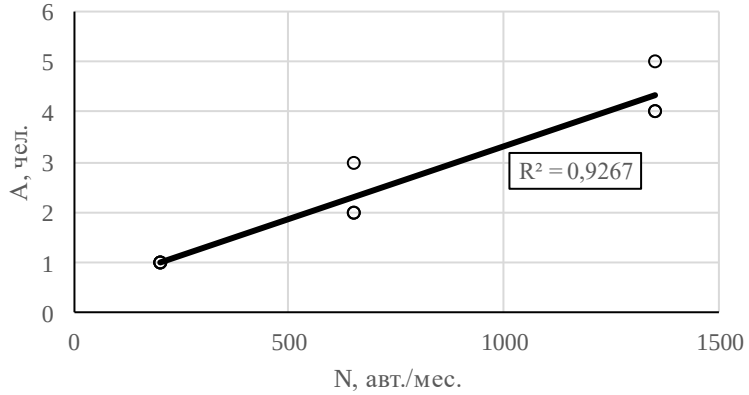


Рисунок 3.42 – График модели закономерности влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на оптимальное количество инженерно-технических работников

Таблица 3.61 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,87
3	Коэффициент множественной корреляции	0,93
4	t-статистика Стьюдента	2,21
5	$t_{\alpha=0,1}$	1,86
6	Дисперсионное отношение Фишера	47,01
7	$F_{\alpha=0,01}$	12,25
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	16

Значение t-статистики для коэффициента регрессионной модели составляют 6,8. Это говорит о его статистической значимости.

Значение коэффициентов эластичности λ и влияния β фактора модели на результирующий признак представлено в таблице 3.62.

Таблица 3.62 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
N	0,085	0,72	0,93

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 0,27$.

Аналогичным образом были получены регрессионные модели зависимости оптимальной нормы управляемости *r* от производственной программы *N*. Показатель нормы управляемости может быть выражен в количестве производственных работников *P* на одного администратора *A* либо в количестве технологических звеньев разного типа *x* на одного административного работника *A*. Первый параметр обозначим как r_p, а второй – как r_x. Формулы для определения показателей представлены ниже:

$$r_p = \frac{P}{A}, \tag{3.14}$$

$$r_x = \frac{x}{A}. \tag{3.15}$$

Полученные регрессионные зависимости и их графики (рисунок 3.43, 3.44) представлены ниже.

$$r_p = -5,305 \cdot \ln(N) + 40,842, \tag{3.16}$$

$$r_x = -0,0006 \cdot N + 2,1625, \tag{3.17}$$

где r_x, r_p – нормы управляемости, выражаемые в количестве технологических звеньев и в количестве исполнителей на одного административного работника соответственно;

N - количество поступивших автомобилей за месяц, ед.

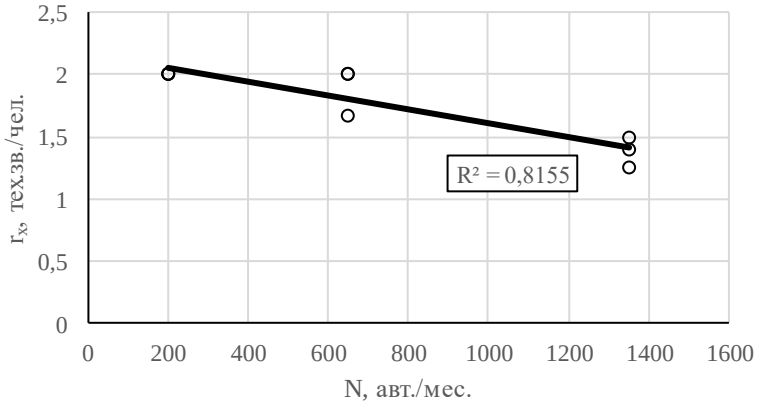


Рисунок 3.43 – Зависимость нормы управляемости r_x от месячной производственной программы

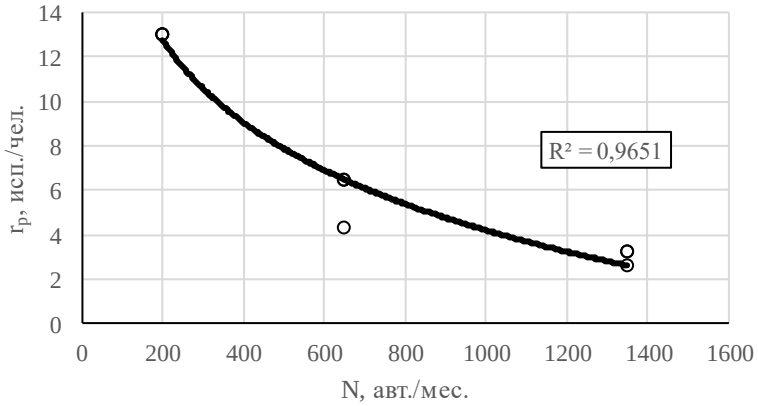


Рисунок 3.44 – Зависимость нормы управляемости r_P от месячной производственной программы

Статистические характеристики регрессионной модели представлены в таблице 3.63.

Таблица 3.63 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение для моделей	
		r_x	r_P
1	Объем выборки	9	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,81	0,93
3	Коэффициент множественной корреляции	0,90	0,96
4	t-статистика Стьюдента	24,9	7,19
5	$t_{\alpha=0,05}$	2,31	2,31
6	Дисперсионное отношение Фишера	30,937	14,246
7	$F_{\alpha=0,01}$	12,25	12,25
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	14	16

Представляет интерес изменение нормы управляемости от уровня квалификации управленческого персонала, выражаемого в виде коэффициента β. Так, для каждого значения коэффициента $\beta \in [1;1,8]$ была произведена оценка нормы управляемости r_x. По результатам получена модель закономерности, вид которой, а также график и статистические характеристики представлены ниже.

$$r_x = 2{,}98 \cdot \beta^{-1{,}578}, \tag{3.18}$$

где β – коэффициент, отражающий уровень квалификации управленческого персонала;

r_x – норма управляемости, тех.зв./чел.

График модели закономерности влияния представлен на рисунке 3.45, а статистические характеристики – в таблице 3.64.

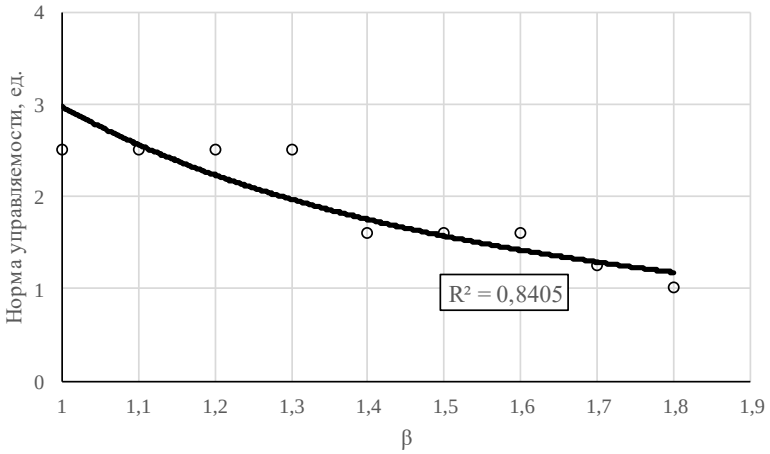


Рисунок 3.45 – График модели закономерности влияния уровня квалификации менеджеров β на норму управляемости r_x

Таблица 3.64 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,84
3	Коэффициент множественной корреляции	0,91
4	t-статистика Стьюдента	11,5
5	$t_{\alpha=0,05}$	2,31
6	Дисперсионное отношение Фишера	50,3
7	$F_{\alpha=0,01}$	12,25
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	15

Моделирование для автотранспортных предприятий

Для проведения экспериментальных исследований по определению организационной структуры для автотранспортных предприятий использовался план эксперимента, разработанный в соответствующем подразделе. Методика проведения эксперимента аналогична представленной ранее для поиска организационных структур станций технического обслуживания.

Полученные из имитационной модели экспериментальных данных для оценки организационной структуры предприятия представлен в таблице 3.65. Следует отметить, что для производственных структур с количеством технологических звеньев 4 и 7 использовались структуры с 5 и 8 звеньями соответственно, поскольку среди рассматриваемых вариантов такие структуры отсутствуют.

Таблица 3.65 – Экспериментальные данные об изменении выходных показателей предприятия от факторов X_1, X_2 для значений $X_{3опт.}$

№	X_1	X_2	$X_{3опт}$	X_4	Y_7	Y_8	Y_9
1	500	1000	4	[1;4]	4027191	3	(1, 2, 1, 3, 2)
2	500	3000	7	[1;7]	10918256	4	(1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4)
3	50	1000	2	[1;2]	1283244	1	(1, 1)
4	50	3000	3	[1;3]	1821844	1	(1, 1, 1)
5	275	5000	6	[1;6]	6874776	3	(1, 3, 3, 2, 2, 1)
6	500	5000	8	[1;8]	14997094	4	(1, 1, 2, 3, 4, 4, 3, 2)
7	275	3000	5	[1;5]	9691077	3	(1, 2, 2, 3, 3)
8	50	5000	4	[1;4]	3213595	2	(1, 2, 1, 2, 2)
9	275	1000	2	[1;2]	1657844	1	(1, 1)

На рисунке 3.46 представлены схемы оптимальных организационных структур для каждой точки плана эксперимента.

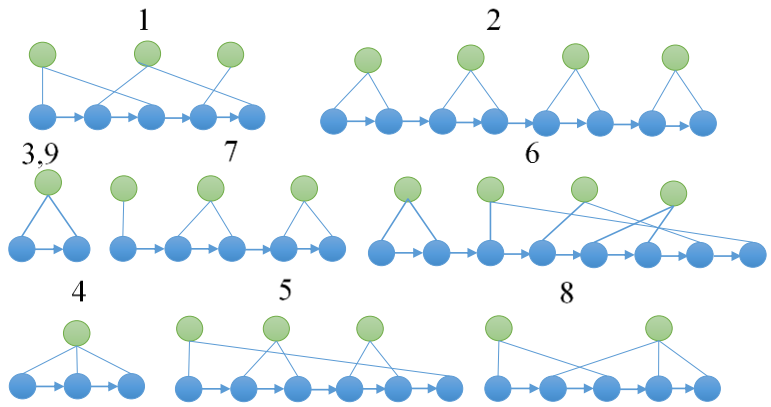


Рисунок 3.46 – Оптимальные организационные структуры для каждой точки плана эксперимента

Матрица парных корреляций факторов и корреляционных полей представлены в таблице 3.66 и на рисунке 3.47 соответственно.

Таблица 3.66 – Матрица парных корреляций факторов

	X1	X2	Y8	Y7
X1	1,00	0,00	0,82	0,70
X2	0,00	1,00	0,47	0,54
Y8	0,82	0,47	1,00	0,90
Y7	0,70	0,54	0,90	1,00

Наклон линий на графике говорит о наличии корреляционной взаимосвязи между факторами. Статистическая значимость этих взаимосвязей будет проверена далее.

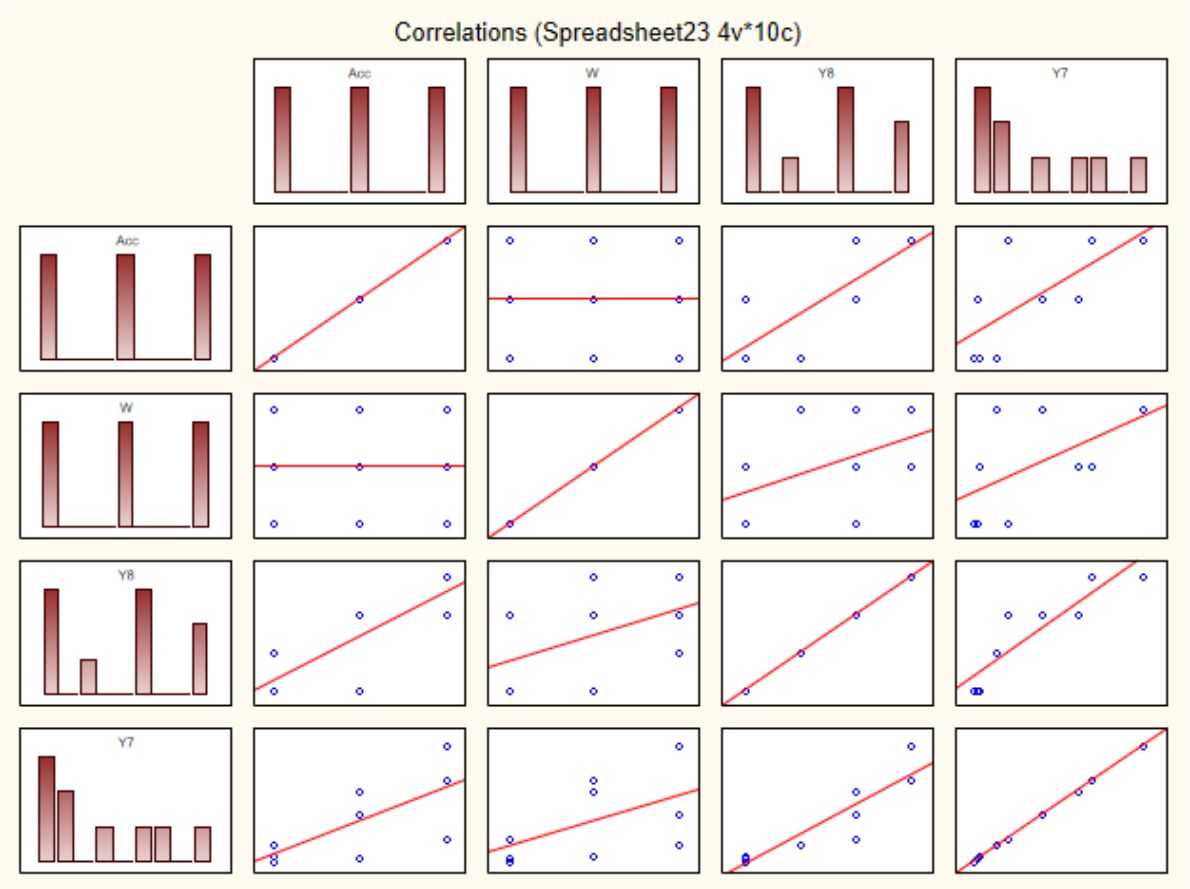


Рисунок 3.47 – Матрица корреляционных полей факторов и функции отклика

Таблица t-статистик коэффициентов парной корреляции для уровня значимости α=0,05, числа измерений n=9 и табличного значения t-критерия Стьюдента $t_{табл}$ = 2,31 представлена ниже. Значимые коэффициенты из условия $t \geq t_{табл}$ выделены цветом (таблица 3.67).

Таблица 3.67 – Значение t-статистики коэффициентов парной корреляции

	X1	X2	Y8	Y7
X1		0,00	3,75	2,59
X2	0,00		1,40	1,68
Y8	3,75	1,40		5,54
Y7	2,59	1,68	5,54	

Можно заключить, что коэффициент корреляции между фактором X_2 и функцией откликаY$_8$ статистически незначим. Поэтому его следует исключить из модели.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$A = 1{,}1296 + 0{,}0052 \cdot A_{cc}, \quad (3.19)$$

где A – количество инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами ТО и Р на предприятии, чел.;

A_{cc} – размер парка автомобилей, ед.

График модели закономерности показан на рисунке 3.48, а ее статистические характеристики – в таблице 3.68.

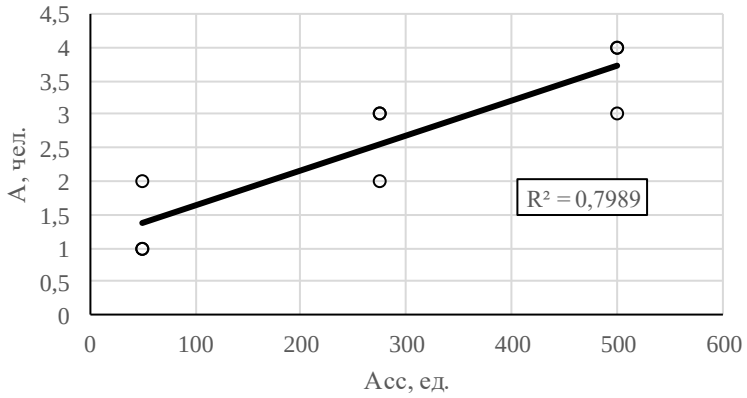


Рисунок 3.48 – График модели закономерности влияния размера парка автомобилей на предприятии на оптимальное количество инженерно-технических работников

Таблица 3.68 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,79
3	Коэффициент множественной корреляции	0,89
4	t-статистика Стьюдента	2,2

Продолжение таблицы 3.68

5	$t_{\alpha=0,1}$	1,86
6	Дисперсионное отношение Фишера	14,0
7	$F_{\alpha=0,05}$	5,59
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	16

Значение t-статистики для коэффициента регрессионной модели составляют 3,75. Это говорит о его статистической значимости.

Значение коэффициентов эластичности λ и влияния β фактора модели на результирующий признак представлено в таблице 3.69.

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 0,26$.

Таблица 3.69 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
A_{cc}	0,0052	0,56	0,89

Аналогичным образом были получены регрессионные модели зависимости оптимальной нормы управляемости *r* от производственной программы *N*.

Полученные регрессионные зависимости и их графики представлены ниже.

$$r_p = -0,317 \cdot \ln(A_{cc}) + 3,5239 , \quad (3.20)$$

$$r_x = 80,164 \cdot A_{cc}^{-0,453}, \quad (3.21)$$

где r_x, r_p – нормы управляемости, выражаемые в количестве технологических звеньев и в количестве исполнителей на одного административного работника соответственно;

A_{cc} – размер парка автомобилей, ед.

Графики моделей закономерности показан на рисунках 3.49, 3.50, а их статистические характеристики – в таблицах 3.68, 3.69.

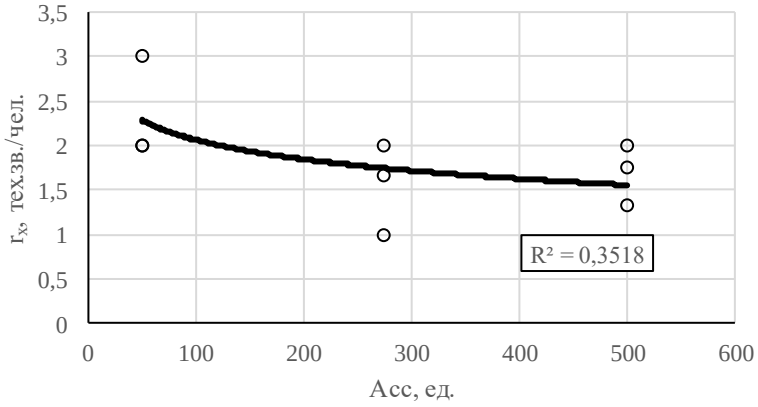


Рисунок 3.49 – Зависимость нормы управляемости r_x от размера парка автомобилей

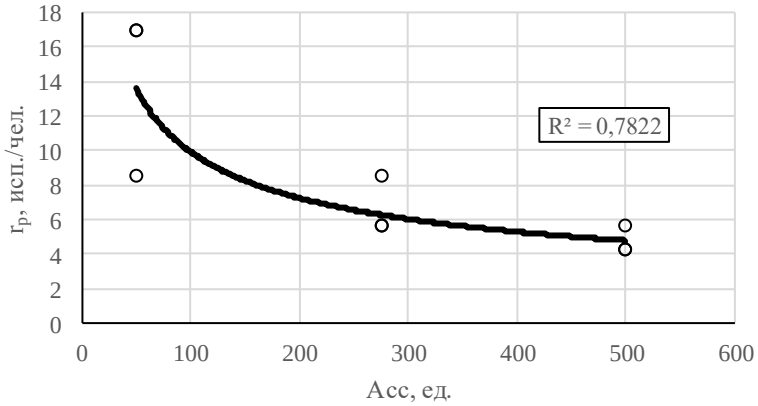


Рисунок 3.50 – Зависимость нормы управляемости r_P от размера парка автомобилей

Таблица 3.70 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение для моделей	
		r_x	r_P
1	Объем выборки	9	9
2	Коэффициент множественной детерминации	0,35	0,78
3	Коэффициент множественной корреляции	0,59	0,88
4	t-статистика Стьюдента	4,06	7,0
5	$t_{\alpha=0,05}$	2,31	2,31
6	Дисперсионное отношение Фишера	6,2	14,246
7	$F_{\alpha=0,05}$	5,59	5,59
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	17	12

Была произведена оценка влияния уровня квалификации управленческого персонала, выражаемого в виде коэффициента β, на изменение нормы управляемости. По результатам корреляционно-регрессионного анализа изменение нормы управляемости r_x от β статистически незначимо.

3.8. Моделирование функций планирования при управлении производством по ТО и Р автомобилей

3.8.1. Стратегическое планирование работы технической службы предприятия

3.8.1.1. Системы поддержки принятия решений

В настоящее время автомобильный транспорт является источником генерации больших объемов информации, которые могли бы быть использованы для оптимизации технологических и управленческих процессов его эксплуатации. В транспортной стратегии РФ присутствует большое количество тезисов, которые подтверждают актуальность задач, связанных с использованием данных для реализации прогнозной аналитики и их интеллектуального анализа [182]. В существующих научных работах в смежных сферах используются понятия «цифровых двойников» и «систем поддержки принятия решений», которые наращивают свой потенциал применения [225, 230, 235].

Следует отметить, что структура систем поддержки принятия решений и принципы их работы в настоящее время интерпретируется разными авторами по-разному, не сформирована общая концепция их применения и использования [209, 306].

Были проанализированы существующие научные работы, посвященные данной тематике. Работа [280] посвящена разработке системы поддержки принятия решений по оптимизации межсервисного интервала обслуживания самолетов на основе показаний датчиков в реальном времени. В работе [236] сформированы теоретические основы модели системы по перевозке грузов морским транспортом, которая позволяет среди большого количества сочетаний вариантов типов транспорта и маршрутов выбрать оптимальный по критерию, задаваемому пользователем. В работах автора [50, 51] для создания цифровой модели используется автотранспортного предприятия используются методы системной динамики. Большое количество работ посвящено созданию информационных систем управления перевозочным процессом [85, 229, 253].

Задача выбора оптимального управленческого решения из ряда существующих вариантов относится к типу обратных задач исследования операций и математически может быть описана следующим образом:

$$E^* = \max\{E(\alpha, \rho, \xi)\}$$ – обратная задача (ρ∈P), (3.22)

где α - заданные, заранее известные факторы (условия выполнения операции);

ρ - зависящие от нас элементы решения, образующие в своей совокупности решение;

ξ – неизвестные факторы;

E - показатель эффективности;

E^* - максимальное значение $E(a, \rho, \xi)$, взятое по всем решениям, входящим в множество возможных решений P.

Формулировка задачи в общем виде звучит следующим образом: при заданных условиях α, с учетом неизвестных факторов ξ, найти такое решение $\rho \in P$, которое, по возможности, обеспечивает максимальное значение показателя эффективности E [222].

В качестве ограничений при принятии решений выступают такие факторы, как D - доход, Prib - прибыль, NV – налоговые выплаты, Rent - рентабельность, Vtb – безубыточный объем работ, Tok – срок окупаемости. В качестве частных критериев эффективности используются следующие показатели: суммарные затраты на реализацию управленческого решения C, общая трудоемкость принятия решения T.

Тогда формулировка задачи применительно к управлению автотранспортным предприятием звучит следующим образом. Требуется сформировать перечень решений (альтернатив), удовлетворяющих установленным пользователем критериям (одному или нескольким) эффективности (ограничениям) {D, Prib, NV, Rent, Vtb, Tok}, и затем выбрать из сформированного множества альтернатив одно или несколько оптимальных согласно критериям минимизации финансиовых или временных затрат {C→min, T→min}, являющихся равнозначными или приоритезированными.

Визуализация процесса принятия решения согласно предлагаемому подходу приведена на рисунке 3.51.

За основу расчетной модели взят технологический и экономический расчет станции технического обслуживания автомобилей. Методика реализации системы поддержки принятия решений по управлению технической эксплуатацией парка техники представлена на рисунке 3.52 и состоит из восьми этапов.

Далее будут подробно представлены эти этапы.

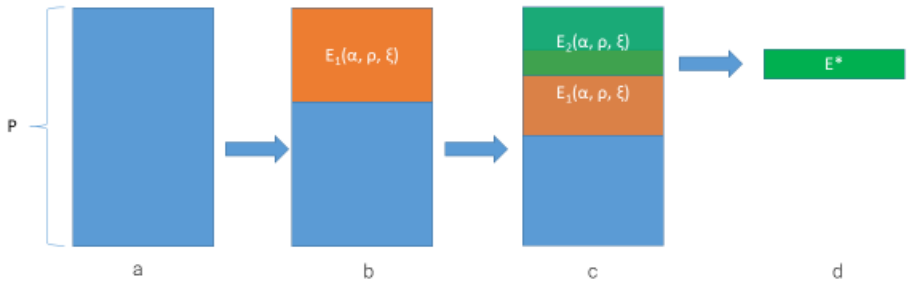


Рисунок 3.51 – Визуализация процесса поиска решения из конечного перечня альтернатив: a – начальный перечень решений; b – выбор решений по критерию E_1; c - выбор решений по критерию E_2; d – работа с конечным перечнем решений

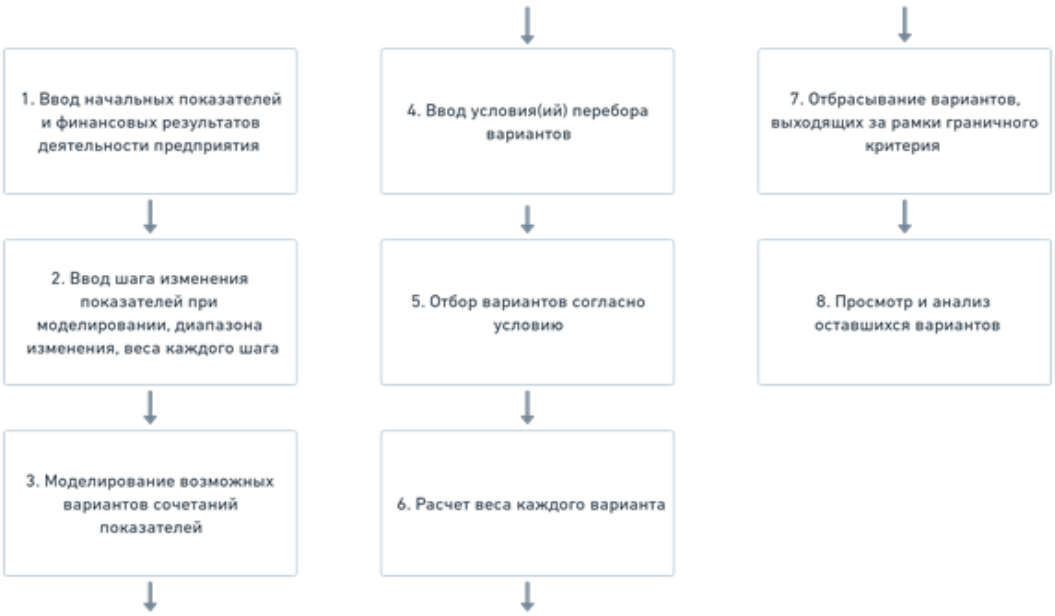


Рисунок 3.52 – Методика реализации системы поддержки принятия решений по управлению технической эксплуатацией парка техники

На первом этапе в систему поступают данные о текущих технических и финансовых показателях работы предприятия за отчетный период, равный одному году. Перечень показателей, характеризующих текущую деятельность предприятия, заложенных в основу расчетной модели, представлен далее: годовое количество обслуживаемых автомобилей на СТО, ед.; количество автомобиле-заездов на станцию одного автомобиля в год, раз.; среднегодовой пробег автомобиля, км.; дни работы в году, дн.; продолжительность смены, ч.; число смен, см.; коммерческая стоимость нормочаса, руб.; доход, руб.; прибыль, руб.; суммарные налоговые отчисления, руб.; рентабельность, %; безубыточный объем реализации услуг, чел.час..; срок окупаемости капитальных вложений, лет.

Указанный перечень показателей не является исчерпывающим и может изменяться в зависимости от специфики деятельности предприятия.

Окно ввода исходных данных в систему представлено на рисунке 3.53.

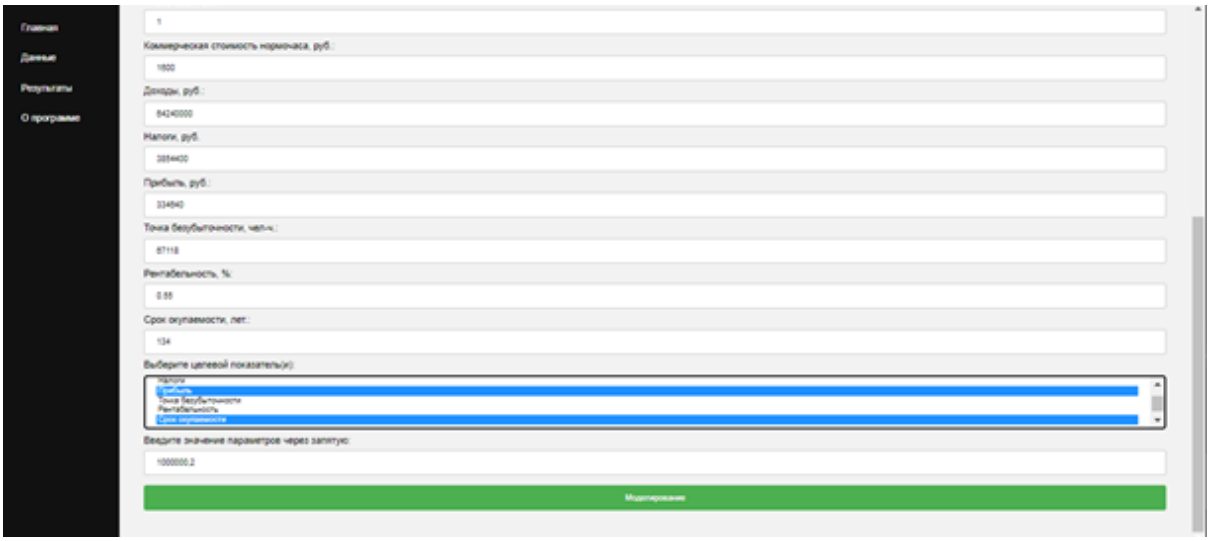


Рисунок 3.53 – Пример интерфейса пользователя системы поддержки принятия решений

Для моделируемой ситуации пользователем является директор предприятия – станции сервисного обслуживания (директор по развитию), желающий узнать, за счет каких действий можно улучшить финансовые показатели деятельности предприятия, например, прибыль. Система должна предоставить пользователю параметры предприятия, при которых оно сможет достичь заданного значения прибыли, например, в 1 млн. рублей. Пользователь может задавать значения не только одного, но нескольких показателей, как и представлено на рисунке 3.53, где выбрана прибыль и срок окупаемости капитальных вложений. После нажатия на кнопку «Моделирование» запускается расчетный модуль системы.

Вторым этапом является определение шага и диапазона изменения исходных показателей расчетной модели, совокупность сочетаний которых и будет оцениваться далее. Например, показатель «Годовое количество обслуживаемых автомобилей на СТО, ед.» для заложенной в основу расчетной модели изменяется в диапазоне 100 ÷ 1000 с шагом 100 ед. Аналогично задаются диапазоны и шаги изменения других показателей.

Кроме того, модель должна предусматривать автоматизированный механизм сравнения вариантов между собой и отбора наиболее предпочтительных вариантов для пользователя из всего многообразия возможных вариантов решений. Этот механизм становится тем актуальнее, чем большее количество вариантов выдала система. Ручной анализ каждого варианта из нескольких сотен представленных является для конечного пользователя трудоемкой и в целом ненужной задачей. В рамках диссертационных исследований предложено два метода обратной оптимизации. Первый метод – простой перебор значений с использованием балльной экспертной оценки варианта и фильтрации вариантов с применением

метода Парето. Этот метод рассмотрен ниже. Второй метод – метод генетических алгоритмов. Ему будет посвящен отдельный подраздел далее. По первому варианту в качестве механизма отбора решений предложено использовать суммарный балл варианта, который является обобщенным показателем сложности принятия решения для предприятия, характеризующий материальные, финансовые, временные, трудовые затраты и т.п. Чем больше значение, тем менее предпочтительным является решение. Балл меняется в диапазоне от 1 до 5. Например, очевидно, что вариант с увеличением годового количества обслуживаемых на станции автомобилей на 100 единиц для предприятия является более трудозатратным и менее выполнимым, чем, например, вариант с увеличением продолжительности рабочего дня или количества рабочих дней в году. В первом случае предприятие несет затраты на маркетинг и привлечение клиентов, не говоря уже о возможной необходимости расширения технической мощности производственной базы, а во втором – только дополнительные затраты на увеличение фонда оплаты труда. Поэтому балл по первому варианту будет выше, чем по второму, откуда второй вариант представляется более предпочтительным. Значения баллов либо определяются и задаются пользователем самостоятельно на основе собственной аналитики, либо используется аналитика, заложенная в систему.

В таблице 3.71 представлены баллы изменения значений исходных показателей предприятия.

Таблица 3.71 – Показатели оценки отклонения показателя предприятия от фактического состояния предприятия

№	Фактор	Балл при изменении значения на 1 шаг
1	Среднегодовой пробег автомобиля, км.	5
2	Количество автомобиле-заездов на станцию одного автомобиля в год, раз.	5
3	Годовое количество обслуживаемых автомобилей на СТО, ед.	4
4	Коммерческая стоимость нормочаса, руб.	3
5	Число смен, см.	2
6	Дни работы в году, дн.	1
7	Продолжительность смены, ч.	1

Формула расчета суммарного балла по варианту решения представлена ниже:

$$W_{sum}^{i} = \sum_{j=1}^{n} \frac{(V_{jcount}^{i} - V_{jfact}^{i})}{S_j} \cdot R_j, \quad (3.23)$$

где i – номер варианта;

W_{sum} – суммарный вес варианта, балл;

j – наименование показателя деятельности предприятия из n показателей;

V_{count} – расчетное значение показателя;

V_f – фактическое значение показателя;

S – шаг изменения значения показателя;

R – вес изменения показателя на 1 шаг.

Следует отметить, что суммарный балл варианта определяется при его сравнении с фактическими (текущими) показателями деятельности предприятия. Таким образом, при расчете по формуле (3.23) каждый вариант, предлагаемой системой, будет характеризоваться суммарным баллом, определяющим его сложность или выполнимость. Например, для пользователя, принимающего решение, более предпочтительным будет вариант, оцениваемый в 2 балла, чем в 10. Вместе с этим, реализована возможность минимизации количества вариантов, предлагаемых пользователю для анализа. Для этого предлагается использовать метод Парето, который применительно к данному исследованию заключается в фокусировании пользователя только на 20% вариантов, распределенных по увеличению суммарного балла.

На третьем этапе система производит моделирование (технологический и экономический расчет предприятия) по всем сочетаниям исходных факторов, сформированных на втором этапе. Результатом расчета является определение финансовых показателей работы предприятия, перечисленных выше.

Пользователь должен иметь возможность работать только с теми вариантами, которые удовлетворяют условию его запроса к системе. Поэтому пятым этапом является формирование пользовательского запроса из представленных вариантов (или шаблонов) запросов или конструирование нестандартных запросов. Например, из всех представленных вариантов пользователь хочет получить только те, при которых прибыль составит более 1 млн. рублей. Неформализованный в программную форму запрос мог бы звучать следующим образом: «Можно ли за счет изменения любых других показателей по отдельности относительно текущего уровня предприятия достичь прибыли более 1 000 000 руб.?».

Система осуществляет отбор вариантов согласно условию: прибыль больше или равна 1 млн. рублей. В результате пользователь получает совокупность вариантов, распределенных по категориям, представленных на рисунке 3.54.

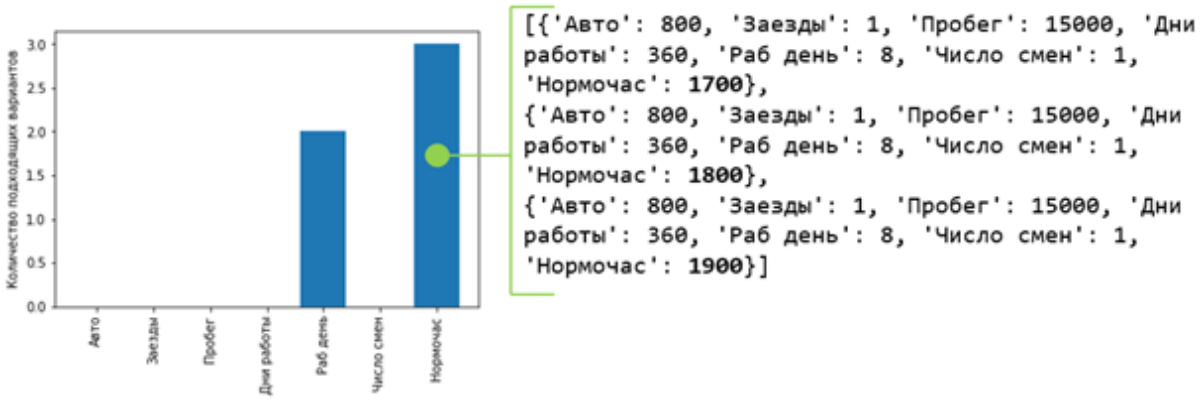


Рисунок 3.54 – Количество вариантов, соответствующих заданному пользователем условию, и содержание предложенных системой вариантов по критерию «Коммерческая стоимость нормочаса, руб.»

Согласно представленному на рисунке 3.54 примеру система выдала пользователю на его запрос всего пять вариантов, причем 2 решения достигаются за счет увеличения рабочего дня, а три – за счет увеличения коммерческой стоимости нормо-часа работ. Содержимое последней группы вариантов решений также приведено на рисунке 3.54 справа. Пользователь получает готовое управленческое решение, которое заключается в увеличении стоимости нормо-часа на 100 рублей относительно текущей стоимости, равной 1600 рублей. Таким образом, система позволила из общего перечня вариантов предложить в качестве решения указанной проблемы тот, который отвечает критерию пользователя.

Однако более информативным и практичным является возможность получения вариантов решений при одновременном изменении всех входящих параметров предприятия. Конкретное решение в таком случае могло бы содержать изменение, например, трех их семи показателей относительно текущего состояния предприятия. В этом случае запрос пользователя мог бы быть сформулирован следующим образом: «Можно ли за счет изменения любых других показателей вместе относительно текущего уровня предприятия достичь прибыли более 1 000 000 руб.?».

Система выдает пользователю определенное количество решений, распределенных по степени увеличения их суммарного балла на шестом этапе методики. Также по указанному выше методу Парето происходит отбор двадцати процентов вариантов, которые и будут являться итоговыми. Визуализация методики отбора вариантов представлена на рисунке 3.55.

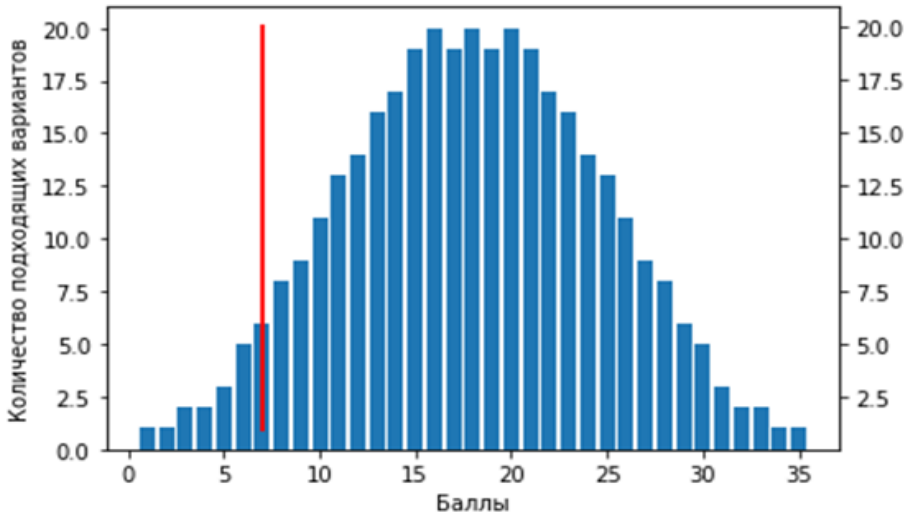


Рисунок 3.55 – Распределение количества вариантов, удовлетворяющих заданному условию, по весам; красная вертикальная линия соответствует 20% от общего количества представленных вариантов

Варианты, выходящие за рамки граничного критерия, могут быть просмотрены пользователем в ручном режиме. В заключительный перечень вариантов на седьмом этапе методики включаются только те, которые удовлетворяют одному или нескольким заданным пользователем условиям.

Таким образом, на последний запрос пользователя для рассматриваемого примера система выдала ответ: 352 варианта, из которых 20 вариантов решений было отобрано по принципу Парето для дальнейшей работы и анализа пользователем.

Восьмым этапом является просмотр и анализ финального перечня вариантов. При этом пользователь имеет возможность запустить моделирование еще раз, используя параметры выбранного финального варианта в качестве исходных. Он получает возможность определить, как изменятся показатели работы предприятия в рамках выбранного варианта, чтобы более обоснованно принять управленческое решение.

На рисунке 3.56 представлен пошаговый процесс работы с решениями, формируемыми системой. На первом шаге (рисунок 3.56 слева) происходит вывод вариантов решений и их оценка. Система указывает общее количество сочетаний вариантов, количество вариантов, удовлетворяющих заданному пользователем условию, а также количество вариантов для рассмотрения с учетом суммарного балла каждого варианта, определенного по формуле (3.23). В этом же окне пользователь может подробнее проанализировать содержимое каждого варианта (рисунок 3.56 в центре) и смоделировать работу предприятия, используя параметры выбранного варианта в качестве входящих.

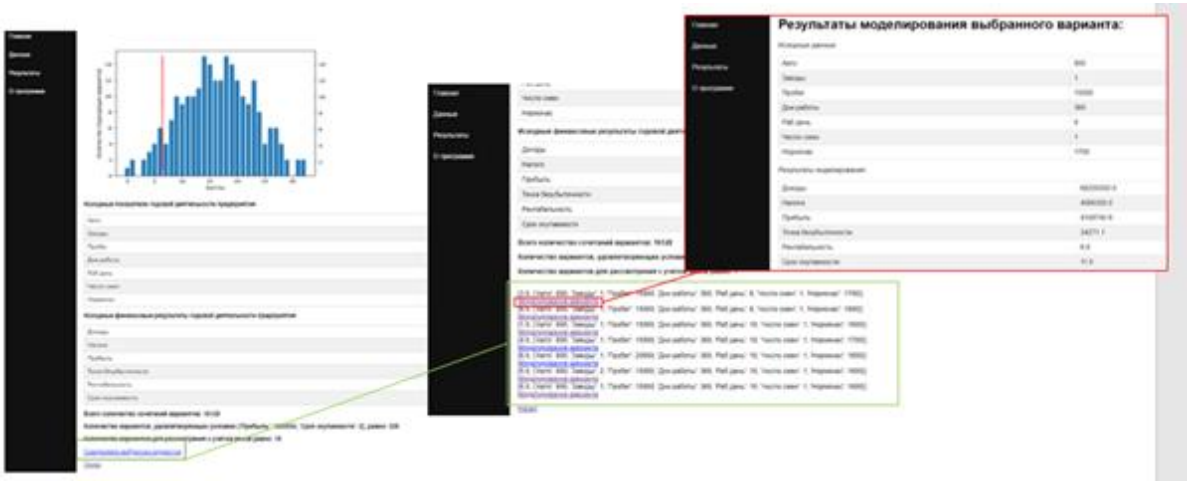


Рисунок 3.56 – Пример окна вывода итоговых вариантов системой поддержки принятия решений

В результате пользователь может спрогнозировать и оценить результаты работы предприятия, если он изменит один или несколько предлагаемых системой показателей относительно их текущего значения (рисунок 3.56 справа). С учетом вышесказанного для рассматриваемого примера ответом на последний запрос пользователя могут служить варианты, предполагающие увеличение продолжительности рабочего дня на 2 часа, увеличение стоимости нормо-часа минимум на 100 рублей или увеличение количества обслуживаемых на предприятии автомобилей на 100 единиц.

Таким образом, была разработана структура системы принятия решений по управлению технической эксплуатацией парка техники. Работа системы представлена на примере управления станцией технического обслуживания автомобилей. Система позволяет спрогнозировать параметры текущей и финансовой деятельности предприятия и сформировать перечень действий для их достижения с учетом установленных пользователем критериев. Отбор вариантов осуществляется с учетом суммарного балла каждого варианта, являющегося обобщенным показателем сложности реализации решения относительно текущего состояния предприятия. Распределенные по степени увеличения суммарного балла варианты отбираются по критерию Парето, при этом на рассмотрение пользователя предлагаются варианты с наименьшими весами (наименьшей сложностью реализации). Система реализована в виде web-приложения с возможностью ввода/вывода информации, реализации функционала моделей и взаимодействия с базами данных. Предприятие подключается к системе на основе подписки, синхронизируя данные о деятельности с системой. Направлениями дальнейших исследований является разработка и реализация методики определения оптимальных вариантов функционирования системы с учетом установленного пользователем условия и критерия оптимизации; совершенствование методики

выбора и обоснования критериев сравнения вариантов с использованием методов машинного обучения; адаптация блока моделей приложения к условиям реальных предприятий с подключением к их базам данных и потокам динамической информации, например, с систем транспортной телеметрии.

3.8.1.2. Генетические алгоритмы для задач стратегического планирования

Альтернативой методу простого перебора значений для решения задач оптимизации, представленного в предыдущем подразделе, является метод эволюционных (или генетических) алгоритмов. Такого рода алгоритмы решают сложные задачи с применением концептуальных подходов, аналогичных основным положениям теории эволюции биологических видов [190]. Жизненный цикл генетического алгоритма состоит из нескольких этапов:

1. создание популяции возможных решений;
2. оценка приспособленности особей в популяции;
3. выбор родителей на основе их приспособленности;
4. воспроизводство потомства;
5. создание следующего поколения и оценка его приспособленности.

Приведенные выше этапы реализуются в несколько циклов до момента определения глобального оптимума на рассматриваемом пространстве решений.

Рассмотрим решение представленной ранее задачи поиска оптимальных параметров функционирования станции технического обслуживания в терминологии генетических алгоритмов [267]. Рассматриваемая задача относится к типу обратных оптимизационных задач, условие которой представлено выше, и может быть сформулирована следующим образом: требуется определить такие входные факторы, при которых один или несколько выходных параметров будет соответствовать заданным пользователем значениям или стремиться к точке экстремума. В качестве методической основы используется технологический и экономический расчет станции технического обслуживания автомобилей, представленный в работе [127]. Расчеты были незначительно упрощены для исключения вариантов ветвлений, связанных с выбором различных методов организации ТО и ТР, а также с распределением суммарной трудоёмкости между зонами и участками.

Входные параметры для расчетов следующие:

1. годовое количество условно обслуживаемых на станции автомобилей $N_{СТО}$;
2. количество автомобиле-заездов в год d;
3. средне-годовой пробег автомобиля $L_г$, км;

4. число рабочих дней в году, $Д_{раб.г}$;
5. продолжительность смены $Т_{см}$, ч;
6. число смен С, ед.;
7. стоимость нормо-часа работ, $С_{нч}$, руб.

Выходные параметры расчета можно определить следующие:

1. доходы: D, руб.;
2. налоги: NV, руб;
3. прибыль: Prib, руб;
4. точка безубыточности: Vtb, чел.час.;
5. рентабельность: Rent, %;
6. срок окупаемости: Tok, лет.

В рамках представленного выше жизненного цикла генетического алгоритма первым этапом необходимо сформировать популяцию возможных решений. Отдельное возможное решение принято называть хромосомой. Хромосома состоит из генов, содержащих какое-либо значение, которое может быть представлено в виде булевых типов данных, целочисленных (дискретных) или непрерывных значений. В рамках рассматриваемой задачи популяция хромосом может выглядеть следующим образом (рисунок 3.57).

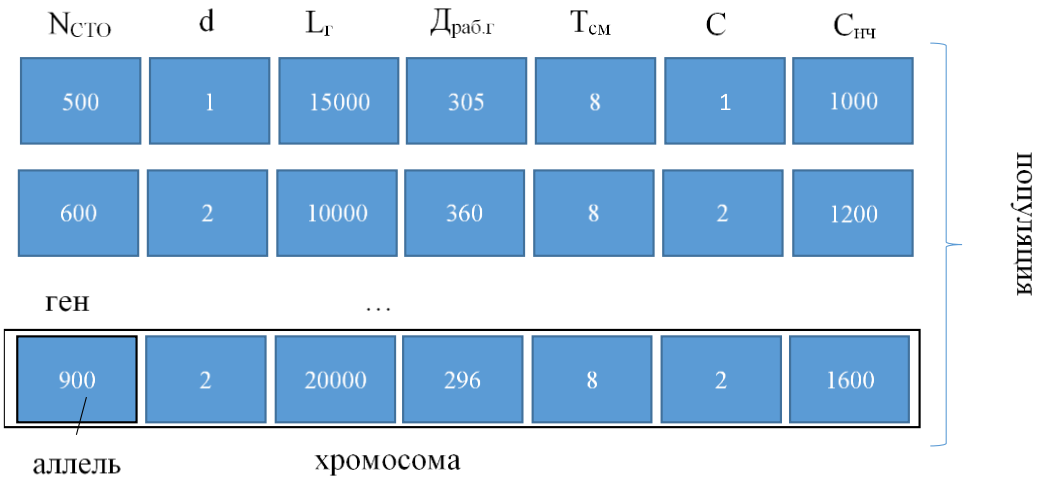


Рисунок 3.57 – Популяция возможных вариантов сочетаний факторов

В качестве способа описания конкретного решения при определении аллели гена было выбрано кодирование значений целыми числами с дискретным шагом в одну единицу. Для этого были определены границы изменения значений входящих факторов, которые представлены далее: $\{N_{СТО} \in R{:}100 \leqslant N_{СТО} \leqslant 1000\}$; $\{d \in R{:}1 \leqslant d \leqslant 5\}$; $\{L_г \in R{:}5000 \leqslant L_г \leqslant 25000\}$; $\{Д_{раб.г} \in R{:}300 \leqslant Д_{раб.г} \leqslant 365\}$; $\{Т_{см} \in R{:}8 \leqslant Т_{см} \leqslant 12\}$; $\{С \in R{:}1 \leqslant С \leqslant 2\}$; $\{С_{нч} \in R{:}1 \leqslant С_{нч} \leqslant 2\}$.

Для формирования модели была использована библиотека geneticalgotithm языка программирования Python. Для указанного способа реализации был задан

максимальный размер популяции, равный 100 особей (хромосом). Начальная популяция генерируется путем случайной инициализации значений генов в пределах установленных в параметрах алгоритма границ.

Следующим этапом является определение функции приспособленности особей или фитнес-функции. Эта функция выполняет роль целевой для генетического алгоритма и показывает степень соответствия выбранной популяции решений заданному (оптимальному) варианту. Чем выше приспособленность конкретной популяции, тем больше генов от родителей переходит к потомкам. Аллели генов родителей с низкой приспособленностью исключаются из эволюционного процесса по мере реализации следующих циклов. Для условий рассматриваемой задачи функция приспособленности может базироваться на выбранном пользователе значении выходного параметра экономического расчета СТО и стремиться либо к максимизации (в случае D, Prib, Rent), либо к минимизации (в случае NV, Vtb, Tok) значений. Для используемого фреймворка в случае решения задачи максимизации фитнес-функция будет задаваться отрицательным значением целевого показателя и положительным для минимизации.

Общий вид функции приспособленности для задач увеличения дохода, прибыли или рентабельности представлен на рисунке 3.58.

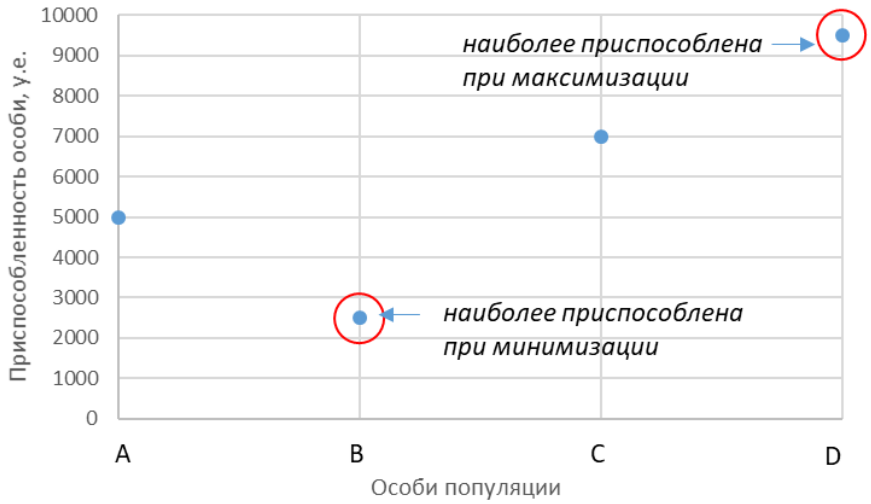


Рисунок 3.58 – Оценка приспособленности особей

Из всей популяции, приведенной на рисунке 3.58, особь D будет иметь самую высокую приспособленность. Следовательно, ее гены для наследования будут более важными, чем гены других особей. Поэтому именно она будет с большей вероятностью использована для воспроизводства потомства.

При этом для смены поколений существует несколько моделей. Стационарная модель предполагает сохранение большей части популяции и замену новым потомством только небольшой группы особей, процент которых

устанавливается в параметрах алгоритма. Поколенческая модель предполагает полную смену популяции каждое поколение. При этом у хромосом с более высоким показателем приспособленности больший шанс быть выбранными для наследования генов потомству. В созданной модели использовался стационарный подход с заданным процентом замещения популяции родителей (30%).

После отбора родителей наступает процесс воспроизведения ими нового потомства. Этот процесс состоит из двух частей: смешивания части хромосом первого и второго родителя (кроссинговера) и случайного изменения генов потомка для улучшения популяции (мутации). В работе использовался однородный (uniform) кроссинговер, предполагающий наследование множества частей от обоих родителей. Для этого случайным образом генерируется маска, представляющая, какие гены родителя будут использованы для создания потомка. Мутация предполагает замену случайного гена потомка на число из допустимого диапазона значений. Установленный для модели параметр мутаций составляет 1% от общего количества генов. Процесс реализации воспроизводства потомства для поиска оптимальных параметров СТО представлен на рисунке 3.59.

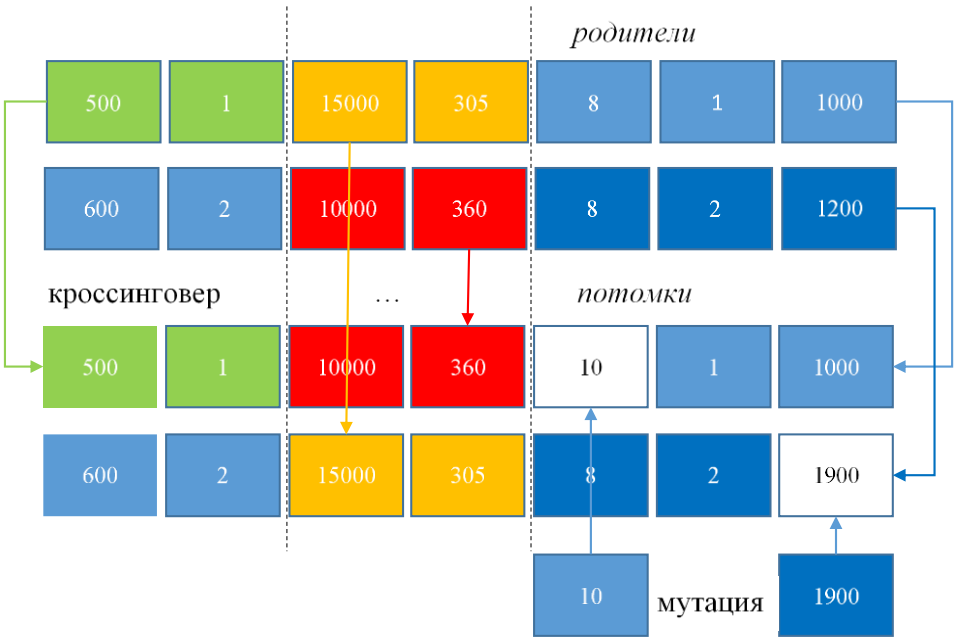


Рисунок 3.59 – Равномерный кроссинговер и мутация при воспроизводстве потомства

Условием остановки модели может быть либо прохождение заданного количества итераций, либо стагнация функции приспособленности, т.е. ситуация, когда модель на протяжении нескольких поколений получает похожие решения. При моделировании в настоящем исследовании использовался первый подход.

Параметры разработанной модели генетического алгоритма для решения задачи поиска входных параметров СТО для максимизации прибыли предприятия представлены ниже в таблице 3.72.

Таблица 3.72 – Параметры модели генетического алгоритма

№	Параметр	Значение
1	Максимальное число итераций, ед.	10
2	Размер популяции, ед.	100
3	Вероятность мутации гена, %	1
4	Процент выбора элитных особей, %	1
5	Процент передачи родительских генов при кроссинговере, %	90
6	Процент потомства из генов родителей, %	30
7	Тип кроссинговера	равномерный
8	Количество итераций без значительного улучшения фитнес-функции, ед.	5
9	Размерность входящего вектора признаков, ед.	7
10	Тип значений генов	дискретные

В результате работы модели генетического алгоритма с установленными выше параметрами, границами входных данных, а также определенной для максимизации значений функции приспособленности были получены следующие значения входящих факторов, позволяющие получить максимальную расчетную величину прибыли станции технического обслуживания. Для наглядности полученные методом результаты были сравнены с результатами оптимизации по методу простого перебора (brute force) всех вариантов значений (таблица 3.73) [211].

Таблица 3.73 – Перечень значений факторов для определенного моделью генетического алгоритма оптимального решения

№	Показатель	Значение по методу генетического алгоритма	Значение по методу перебора значений
1	Годовое количество условно обслуживаемых на станции автомобилей $N_{СТО}$;	834	900
2	Количество автомобиле-заездов в год d;	4	4
3	Средне-годовой пробег автомобиля $L_г$, км;	18000	20000
4	Число рабочих дней в году, $Д_{раб.г}$;	355	360
5	Продолжительность смены $T_{см}$, ч	11	12
6	Число смен С, ед.	1	1
7	Стоимость нормо-часа работ, $С_{нч}$, руб.	1889	1900

Результаты, полученные методом генетических алгоритмов, близки к результату, полученному методом brute force. Итоговое значение функции приспособленности для оптимального решения эволюционным методом равно 17244995 руб.

Значение прибыли при методе перебора равно 20,8 млн. руб. Изменение функции приспособленности в зависимости от итераций модели генетического алгоритма представлено на рисунке 3.60.

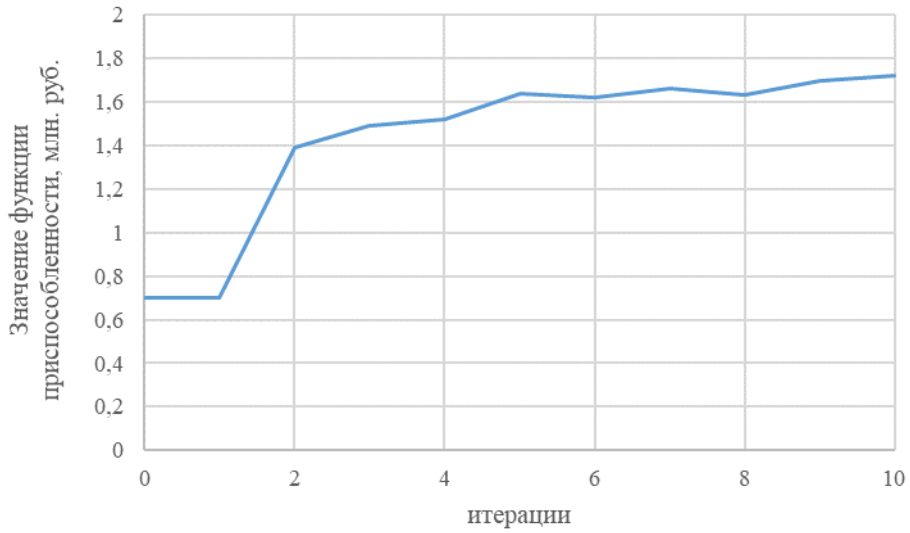


Рисунок 3.60 – Значение функции приспособленности по итерациям модели

Следует отметить, что генетический алгоритм является стохастическим и при каждой реализации выдает различные значения показателей, которые, однако, являются достаточно близкими.

Также необходимо учитывать, что алгоритм приводит в качестве оптимального одно из существующих в популяции особей решение. То есть существует ряд близких по совокупности значений решений, из которых пользователь получает только одно. Поэтому повторные запуски модели могут дать еще несколько приемлемых вариантов, которые пользователь может проанализировать. Количество возможных сочетаний вариантов по методу brute force было равно 48384 при том, что шаг значений для факторов $N_{СТО}$, $L_г$, $Д_{раб.г}$, $С_{нч}$ при сохранении указанных выше границ был намного больше единицы (100, 5000, 20, 100 соответственно) для избегания переполнения стека памяти. Время реализации генетического алгоритма, определенного с помощью декоратора @timeit, было равно 1,11 с., а метода brute force 0,56 с.

Таким образом, генетические алгоритмы можно использовать для решения задач оптимизации технологических параметров станций технического обслуживания автомобилей. При этом, данный метод позволяет достичь искомого решения за меньшее количество итераций и меньших затратах вычислительных

мощностей. При большом количестве исходных факторов и их значений метод генетических алгоритмов вообще представляется единственно возможным, поскольку другие методы, основанные на переборе значений, встречаются с ограничением объемов оперативной памяти и не могут быть реализованы на обычных персональных компьютерах [320].

3.8.1.3. Планирование загрузки автосервиса от продаж дилерского центра

Для дилерских центров по продаже и обслуживанию автомобилей работу сервисного центра следует рассматривать во взаимосвязи с результатами работы отдела продаж. Загрузка сервиса обеспечивается потоком плановых технических обслуживаний и ремонтов большинства проданных автомобилей в гарантийный период, проведением технических воздействий над этими же автомобилями в постгарантийный период, потоком обращений по гарантии, а также обращениями клиентов, не являвшихся покупателями автомобилей в этом дилерском центре. При этом общее количество клиентов сервисного центра не равно количеству проданных автомобилей, что зависит также от лояльности клиента бренду и конкретной компании, а также рейтингу компании среди конкурентов. В таких условиях предприятие должно осуществлять долгосрочное планирование работы как отдела продаж, так и сервисного центра, что еще более обуславливается наличием инертности в системе управления и сложностью быстрой адаптации к меняющимся условиям.

На формирование прогнозов влияет большое количество факторов, среди которых можно выделить следующие:

- интенсивность продаж новых автомобилей;
- общий уровень надежности проданных и обслуживаемых автомобилей;
- интенсивность обращений клиентов в сервис;
- отношение количества действительных клиентов сервиса в гарантийный и постгарантийный период к общему количеству клиентов с учетом проданных автомобилей, а также некоторые другие факторы.

Для моделирования использовались данные по надежности легковых автомобилей [5, 26]. Из соображений воспроизводимости расчетов были использованы также данные из открытых источников. Было проанализировано несколько открытых источников данных по надежности легковых автомобилей и малого коммерческого транспорта: данные европейской компании ADAC, которая фиксирует рейтинги надежности автомобилей от возраста по количеству обращений в сервисные центры; и данные американской компании J.D.Power. Компания ADAC фиксирует только отказы, приводящие к полной неподвижности

автомобиля и необходимости его транспортировки в сервисный центр, поэтому для дальнейших расчетов была использована информация из второго указанного источника. Компания J.D.Power фиксирует количество отказов на 100 автомобилей, при этом средний показатель для индивидуальных легковых автомобилей составляет 119 отказов на 100 автомобилей или 1,2 отказа на 1 автомобиль в год. Согласно [68] среднегодовой пробег автомобиля в США равен 18,5 тыс.км. В России средний возраст автомобилей по данным компании Автостат на 2024 год равен 14 лет, для указанного возраста по [68] среднегодовой пробег равен 9 тыс.км. Однако, по многим источникам, например, компании ИНТЕРФАКС, годовой пробег автомобилей в России существенно вырос и составляет 18,7 тыс. км, что соответствует среднегодовому пробегу в США на 2024 год. Для расчетов будет использовано значение в 15 тыс.км., что соответствует стандартному межсервисному интервалу. В рамках макромоделирования работы предприятия условия эксплуатации автомобилей не будут оказывать существенное влияние на поведение системы, поэтому принято решение в расчетах учитывать указанный выше показатель надежности.

Для определения среднегодового количества продаж использовалась информация компании Автостат о количестве дилеров и суммарных продажах автомобилей в России в 2024 году. Так, в 2024 в РФ зарегистрировано 3653 дилерских центра [2]. В 2022 году дилерами было продано 432 тыс.авто силами 3141 дилерского центра. Следовательно, в среднем на 1 дилера в год продается 137 автомобилей или 0,4 автомобиля в день.

Самый крупный дилер в РФ Мейджор продал около 41 тыс. машин в 2023 году или 112 машин в день. Общее количество дилерских центров у компании Мейджор равно 75. Таким образом, на 1 центр приходится 546 продаж автомобилей в год или 1,5 авто в день. То есть количество продаж новых автомобилей для расчетов можно использовать от 200 до 600.

С учетом вышеуказанного было проведено моделирование работы дилерского центра по продаже и обслуживанию автомобилей с использованием методов системной динамики.

Таким образом, исходные данные для моделирования представлены в таблице 3.74.

Таблица 3.74 – Исходные данные для планирования загрузки дилерского сервисного центра по обслуживанию и ремонту автомобилей

№	Показатель	Значение
1	Количество продаж новых автомобилей в год, ед.	500
2	Увеличение количества продаж от предыдущего года, %	10

Продолжение таблицы 3.74

3	Средний годовой пробег автомобиля, км	15000
4	Межсервисный интервал, км.	15000
5	Количество отказов на 1 автомобиль, ед.	1
6	Увеличение количества отказов от возраста автомобиля, % в год	1
7	Средняя трудоемкость 1 технического воздействия, чел.час.	3
8	Автомобили, обращающиеся на сервис после окончания гарантии, %	50
9	Автомобили, меняющие сервис до окончания гарантии	20
10	Прочие автомобили, обращающиеся на сервис, ед.	100
11	Рост количества обращений прочих автомобилей, % в год	0
12	Фонд рабочего времени поста, чел.час.	3600
13	Фактическое количество постов, ед.	8

Общее количество автомобиле-заездов в сервисный центр определялось как:

$$N = \frac{N_{обсл} \cdot L}{L_{ТО}} + N_{обсл} \cdot N_{отк} \cdot (1 + (e - y) \cdot i) \qquad (3.24)$$

где N – количество автомобиле-заездов в сервисный центр, ед.;

$N_{обсл}$ – общее количество клиентов сервисного центра, ед.;

L – среднегодовой пробег автомобилей, км.;

$L_{ТО}$ – межсервисный интервал, км.;

$N_{отк}$ – количество отказов на единицу пробега, ед.;

e – текущий модельный год, ед.;

y – год приобретения автомобиля клиентом, ед.;

i – коэффициент, учитывающий рост количества отказов с увеличением срока фактической эксплуатации автомобиля.

Загрузка производственной зоны определялась как отношение требуемого с учетом суммарной трудоемкости количества постов к количеству постов, принятых за стандартное значение.

$$T = \frac{N \cdot t}{T_{см} \cdot X} \cdot 100 \qquad (3.25)$$

где T – загрузка производственной зоны, %;

t – средняя трудоемкость технического воздействия, чел.час.;

$T_{см}$ – фонд времени работы поста, час.;

X – количество постов, ед.

Очевидно, что каждое предприятие имеет свои данные по лояльности клиентов и уменьшению количества заездов на сервис клиентами, приобретавшими автомобили в отделе продаж, но для настоящих расчетов были приняты значения по наименее лояльному для сервиса сценарию, когда только около 50% клиентов продолжают пользоваться услугами дилерского сервисного центра после окончания гарантии, и 20% клиентов перестают заезжать на дилерский сервис еще до окончания гарантии.

Сложность планирования заключается в том, что система является динамической, и отток одних клиентов во времени компенсируется продажей новых автомобилей.

Был произведен расчет заездов на сервис для трех возможных сценариев работы отдела продаж: для стабильных продаж по годам, для роста продаж новых автомобилей, для снижения объемов продаж новых автомобилей.

Для каждого сценария определялось количество автомобиле-заездов на сервис и загрузка постов. Очевидно, что для станции технического обслуживания увеличение загрузки постов и их постоянная работа является предпочтительной и желаемой ситуацией. Также предпочтительным для руководства предприятия является постоянный рост автомобиле-заездов на сервис, а его замедление является сигналом для принятия управленческих решений.

Результаты моделирования загрузки автосервиса для трех рассматриваемых сценариев представлены ниже. Глубина прогноза составляет 10 лет, что превышает долгосрочные планы большинства предприятий автомобильного сервиса. Начальной точкой отсчета следует считать момент начала продаж новой марки автомобилей или момент открытия нового дилерского центра.

На рисунке 3.61 представлен прогноз обращений на сервис для сценария стабильных продаж.

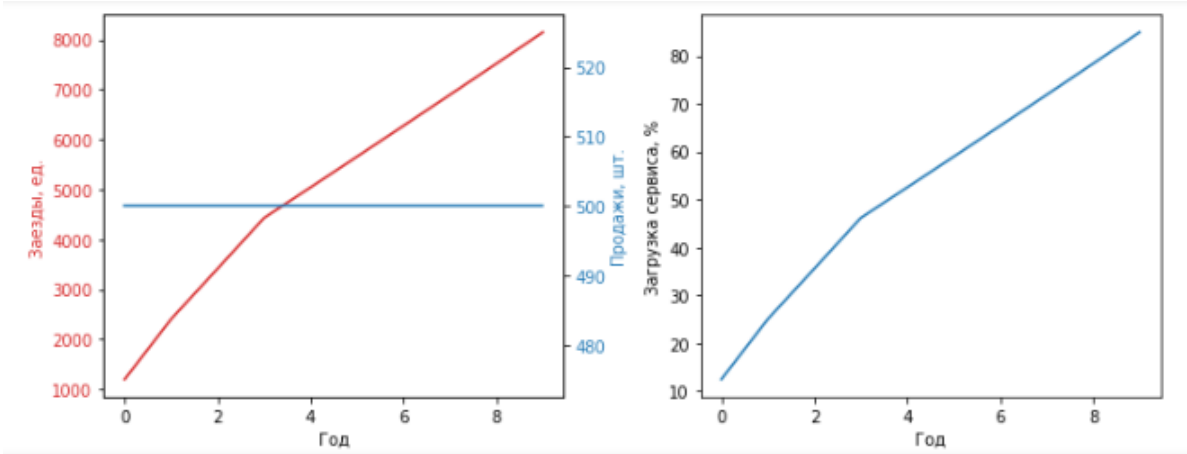


Рисунок 3.61 – Прогноз обращений на сервис и загрузка сервиса при стабильных продажах новых автомобилей

Для представленного на рисунке 3.61 слева варианта сервис выходит на стабильный режим работы на третий год. Вместе с этим рост количества обращений продолжается. Основным управленческим решением в данном сценарии будет являться обеспечения поддержания стабильных продаж на всей продолжительности прогнозного периода.

Степень загрузки производственной зоны для рассматриваемого сценария показана на рисунке 3.61 справа.

Условный порог загрузки в 50% для первого сценария будет достигнут на 4 год работы сервиса. Однако максимальная загрузка на срок прогноза не будет превышать 90%. Следовательно, для увеличения загрузки необходимо привлекать дополнительных клиентов, увеличивать продажи либо лояльность к дилерскому центру.

При сценарии роста продаж новых автомобилей наблюдается также и рост обращений на сервис, что представлено на рисунке 3.62.

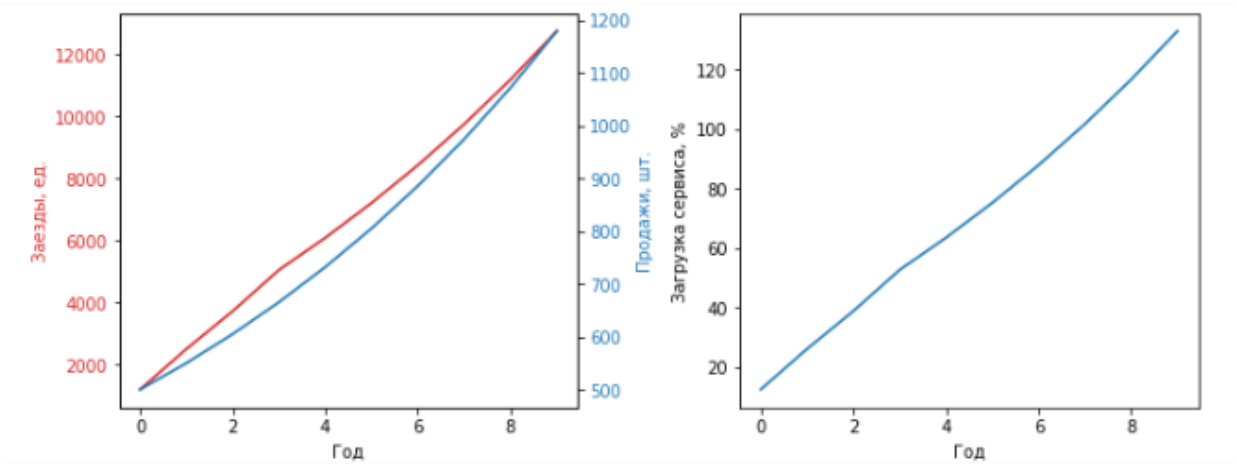


Рисунок 3.62 – Прогноз обращений на сервис и загрузка сервиса при росте продаж новых автомобилей

При этом порог загрузки в 50% будет превышен уже на 3-ий год, а максимальная загрузка производственной зоны будет обеспечена через 7 лет (рисунок 3.62 справа).

При таком сценарии руководство предприятия должно определить пути расширения производственной зоны, поскольку на шестой год она уже не будет справляться с увеличивающимся потоком клиентов. Очевидно, одним из вариантов может быть увеличение количества постов, либо повышение эффективности организации производства.

Для сценария уменьшения объемов продаж новых автомобилей замедляется интенсивность роста количества обращений на сервис (рисунок 3.63).

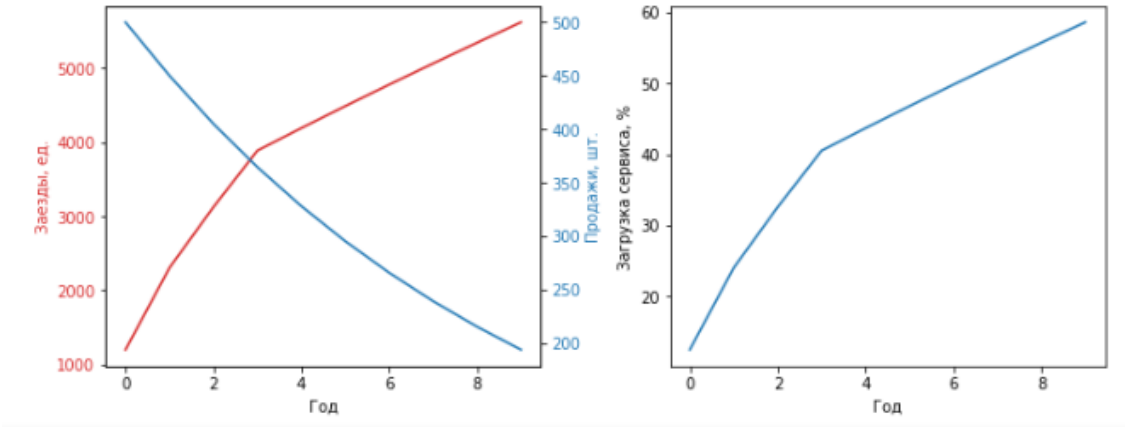


Рисунок 3.63 – Прогноз обращений и загрузки сервиса при падении продаж новых автомобилей

График обращений на сервис приобретает вид логарифмической кривой, наклон которой зависит от интенсивности снижения продаж и от количества заездов на сервис сторонних клиентов.

При увеличении интенсивности падения продаж более 10% от предыдущего периода график приобретает выпуклый вид с точкой максимума, после которой происходит падение обращений на сервис. Для рассматриваемого сценария моментом принятия управленческого решения является начало четвертого года работы дилерского центра. Следует работать над увеличением продаж либо расширением количества «сторонних» клиентов.

Загрузка производственной зоны превысит пятьдесят процентов только на седьмой год (рисунок 3.63 справа).

Для изучения функционирования системы на большем отрезке времени было произведено моделирования работы предприятия на 10 лет при периодическом снижении и увеличении количества продаж новых автомобилей (рисунок 3.64).

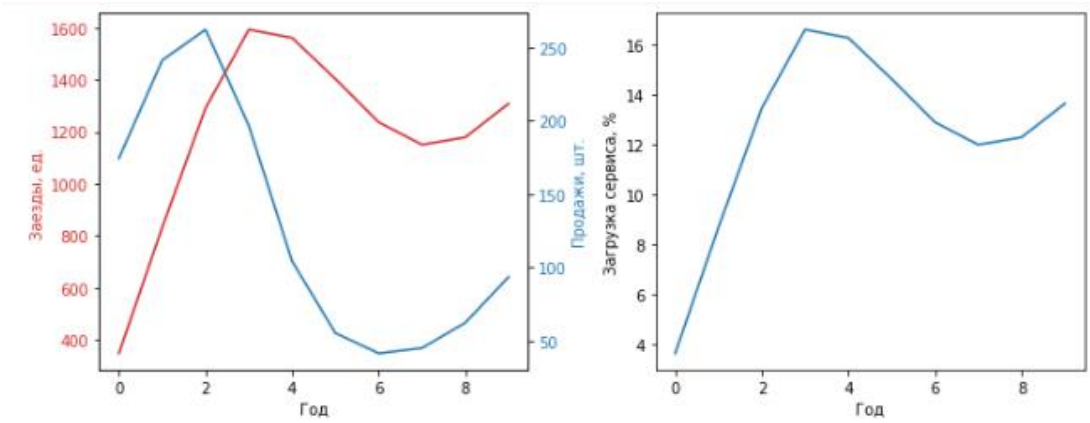


Рисунок 3.64 – Изучение поведения системы при периодическом изменении динамики продаж новых автомобилей

Установлено, что система технического сервиса имеет запаздывания реакции на изменение количества продаж, которые составляют около 1 года.

При падении продаж с начала работы дилерского центра (2-6 год), а также при изменении падения на рост продаж (с 6 года) наблюдается уже отмеченное выше запаздывание изменения динамики работы сервисного центра на срок в 1 год.

Изменение загрузки производственной зоны для условий представленного примера указано на рисунке 3.64 справа.

Эти особенности инертности системы следует учитывать при принятии управленческих решений.

С использованием рассмотренной выше прогнозной модели был сформирован набор данных для изучения закономерностей влияния факторов на количество обращений в сервисный центр рассматриваемой дилерской станции по продаже и обслуживанию автомобилей. Следует отметить, что при моделировании учитывалось и отсутствие отдела продаж новых автомобилей, а только заезды клиентов на сервис, что моделирует ситуацию работы обычной станции технического обслуживания автомобилей.

Фрагмент таблицы исходных данных представлен в таблице 3.75.

Таблица 3.75 – Фрагмент исходных данных модели прогнозирования загрузки станции технического обслуживания автомобилей

	Продажи, шт.	Отказы, 1/авто	Стор.клиенты, шт.	Заезды на сервис, шт.
0	350	1.0	0.0	57
1	245	1.0	0.0	978.
2	171	1.0	0.0	1146

Общее количество строк в таблице (объем выборки) равно 8400. При моделировании изменялись следующие факторы:

- количество отказов в год, ед./авто: [1,3,6,9,12];
- количество заездов сторонних клиентов, шт.: [0, 10, 50, 100, 150, 200];
- коэффициент изменения количества продаж от прошлого периода: [0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3];
- модель изменения коэффициента количества продаж: [линейная, тригонометрическая];
- начальное количество продаж новых автомобилей, шт.: [0, 500].

Для формирования модели закономерности влияния факторов на количество автомобиле-заездов на станцию технического обслуживания автомобилей была использована полносвязная нейронная сеть. Архитектура разработанной модели нейронной сети представлена на рисунке 3.65.

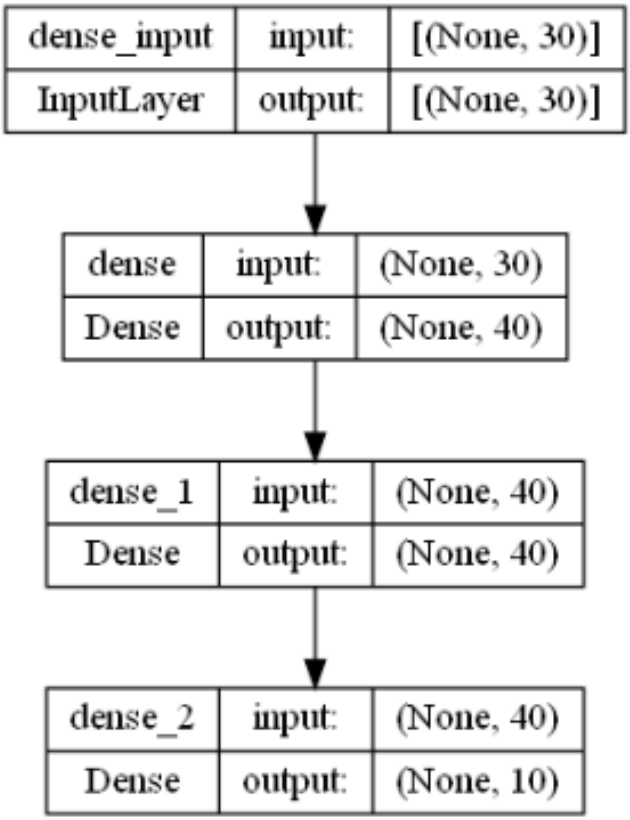


Рисунок 3.65 – Архитектура полносвязной нейронной сети для определения загрузки станции технического сервиса

Нейронная сеть имеет четыре слоя, один – входной слой размерностью 30 (3 столбца данных, соответствующим трем изучаемым факторам, и 10 строк, соответствующим сроку прогнозирования), два скрытых слоя по 40 нейронов в каждом, и один выходной слой с десятью нейронами, соответствующими прогнозному периоду значений автомобиле-заездов (10 лет). Функция активации скрытых слоев – ReLu, функция оптимизации: adam, метрика вычисления ошибки: среднеквадратическая ошибка (mean_squared_error). Данные были разбиты на тренировочную и тестовую выборки в соотношении (70/30), стандартизированы, после чего использованы для обучения модели. Период обучения составил 50 итераций или эпох.

По результатам обучения модель показала снижения ошибки уже на 10 эпохе (рисунок 3.66). Точность модели составила 99%, значение метрики ошибки на 50 эпохе равно 0,0023. Это говорит о высокой точности разработанной модели.

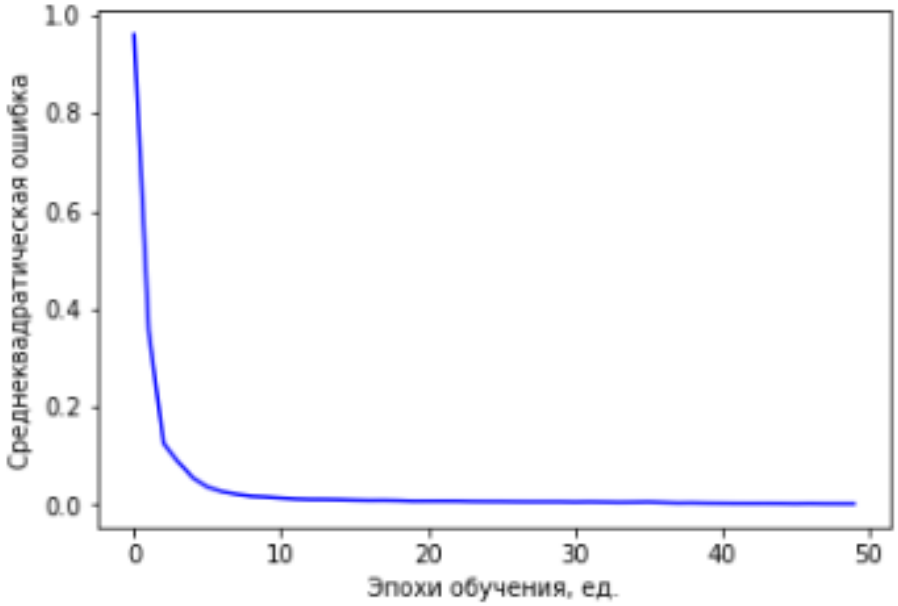


Рисунок 3.66 – Изменение метрики ошибки модели от шагов обучения (эпох)

Модель была проверена на тестовых данных, фрагмент сравнения результатов прогноза и фактических данных представлен в таблице 3.76.

Таблица 3.76 – Фактические данные по заездам на СТО и прогнозные значения модели нейронной сети (фрагмент)

	Продажи, шт.	Отказы, 1/авто	Стор.клиенты, шт.	Заезды на сервис (факт), шт.	Заезды на сервис (прогноз), шт.
0	0	6	100	700	697
1	0	6	100	1406	1438
2	0	6	100	2118	2156
3	0	6	100	2836	2720
4	0	6	100	3560	3316

Разработанная модель позволяет прогнозировать количество обращений на станцию технического обслуживания в зависимости от количества проданных отделом продаж автомобилей, уровня надежности автомобилей, выражаемом количеством отказов на 100 автомобилей, количеством обращений на сервис сторонних клиентов, не приобретавших автомобили продаваемого дилером бренда.

3.8.2. Оперативное планирование работы технической службы предприятия

Оперативное управление приоритетом производства работ по ТО и Р

Работы по ТО и Р автомобилей на СТО были ранее разделены на 3 типа. Условно их можно охарактеризовать как работы с низкой, средней и высокой трудоемкостью. Коммерческая стоимость таких работ является соответственно низкой, средней и высокой. Тем не менее, трудоемкие работы надолго загружают пост. За время проведения одной трудоемкой работы условно можно выполнить несколько работ с малой трудоемкостью. Это приводит к тому, что перед мастером цеха стоит задача распределить приоритетность работ таким образом, чтобы посты были загружены наиболее эффективно и на единицу времени приносили максимальную прибыль.

Было проведено моделирование работы станции технического обслуживания автомобилей при различных вариантах соотношения работ по типам. Для моделирования было выбрано три варианта распределения работ по вероятности их возникновения. Можно из охарактеризовать как вариант с приоритетом работ низкой трудоемкости, вариант с приоритетом работ высокой трудоемкости и смешанный вариант. Характеристики вариантов по вероятности их реализации в имитационной модели представлены в таблице 3.77.

Таблица 3.77 – Характеристики вариантов распределения работ для моделирования

Вариант	Вероятность для 1,2,3 типа работ соответственно, %
1	[0.8,0.1,0.1]
2	[0.3,0.5,0.2]
3	[0.1,0.1,0.8]

Для повышения наглядности варианты работ для моделирования были представлены в графическом виде (рисунок 3.67).

Моделирование проводилось для станции технического обслуживания с 14 постами по ТО и Р при различной интенсивности поступления клиентов: 50; 650 и 1350 автомобиле-заездов в месяц. Режим работы СТО: 360 дней в году при 10-часовой рабочей смене. Функциональная схема организации производства была следующая: 1 – прием/выдача, 2 - пост дополнительных работ, 3 - пост по ТО и Р, 4 – пункт выдачи и заказа запасных частей. Технологические маршруты следующие: 1-2-3-4-1, 1-2-3-1, 1-3-4-1, 1-2-1, 1-3-1.

По окончании моделирования определялся показатель прибыли предприятия при различном сочетании работ.

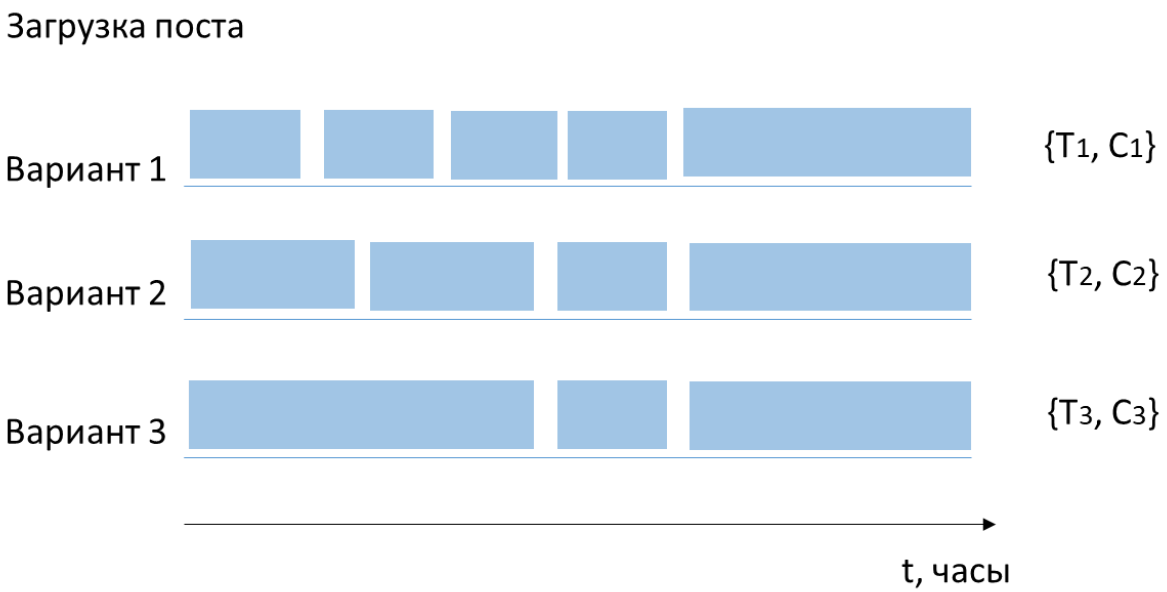


Рисунок 3.67 – Варианты управления загрузкой поста: 1 – приоритет большому количеству клиентов с работами с низкой трудоемкостью; 2 – приоритет работам с низкой и средней трудоемкостью; 3 – приоритет трудоемким работам

Прибыль *NI* рассчитывалась как произведение количества обслуженных предприятием автомобилей $N_{обсл}$ на стоимость производства работ данного типа C_λ и на показатель маржинальности работ δ, равный 20%. Из полученной величины вычитались издержки C_u, связанные с неэффективностью организации производства работ, рассмотренные в разделе, посвященном определению показателей эффективности подсистем.

$$NI = N_{обсл} \cdot C_\lambda \cdot \delta - C_u . \qquad (3.26)$$

Фрагмент набора данных (датасета) представлен в таблице 3.78.

Для проведения эксперимента на имитационной модели использовался полный рандомизированный факторный план эксперимента формата $3^{(4-0)}$, полученный с помощью модуля DOE программы STATISTICA. План имеет 81 точку. Количество измерений в каждой точке плана равно 12 и было определено ранее. Оценивалось изменение четырех факторов: количества требований на ТО и Р N, средневзвешенной трудоемкости работ τ, категории отличия трудоемкости работ разных классов Δt, категории отличия стоимости работ разных классов ΔC, каждый из которых имел три уровня. Описание факторов и их уровней представлено в разделе планирования эксперимента. В качестве независимой переменной оценивался приоритет выбора типов работ по классам Y: 1- работы с низкой трудоемкостью и стоимостью; 2 – работы со средней трудоемкостью и стоимостью; 3 – работы с высокой трудоемкостью и стоимостью.

Таблица 3.78 – Независимые (N, Δt, ΔC) и зависимая (Y) переменные (фрагмент)

N	Δt	ΔC	Y
650	1	2	3
650	2	1	3
650	1	1	3
650	2	3	3
650	3	1	3
650	3	3	3

Полученный набор данных был использован для обучения полносвязной нейронной сети, задачей которой является прогнозирование приоритета выбора типа работ в зависимости от значений влияющих факторов.

Была использована полносвязная архитектура с двумя скрытыми слоями по 32 нейрона в каждом, функцией активации ReLu в скрытых слоях и SoftMax в выходном слое, l2 регуляризацией с параметром ядра 0,001. Между скрытыми слоями добавлен слой Dropout с параметром 0,3. В качестве оптимизатора использовался Adam, для функции потерь была взята метрика categorical_crossentropy.

Визуализация архитектуры сети в горизонтальном виде представлена на рисунке 3.68.

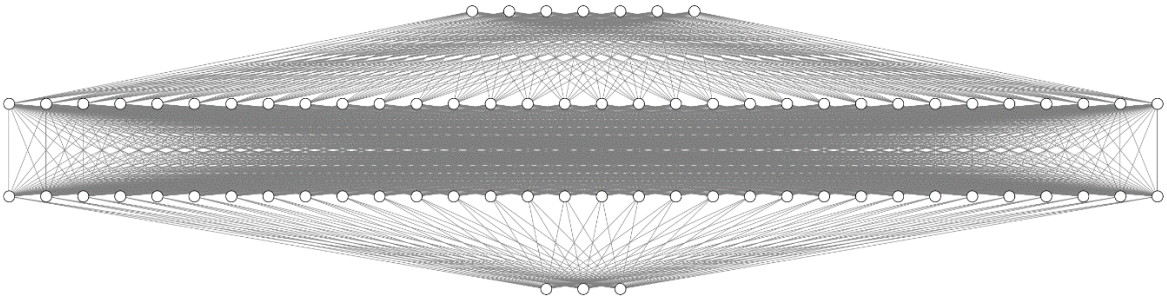


Рисунок 3.68 – Архитектура полносвязной нейронной сети для прогнозирования приоритета выполняемых СТО работ по ТО и Р автомобилей по типам: сверху – входной слой с семью нейронами; затем 2 скрытых слоя по 32 нейрона; снизу – выходной слой с тремя нейронами

Количество нейронов во входном слое соответствует количеству входных переменных и уровней их изменения. Так, параметр N является численной переменной, а параметры Δt и ΔC – категориальными, которые были зашифрованы в виде массива типа [0;1;0] для класса 2 и [0;0;1] для 3 класса. Следовательно, каждая переменная имеет по 3 значения. Поскольку прогнозируемое значение также является категориальным (1,2 или 3 типа работ), то на выходе сети расположено три нейрона.

Модель была обучена на разделенном на тренировочную и тестовую выборку наборе данных в течение 50 итераций (эпох). Общая точность модели на тестовых данных равна 65%. Изменение точности и потерь модели в процессе обучения показано на рисунке 3.69.

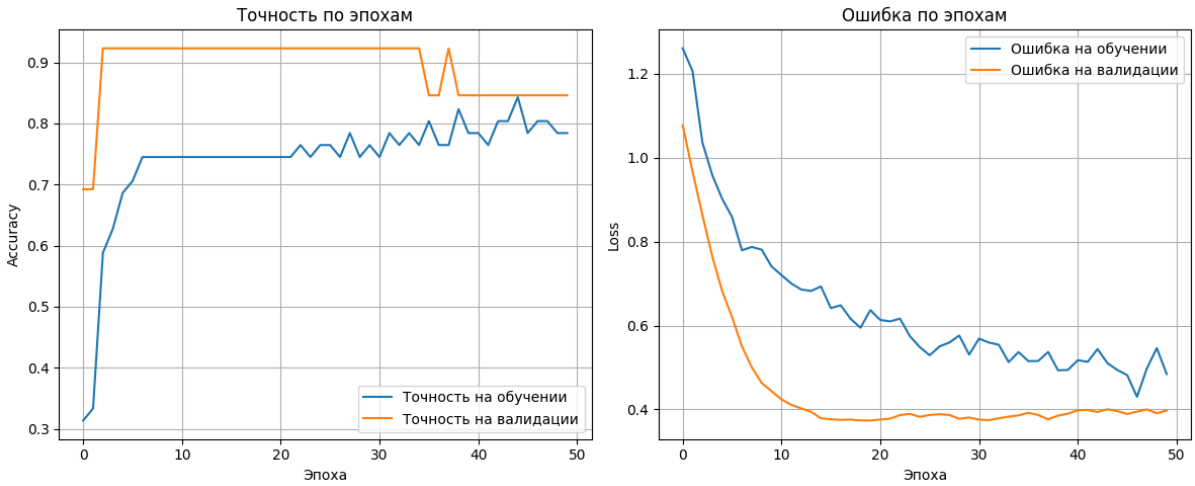


Рисунок 3.69 – Изменение точности (accuracy) и потерь (loss) модели в процессе обучения по эпохам

Модель позволяет определить, при каких уловиях предприятию выгодно отдавать приоритет работам каждого типа.

Матрица ошибок классификации модели для трех классов представлена на рисунке 3.70. Она показывает точность прогнозирования моделью каждого из трех искомых классов.

Для третьего класса прогностическая способность модели является высокой, а для классов 1 и 2 модель допускает ошибки. Снижение общей точности модели связано с ошибками классификации именно для этих классов. Это связано с тем, что по результатам моделирования полученный датасет является сильно разбалансированным: количество наблюдений для класса 1 равно 5; для класса 2 – 14; для класса 3 – 62. Прочие метрики точности для разных классов показаны в таблице 3.79.

Смысл дисбаланса набора данных связан с тем, что, несмотря на уменьшение пропускной способности системы, с точки зрения экономических показателей эффективность смещается в сторону приоритета производства работ третьего типа – сложных, но высокооплачиваемых.

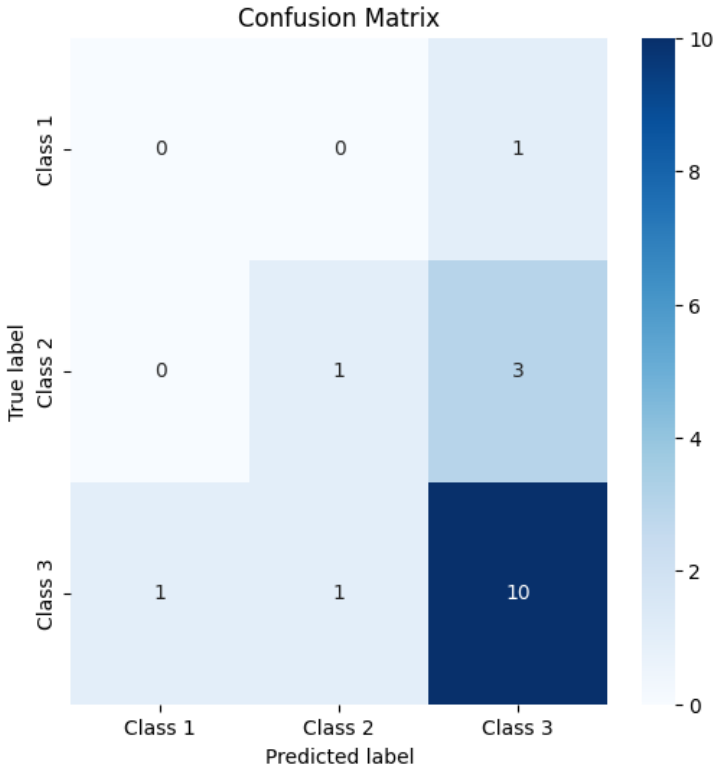


Рисунок 3.70 – Матрица ошибок классификации для классов 1, 2 и 3. True label – фактическое значение зависимой переменной; predicted label – предсказанное моделью значение

Таблица 3.79 – Метрики точности прогнозирования результата моделью для разных классов

Класс	precision	recall	f1-score
0	0,00	0,00	0,00
1	0,50	0,25	0,33
2	0,71	0,83	0,77

Этому практически не мешает высокая трудоемкость производства работ, как и разные соотношения типов работ по стоимости. Только для случаев, когда стоимость работ по типам отличается незначительно, а трудоемкость для работ 1 и 3 типа – более чем на 100% для предприятия выгодно реализовывать работы первого типа.

На рисунках 3.71 – 3.73 ниже представлены контурные графики изменения приоритета производства работ по типам при фиксированных значениях N. Темные области графиков – зона принятия решений по выбору работ первого типа (с низкой трудоемкостью и стоимостью), светлые – по выбору работ третьего типа – с высокой трудоемкостью и стоимостью.

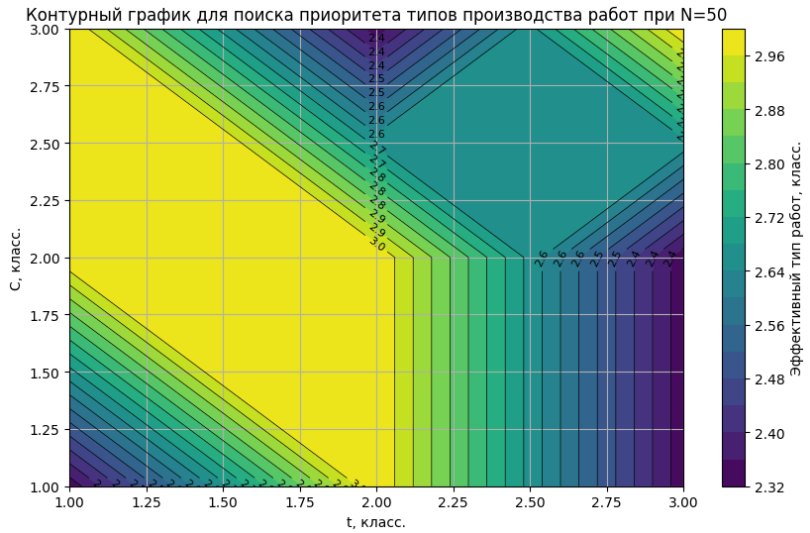


Рисунок 3.71 – Контурный график определения приоритета работ по ТО и Р при фиксированном значении N = 50 автомобилей в месяц

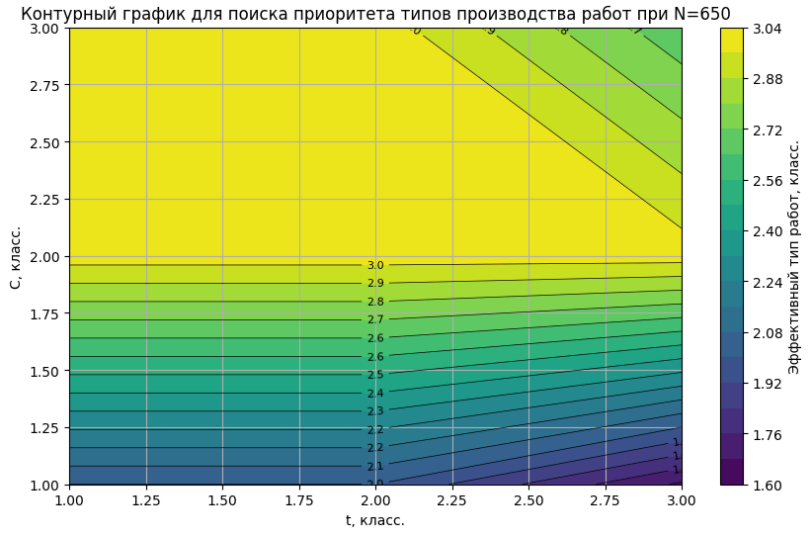


Рисунок 3.72 – Контурный график определения приоритета работ по ТО и Р при фиксированном значении N = 650 автомобилей в месяц

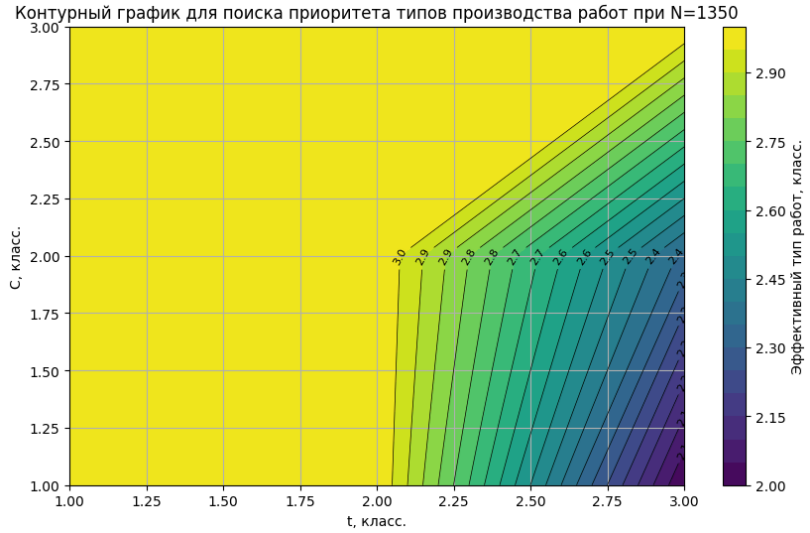


Рисунок 3.73 – Контурный график определения приоритета работ по ТО и Р при фиксированном значении N = 1350 автомобилей в месяц

Исходя из представленных выше графиков можно заключить, что для большинства значений N наиболее эффективным для предприятия является выбор приоритета в пользу работ третьего типа. Работы первого и второго типов предпочтительны при малых значениях N и для высокой разнице в трудоемкости работ разных типов.

3.8.3. Планирование неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года

На параметры функционирования транспортной системы предприятия влияют условия и интенсивность эксплуатации автомобилей и специальной техники [63]. Интенсивность эксплуатации принято измерять в километрах пробега за единицу времени, как правило, месяц. Основным фактором, отражающим влияние условий эксплуатации, является температура воздуха [142]. Как было установлено исследователями, эти параметры подвержены сезонному изменению и могут быть описаны гармоническими моделями вида (2.7) [60].

Как правило, характер изменения интенсивности эксплуатации техники для условий Западной Сибири имеет сезонный максимум, соответствующий осенне-зимнему периоду, когда техника используется наиболее интенсивно ввиду установления дорожного покрытия и прекращения распутицы [107]. В летний период интенсивность использования техники снижается по вышеуказанным причинам. Влияние условий эксплуатации также может быть описано гармоническими моделями с точками минимума, наоборот, в осенне-зимний период. Диапазон варьирования интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года оценивается коэффициентом вариации [24].

Вместе с этим гармонические модели не всегда позволяют отразить скорость изменения интенсивности эксплуатации по месяцам. Модель тригонометрической функции характеризуется одинаковой интенсивностью снижения и роста значений от точек экстремума, что соответствовало бы одинаковой интенсивности увеличения среднемесячного пробега автомобилей и его замедления [240, 219]. Однако на практике парк техники после периода простоя может сразу вводиться в эксплуатацию под конкретные объемы работ, которые могут иметь сезонный характер. Так же резко техника может быть направлена на стоянку после выполнения фиксированной работы, например, после закрытия контракта на перевозки грузов и пассажиров. Такой подход характеризуется резким увеличением интенсивности эксплуатации от минимальных или нулевых значений к максимальным [307]. Гипотеза исследования состоит в том, что гармонические модели могут аппроксимировать некоторые эмпирические данные об эксплуатации техники с недостаточно высокой точностью, и вместо них для моделирования управления ресурсами автотранспортного предприятия могут быть использованы другие модели.

Последовательность исследования включает в себя несколько этапов. Сначала производилось моделирование различных вариантов изменения интенсивности эксплуатации техники в течение года. Затем оценивалось значение коэффициента вариации и производной первого порядка, а также взаимосвязь этих параметров,

после чего определялись показатели точности аппроксимации экспериментальных данных с помощью гармонических моделей. Для оценки влияния внешних факторов на интенсивность эксплуатации техники использовалась теория технической эксплуатации автомобилей, а также математическая статистика. Все используемые методы исследования базируются на положениях системного анализа и системного подхода [32]. В качестве методов исследования использовалось имитационное моделирование с использованием среды программирования Jupyter Notebook и языка программирования Python [22]. Для моделирования, интерполяции данных, визуализации результатов и определения параметров уравнений регрессии использовались следующие библиотеки Python: numpy, scipy, matplotlib, sklearn, hyperopt и HOBIT. Для определения корреляционной взаимосвязи между градиентом функции и коэффициентом вариации, а также между градиентом и коэффициентом множественной детерминации использовались модули Ms Excel.

Для эксперимента было смоделировано несколько вариантов изменения интенсивности эксплуатации техники в течение года, имеющих сезонный характер, точки минимума и максимума которых совпадают, но скорость изменения функции у которых различна. Графики представлены на рисунке 3.74.

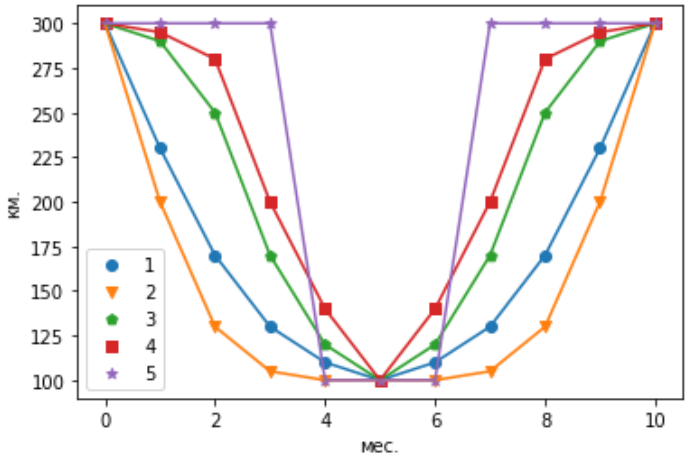


Рисунок 3.74 – Смоделированные графики функции изменения интенсивности эксплуатации техники в течение года, характеризующиеся разной скоростью изменения функции

Как правило, степень изменения интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года оценивается коэффициентом вариации, характеризующим степень разброса фактических значений от среднего. Однако если оценивать представленные выше графики с точки зрения коэффициента вариации, то у двух функций с разным наклоном кривой к вертикальной оси может получиться одинаковый коэффициент вариации. Для таких функций корректнее оценивать

характер изменения интенсивности эксплуатации техники в течение года величиной градиента функции, который определяется как производная первого порядка. Для расчета градиента функции использовалась функция gradient(x) библиотеки numpy языка программирования Python [269]. Для удобства сравнения значения коэффициентов вариации и максимального значения производных первого порядка для графиков функций, показанных на рисунке 3.74, сведены в таблицу 3.80.

Таблица 3.80 – Значения коэффициентов вариации и производных первого порядка для графиков функций, представленных на рисунке 3.74

Номер функции	Коэффициент вариации	Максимальное значение производной (градиента)
1	0,39	70
2	0,46	100
3	0,35	65
4	0,41	70
5	0,36	100

Графики изменения градиента функций интенсивности эксплуатации автомобилей по времени представлены на рисунке 3.75.

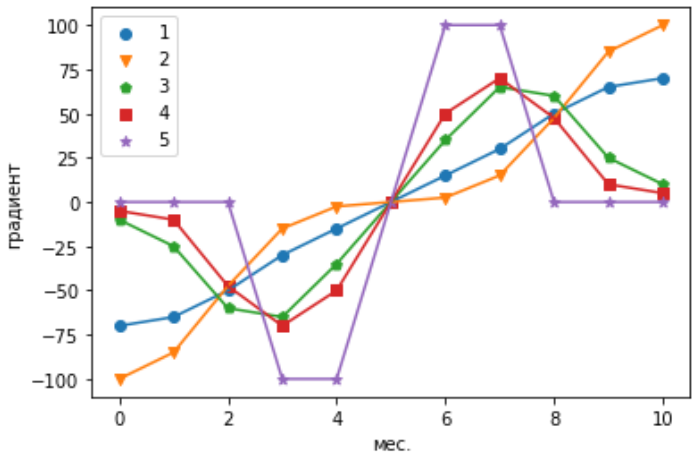


Рисунок 3.75 – Графики первой производной функций изменения интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года

Функции, характеризующиеся самым резким изменением интенсивности эксплуатации (2 и 5), имеют самые большие диапазоны изменения градиента (от -100 до 100). Это следует учитывать при моделировании потока отказов и потока восстановления техники на автотранспортном предприятии.

При этом корреляционная связь между показателями коэффициента вариации и градиента функции отсутствует, что представлено на рисунке 3.76.

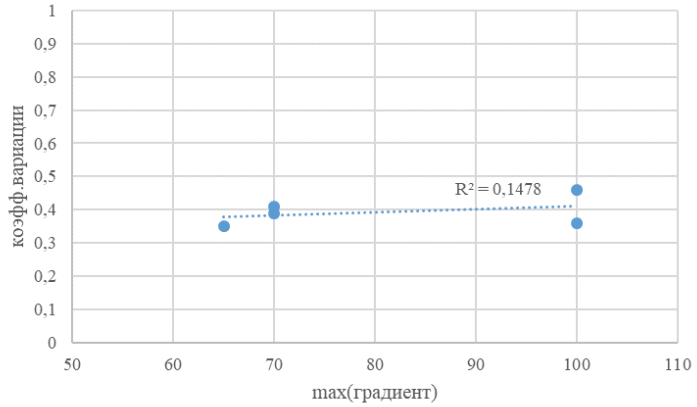


Рисунок 3.76 – Корреляционная взаимосвязь между коэффициентом вариации и градиентом функции

Следовательно, эти показатели не являются взаимозаменяемыми и каждый из них может быть использован для определенных целей.

Представленные шаблоны графиков функций изначально были сформированы из одиннадцати точек данных, после чего с помощью метода scipy.interpolate.interp1d языка программирования Python количество точек данных было увеличено до 100 с сохранением характера изменения функции по оси абсцисс. Метод аппроксимирует значение функции, после чего использует интерполяцию для поиска значения новых точек. Увеличение количества точек данных необходимо для повышения адекватности регрессионных моделей и разделения данных на тренировочную и тестовую выборки.

Далее была произведена аппроксимация точек данных тригонометрическими моделями типа (3.28), с использованием библиотеки HOBIT языка программирования Python. Библиотека позволяет определить параметры Y_0, A_Y, m, T_0 для уравнения гармонических колебаний с помощью создания модели класса RegressionForTrigonometric() и обучения ее на тренировочных данных. В качестве метрик оценки точности модели используется коэффициент множественной детерминации r^2 и среднеквадратическая ошибка mean squared error (MSE).

Результаты аппроксимации гармоническими моделями представленных на рисунке 3.74 точек данных показаны на рисунке 3.77.

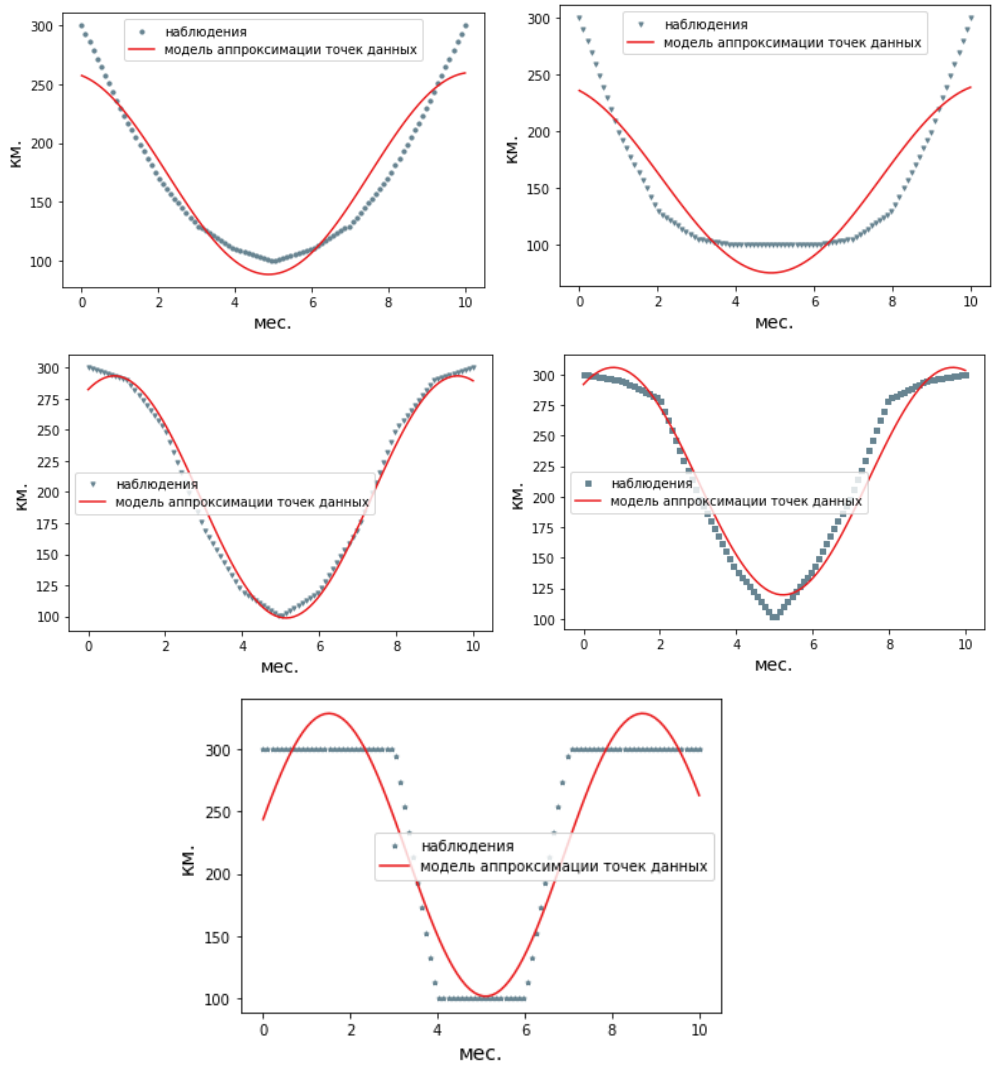


Рисунок 3.77 – Аппроксимация смоделированных точек данных гармоническими моделями типа (3.28)

Показатели оценки точности моделей аппроксимации сведены в таблицу 3.81 и представлены ниже.

Таблица 3.81 – Значения r^2 и среднеквадратической ошибки для гармонических моделей

Номер функции	r^2	MSE
1	0,92	236
2	0,74	791
3	0,98	88
4	0,94	229
5	0,83	1009

Можно заключить, что гармонические модели с высокой степенью точности описывают функции с плавным изменением значений по оси абсцисс: функции

1,3,4. Для функций с высокой скоростью изменения значений (2 и 5) использование гармонических моделей недостаточно эффективно, поскольку точность таких моделей снижается. Примечательно, что самую низкую из представленных моделей точность при аппроксимации гармоническими моделями имеют функции с максимальным значением градиента. Выявлено наличие обратной корреляционной взаимосвязи между максимальным значением градиента функции и коэффициентом множественной детерминации r^2: точность гармонической модели снижается при увеличении степени наклона функции к вертикальной оси (рисунок 3.78).

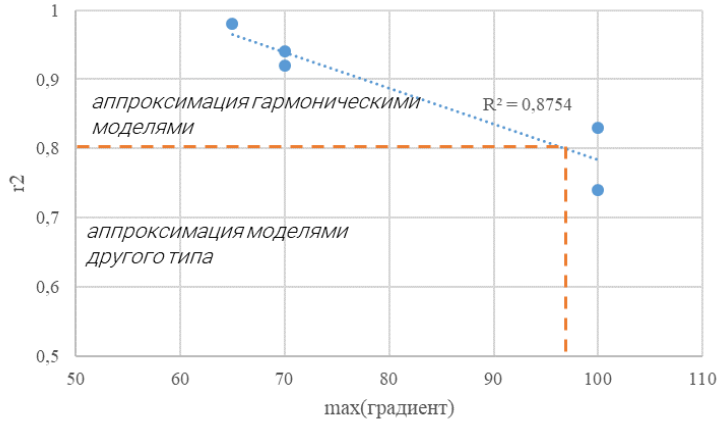


Рисунок 3.78 – Взаимосвязь между максимальным значением градиента функции и степенью адекватности аппроксимации точек данных гармоническими моделями типа (3.28)

Следовательно, такие функции целесообразно описывать другими моделями. При выборе порогового значения точности модели можно определить величину максимального градиента функции, при превышении которого для имитационного моделирования следует применять другие типы математических моделей, например, модели полносвязных искусственных нейронных сетей (FCNN), что является одной из последующих задач в рамках представленного исследования [275]. На рисунке 3.78 представлен пример определения порогового значения r^2, равного 0,8. При таком значении все последовательности точек данных, градиент которых меняется в пределах выше 95, будут описываться гармонической моделью типа (2.7) с неприемлемой для условий эксперимента точностью. Для моделирования процессов управления ресурсами автотранспортного предприятия с подобным характером изменения интенсивности эксплуатации парка техники может быть использован предложенный подход. Для функций, градиент изменения которых меньше 95, в расчетах можно использовать тригонометрические модели без существенной потери точности. Для таких функций в качестве показателя оценки степени варьирования фактических значений интенсивности эксплуатации от среднего может быть использован коэффициент вариации.

Таким образом, было установлено, что для оценки неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года может быть использована величина градиента функции, поскольку она позволяет отразить скорость изменения интенсивности эксплуатации по месяцам года. Для экспериментальных точек данных с резким изменением интенсивности эксплуатации точность аппроксимации гармоническими моделями типа (3.28) снижается по мере увеличение угла наклона графика функции к вертикальной оси. Для таких выборок следует применять другие виды моделей.

3.8.4. Планирование потребности предприятия в ресурсах

Для определения потребности предприятия в ресурсах были проанализированы данные по заказ-нарядам на ТО и Р автомобиля марки Geely Coolray с 2022 по 2024 год на дилерской станции технического обслуживания. Анализировались только данные по коммерческим услугам без учета гарантийных и предпродажных работ.

Авторы [34, 134] выделяют различные виды ресурсов предприятий автомобильного транспорта. К основным исследуемым видам ресурсов для станций технического обслуживания автомобилей были отнесены следующие:

- масло моторное $N_м$;
- масло трансмиссионное $N_{ТМ}$;
- жидкость охлаждающая $N_{ОЖ}$;
- жидкость тормозная $N_{ТЖ}$;
- запасные части $N_{зч}$;
- шины $N_ш$;
- заезды на проведения технического обслуживания $N_{ТО}$;
- заезды на проведение текущего ремонта $N_{ТР}$;
- заезды на проведение работ по диагностике или автоэлектрике $N_Д$.

Информация по заездам на ТО может быть использована для планирования прочих материалов, необходимых для проведения технического обслуживания. Информация по видам работ (ТО, ТР, Д) может использоваться для планирования графика работ специализированного персонала.

Форма записи исходных данных представлена в таблице 3.82.

Таблица 3.82 – Исходные данные для определения потребности в ресурсах для предприятий автомобильного транспорта (фрагмент)

№	Наименование работ/зап.частей	Дата	Автомобиль	Трудоемость, чел.час.
Заказ-наряд XXX от 31.12.2024 11:30:09	Фильтр масляный	31.12.2024 11:30:09	Geely Coolray Голубой № A111AA72 VIN LBXXXXXX	0,52
	Кольцо сливной пробки ДВС			
	Сливная пробка			

Продолжение таблицы 3.82

	Масло моторное S-OIL 7 GOLD #9 C5 0W20 200L			
	Техническое обслуживание - 1			
	Автомобиль - чтение кодов неисправностей - плановое обслуживание			0,32
	Углы установки колес - проверка			0,1
	Автомобиль - мойка пакет Стандарт			
	Двигатель - замена масла			

Согласно [63] временной ряд имеет три составляющие - постоянную (трендовую) X_C, периодическую X_T и случайную X_P.

Сначала данные были проверены на наличие тренда. Для этого могут быть использованы такие методы, как линейная регрессия или метод скользящего среднего.

Для определения тренда и исключения его влияния на изменение потребности в ресурсе в течение года был использован метод линейной регрессии. Метод предполагает построение линейной модели зависимости значений временного ряда от времени. После этого вычисляются предсказанные значения тренда. Затем предсказанные значения вычитаются из исходного ряда. Это позволяет удалить долгосрочную тенденцию из данных, чтобы определить факт наличия циклических колебаний.

На рисунках 3.79 - 3.87 представлены результаты линейной аппроксимации тренда потребности в ресурсе, а также результат вычитания тренда из временного

ряда. Определено, что потребность в ресурсах имеет значимую трендовую составляющую. Очищенный от нее график визуально содержит циклические колебания в течение года, которые далее были проверены методом анализа гармоник.

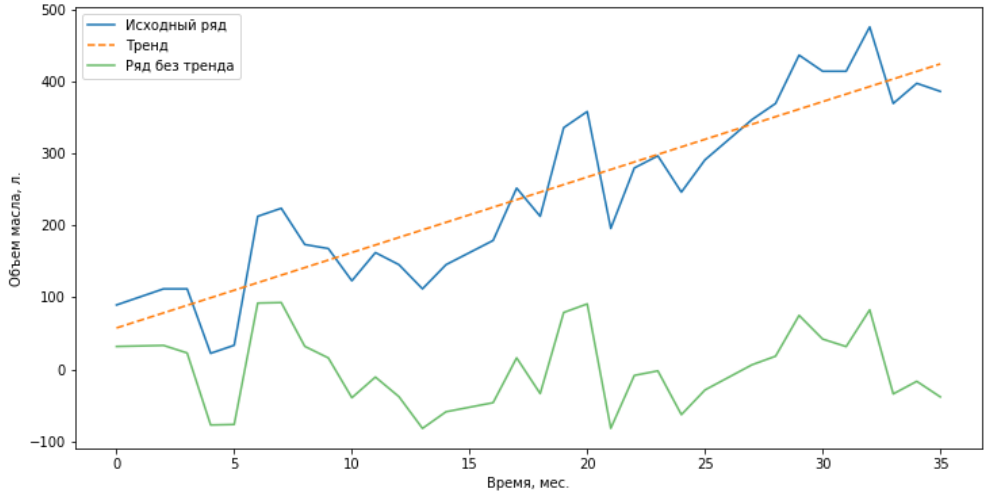


Рисунок 3.79 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потребности в моторном масле

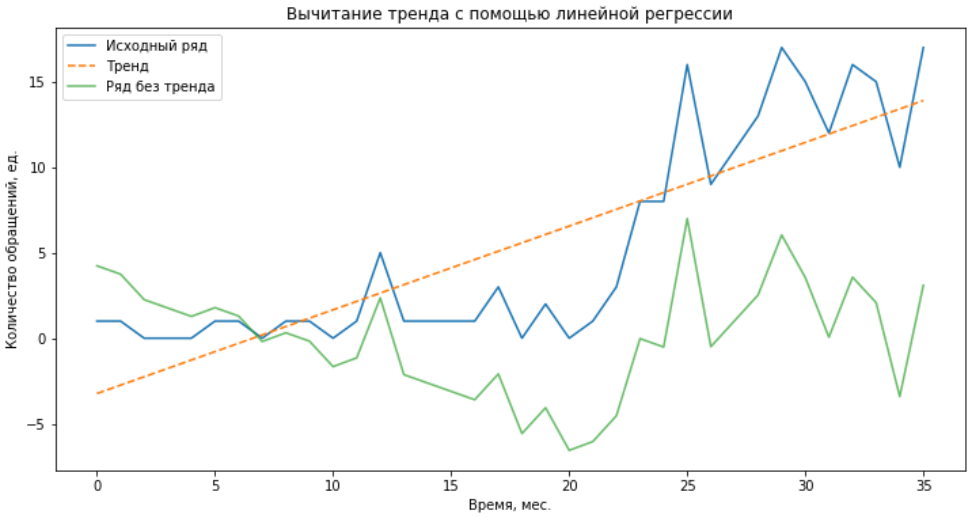


Рисунок 3.80 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда обращений на устранение отказов автомобиля

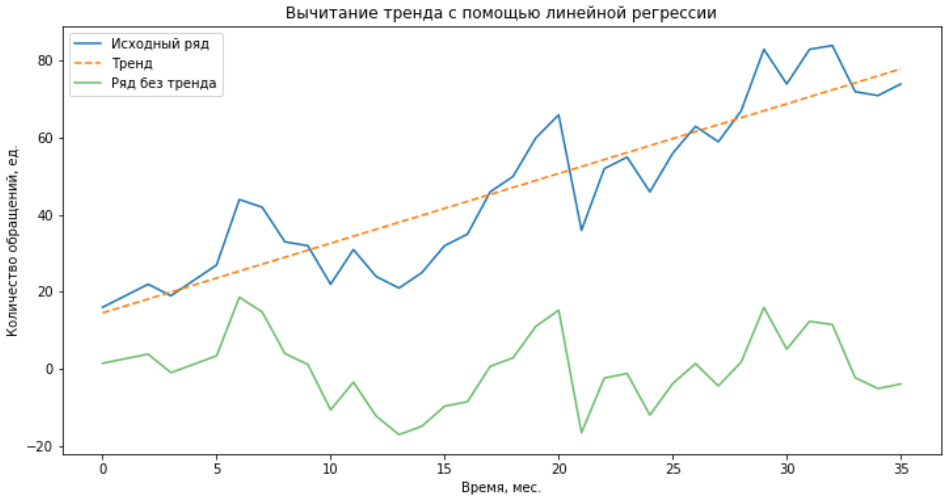


Рисунок 3.81 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда обращений на техническое обслуживание автомобиля

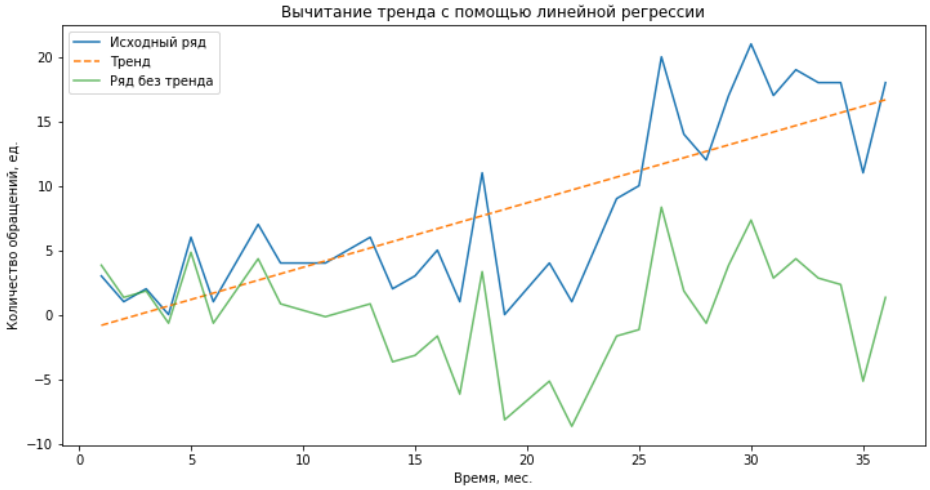


Рисунок 3.82 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда обращений на диагностирование автомобиля

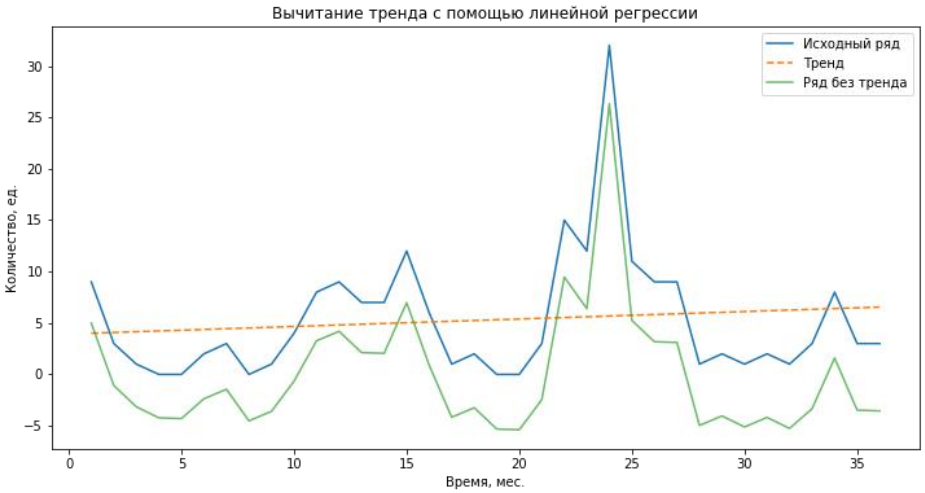


Рисунок 3.83 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потока требований на автомобильные шины

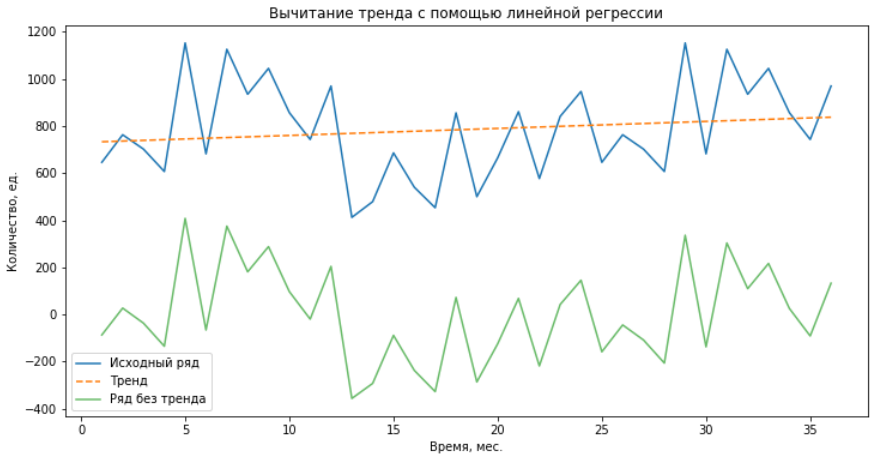


Рисунок 3.84 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потока требований на запасные части и расходные материалы



Рисунок 3.85 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потока требований на трансмиссионное масло

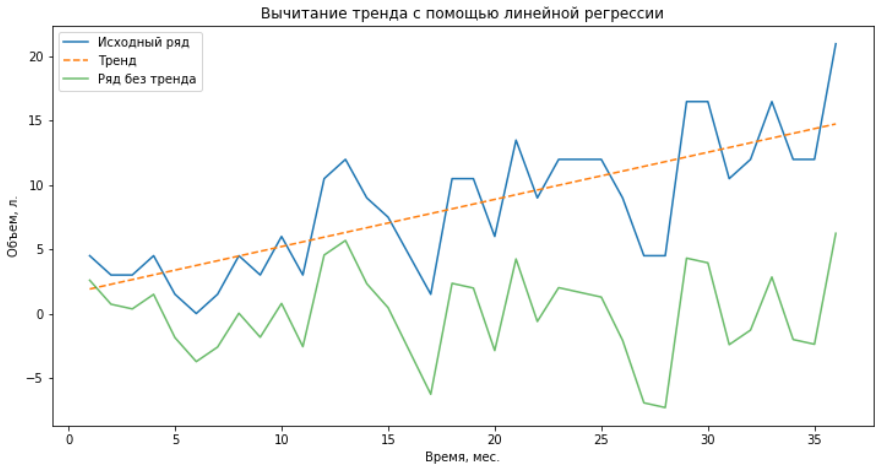


Рисунок 3.86 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потока требований на охлаждающую жидкость

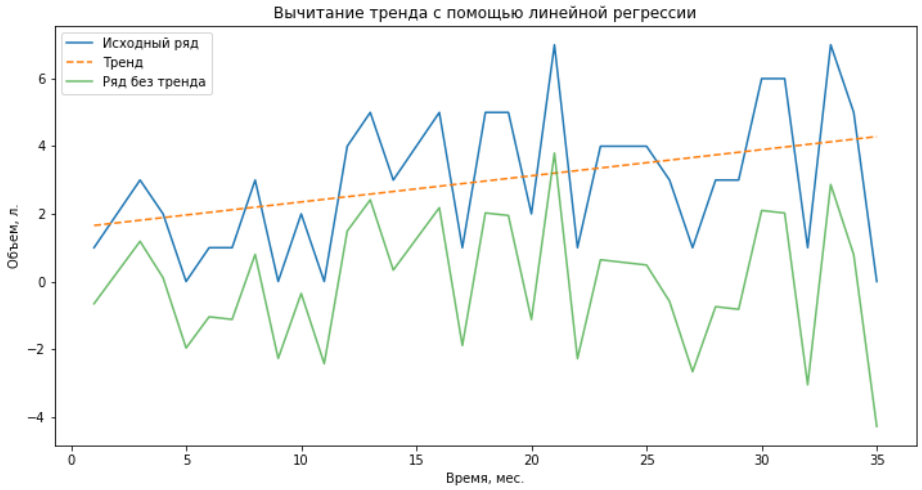


Рисунок 3.87 – Вычитание тренда и определение сезонности временного ряда потока требований на тормозную жидкость

Для каждого ресурса было рассмотрено пять гармоник и оценено влияние каждой на изменение функции отклика. Для оценки значимости каждой гармоники производилась линеаризация, что позволило оценить значимость каждой из них.

В результате было установлено, что для всех моделей являются значимыми одна или две гармоники, что говорит о наличии циклических колебаний с частотой, равной номеру значимой гармоники. Для показателя количества заездов на техническое диагностирование значимость всех пяти гармоник была ниже, чем критические значения. Поэтому этот параметр не был аппроксимирован гармонической моделью. Параметры гармонических моделей и оценка статистической значимости гармоник для каждого показателя представлена в таблице 3.83.

Таблица 3.83 – Статистическая значимости линеаризованных гармоник для разработанных моделей закономерностей

Пок-ль	Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	r^2	r	t_r	$t_{0,95}$
$N_м$	1	54,62	7,74	0,2056	0,4534	1,61	2,23
	2	13,14	3,29	0,3978	0,6307	2,57	2,23
	3	16,50	0,47	0,0156	0,1249	0,40	2,23
	4	20,64	10,96	0,2552	0,5052	1,85	2,23
	5	9,03	6,60	0,0319	0,1786	0,57	2,23
$N_{ТМ}$	1	8,76	3,42	0,76	0,8718	5,62	2,23
	2	0,49	6,10	0,0024	0,0490	0,15	2,23
	3	2,57	9,73	0,0658	0,2565	0,84	2,23

Пок-ль	Номер гармоники	Полуамплитуда колебания	Начальная фаза, мес.	r^2	r	t_r	$t_{0,95}$
	4	2,72	1,15	0,0739	0,2718	0,89	2,23
	5	1,85	2,80	0,0342	0,1849	0,59	2,23
$N_{ОЖ}$	1	1,76	10,74	0,25	0,5000	1,82	2,23
	2	2,31	0,87	0,42	0,6481	2,69	2,23
	3	1,71	4,47	0,24	0,4899	1,78	2,23
	4	1,03	0,13	0,08	0,2828	0,93	2,23
	5	0,12	4,97	0,0011	0,0332	0,10	2,23
$N_{ТЖ}$	1	0,09	0,77	0,0042	0,0648	0,21	2,23
	2	0,75	3,83	0,32	0,5657	2,17	2,23
	3	0,38	4,75	0,08	0,2828	0,93	2,23
	4	0,76	5,52	0,33	0,5745	2,22	2,23
	5	0,65	0,61	0,24	0,4899	1,78	2,23
$N_{ТР}$	1	1,50	2,97	0,36	0,6000	2,37	2,23
	2	1,37	1,71	0,3	0,5477	2,07	2,23
	3	1,05	4,80	0,179	0,4231	1,48	2,23
	4	0,34	9,56	0,0185	0,1360	0,43	2,23

Продолжение таблицы 3.83

	5	0,34	7,66	0,0192	0,1386	0,44	2,23
$N_{ТО}$	1	10,50	7,52	0,77	0,8775	5,78	2,23
	2	3,58	2,74	0,089	0,2983	0,99	2,23
	3	2,20	11,55	0,0338	0,1838	0,59	2,23
	4	3,70	11,28	0,095	0,3082	1,02	2,23
	5	1,08	8,87	0,0082	0,0906	0,29	2,23
$N_{Д}$	1	1,45	3,97	0,2	0,4472	1,58	2,23
	2	1,46	1,56	0,2	0,4472	1,58	2,23
	3	1,10	5,30	0,116	0,3406	1,14	2,23
	4	1,48	10,79	0,2	0,4472	1,58	2,23
	5	1,18	6,52	0,13	0,3606	1,22	2,23
$N_{Ш}$	1	6,63	0,40	0,7	0,8367	4,83	2,23
	2	1,78	11,28	0,05	0,2236	0,72	2,23
	3	1,89	9,91	0,05	0,2236	0,72	2,23
	4	2,23	0,53	0,08	0,2828	0,93	2,23
	5	2,30	0,89	0,08	0,2828	0,93	2,23
$N_{ЗЧ}$	1	112,99	8,77	0,39	0,6245	2,53	2,23
	2	36,39	11,03	0,04	0,2000	0,65	2,23
	3	37,25	11,88	0,04	0,2000	0,65	2,23
	4	106,84	10,96	0,35	0,5916	2,32	2,23
	5	73,64	11,50	0,16	0,4000	1,38	2,23

Гармонические модели изменения потребности в следующих ресурсах в течение года: масло моторное M_o; запасные части S_p; шины $T_г$; технологические посты для работ по ТО и Р автомобилей Х; заезды на проведения технического обслуживания $N_{ТО}$; заезды на проведение текущего ремонта $N_{ТР}$; заезды на проведение работ по диагностике или автоэлектрике $N_Д$ по месяцам года (T) приведены ниже:

$$N_M = \overline{N_M} + 13{,}14 \cdot \cos(30 \cdot (2 \cdot T - 3{,}29)\,, \quad (3.27)$$

$$N_{TM} = \overline{N_{TM}} + 8{,}76 \cdot \cos(30 \cdot (T - 3{,}42))\,, \quad (3.28)$$

$$N_{ОЖ} = \overline{N_{ОЖ}} + 2{,}31 \cdot \cos(30 \cdot (2 \cdot T - 0{,}87))\,, \quad (3.29)$$

$$N_{ТЖ} = \overline{N_{ТЖ}} + 0{,}76 \cdot \cos(30 \cdot (4 \cdot T - 5{,}52))\,, \quad (3.30)$$

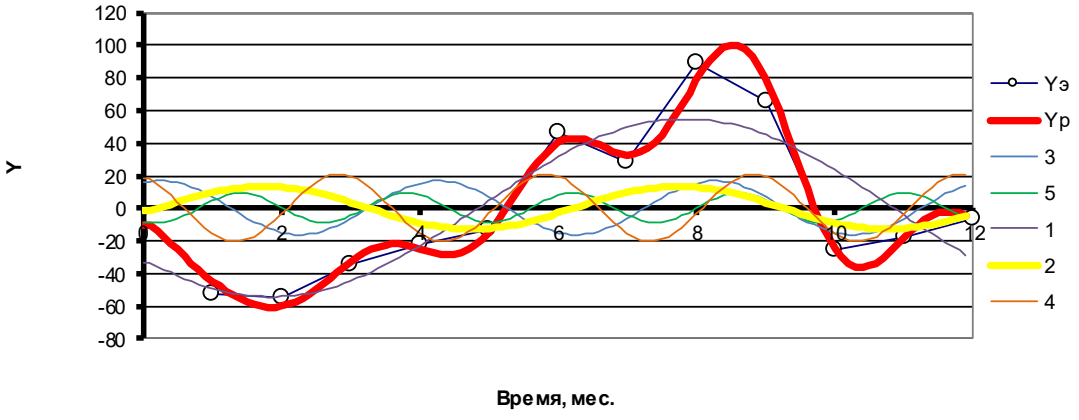
$$N_{TP} = \overline{N_{TP}} + 1{,}5 \cdot \cos(30 \cdot (T - 2{,}97))\,, \quad (3.31)$$

$$N_{TO} = \overline{N_{TO}} + 10{,}50 \cdot \cos(30 \cdot (T - 7{,}52))\,, \quad (3.32)$$

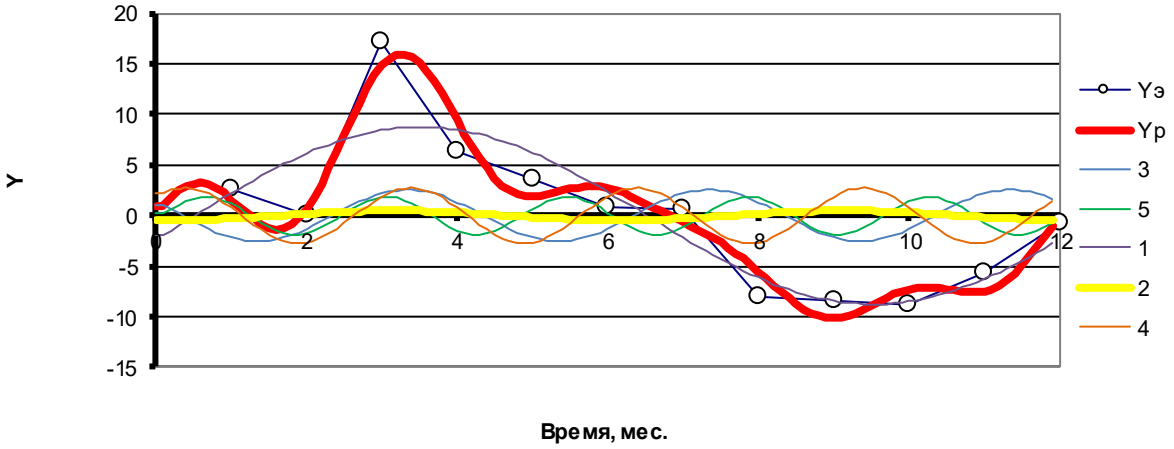
$$N_{Ш} = \overline{N_{Ш}} + 6{,}63 \cdot \cos(30 \cdot (T - 0{,}4))\,, \quad (3.33)$$

$$N_{зч} = \overline{N_{зч}} + 112{,}99 \cdot \cos(30 \cdot (T - 8{,}77)) + 106{,}84 \cdot \cos(30 \cdot (4 \cdot T - 10{,}96))\,. \quad (3.34)$$

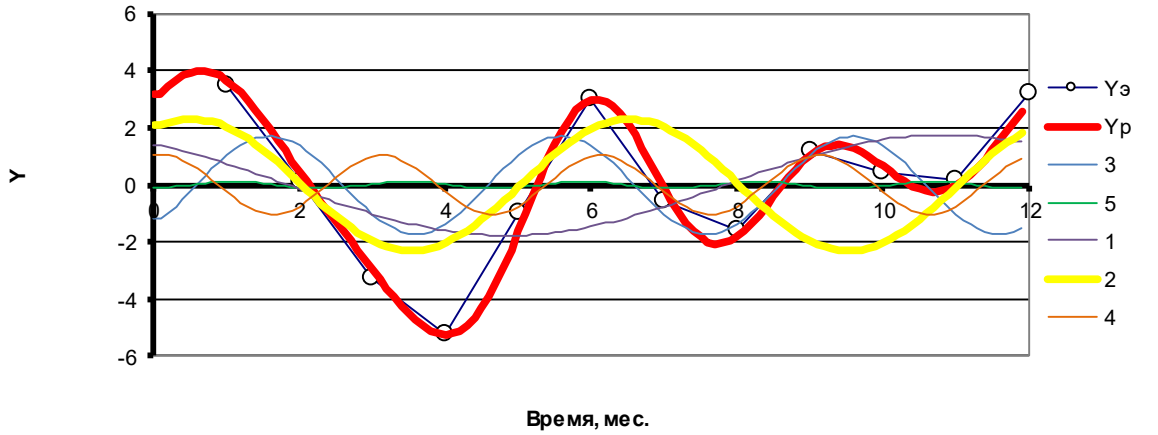
Графики изменения гармоник в течение года для каждого показателя представлены на рисунок 3.88.



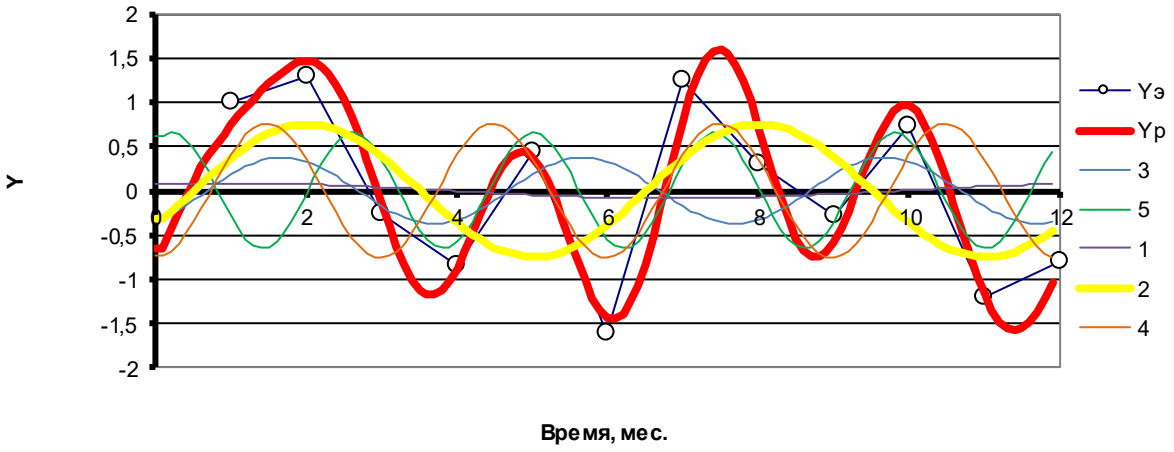
А)


20
15
10
5
0
-5
-10
-15
Y
0
2
4
6
8
10
12
Время, мес.
Yэ
Yр
3
5
1
2
4

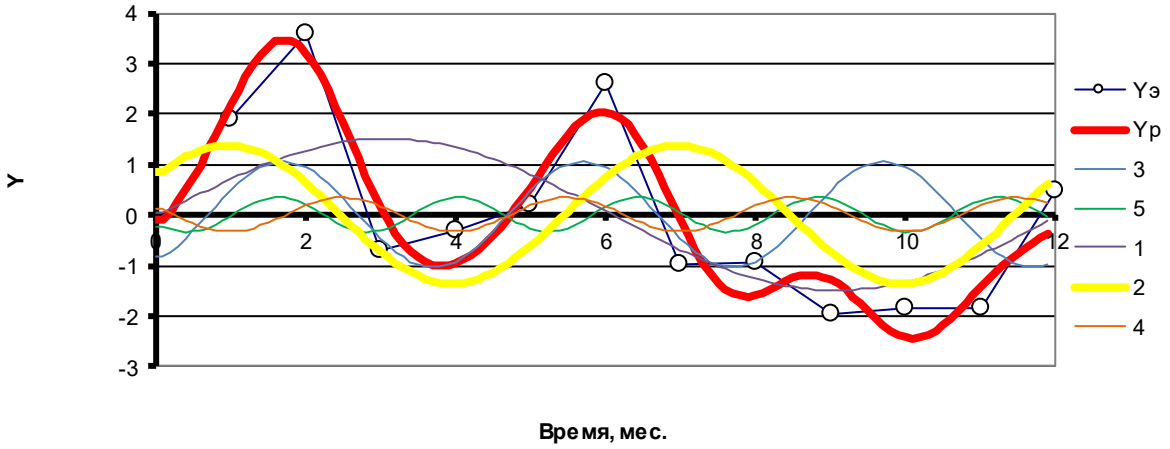
Б)


6
4
2
0
-2
-4
-6
Y
0
2
4
6
8
10
12
Время, мес.
Yэ
Yр
3
5
1
2
4

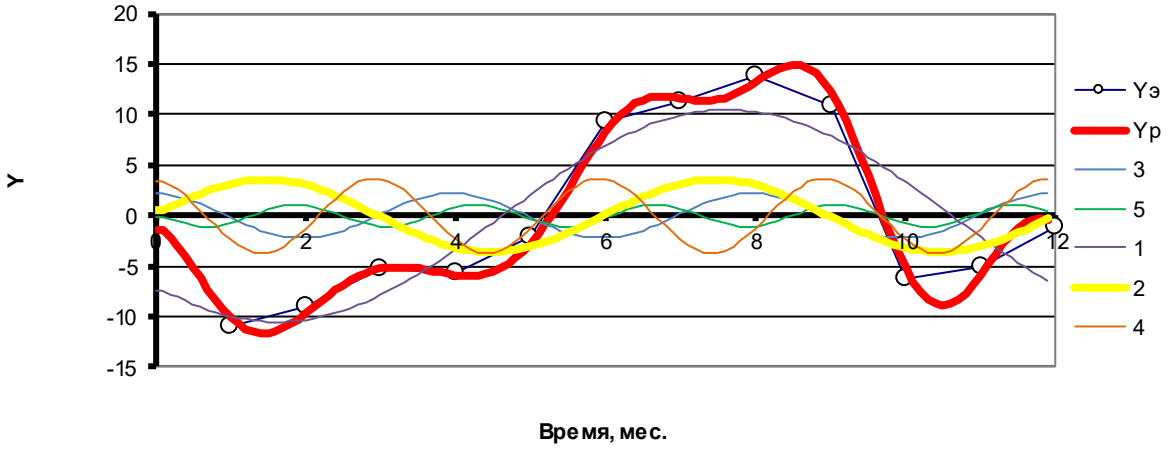
В)


2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-1
-1,5
-2
Y
0
2
4
6
8
10
12
Время, мес.
Yэ
Yр
3
5
1
2
4

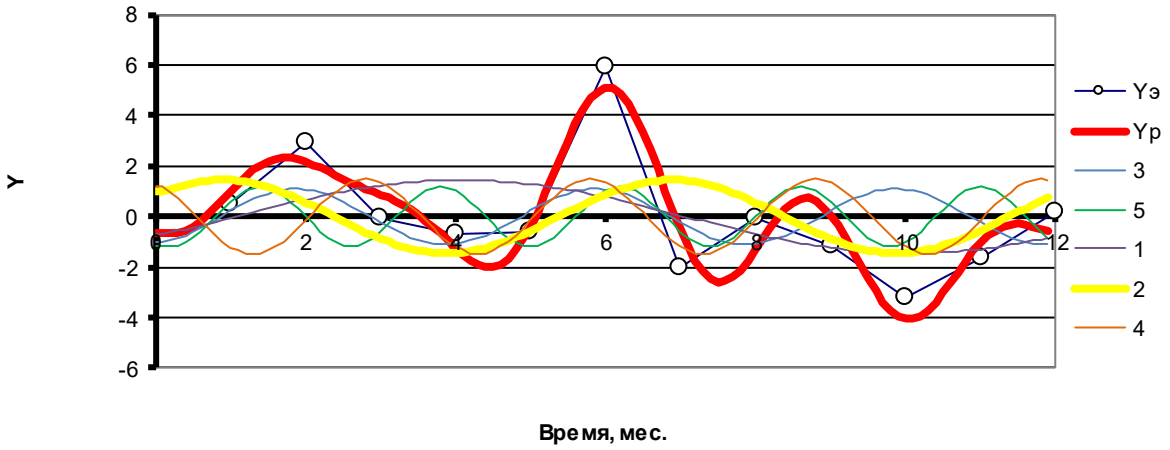
Г)

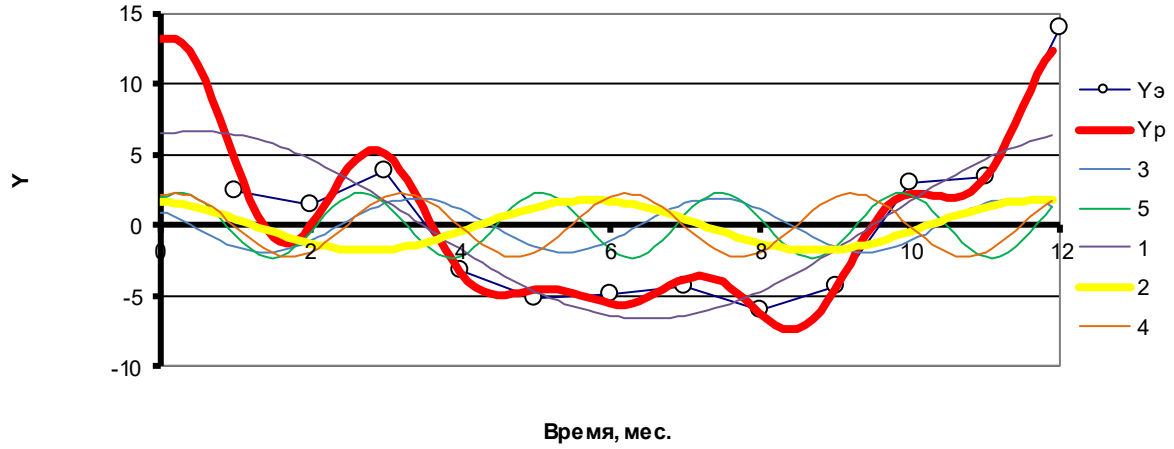

4
3
2
1
0
-1
-2
-3
Y
0
2
4
6
8
10
12
Yэ
Yр
3
5
1
2
4
Время, мес.

Д)


20
15
10
5
0
-5
-10
-15
Y
0
2
4
6
8
10
12
Yэ
Yр
3
5
1
2
4
Время, мес.

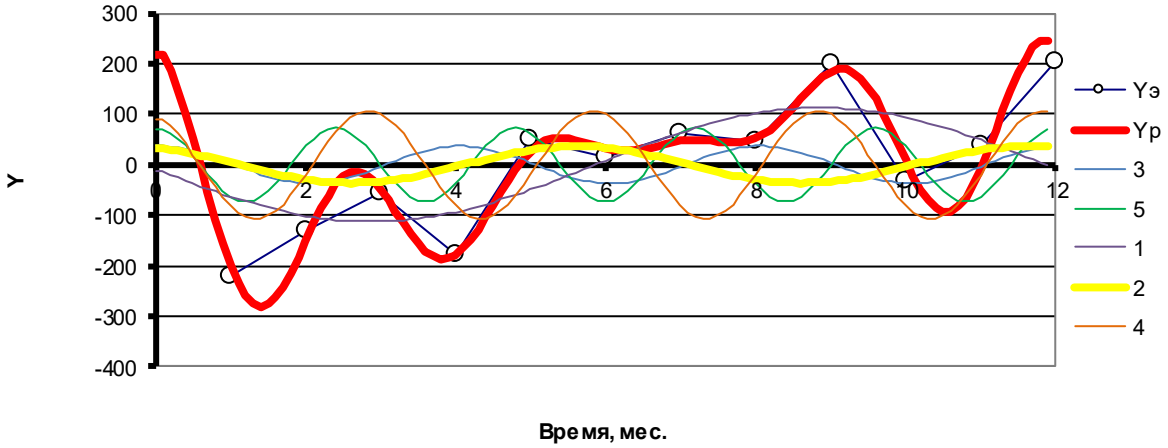
Е)


8
6
4
2
0
-2
-4
-6
Y
0
2
4
6
8
10
12
Yэ
Yр
3
5
1
2
4
Время, мес.



Ж)

З)



И)

Рисунок 3.88 – Изменение по времени параметров: А) $N_м$; Б) $N_{ТМ}$; В) $N_{ОЖ}$; Г) $N_{ТЖ}$; Д) $N_{ТР}$; Е) $N_{ТО}$; Ж) $N_Д$; З) $N_Ш$; И) $N_{Зч}$ соответственно: справа указаны номера гармоник, а также расчетные ($Y_р$) и эмпирические ($Y_э$) данные

Далее был проведен эксперимент на имитационной модели. Был определен характер закономерности потребности в ресурсах для каждого из 5 вариантов производственной структуры для станции технического обслуживания автомобилей. Модель рассматривает абстрактный или универсальный ресурс, к которому обращается каждое технологическое звено при поступлении автомобиля клиента.

Таким образом, количество запрашиваемого ресурса отражает интенсивность обслуживания клиентов каждым технологическим звеном. Модель регистрирует изменение потребности в ресурсе в течение срока моделирования, что представлено на рисунке 3.89.

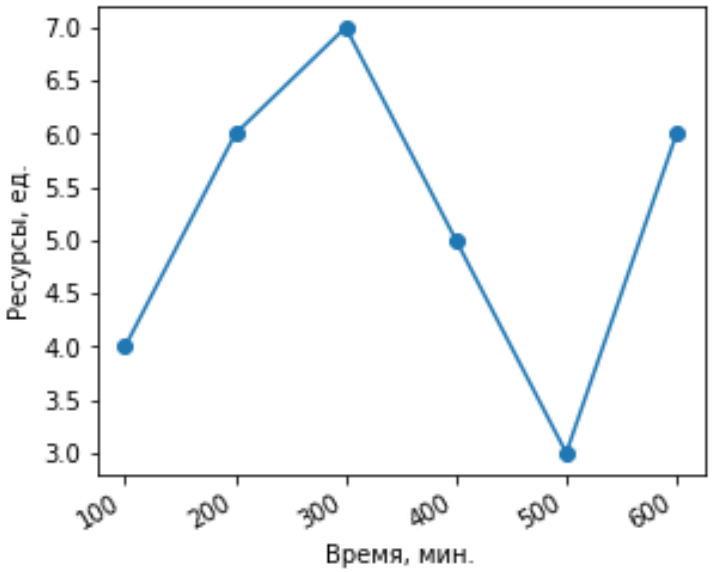


Рисунок 3.89 – Изменение суммарной потребности технологических звеньев в ресурсе в течение срока моделирования

Кроме того, фиксируется использование ресурса разными технологическими звеньями. Это показано на рисунке 3.90.

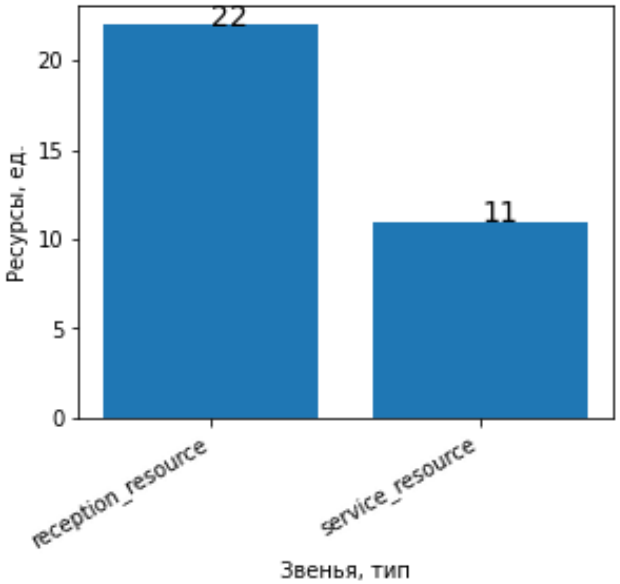


Рисунок 3.90 – Изменение потребности в ресурсе для каждого типа технологических звеньев производственной структуры номер 1

При наличии нормы расходования конкретного типа ресурса на одного клиента можно сделать прогноз его потребности с использованием полученных закономерностей. Закономерности с наибольшей степенью адекватности аппроксимируются логарифмическими моделями. Они представлены на рисунке 3.91.

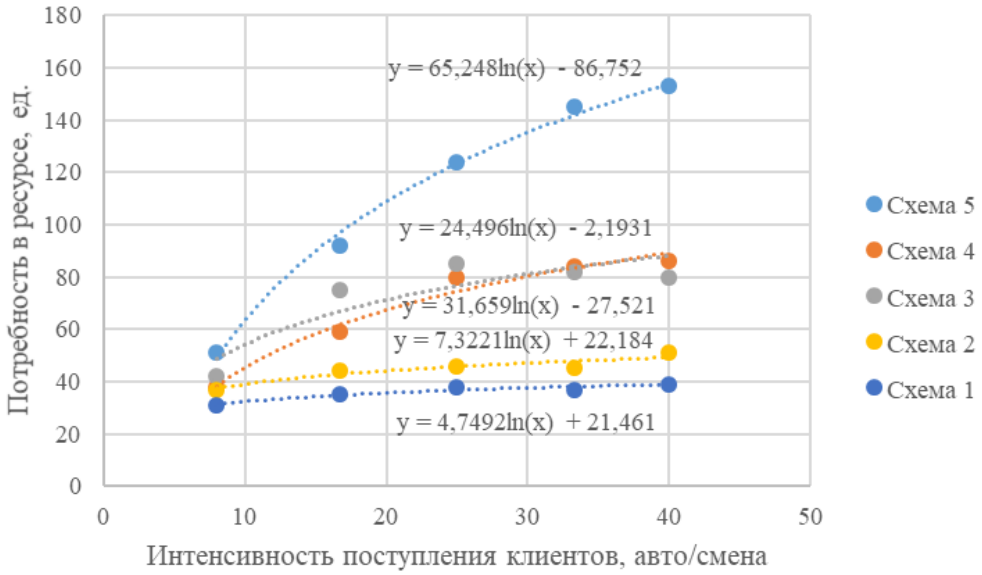


Рисунок 3.91 – Закономерности изменения потребности в ресурсе для каждого варианта производственной структуры при фиксированном количестве технологических звеньев каждого типа

В ходе моделирования было определено оптимальное по критерию минимальных издержек количество технологических звеньев (постов) каждого типа для каждой производственной структуры при различной интенсивности поступления клиентов. Для каждого оптимального варианта была определена оптимальная потребность в суммарном количестве ресурса, а также в его распределении между технологическими звеньями.

Закономерности изменения потребности в ресурсах от интенсивности поступления клиентов при оптимальном количестве постов представлены на рисунке 3.92, а затем показаны модели закономерностей.

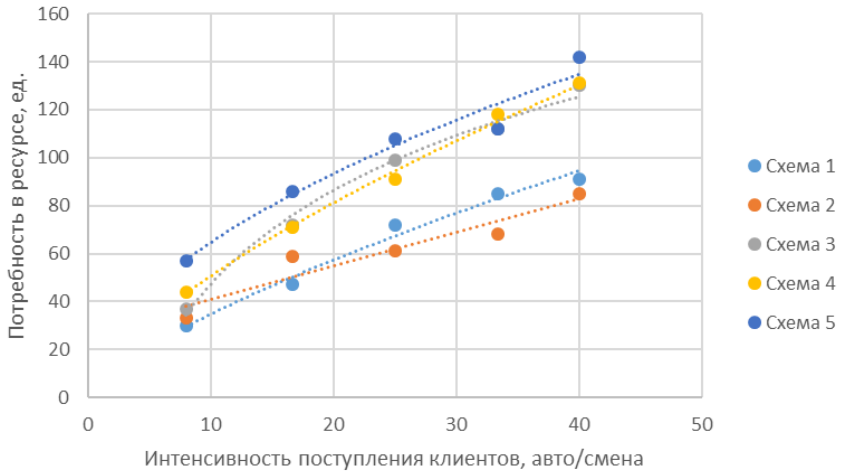


Рисунок 3.92 – Закономерности изменения потребности в ресурсах от интенсивности поступления клиентов при оптимальном количестве постов

Модели закономерностей (R – потребность в ресурсе, ед.; $N_{см}$ – интенсивность поступления клиентов, авто/смену) для разных функциональных схем производственных структур для СТО представлены далее.

Для функциональной схемы 1: $R = 6{,}5867 \cdot N_{см}^{0{,}7223}$, (3.35)

для функциональной схемы 2: $R = 1{,}3977 \cdot N_{см} + 26{,}818$, (3.36)

для функциональной схемы 3: $R = 56{,}512 ln(N_{см}) - 83{,}008$, (3.37)

для функциональной схемы 4: $R = 10{,}53 \cdot N_{см}^{0{,}6815}$, (3.38)

для функциональной схемы 5: $R = 19{,}019 \cdot N_{см}^{0{,}5309}$. (3.39)

Для каждой схемы производственного процесса и каждого значения интенсивности поступления клиентов были получены результаты распределения потребности в ресурсах между технологическими звеньями. Выявлено, что процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа практически не изменяется при изменении интенсивности поступления клиентов. Поэтому результаты были усреднены и представлены ниже для каждого варианта производственной структуры в виде круговых диаграмм 3.93 – 3.97.

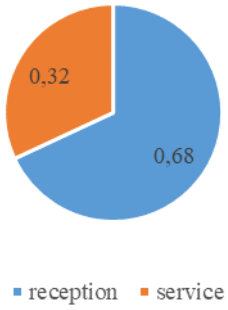


Рисунок 3.93 – Процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа для схемы номер 1

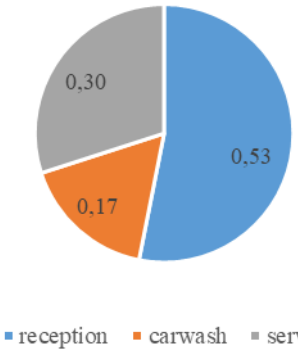


Рисунок 3.94 – Процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа для схемы номер 2

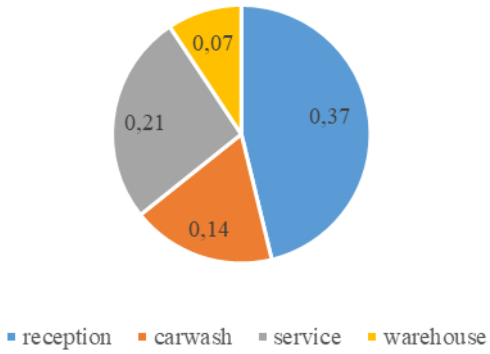


Рисунок 3.95 – Процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа для схемы номер 3

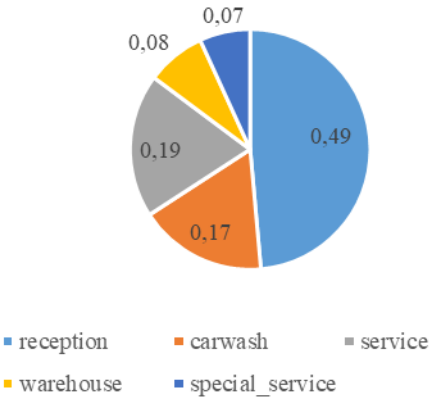


Рисунок 3.96 – Процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа для схемы номер 4

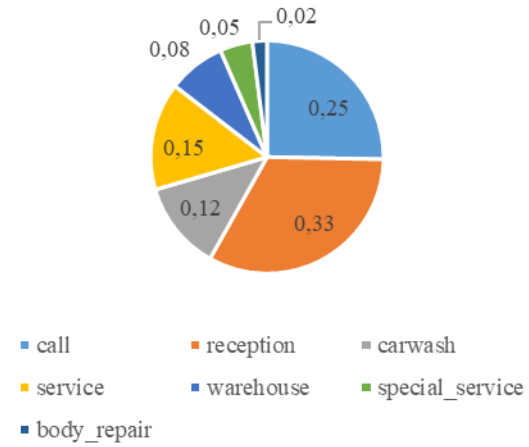


Рисунок 3.97 – Процентное соотношение потребности в ресурсах для технологических звеньев разного типа для схемы номер 5

Таким образом, можно заключить, что более производительная производственная структура требует большее количество ресурса.

3.9. Моделирование функций стимулирования при управлении производством по ТО и Р автомобилей

Моделирование для станций технического обслуживания автомобилей

Для определения системы стимулирования были использованы экспериментальные данные, полученные на этапе моделирования производственной структуры. Были использованы следующие столбцы:

Y_4 - суммарное время обслуживания автомобилей, ч.;

Y_5 – количество обслуженных автомобилей, ед.;

Y_6 – количество поступивших автомобилей, ед..

Функции отклика оценивались для следующих факторов:

X_1 – производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед/мес.;

X_2 – соотношение работ по ТО и Р по типам, чел.час.;

X_5 – тип модели стимулирования, качественная (категориальная) переменная.

Для каждой точки плана определялись затраты на систему стимулирования C, K, L, D-типа. Системы K и L-типа рассчитывались идентично, поскольку различия между ними возникают только при наличии разницы между нормативной и фактической трудоемкостью производства работ. Это будет исследовано отдельно. Далее для каждой точки плана определялась оптимальная система стимулирования по критерию минимизации затрат. Для модели оптимизации функция отклика представляет собой качественную (категориальную)

переменную. Это осложняет использование регрессионных моделей. Однако, для таких случаев можно использовать метод деревьев классификации (classification trees) [294].

В таблице 3.84 представлены подготовленные экспериментальные данные, содержащие расчетные значения затрат на каждый тип системы стимулирования. Расчеты проводились при следующих значениях параметров:

- общее кол-во постов, ед.: 13;
- величина месячной фиксированной зарплаты исполнителя, руб.: 90000;
- ставка оплаты нормо-часа, руб.: 800;
- величина дохода с 1 клиента, руб.: 13000;
- норматив (коэффициент) перераспределения дохода от обслуживания на исполнителя: 0,3.

Таблица 3.84 – Экспериментальные данные по выходным характеристикам имитационной модели и расчетные данные по затратам на стимулирование производственного персонала

Факторы		Выходные данные			Затраты на стимулирование				
		Y_4	Y_5	Y_6	1	2	3	4	
X_1	X_2	Время обслуживания, ч	Количество обслуженных, ед.	Количество поступивших, ед.	C-типа (1)	K-типа (2)	D-типа (3)	L-типа (4)	Оптимальная
1350	2	2476	610	1266,2	1170000	1980866	2379000	1980866	1
1350	2	2467	616	1274,8	1170000	1973508	2402400	1973508	1
…									

В таблице 3.85 представлена матрица парных корреляций факторов.

Таблица 3.85 – Матрица парных корреляций факторов

	Y6	Y4	Y5	X1	X2	C	K	D	L
Y6	1,00	0,94	0,44	0,99	-0,01		0,94	0,44	0,94
Y4	0,94	1,00	0,65	0,96	-0,02		1,00	0,65	1,00
Y5	0,44	0,65	1,00	0,46	-0,44		0,65	1,00	0,65
X1	0,99	0,96	0,46	1,00	0,00		0,96	0,46	0,96
X2	-0,01	-0,02	-0,44	0,00	1,00		-0,02	-0,44	-0,02
C									
K	0,94	1,00	0,65	0,96	-0,02		1,00	0,65	1,00
D	0,44	0,65	1,00	0,46	-0,44		0,65	1,00	0,65
L	0,94	1,00	0,65	0,96	-0,02		1,00	0,65	1,00

Статистически значимые коэффициенты, проверенные по t-статистике Стьюдента для уровня значимости α=0,05, помечены цветом.

Графики зависимости затрат по типам систем стимулирования от влияющих на них факторов представлены на рисунках 3.98 и 3.99.

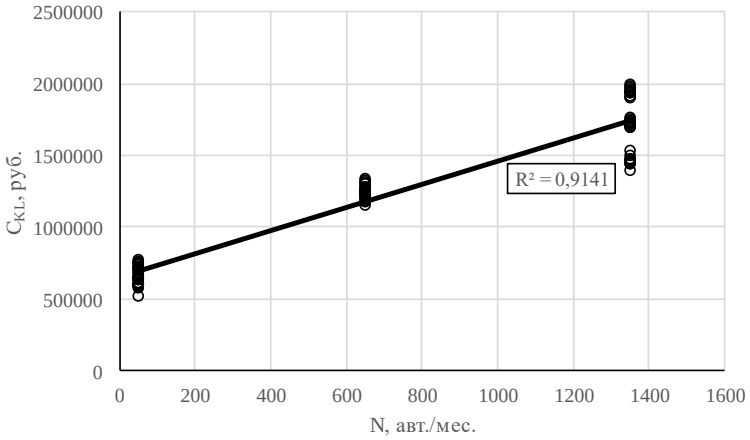


Рисунок 3.98 – Зависимость затрат на систему стимулирования K, L-типа от месячной производственной программы

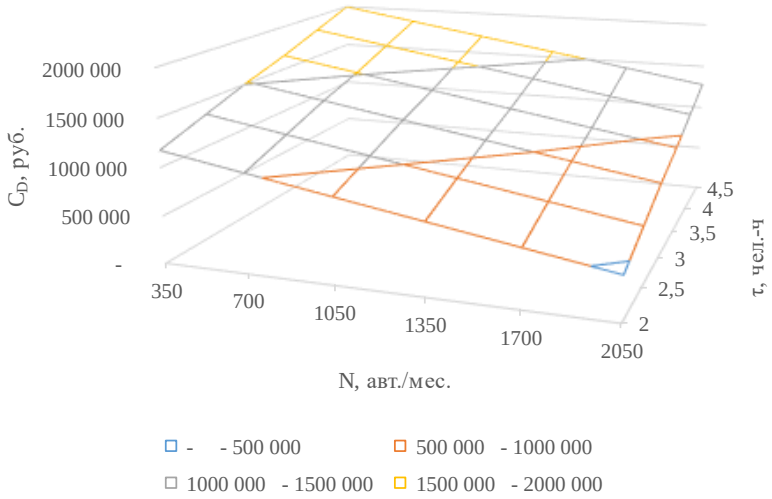


Рисунок 3.99 – Зависимость затрат на систему стимулирования D-типа от месячной производственной программы и средневзвешенной трудоемкости

Модели закономерностей изменения затрат на разные типы систем стимулирования представлены ниже:

$$C_{KL} = 658119 + 801{,}61 \cdot N, \quad (3.40)$$

$$C_D = 1579278 + 485 \cdot N - 287700 \cdot \tau, \quad (3.41)$$

где C_{KL} – затраты предприятия на систему стимулирования KL-типа, руб.

C_D – затраты предприятия на систему стимулирования D-типа, руб.

На рисунке 3.100 представлен график изменения затрат на разные типы систем стимулирования от производственной программы при фиксированном факторе X_2.

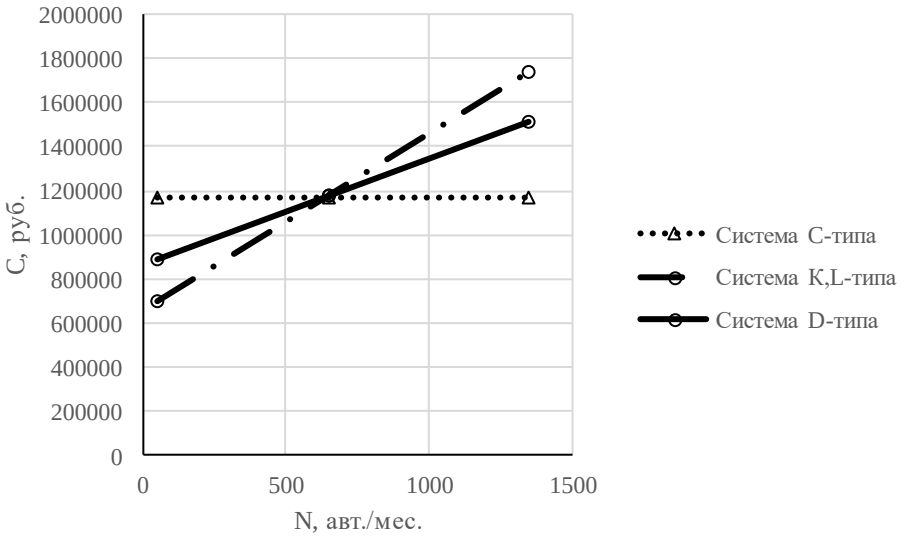


Рисунок 3.100 – График изменения затрат на разные типы систем стимулирования от производственной программы при фиксированном факторе X_2=2,5

Установлено, что для низкой интенсивности поступления автомобилей в зону технического сервиса наиболее эффективной по критерию минимизации затрат является пропорциональная система стимулирования K, L-типа. При превышении расчетного порогового значения количества поступающих автомобилей в месяц приоритет смещается в сторону фиксированного значения заработной платы для исполнителей – системы С-типа. Система стимулирования с перераспределением дохода D-типа находится на втором месте по приоритету на всем диапазоне количества требований.

Выявлено, что для системы стимулирования K-типа приоритет наступает при выполнении работ с фактической трудоемкостью меньшей, чем ее нормативное значение (рисунок 3.101).

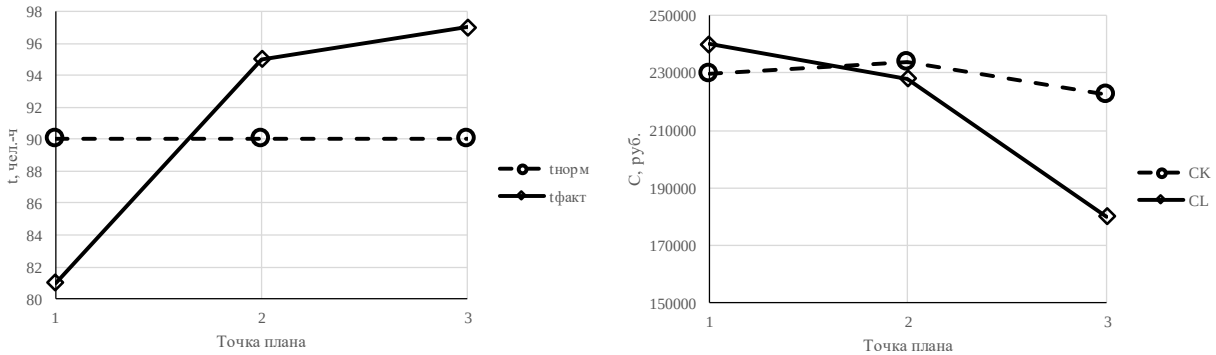


Рисунок 3.101 – Изменение приоритета систем K и L-типа при выполнении работ с фактической трудоемкостью, отличающейся от нормативной в меньшую сторону (1 точка плана) и в большую сторону (2 и 3 точки плана); слева – трудоемкость; справа – затраты

На основании результатов экспериментальных исследований была разработана модель принятия решения (классификации) по выбору типа системы стимулирования для предприятия автомобильного транспорта.

На рисунке 3.102 представлена модель дерева классификации, разработанная с помощью фреймворка sklearn языка программирования Python. График дерева решений, построенный с использованием DecisionTreeClassifier из библиотеки sklearn, представляет собой визуализацию модели машинного обучения, которая использует древовидную структуру для принятия решений. Дерево решений разделяет данные на подмножества на основе значений признаков, чтобы предсказать целевую переменную (класс или метку).

В каждом узле отображается следующая информация:

1. признак (feature): имя признака, используемого для разделения данных;
2. пороговое значение (threshold): значение, относительно которого происходит разделение;
3. количество образцов (samples): число объектов (строк данных), попавших в этот узел;
4. распределение классов (value): список, показывающий количество объектов каждого класса в узле, например, [50, 30] означает, что в узле 50 объектов первого класса и 30 объектов второго класса;
5. прогнозируемый класс (class): в терминальных (конечных) вершинах указывается класс, который будет предсказан для объектов, попавших в этот узел; для внутренних узлов обычно показывается класс, который преобладает в текущем подмножестве данных;
6. gini (или "коэффициент Джини") — это мера неоднородности (impurity) набора данных, чем выше значение gini, тем более "смешанными" являются классы в данном узле. Идеальная однородность достигается, когда все объекты в узле принадлежат к одному классу (в этом случае gini = 0).

Для принятия решений по выбору типа системы стимулирования используются конечные вершины. Выбор происходит для следующих базовых систем стимулирования: 1 – для системы С-типа; 2 – для системы K(L) типа; 3 – для системы D-типа. Факторы, определяющие условие по выбору ветви иерархического дерева, указаны под промежуточными (нетерминальными) вершинами, а их значения – на месте ветвления алгоритма.

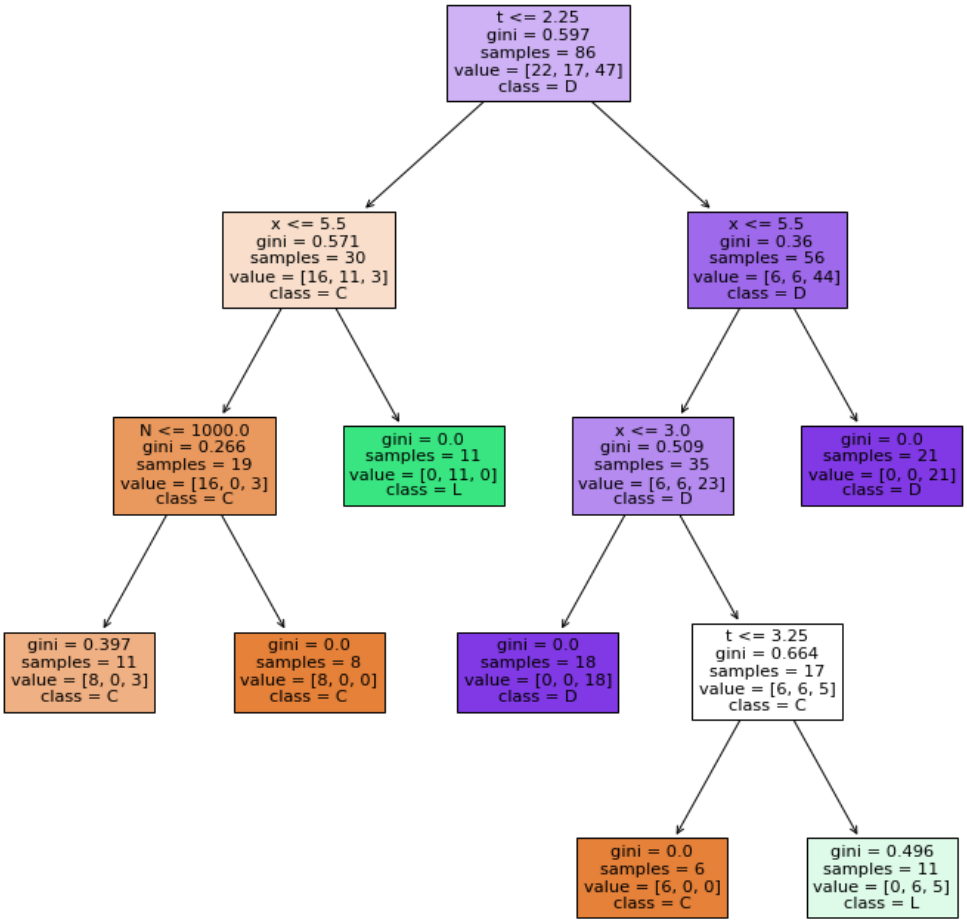


Рисунок 3.102 – Графическая модель принятия решения по выбору оптимальной для заданных условий модели стимулирования производственного персонала

Матрица ошибок классификации, показывающая соотношение расчетных и фактических значений, представлена на рисунке 3.103. Абсолютная ошибка классификации для модели, определенная как отношение количества неверно классифицированных значений для каждого класса к общему количеству наблюдений составляет 9%.



Рисунок 3.103 – Матрица ошибок классификации дерева решений для классов 1: C; 2: K; 3: D

Установлено, что сезонная неравномерность поступления автомобилей в зону ТО и Р также влияет на приоритет выбора базовой системы стимулирования.

На рисунках 3.104 – 3.106 представлены результаты моделирования затрат на базовые системы стимулирования в течение года в условиях неравномерности поступления клиентов. Моделировались три станции технического обслуживания с параметрами, представленными в таблице 3.86.

Таблица 3.86 – Исходные данные для моделирования сезонной неравномерности поступления автомобилей в зону ТО и Р

Предприятие	$N_{ср}$, авт.	τ, чел.час	x, ед.	X, ед.
1	304	2,8	5	8
2	1150	2,8	6	12
3	1150	3,2	6	20

При моделировании учитывались следующие технико-экономические показатели деятельности предприятий: зарплата С, руб/мес. – 120000; ставка оплаты λ, руб. – 450; доход с 1 клиента, руб. – 10000; норматив ϒ,% - 0,3.

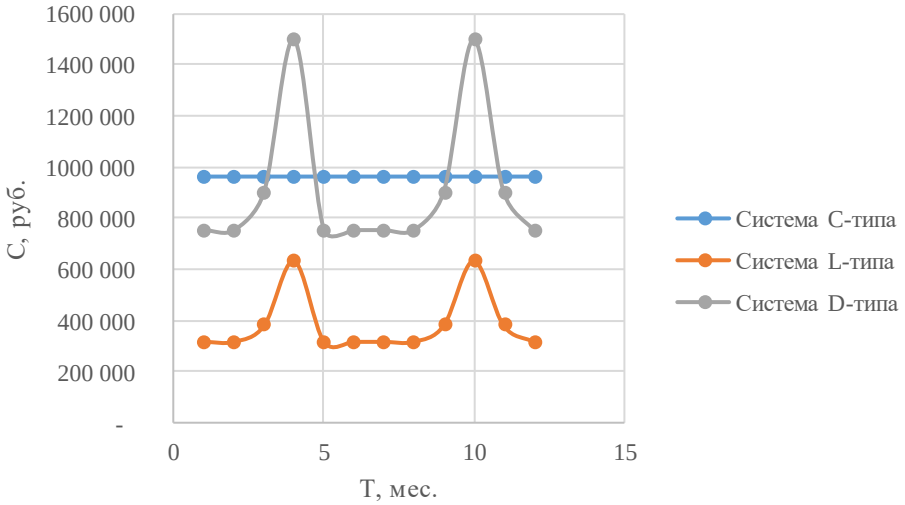


Рисунок 3.104 – Моделирование затрат на базовые системы стимулирования в течение года для предприятия 1

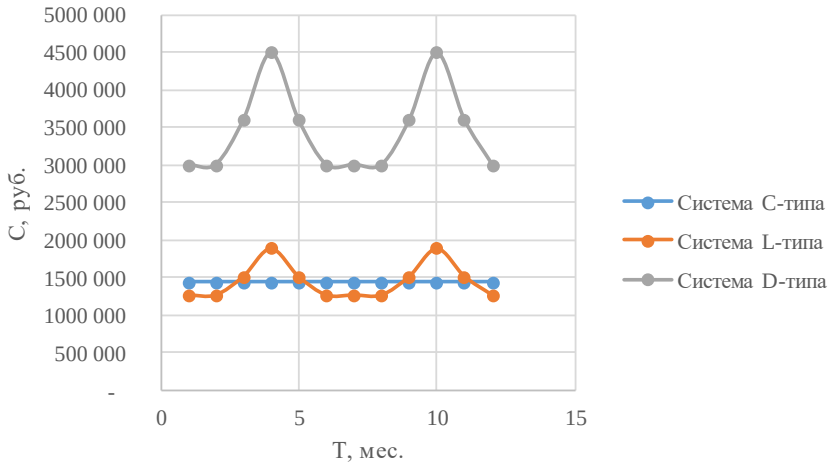


Рисунок 3.105 – Моделирование затрат на базовые системы стимулирования в течение года для предприятия 2

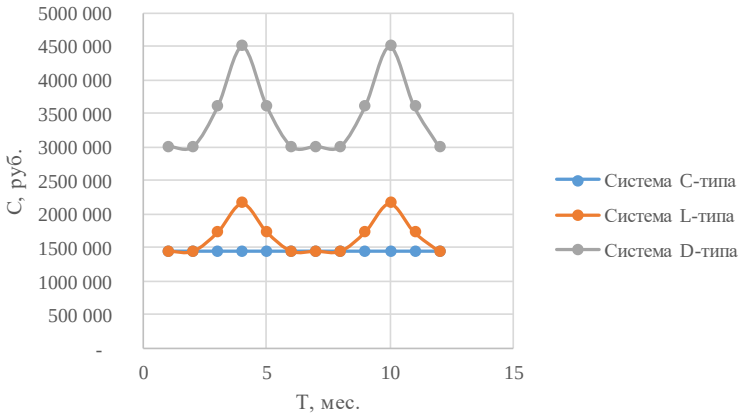


Рисунок 3.106 – Моделирование затрат на базовые системы стимулирования в течение года для предприятия 3

Для определения системы стимулирования были использованы экспериментальные данные, полученные при определении производственной структуры. Были использованы следующие столбцы:

Y_4 - суммарное время обслуживания автомобилей, ч.;

Y_5 – количество обслуженных автомобилей, ед.;

Y_6 – количество поступивших автомобилей, ед.;

Функции отклика оценивались для следующих факторов:

X_1 – размер парка автомобилей, ед. (A_{CC});

X_2 – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес (ω);

X_3 – производственная структура предприятия, выражаемая количеством технологических звеньев разных типов (x);

X_5 – тип модели стимулирования, категориальная переменная.

Специфика функционирования технической службы автотранспортных предприятий не предполагает конкретной коммерческой составляющей для результата работ по ТО и Р подвижного состава. В связи с этим для каждой точки плана определялись затраты на систему стимулирования С, K/L типа. Системы K и L-типа рассчитывались идентично, различия между ними более подробно рассматривались при моделировании подсистемы стимулирования для СТО. Далее для каждой точки плана определялась оптимальная система стимулирования по критерию минимизации затрат. Для модели оптимизации функция отклика представляет собой качественную (категориальную) переменную. В связи с этим был также использован метод деревьев классификации (classification trees).

В таблице 3.87 представлены подготовленные экспериментальные данные, содержащие расчетные значения затрат на каждый тип системы стимулирования.

Таблица 3.87 – Экспериментальные данные по выходным характеристикам имитационной модели и расчетные данные по затратам на стимулирование производственного персонала

Факторы			Выходные данные			Затраты на стимулирование		
			Y_4	Y_5	Y_6	1	2	3
X_1	X_2	X_3	Время обслуживания, ч	Количество обслуженных, ед.	Количество поступивших, ед.	С-типа (1)	K/L-типа (2)	Оптимальная система
50	1000	2	15007	100	100	16200000	9004500	1
50	1000	3	15007	100	100	16200000	8404200	1
…								

Расчеты проводились при следующих значениях параметров:

- общее кол-во постов, ед.: 15;
- величина месячной фиксированной зарплаты исполнителя, руб.: 90000;
- ставка оплаты нормо-часа, руб.: 600.

В таблице 3.88 представлена матрица парных корреляций факторов. Статистически значимые коэффициенты, проверенные по t-статистике Стьюдента для уровня значимости α=0,05, помечены цветом.

Таблица 3.88 – Матрица парных корреляций факторов

	X1	X2	X3	Y4	Y5	Y6	C_C	C_{KL}	$Sigma_{Opt}$
X1	1,00	0,00	0,00	0,95	0,22	0,75		0,95	0,62
X2	0,00	1,00	0,00	0,16	0,83	0,53		0,16	0,07
X3	0,00	0,00	1,00	-0,17	0,24	0,02		-0,17	-0,14
Y4	0,95	0,16	-0,17	1,00	0,28	0,84		1,00	0,60
Y5	0,22	0,83	0,24	0,28	1,00	0,65		0,28	0,37
Y6	0,75	0,53	0,02	0,84	0,65	1,00		0,84	0,48
C_C									
C_{KL}	0,95	0,16	-0,17	1,00	0,28	0,84		1,00	0,60
$Sigma_{Opt}$	0,62	0,07	-0,14	0,60	0,37	0,48		0,60	1,00

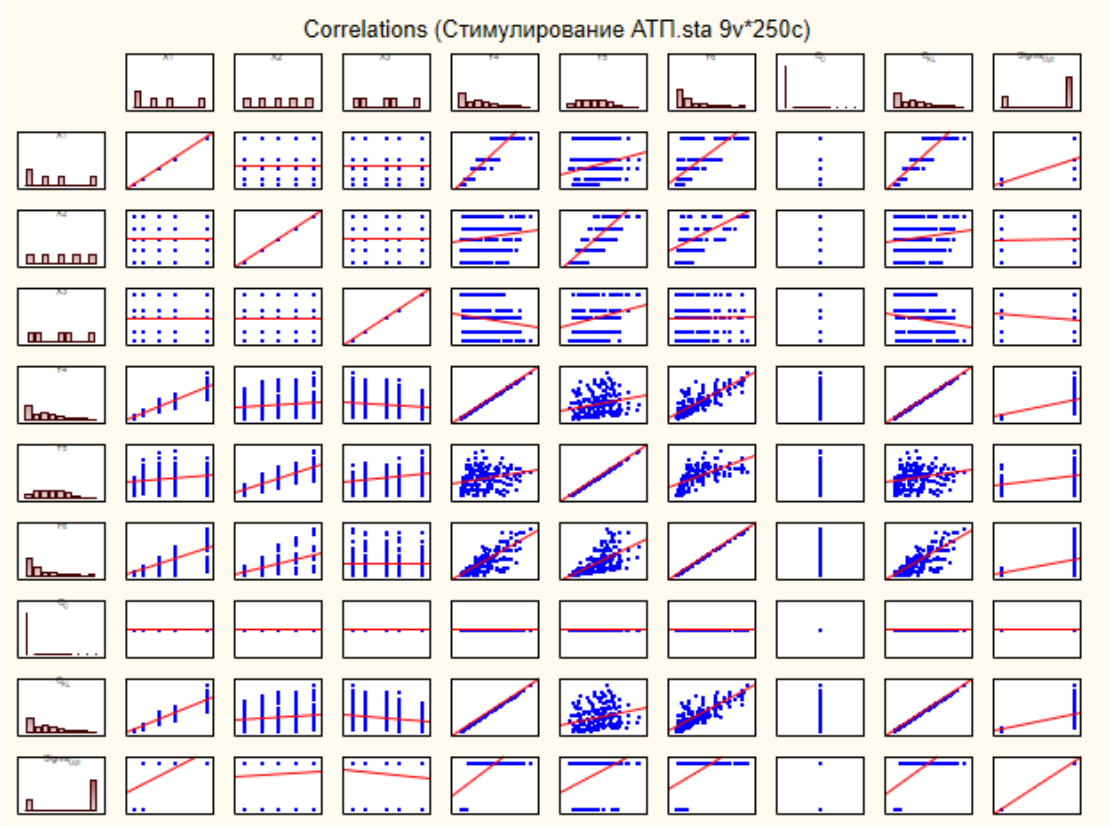


Рисунок 3.107 – Матрица корреляционных полей факторов, исследуемых для формирования модели стимулирования на АТП

Можно сделать вывод, что все три рассматриваемых фактора оказывают существенное влияние на затраты на систему стимулирования KL-типа (C_{KL}), а также на оптимальную систему стимулирования ($Sigma_{Opt}$), за исключением фактора X_2 – интенсивности эксплуатации автомобилей. Матрица корреляционных полей факторов и функции отклика представлена на рисунке 3.107.

Модель зависимости затрат на систему стимулирования KL-типа (C_{KL}) от факторов A_{CC} и ω представлена ниже:

$$C_{KL} = 1602224 + 182626 \cdot A_{CC} + 3367 \cdot \omega - 2452797 \cdot x, \quad (3.42)$$

где A_{CC} – размер парка автомобилей, ед.;

ω – интенсивность эксплуатации подвижного состава, км./мес.;

x – тип производственной структуры, выражаемый количеством технологических звеньев разных типов.

Статистические характеристики регрессионной модели, такие как коэффициент множественной детерминации, t-статистика Стьюдента, дисперсионное отношение Фишера, средняя ошибка аппроксимации представлены в таблице 3.89.

Таблица 3.89 – Статистические характеристики регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	108
2	Коэффициент множественной детерминации	0,95
3	Коэффициент множественной корреляции	0,97
4	t-статистика Стьюдента	2,0
5	$t_{\alpha=0,1}$	1,86
6	Дисперсионное отношение Фишера	1882,0
7	$F_{\alpha=0,05}$	2,7
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	17

Графики зависимости затрат по системы стимулирования KL-типа от влияющих на нее факторов при фиксированных значениях интенсивности эксплуатации автомобилей ω представлены на рисунках 3.108 - 3.110.

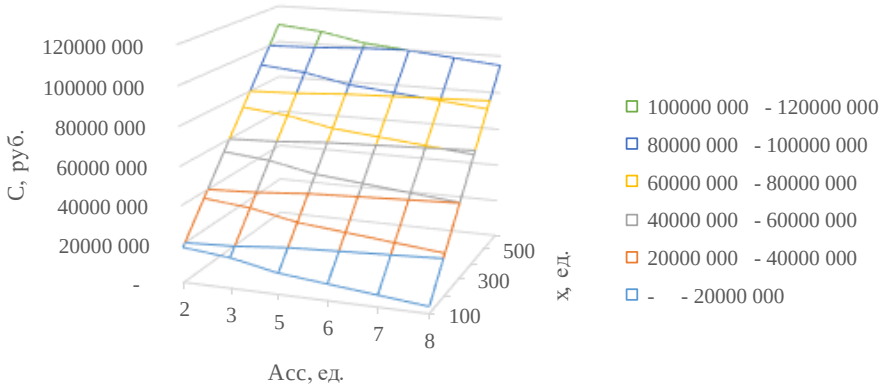


Рисунок 3.108 – Зависимость затрат на систему стимулирования KL-типа от размера парка автомобилей и количества технологических звеньев производственной структуры при интенсивности эксплуатации подвижного состава ω = 1000 км/мес.

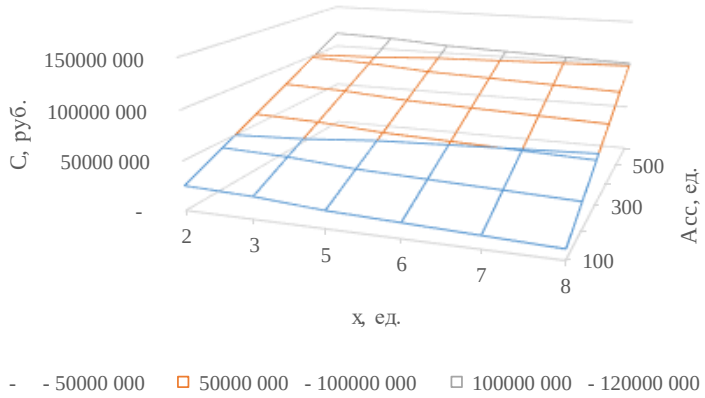


Рисунок 3.109 – Зависимость затрат на систему стимулирования KL-типа от размера парка автомобилей и количества технологических звеньев производственной структуры при интенсивности эксплуатации подвижного состава ω = 3000 км/мес.

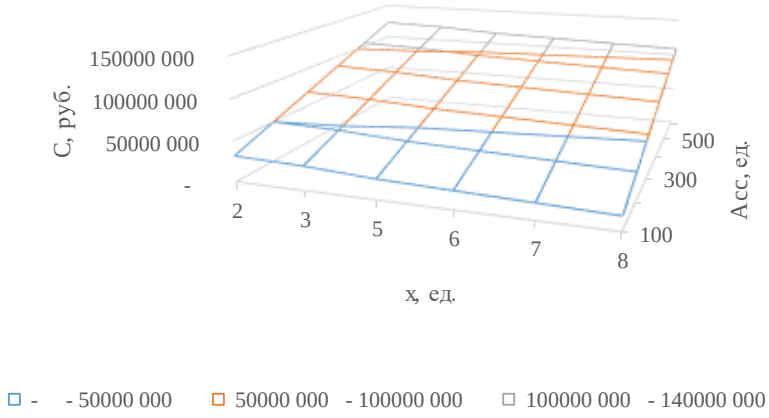


Рисунок 3.110 – Зависимость затрат на систему стимулирования KL-типа от размера парка автомобилей и количества технологических звеньев производственной структуры при интенсивности эксплуатации подвижного состава ω = 5000 км/мес.

На рисунке 3.111 представлен график изменения затрат на рассматриваемые типы систем стимулирования от размера парка автомобилей A_{CC} при фиксированных факторах ω=3000 и x = 5.

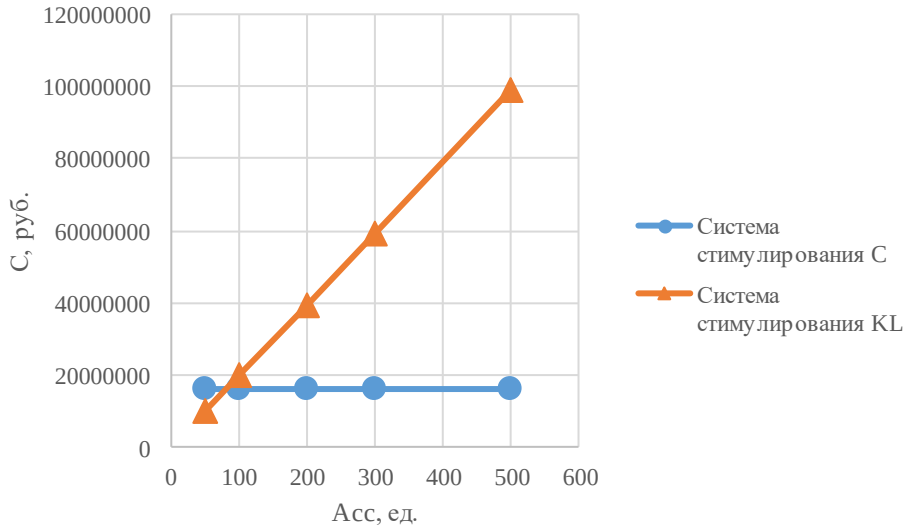


Рисунок 3.111 – График изменения затрат на разные типы систем стимулирования от производственной программы при фиксированных факторах ω и x

Аналогично эксперименту со станциями технического сервиса для автотранспортных предприятий приоритет использования систем различного типа меняется от размера парка автомобилей. Система стимулирования С-типа с фиксированным значением заработной платы становится предпочтительнее при размере парка более 100 единиц и интенсивности эксплуатации более чем 3000 км/мес. Пропорциональные системы стимулирования KL-типа эффективны, наоборот, при небольших значениях A_{CC} и ω. При изменении значения ω точка пересечения затрат систем стимулирования на графике сдвигается в соответствующем направлении.

На основании результатов экспериментальных исследований была разработана модель принятия решения (классификации) по выбору типа системы стимулирования для предприятия автомобильного транспорта.

На рисунке 3.112 представлена модель дерева классификации, разработанная с помощью фреймворка sklearn языка программирования Python. Терминальные (конечные) вершины используются для принятия решений по выбору типа системы стимулирования, который представлен качественными переменными: 1 – для системы С-типа; 2 – для системы K(L) типа. Факторы, определяющие условие по выбору ветви иерархического дерева, указаны под промежуточными (нетерминальными) вершинами, а их значения – на месте ветвления алгоритма. Матрица точности модели представлена на рисунке 3.113.

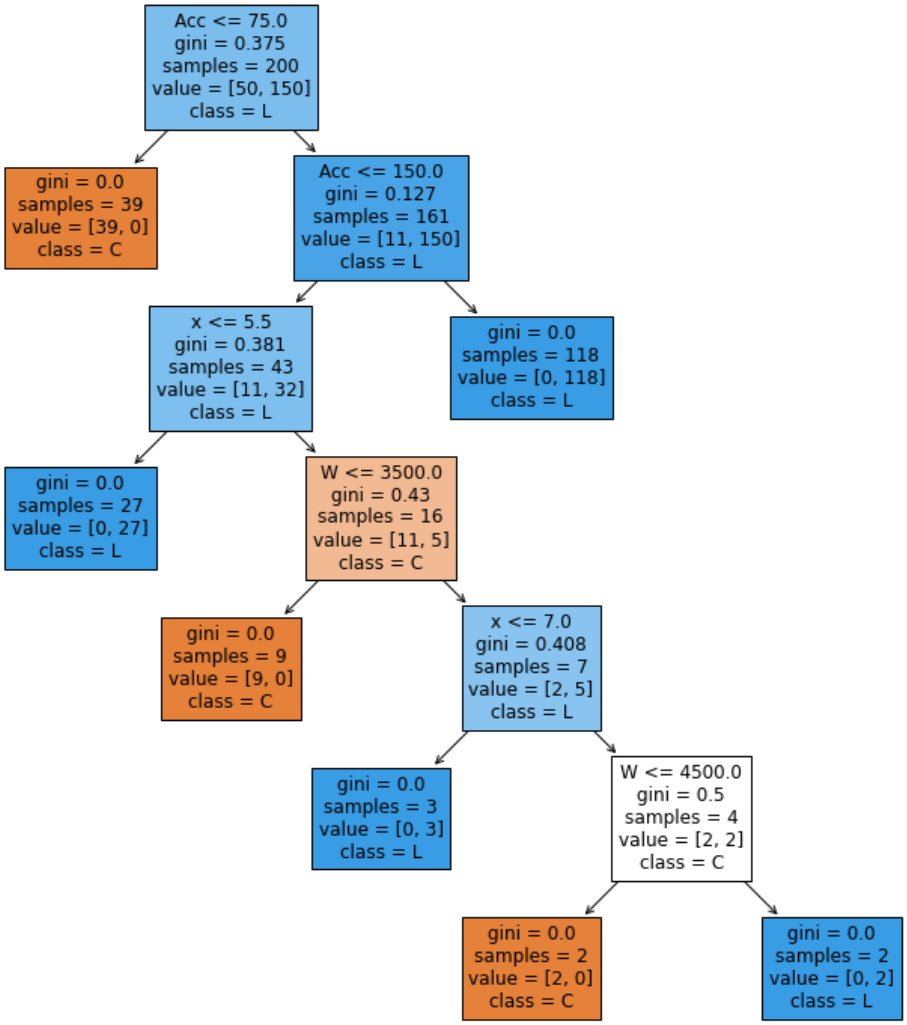


Рисунок 3.112 – Графическая модель принятия решения по выбору оптимальной для заданных условий модели стимулирования производственного персонала



Рисунок 3.113 – Матрица ошибок классификации дерева решений для классов 1: C; 2: L

Абсолютная ошибка классификации для модели, определенная как отношение количества неверно классифицированных значений для каждого класса к общему количеству наблюдений составляет 2%.

3.10. Моделирование функций контроля при управлении производством по ТО и Р автомобилей

Модель параметров подсистемы контроля

Моделирование для станций технического обслуживания автомобилей

Согласно разработанному факторному плану с использованием имитационной модели было проведено заданное количество измерений. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что коэффициенты корреляции между выходными параметрами имитационной модели и оцениваемыми факторами (X_6, X_7, X_8) статистически значимы только при больших значениях производственной программы по ТО и Р автомобилей. Это продемонстрировано на рисунке 3.114 для функции отклика Y_1 – относительной пропускной способности системы.

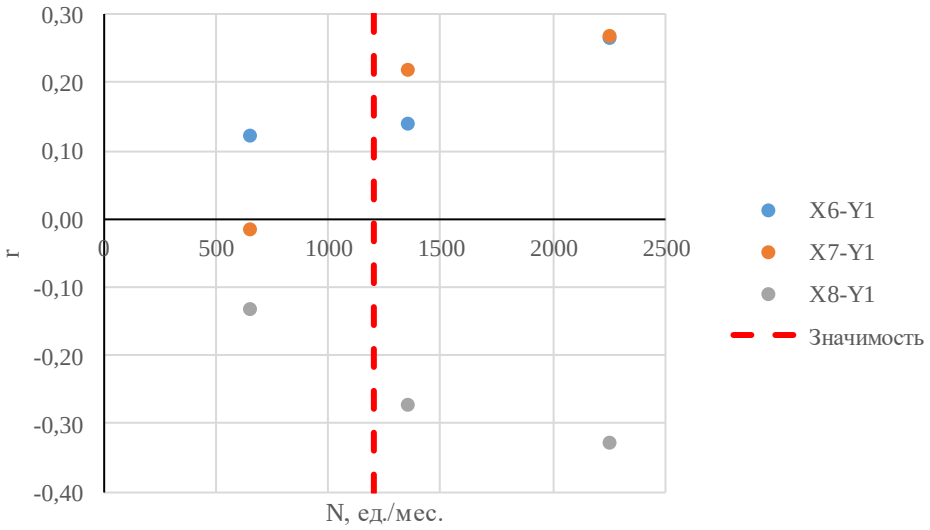


Рисунок 3.114 – Изменение значений коэффициентов парной корреляции между факторами X_6, X_7, X_8 и функцией отклика Y_1; справа от вертикальной пунктирной линии – область статистической значимости коэффициентов корреляции по критерию Стьюдента

Это говорит о том, что система контроля дает существенный эффект только при высоком уровне загрузки производственной зоны. Для низкой интенсивности поступления автомобилей в систему влияние параметров системы контроля статистически незначимо.

Было принято решение рассматривать влияние факторов контроля на выходные параметры системы при высоких значениях производственной программы по ТО и Р автомобилей (фактор X_1) – 2250 автомобилей в месяц. Для исключения влияния фактора X_2 его значение было установлено на 2,0 чел.час., что соответствует поступлению в систему только заявок, требующих работ первого типа с низкой трудоемкостью (таблица 3.90). Матрица корреляционных полей взаимосвязи факторов показана на рисунке 3.115.

Таблица 3.90 – Матрица коэффициентов парной корреляции

Variable	X6	X7	X8	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X6	1,00	0,00	0,00	0,32	-0,01	0,48	-0,58	0,32	0,00
X7	0,00	1,00	0,00	0,40	0,34	-0,01	-0,33	0,40	-0,01
X8	0,00	0,00	1,00	-0,37	-0,02	-0,41	0,57	-0,37	-0,01
Y1	0,32	0,40	-0,37	1,00	0,82	-0,12	-0,75	1,00	-0,89
Y2	-0,01	0,34	-0,02	0,82	1,00	-0,65	-0,26	0,82	-0,78
Y3	0,48	-0,01	-0,41	-0,12	-0,65	1,00	-0,56	-0,12	-0,99
Y4	-0,58	-0,33	0,57	-0,75	-0,26	-0,56	1,00	-0,75	0,90
Y5	0,32	0,40	-0,37	1,00	0,82	-0,12	-0,75	1,00	0,96
Y6	0,00	-0,01	-0,01	-0,89	-0,78	-0,99	0,90	0,96	1,00

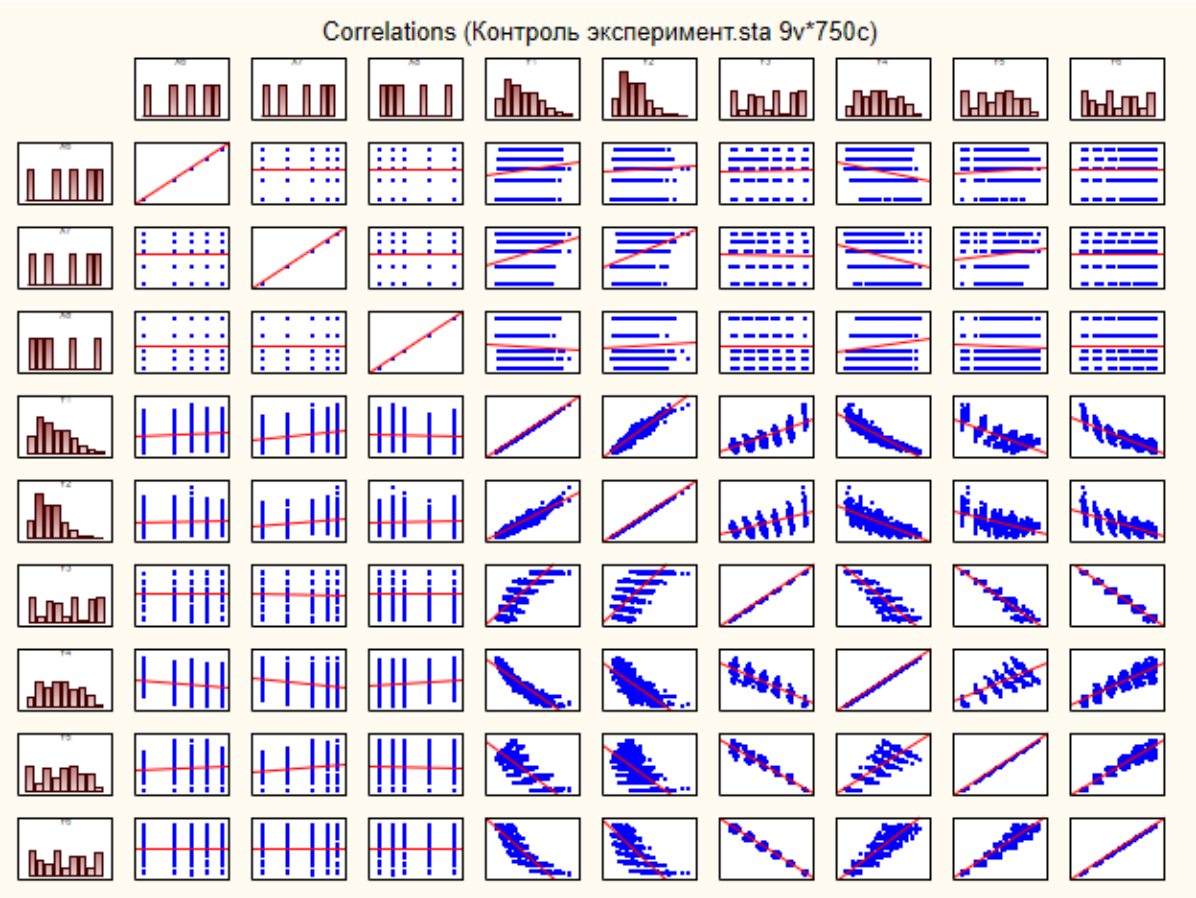


Рисунок 3.115 – Матрица корреляционных полей взаимосвязи факторов и функции отклика

При достижении заданного количества измерений в каждой точке плана данные усреднялись. Матрица значимости коэффициентов парной корреляции представлена в таблице 3.91.

Таблица 3.91 – Значение t-статистики Стьюдента для коэффициентов парной корреляции для n=125 и tкр = 1,98

	X6	X7	X8	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X6		0,00	0,00	3,70	0,12	6,10	7,97	3,70	0,03
X7	0,00		0,00	4,90	4,00	0,12	3,89	4,90	0,16
X8	0,00	0,00		4,36	0,17	4,95	7,79	4,36	0,13
Y1	3,70	4,90	4,36		15,96	1,35	12,69		21,65
Y2	0,12	4,00	0,17	15,96		9,40	2,96	15,96	14,03
Y3	6,10	0,12	4,95	1,35	9,40		7,53	1,35	96,90
Y4	7,97	3,89	7,79	12,69	2,96	7,53		12,69	22,88
Y5	3,70	4,90	4,36		15,96	1,35	12,69		36,54
Y6	0,03	0,16	0,13	21,65	14,03	96,90	22,88	36,54	

Коэффициенты парной корреляции между Y_1 и факторами X_6, X_7, X_8 статистически значимы.

Далее в ходе экспериментальных исследований решалась задача определения уравнения трехфакторной регрессии между X_6, X_7, X_8 и Y_1. Обозначим X_6 (количество точек контроля за смену, ед.), X_7 (величина управляющего воздействия, %), X_8 (время запаздывания реализации управляющего воздействия, ч.) как n_c, p_c, d_c соответственно. Напомним, что Y_1 обозначается как q.

Производилась оценка уравнений регрессии различной формы с линейными и нелинейными значениями факторов. Однако, наибольшую точность показала линейная регрессия. Уравнение регрессии представлено ниже.

$$q = 41{,}57 + 0{,}43 \cdot n_c + 3{,}5 p_c - 0{,}4 d_c, \qquad (3.43)$$

где q – относительная пропускная способность СТО, %;

n_c - количество точек контроля за смену, ед.;

p_c - величина управляющего воздействия, %;

d_c - время запаздывания реализации управляющего воздействия, ч.

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым при выполнении условия $t \geq tp$. Значение t-статистики коэффициентов модели для уровня значимости α=0,05 приведено в таблице 3.92.

Таблица 3.92 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Наименование показателя	t-статистика Стьюдента
A_0	66,9
n_c	4,48
p_c	5,72
d_c	5,18

Все коэффициенты модели являются значимыми, т.к. соблюдается условие $t \geq tp = 1,98$ (таблица 3.93).

Таблица 3.93 – Статистические характеристики многофакторной регрессионной модели

№	Наименование показателей	Значение
1	Объем выборки	125
2	Коэффициент множественной детерминации	0,39
3	Коэффициент множественной корреляции	0,63
4	t-статистика Стьюдента	66,9
5	$t_{\alpha=0,05}$	1,98
6	Дисперсионное отношение Фишера	26,59
7	$F_{\alpha=0,05}$	2,68
8	Средняя ошибка аппроксимации, %	3,12

Значение коэффициентов эластичности λ и влияния β факторов модели на результирующий признак представлено в таблице 3.94.

Таблица 3.94 – Оценка коэффициентов эластичности и влияния

Фактор	Коэффициент модели при j-ом факторе	Коэффициент	
		эластичности λ	влияния β
n_c	0,44	0,04	0,32
p_c	3,54	0,05	0,40
d_c	-0,41	-0,03	-0,37

Величина остаточной дисперсии результирующего показателя $\sigma^2 = 3,4$.

График модели регрессии с фиксированным значением одного из трех факторов будет представлять собой поверхность. На рисунках 3.116, 3.117 представлен трехмерный график влияния факторов n_c и d_c на относительную пропускную способность системы при фиксированных значениях p_c, равных 1,0 и 0,5.

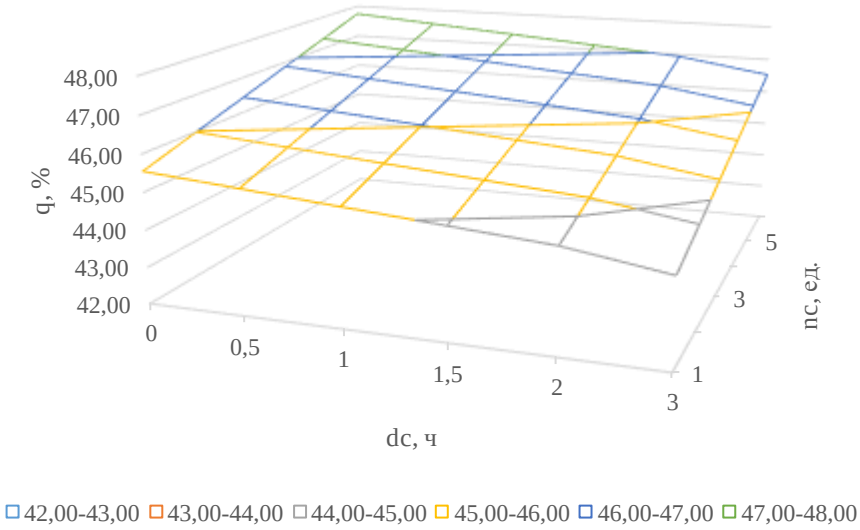


Рисунок 3.116 – График зависимости относительной пропускной способности системы q от количества управляющих воздействий за смену n_c и величины задержки реализации управляющего воздействия d_c при p_c=1

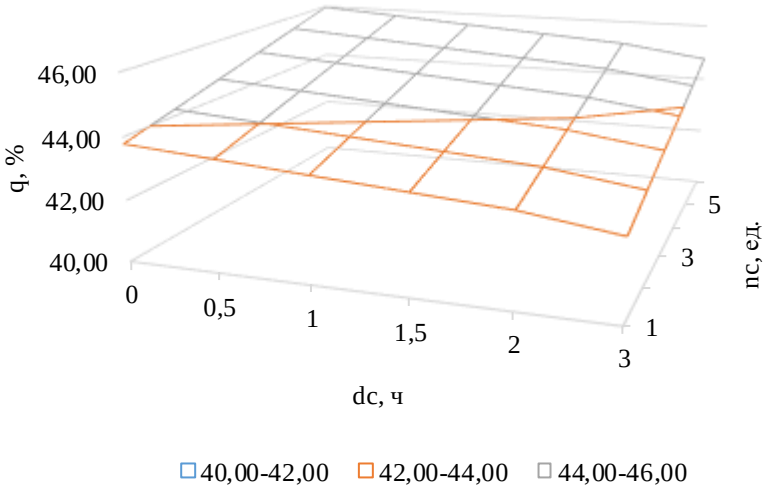


Рисунок 3.117 – График зависимости относительной пропускной способности системы q от количества управляющих воздействий за смену n_c и величины задержки реализации управляющего воздействия d_c при p_c=0,5

С использованием формулы определения значения целевой функции по критерию минимизации суммарных затрат на контроль были определены модели закономерностей оптимальных параметров подсистемы контроля от разных значений производственной программы по ТО и Р $N_{мес}$ автомобилей. Полученные модели были проверены на статистическую значимость по ряду установленных критериев [69]. Суточная производственная программа изменялась в пределах от 20 до 70 автомобилей с шагом в 10 автомобилей. Автомобили поступали в систему с учетом суточной неравномерности. Для каждого значения производственной программы определялось оптимальное по критерию минимума суммарных затрат значение параметра подсистемы контроля. Для параметра задержки величины УВ

оптимальное значение целевой функции всегда достигалось при нулевом значении, поэтому модель закономерности не представлена. Полученные модели закономерностей показаны на рисунке 3.118.

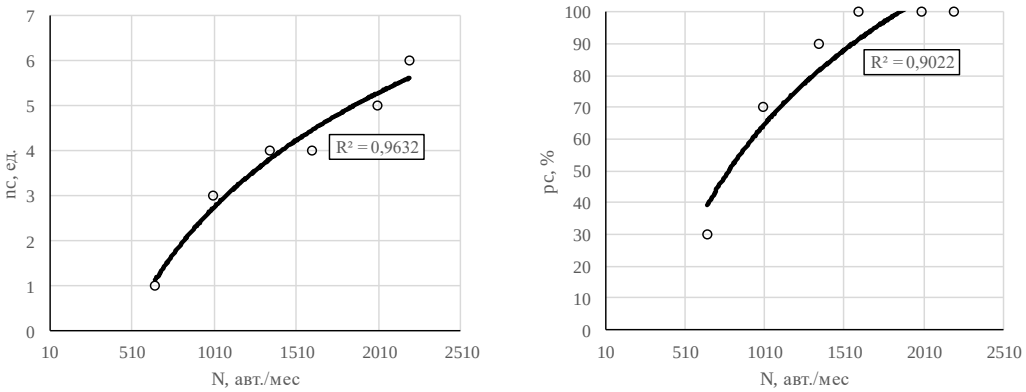


Рисунок 3.118 – Модели закономерностей влияния месячной производственной программы по ТО и Р автомобилей на оптимальные параметры подсистемы контроля

$$n_c = 3{,}696 \cdot \ln(N) - 22{,}818, \tag{3.44}$$

$$p_c = 57{,}874 \cdot \ln(N) - 335{,}67. \tag{3.45}$$

Установлены закономерности изменения показателей эффективности ТЭА от параметров подсистемы контроля. Полученные закономерности могут быть использованы при формировании регламентов деятельности административно-управленческих работников в рамках определения периодичности контроля производственных процессов, а также при разработке нормативов времени решения производственных проблем. Также были определены модели закономерностей изменения параметров подсистемы контроля от суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей. Высокая интенсивность поступления автомобилей на посты требует повышения периодичности контроля. Закономерности могут быть полезны инженерно-техническому персоналу станций технического обслуживания автомобилей и автотранспортных предприятий.

Моделирование для автотранспортных предприятий

Согласно разработанному факторному плану с использованием имитационной модели было проведено заданное количество измерений. В ходе проведения эксперимента учитывалось определенно ранее условие, что коэффициенты корреляции между выходными параметрами имитационной модели и оцениваемыми факторами (X_6, X_7, X_8) статистически значимы только при больших значениях производственной программы по ТО и Р автомобилей.

Вследствие этого, влияние факторов контроля на выходные параметры системы оценивалось для следующих значений факторов: размер парка автомобилей (фактор X_1) – 500 автомобилей; интенсивность эксплуатации (фактор X_2) – 5000 км/мес. Моделирование производилось для варианта производственной структуры АТП со следующими параметрами:

- количество технологических звеньев производственной структуры x, ед. – 2;
- типы технологических звеньев: зона ЕО – универсальный пост по ТО и Р автомобилей;
- количество постов, ед.: зона ЕО – 2; универсальный пост по ТО и Р автомобилей – 10;
- трудоемкость выполнения работ на постах, чел.час.: .зона ЕО – 0,5; универсальный пост по ТО и Р автомобилей – 5.

Фрагмент результатов моделирования представлен в таблице 3.95.

Таблица 3.95 – Результаты моделирования функционирования системы при разных значениях параметров системы контроля

	X_6	X_7	X_8	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
1	1	0,25	0	42	11,7	6210	165	180	420	5287
2	1	0,25	1	42	11,7	6210	165	180	420	5287
3	1	0,25	2	42	11,7	6210	165	180	420	5287
…										

В ходе моделирования было определено, что исследуемые факторы не оказывают влияния как на пропускную способность системы, так и на другие функции отклика. Отсюда следует заключить, что такие параметры системы контроля, как количество точек контроля, величина и задержка в реализации управляющих воздействий оказывают влияние на функционирование системы только при высокой интенсивности поступления заявок в систему. Для рассматриваемого примера интенсивность составила не более 1 заявки в час, чего недостаточно для изучения влияния факторов контроля.

1. Контроль последовательности выполнения технологических операций

Для решения подобных задач используются несколько методов, основанных на системах компьютерного зрения или на радиосигналах (нательных датчиках или без их использования) [205, 207, 208, 19].

Была разработана имитационная модель агентного типа, которая позволяет создавать трехмерную модель предприятия с заданными условиями поведения

персонажей. Для создания имитационной модели использован игровой движок Unity. Создан персонаж – человек и последовательность путевых точек (waypoints - wp), между которыми персонаж должен передвигаться. Эта модель описывает ситуацию перемещения механика между точками проведения работ на операционно-постовой карте технического обслуживания или ремонта автомобиля.

Внешний вид окна моделирования представлен на рисунке 3.119.

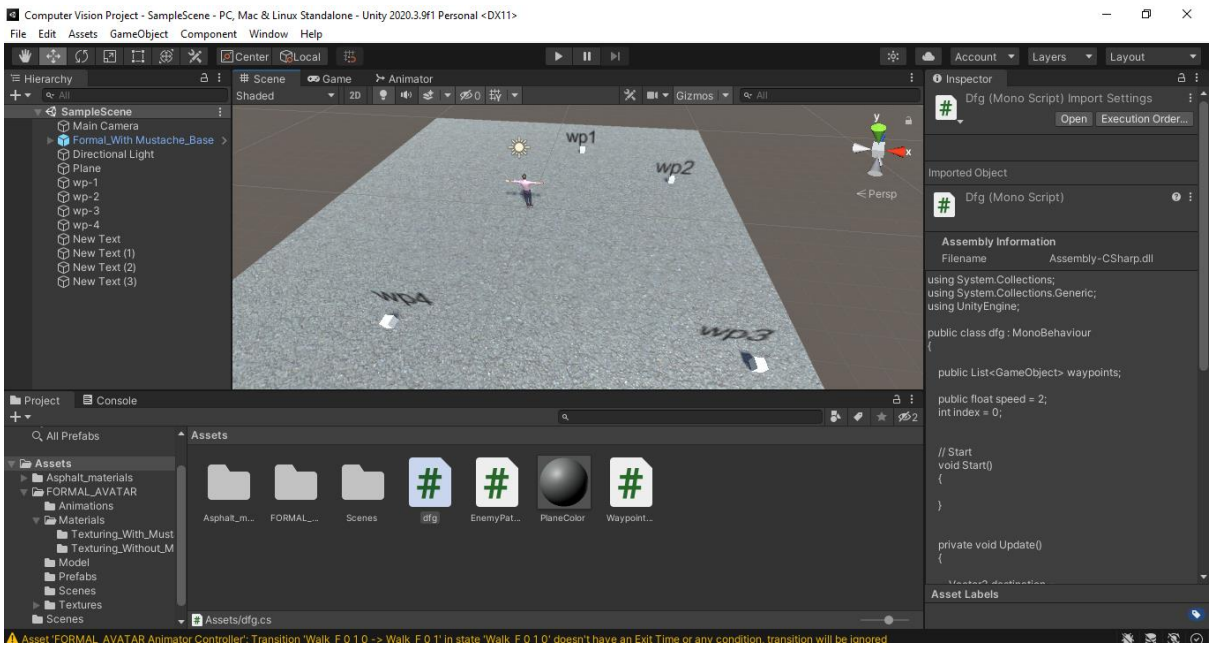


Рисунок 3.119 – Окно модели оценки последовательности выполнения технологических операций

Персонаж представляет собой человека и обладает анимацией движения. Путевые точки на сцене обозначены текстом и объемным кубом для наглядности.

Разработанная сцена будет использована для создания видеозаписей, имитирующих видеопоток с камер видеонаблюдения за производственными процессами. Полученные записи будут обрабатываться моделью детектора объектов, работающего на основе алгоритмов компьютерного зрения.

Программный код алгоритма движения персонажа по путевым точкам на языке C# зарегистрирован в реестре программ для ЭВМ. Модель требует список путевых точек. Персонаж движется между ними в заданной списком последовательности.

Верная последовательность прохождения персонажем всех путевых точек следующая: wp-1 → wp-2 → wp-3 → wp-4.

Неправильной будет считаться любая другая последовательность.

Было смоделировано две видеозаписи, одна из которых содержит правильную последовательность прохождения путевых точек, а вторая – неправильную, а именно: wp-3 → wp-1 → wp-2 → wp-4. При задании неправильной

последовательности менялись индексы каждой путевой точки в общем списке. Пути представлены на рисунке 3.120.

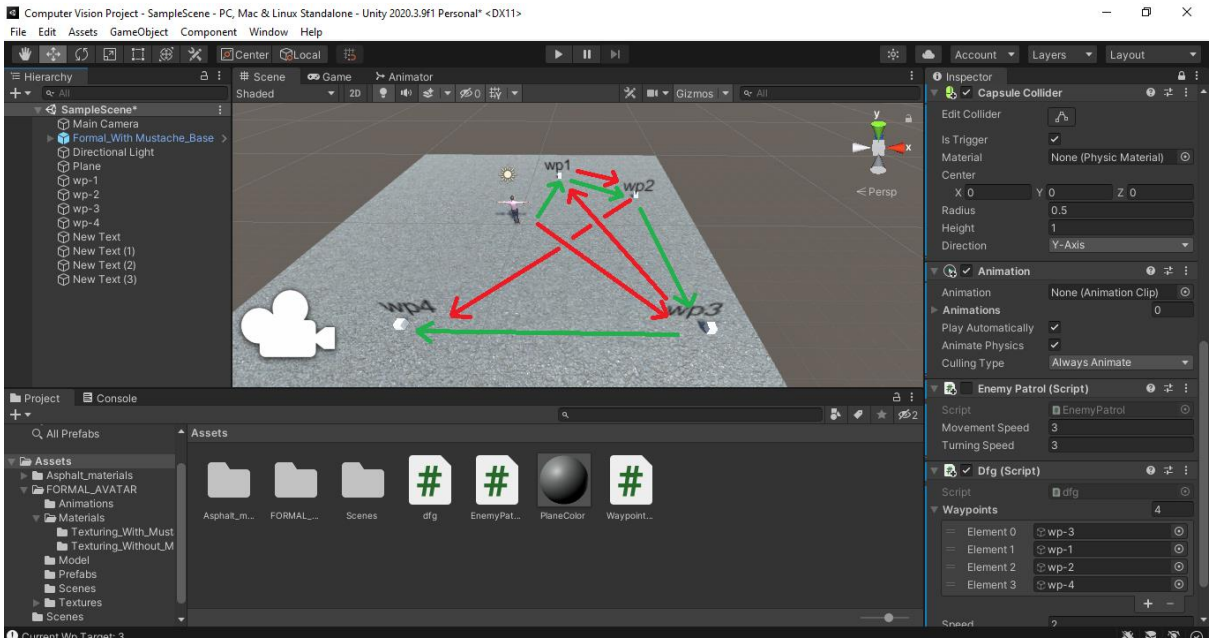


Рисунок 3.120 – Правильная и неправильная последовательность выполнения технологических операций

Для детектирования людей в кадре использовалась предобученная модель YOLOv3. Детектор обводит распознанный объект в ограничительную рамку - прямоугольник и определяет класс объекта. В данном случае это класс «person».

Поскольку камера закреплена на сцене статично, то область видеопотока была размечена на прямоугольные зоны, соответствующие путевым точкам (рисунок 3.121).

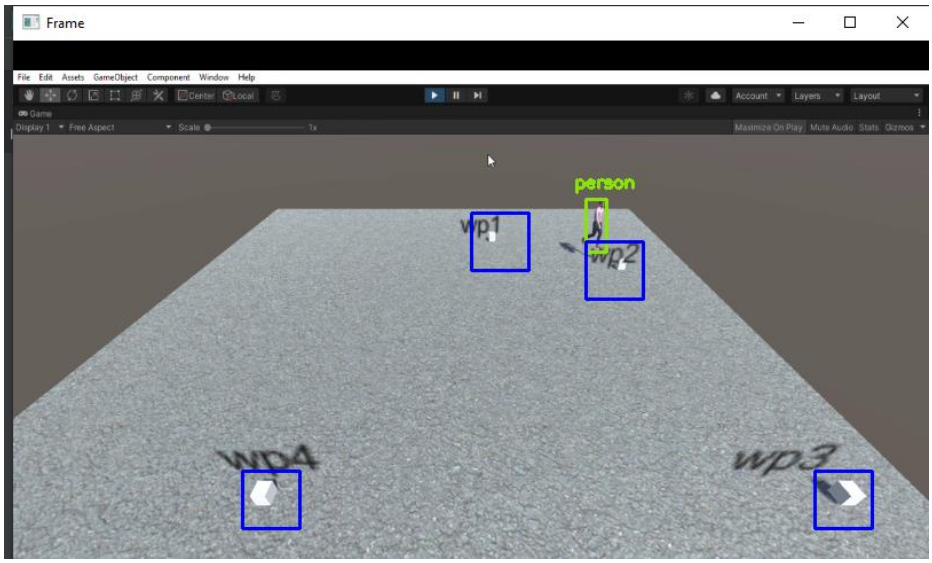


Рисунок 3.121 – Области путевых точек и детектированный моделью человек (класс «person»)

Например, для размера изображения (800, 480) задаются следующие координаты путевых точек в виде кортежей:

wp1 = (400, 150, 450, 200);

wp2 = (500, 175, 550, 225);

wp3 = (700, 375, 750, 425);

wp4 = (200, 375, 250, 425).

Для оценки факта прохождения через путевую точку используется метрика IoU. Она показывает отношение площади пересечения прямоугольников двух объектов к суммарной площади их объединения.

Алгоритм определения значения метрики с использованием псевдокода представлен ниже.

```
STEP1: START
STEP2: Define a funtion bb_intersection_over_union(boxA, boxB)
    xA is equal to max(boxA[0], boxB[0])
    yA is equal to max(boxA[1], boxB[1])
    xB is equal to min(boxA[2], boxB[2])
    yB is equal to min(boxA[3], boxB[3])
    interArea is equal to (xB - xA) * (yB - yA)
    boxAArea is equal to (boxA[2] - boxA[0]) * (boxA[3] - boxA[1])
    boxBArea is equal to (boxB[2] - boxB[0]) * (boxB[3] - boxB[1])
    IoU is equal to interArea / float(boxAArea + boxBArea - interArea)
    Return  io
STEP3: STOP
```

Для представленного на рисунке 3.122 примера видно, как ограничительная рамка персонажа частично пересекается с ограничительной рамкой путевой точки wp2. Для такой ситуации значение метрики IoU будет выше нуля.

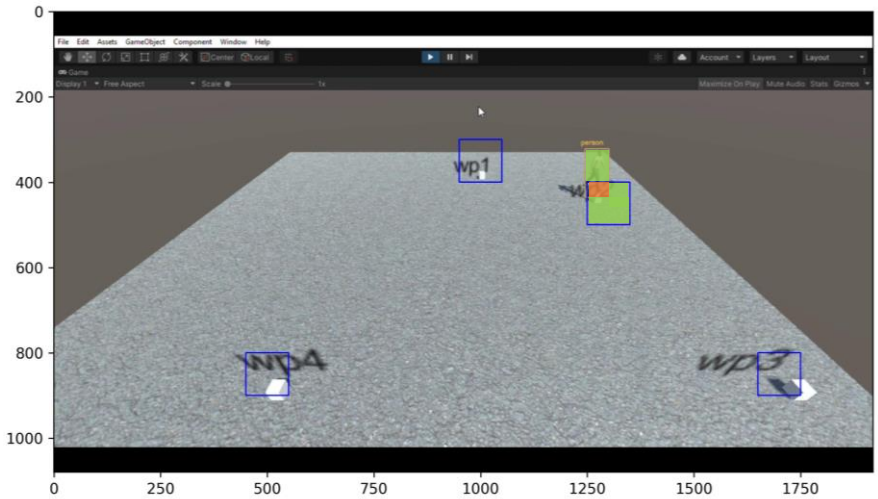


Рисунок 3.122 – Визуализация показателя IoU: зеленой заливкой показано объединение двух прямоугольников, красной – пересечение

Для примера, представленного на рисунке 3.122, значение показателя IoU является равным 0,126.

В результате оценивается значение метрики для каждой путевой точки для всей продолжительности видеозаписи. В случае прохождения персонажем путевой точки прямоугольник (ограничительная рамка) персонажа и путевой точки пересекаются, вследствие чего значение метрики будет выше 0 на какое-то время. Пример определения метрик для каждой путевой точки для правильной последовательности действий представлен на рисунке 3.123.

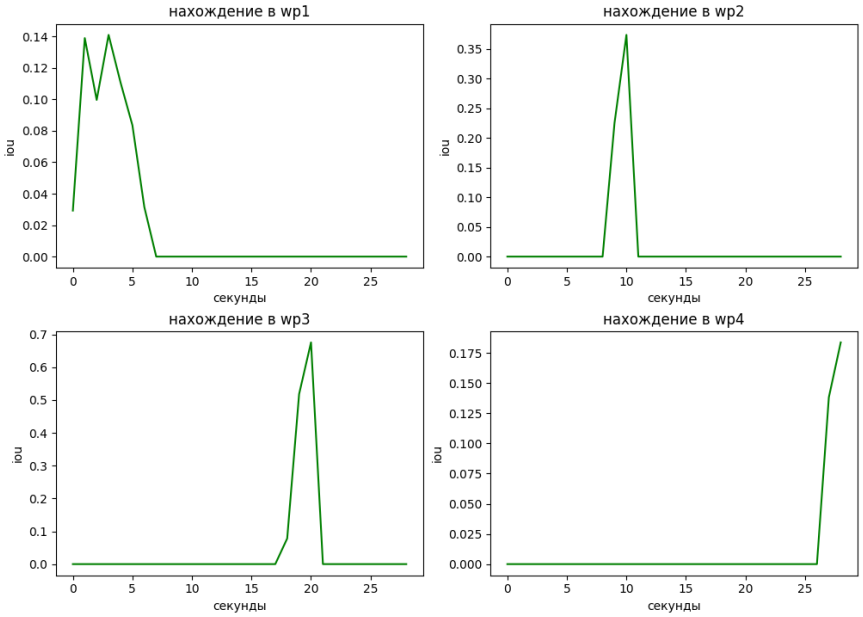


Рисунок 3.123 – Значение метрики IoU для каждой путевой точки для правильной последовательности действий

Пример определения метрик для каждой путевой точки для неправильной последовательности действий представлен на рисунке 3.124.

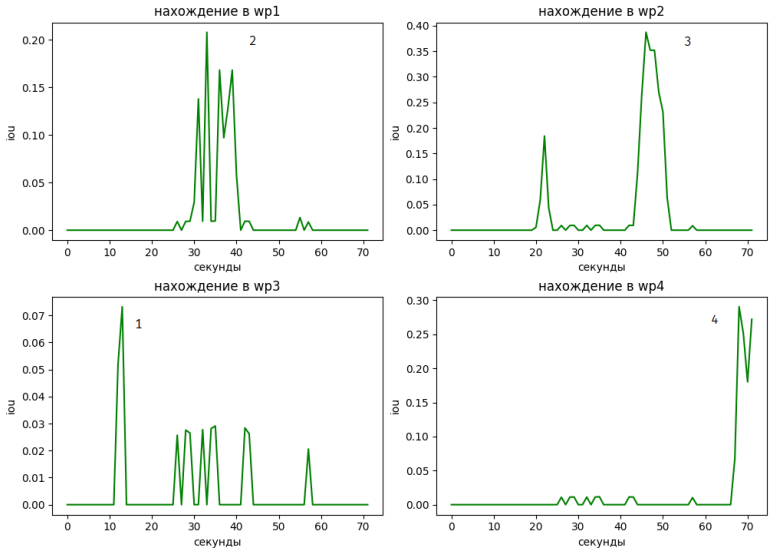


Рисунок 3.124 – Значение метрики IoU для каждой путевой точки для неправильной последовательности действий

Из графиков видно, что wp1 в первом видео достигается в начале движения персонажа, а во втором – на 32 секунде, т.е. в середине его пути. Следует отметить, что длительность первой и второй видеозаписи отличаются, что обусловлено увеличением пути при прохождении путевых точек в неправильном порядке. Отклонение значений показателя от нулевых в других временных промежутках объясняется перекрытием ограничительных рамок персонажа и зон путевых точек во время его движения.

Это нивелируется использованием максимальных значений метрики и секунды видео (или кадра), на которой оно достигается. Полученное значение фиксируется в словарь, куда заносятся и максимальные значения для остальных путевых точек. Получившийся словарь сортируется по ключам от минимального до максимального значения времени достижения максимума для каждой путевой точки. То есть очередность временных меток максимальных значений показателя от начала видеозаписи и будет показывать фактическую последовательность действий персонажа. Получившиеся в результате работы алгоритма метки путевых точек для наглядности были также нанесены на график рисунка 3.124.

В результате для каждой последовательности действий оператор получает список из наименований путевых точек в соответствии с последовательностью их достижения. Списки для двух рассматриваемых примеров (правильного и неправильного) представлены ниже:

waypoints_right: {'wp1': 0, 'wp2': 2, 'wp3': 6, 'wp4': 8};

waypoints_fact: {'wp3': 13, 'wp1': 33, 'wp2': 46, 'wp4': 68}.

Получившийся результат подтверждает фактически выполненную последовательность действий для каждого из смоделированных видеороликов, что говорит о работоспособности алгоритма.

Методика контроля последовательности выполнения технологических операций представлена в четвертом разделе диссертации.

Таким образом, методику определения правильной последовательности действий исполнителя с использованием компьютерного зрения можно представить в виде нескольких шагов:

1. определение позиции камеры и поста для проведения работ;
2. разметка каждой точки производства работ в виде прямоугольника по пиксельным координатам;
3. запись правильной последовательности прохождения путевых точек;
4. определение метрики IoU для правильной последовательности и формирования графика изменения метрики по секундам (кадрам) видео;
5. получение результатов прохождение путевых точек для неправильной последовательности;
6. приведение длительностей двух списков к одному масштабу;

7. формирование маркированного списка (словаря) пройденных путевых точек и его сортировка по времени достижения максимального значения метрики для каждой точки;

8. сравнение двух маркированных списков для правильной и фактической последовательности действий.

2. Контроль продолжительности выполнения технологических операций

Для оценки продолжительности выполнения технологических операций исполнителем моделировалось время нахождения персонажа в каждой путевой точке по представленной выше модели. Логика работы программы была доработана и добавлено время ожидания при достижении каждой точки. Виртуальный персонаж при этом находится в пределах путевой точки и имитирует работу специалиста на данном этапе операционно-постовой карты. Внешний вид окна модели в редакторе Unity представлен на рисунке 3.125.

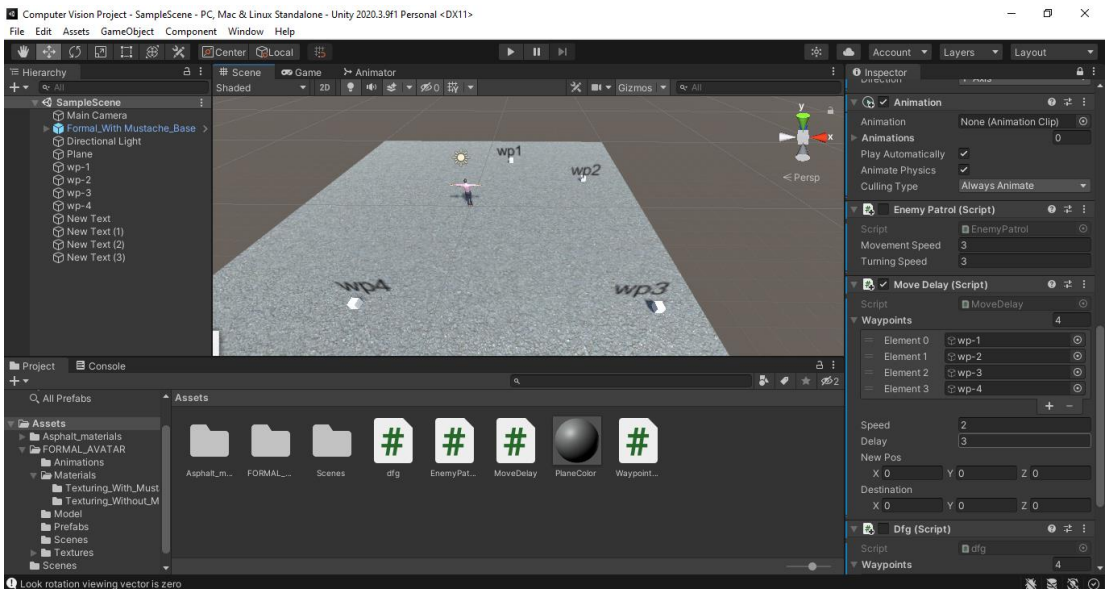


Рисунок 3.125 – Вид окна виртуальной модели оценки продолжительности выполнения технологических операций

На панели inspector справа можно задавать время ожидания в путевой точке и скорость передвижения персонажа. Для эксперимента было проведено моделирование перемещения персонажа между путевыми точками 1 – 2 – 3 – 4 с 4-х секундным и 6-секундным ожиданием в каждой. Полученные видеозаписи также обрабатывались детектором YOLO для определения границ объекта и алгоритмической оценки степени перекрытия ограничительных рамок персонажа и зоны каждой путевой точки (рисунок 3.126).

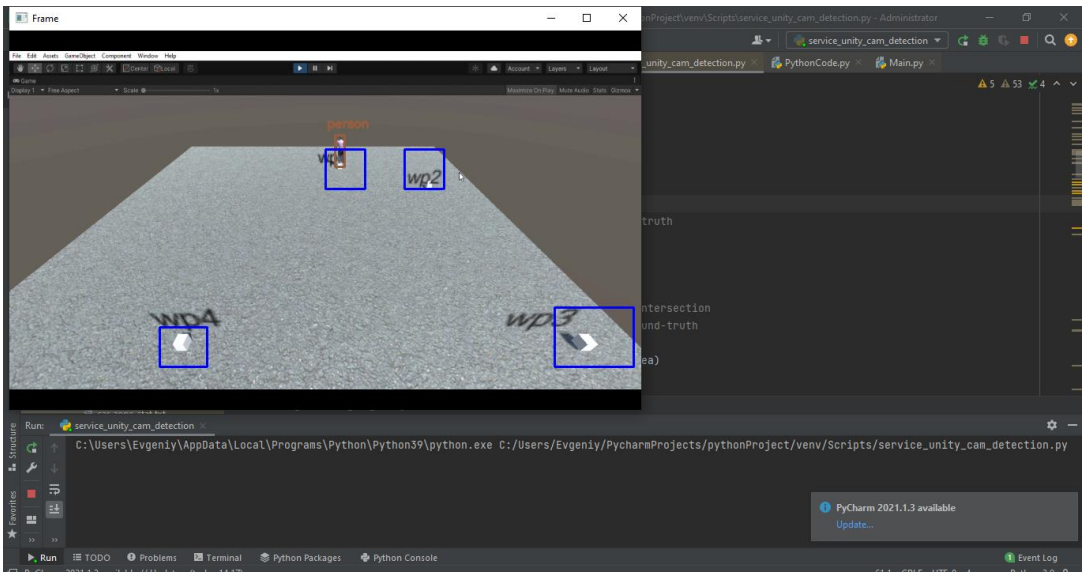


Рисунок 3.126 – Прохождение персонажа через путевые точки

Графики изменения показателя IoU для каждого эксперимента по времени представлены на рисунках 3.127 и 3.128.

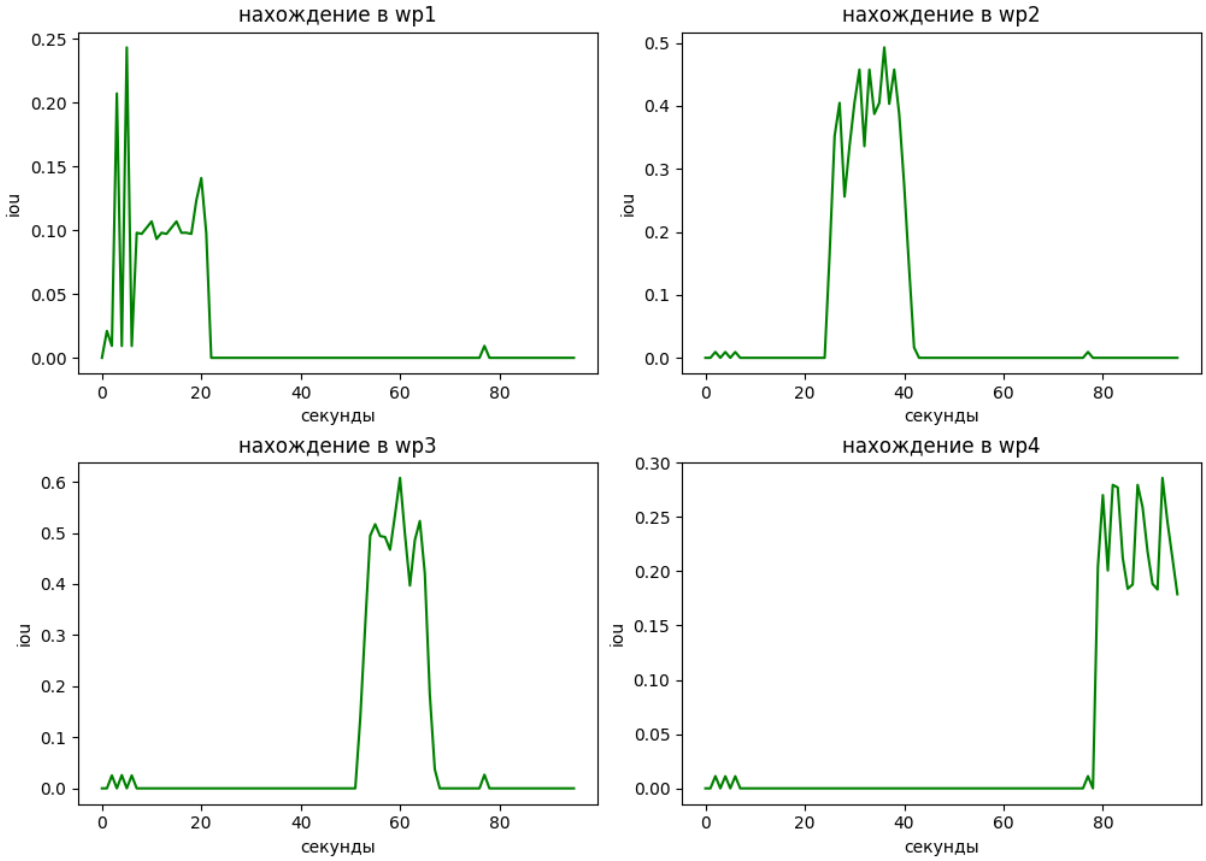


Рисунок 3.127 – График изменения значения показателя IoU для кадров видеозаписи при времени задержки механика в каждой точке, равном 4 с.

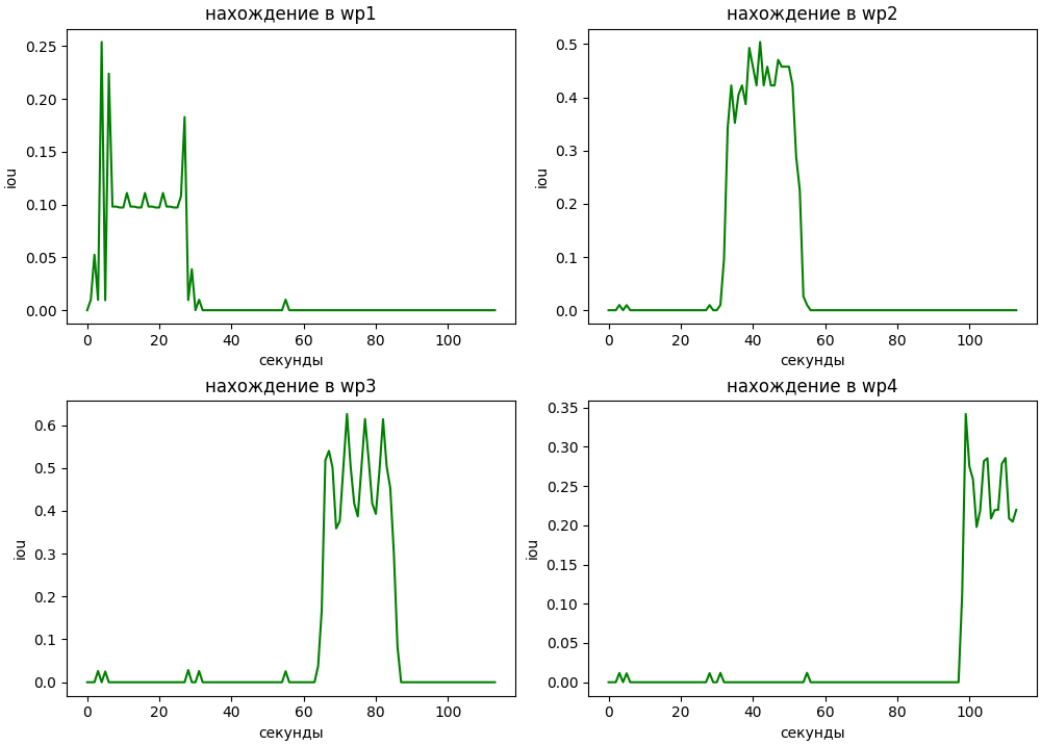


Рисунок 3.128 – График изменения значения показателя IoU для кадров видеозаписи при времени задержки механика в каждой точке, равном 6 с.

Следует отметить, что длительность первой и второй видеозаписи отличаются, что обусловлено увеличением времени прохождения путевых точек для второго эксперимента. Следовательно, для корректного сравнения двух графиков их необходимо привести к одинаковой длительности. Для этого список, являющийся меньший по размеру, расширяется до размера большего списка, а значения для соответствующих индексов заполняются нулями.

Пример выровненных по продолжительности графиков представлен на рисунке 3.129.

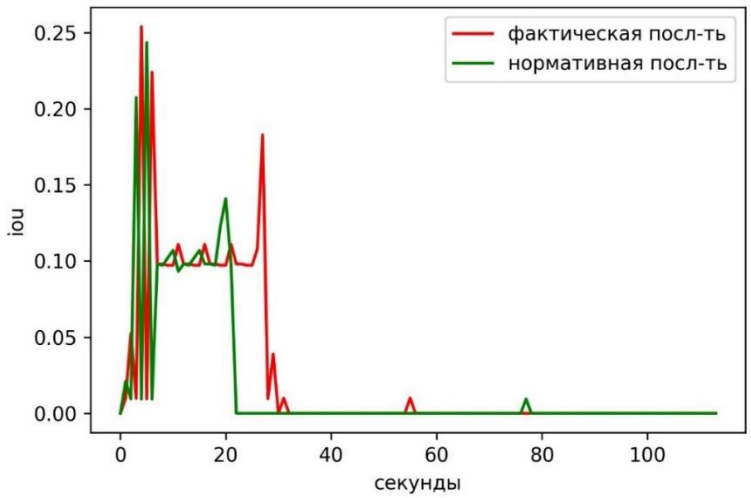


Рисунок 3.129 – Наложение графиков метрики IoU с фактической (неправильной) и нормативной (правильной) последовательностью действий

Согласно приведенному графику можно заметить, что продолжительность нахождения в первой путевой точке wp-1 для первого эксперимента (назовем это нормативной последовательностью) меньше, чем для второго (назовем это фактической последовательностью действий). При наложении двух графиков друг на друга это становится заметным.

Данный метод позволяет полностью не привязываться к пиксельным координатам каждой путевой точки. Оператор при калибровке видеокамеры должен единственный раз вручную задать координаты области, соответствующей каждой путевой точке, а затем анализ происходит полностью в автоматическом режиме.

Далее на основе градиента функции определялись точки координат описывающего график изменения метрики IoU прямоугольника. Его левая верхняя координата соответствует максимальному значению градиента, а правая нижняя – минимальному. Результат представлен на рисунке 3.130.

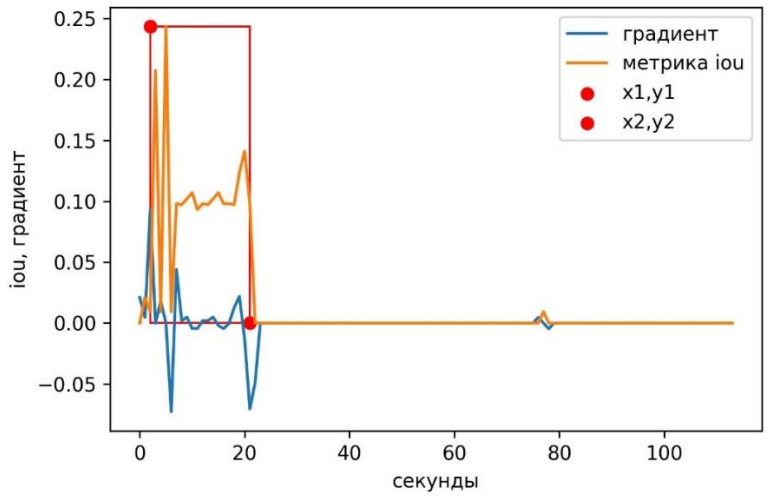


Рисунок 3.130 – Прямоугольник, описывающий изменение градиента функции для нормативной последовательности действий персонажа в модели технологического процесса (время ожидания в точке равно 4 с.)

Алгоритм определения градиента и построения прямоугольника, описывающего график функции, с использованием псевдокода представлен ниже.

```
STEP1: START
STEP2: x is equal to np.array(fact_list)
STEP3: grad is equal to np.gradient(x)
STEP4: grad is equal to grad.tolist()
STEP5: bb_x1_f is equal to grad.index(max(grad))
STEP6: bb_y1_f is equal to max(fact_list)
STEP7: bb_x2_f is equal to grad.index(min(grad))
STEP8: bb_y2_f is equal to min(fact_list)
```

```
STEP9: box1 is equal to (bb_x1_f, bb_y1_f, bb_x2_f, bb_y2_f
STEP10: STOP
```

Представленный алгоритм может быть модифицирован для поиска глобального минимума или максимума значений градиента и построения корректного ограничительного прямоугольника. Для этого могут быть использованы применяющиеся в теории машинного обучения различные итеративные алгоритмы оптимизации, например как представлено в работе [276].

По такому же принципу был определен прямоугольник, описывающий график изменения показателя «пересечение через объединение» на фактической последовательности действий. Он представлен на рисунке 3.131.

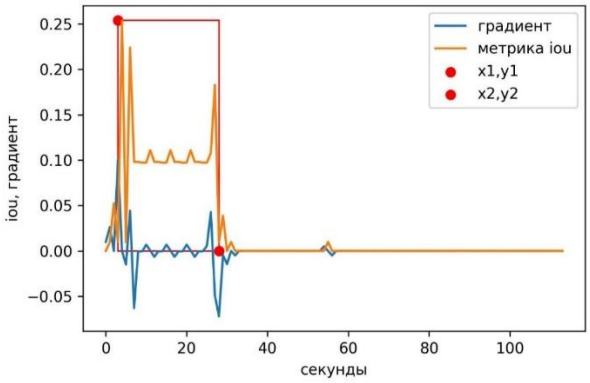


Рисунок 3.131 – Прямоугольник, описывающий изменение градиента функции для фактической последовательности действий персонажа в модели технологического процесса (время ожидания в точке равно 6 с.)

Дальнейшая задача сводится к определению показателя IoU теперь уже для описывающих каждый график прямоугольников. Для этого определяется площадь их пересечения и суммарная площадь прямоугольников в заданной системе координат. Наложения двух графиков и описывающих их прямоугольников показано на рисунке 3.132.

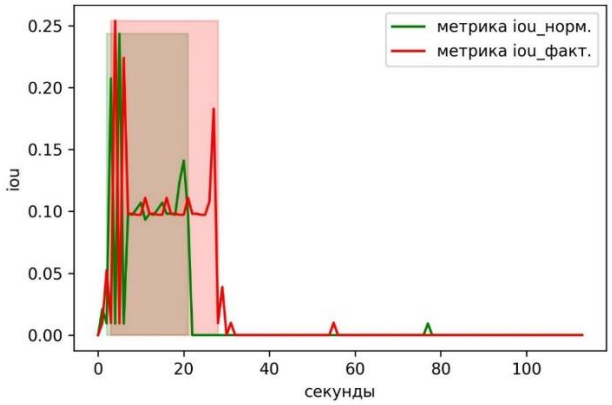


Рисунок 3.132 – Наложение двух прямоугольников, описывающих графики изменения значений показателей IoU в путевой точке wp-1 для двух проведенных экспериментов

Для представленного примера значение показателя intersection over union равно 0,71. Пользователь может установить пороговое значение для проведения сравнения двух графиков продолжительности пребывания механика в определенной путевой точке. При превышении этого значения система будет считать, что механик выполнил операцию согласно нормативам, в противном случае сигнализировать о нарушении заданной технологией суммарной трудоемкости действий в данной точке проведения работ.

Для сравнения на следующем рисунке представлен результат наложения графиков продолжительности нахождения механика во второй путевой точке. Для эксперимента, моделирующего неправильную последовательность действий, видно, что механик позже начал выполнять технологические операции, и позже закончил, вследствие чего прямоугольники имеют незначительную область пересечения. Значение показателя intersection over union для wp-2 равно 0,32, что подтверждается приведенным графиком (рисунок 3.133).

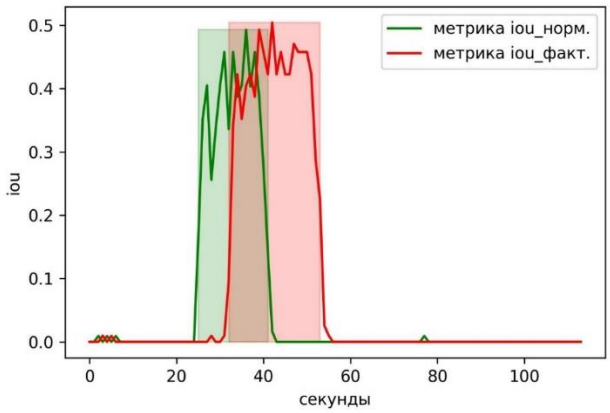


Рисунок 3.133 – Наложение двух прямоугольников, описывающих графики изменения значений показателей IoU в путевой точке wp-2 для двух проведенных экспериментов

3. Контроль факта выполнения технологических операций

Предлагается использовать алгоритмы компьютерного зрения для оценки качества выполнения технологических операций. Для оценки качества предлагается использовать факт появления в кадре ключевых запасных частей или расходных материалов, которые должны быть заменены или обслужены по технологической карте. Это обусловлено тем, что претензии клиентов относительно качества проведенных технических воздействий обычно связаны с невыполнением работ по замене запасных частей и расходных материалов, в то время как эти работы должны быть выполнены по заказ-наряду. Для примера реализации предлагаемого подхода будет сымитирована ситуация замены масляного фильтра легкового автомобиля.

Для моделирования технологических операций по ТО и Р автомобилей предлагается использовать редактор Unity. Трехмерная модель масляного фильтра представлена на рисунке 3.134.

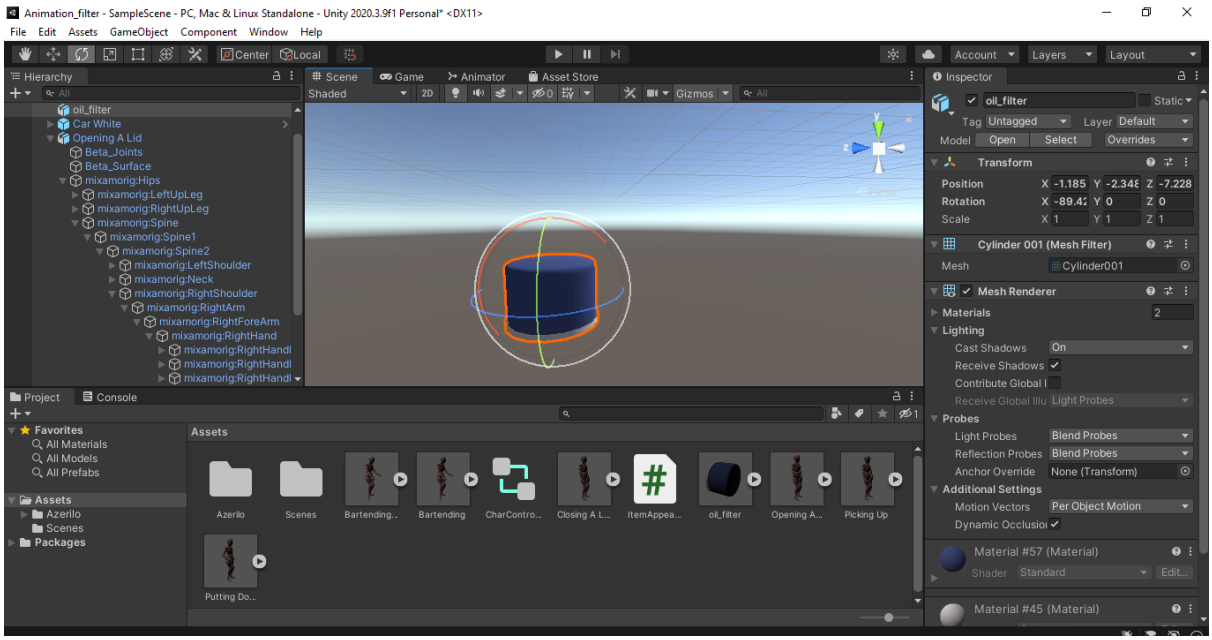


Рисунок 3.134 – Трехмерная модель масляного фильтра

Объект в руке анимированного персонажа показан на рисунке 3.135.

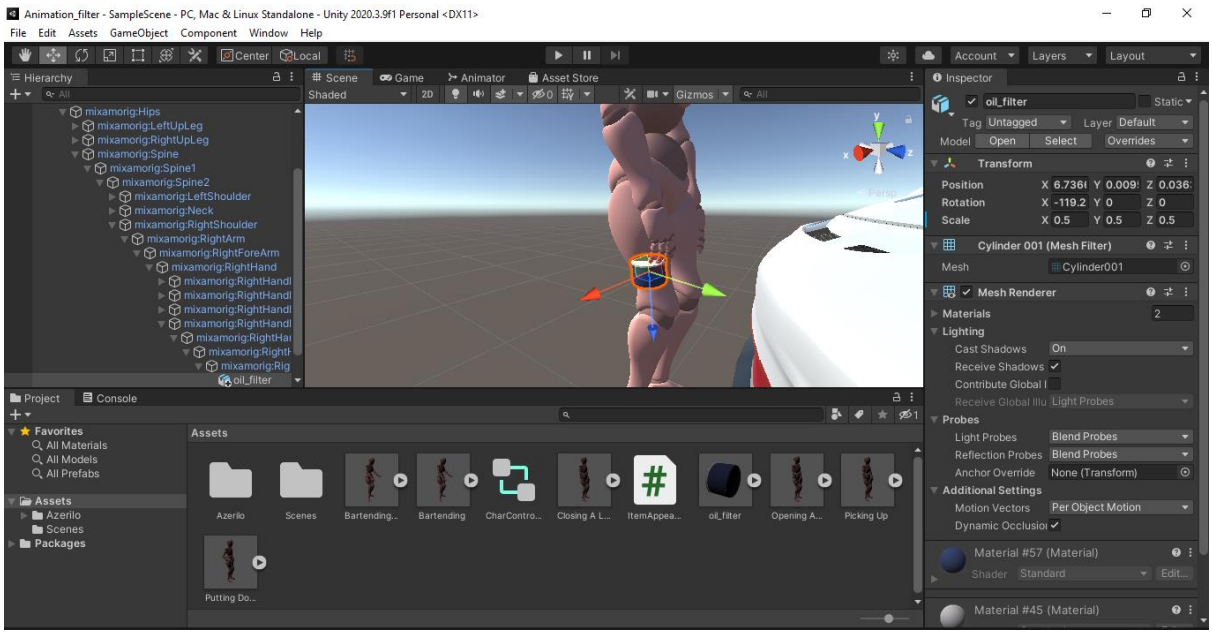


Рисунок 3.135 – Трехмерная модель масляного фильтра в руке персонажа

Меню анимации персонажа для определения последовательности его движений показано на рисунке 3.136.

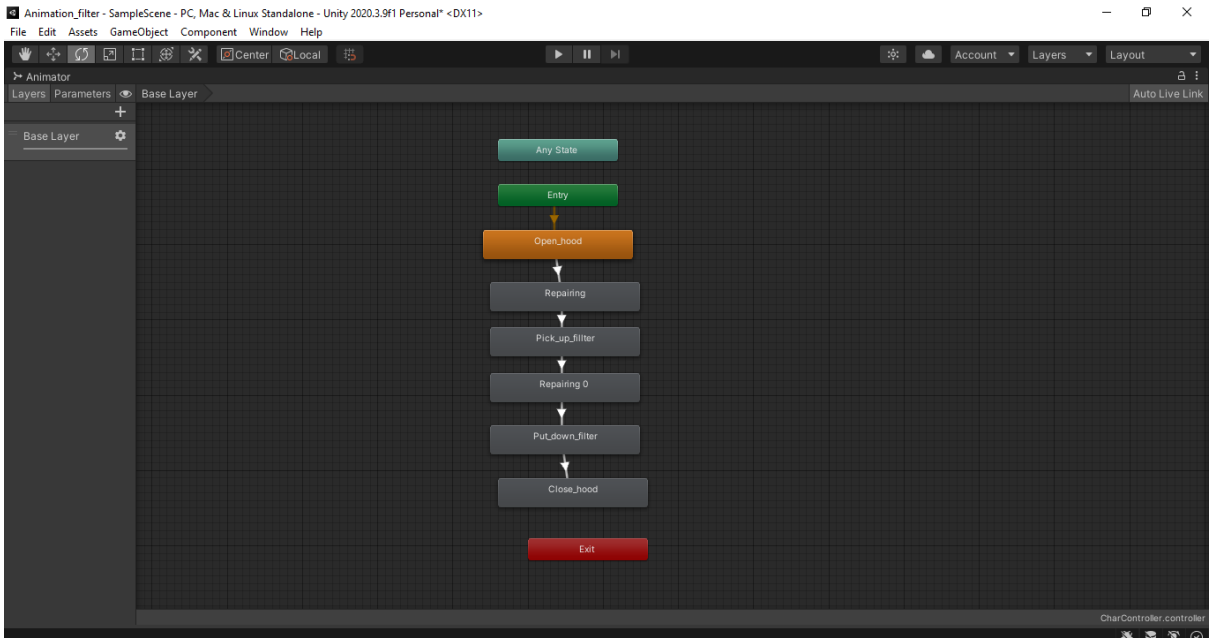


Рисунок 3.136 – Последовательность действий анимированного персонажа в редакторе Unity

Алгоритм работы модели имитации процесса технического обслуживания автомобиля с использованием конструктора Unity представлен ниже. Появление объекта Filter синхронизировано со временем выполнения персонажем соответствующих операций с автомобилем (рисунок 3.137).

```
STEP1: START
STEP2: GameObject Filter;
STEP3: itemTimer is equal to 0
STEP4: one_startTime is equal to 25
STEP5: one_stopTime is equal to 30
STEP6: two_startTime is equal to 45
STEP7: two_stopTime is equal to 50
STEP8: Filter.SetActive(false)
STEP9: Initiate a while loop with condition True
    itemTimer += Time.deltaTime
    Check whether (itemTimer greater than one_startTime) & (itemTimer lesser than one_stopTime)
        Filter.SetActive(true)
    Otherwise Check whether (itemTimer greater than two_startTime) & (itemTimer lesser than two_stopTime)
        Filter.SetActive(true)
    Otherwise
        Filter.SetActive(true)
STEP10: STOP
```



Рисунок 3.137 – Видеоролик с анимированным персонажем, имитирующим процесс технического обслуживания автомобиля

Полученный видеоролик был использован для создания тестового и тренировочного датасетов, необходимых для обучения модели компьютерного зрения [138].

Датасет состоял из 171 изображения и был разделен на тренировочную и тестовую выборку. Размер тестовой выборки, предназначенной для проверки точности модели, был расширен до 72 изображений для избежания переобучения модели на одних и тех же данных.

Каждое изображение было размечено (аннотировано) на предмет определения пиксельных координат детектируемого объекта – масляного фильтра (рисунок 3.138).

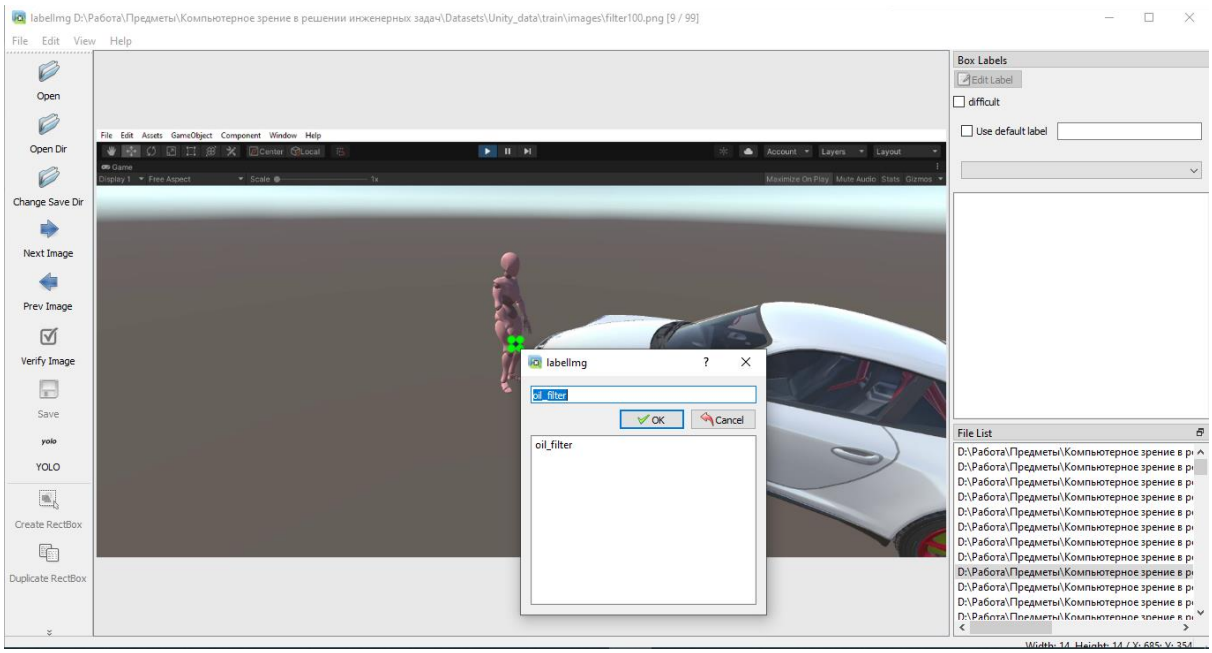


Рисунок 3.138 – Разметка датасета с помощью программы labelimg

Полученные размеченные данные использовались для обучения модели yolov5s (s – small). Эта модель была выбрана как компромисс между скоростью и точностью, поскольку позволяет производить детекцию со скоростью 6,4 мс при точности mAP, равной 37,2%, полученной на датасете COCO, и размере 14 Мб. Для сравнения - самая точная модель yolov5x позволяет получить точность 50,7% при скорости 12,1 мс и размере 166 Мб.

Гиперпараметры модели, использованные при проведении обучения, представлены в таблице 3.96.

Таблица 3.96 – Гиперпараметры модели для проведения обучения

№	Параметр	Значение
1	Тип модели	Yolov5
2	Размер тренировочной выборки	99
3	Размер тестовой выборки	72
4	Размер изображения, пикселей	416x416
5	Количество эпох обучения	100
6	Размер пакета данных при обучении (batch)	8
7	Количество классов для детектирования	1 («oil_filter»)

Метрики модели, полученные с помощью фреймворка comet в результате обучения, представлены ниже.

Каждая модель компьютерного зрения оценивается стандартизированным набором показателей (метрик), к основным из которых можно отнести precision, recall и mAP. Описание каждой метрики и ее значение в ходе обучения модели будет представлено ниже (рисунки 3.139, 3.140, 3.141, 3.142).

Precision (точность) - измеряет, насколько точны прогнозы, то есть процент прогнозов, которые являются правильными.

Формула для определения метрики представлена ниже:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \tag{3.46}$$

где P – метрика точности модели precision;

TP – количество положительных срабатываний детектора (true positive), ед.;

FP – количество ложноположительных срабатываний детектора (false positive), ед.



Рисунок 3.139 – График изменения метрики Precision по итерациям обучения (эпохам) модели, полученный с помощью инструмента www.comet.com

mAP_0.5_0.95 (средняя точность – mean average precision) - это среднее значение AP, рассчитанное для всех классов. mAP_0,5 – 0.95 означает, что это mAP, рассчитанный при пороговом значении IOU в интервале от 0,5 до 0,95 (рисунок 3.140).



Рисунок 3.140 – График изменения метрики mAP 0.5-0.95 по итерациям обучения (эпохам) модели, полученный с помощью инструмента www.comet.com

mAP_0.5 означает, что это mAP, рассчитанный при пороговом значении IoU в интервале до 0,5 (рисунок 3.141).

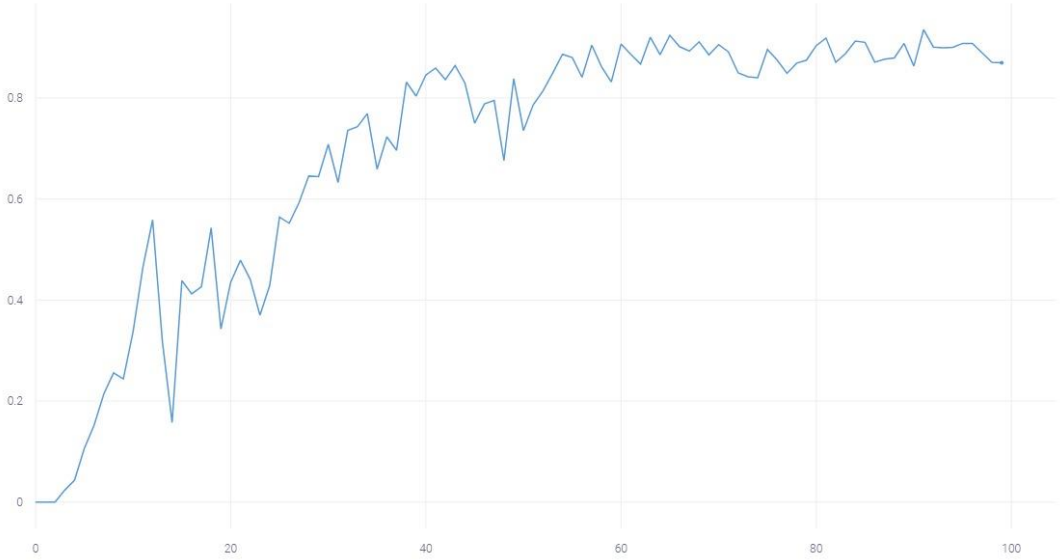


Рисунок 3.141 – График изменения метрики mAP 0.5 по итерациям обучения (эпохам) модели, полученный с помощью инструмента www.comet.com

Rc - Recall (отклик) - определяет, насколько хорошо модель делает положительные прогнозы.

$$Rc = \frac{TP}{TP + FN}. \tag{3.47}$$

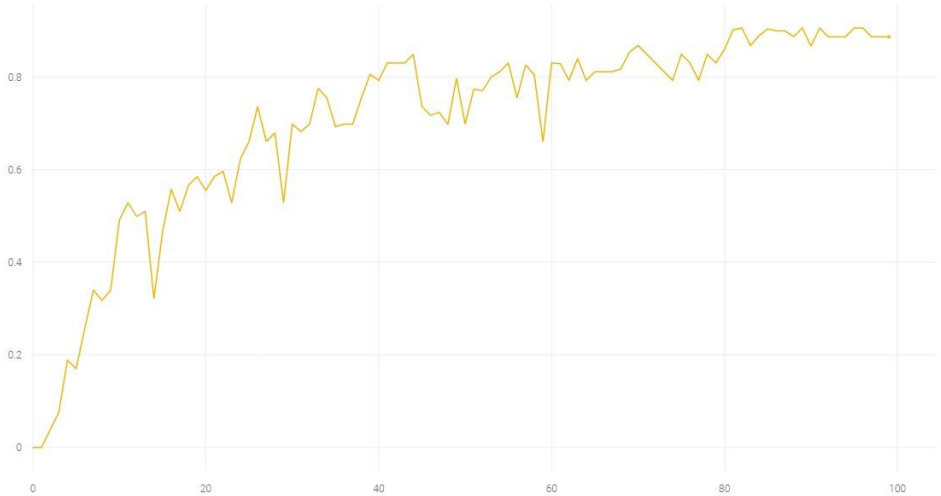


Рисунок 3.142 – График изменения метрики Recall по итерациям обучения (эпохам) модели, полученный с помощью инструмента www.comet.com

Для удобства интерпретации значения всех метрик точности модели (precision, recall, mAP) были сведены в таблицу 3.97. Значения представленных метрик говорят о достаточно высокой точности распознавания объектов моделью.

Таблица 3.97 – Метрики точности модели после обучения

№	Название	Значение
1	Precision	0,93
2	Recall	0,89
3	mAP_0.5	0,87
4	mAP_0.5_0.95	0,35

Визуализация работы модели-детектора на одном изображении из тестовой выборки показана на рисунке 3.143. Красный прямоугольник показывает результат детектирования объекта класса «oil_filter» обученной моделью с уверенностью 79%.

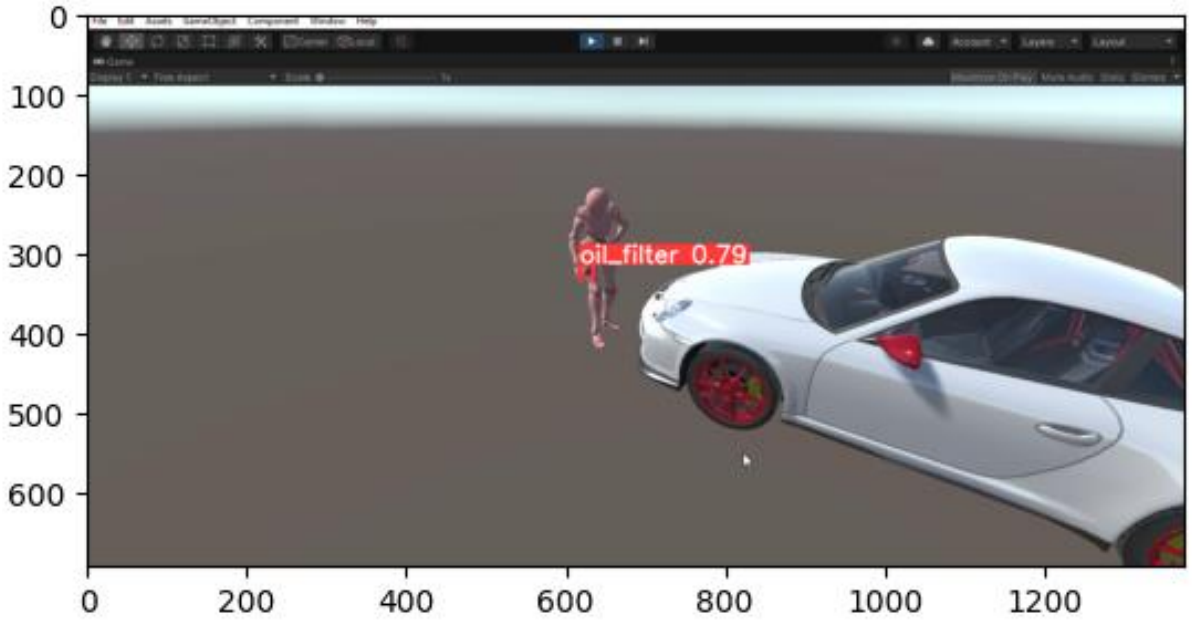


Рисунок 3.143 – Детектированный моделью масляный фильтр в руках персонажа

Таким образом, доказано, что модели компьютерного зрения могут быть использованы для контроля выполнения технологических операций по ТО и Р автомобиля, поскольку позволяют достаточно точно детектировать запасные части и расходные агрегаты, необходимые к замене. Реализовать систему контроля при наличии обученного детектора можно алгоритмически по методикам, представленным выше, например, определяя количество и длительность появлений в кадре того или иного объекта (запасной части) и сопоставляя их с временем и общей продолжительностью проведения работ.

Преимуществом представленного подхода является возможность формирования наборов данных для различных запасных частей, узлов и агрегатов автомобиля, а также для различных условий. Это возможно благодаря тому, что в трехмерной среде можно создать модель производственной зоны, максимально

приближенную к реальному предприятию, на котором будут использованы модели компьютерного зрения. Это позволяет сформировать несколько предобученных на целом наборе запасных частей моделей, которые затем могут быть дообучены на реальном датасете и использованием уже существующих весов и с меньшими затратами вычислительных мощностей.

Пример дообучения модели детектирования масляного фильтра на реальных размеченных фотографиях представлен ниже (рисунок 3.144). Фотографии были сделаны в лаборатории Института транспорта ФГБОУ ВО «ТИУ». Очевидно, что наличие большого количества мелких деталей и искажение цветов при различном освещении может снижать точность модели детектора или приводить к ложным срабатываниям.

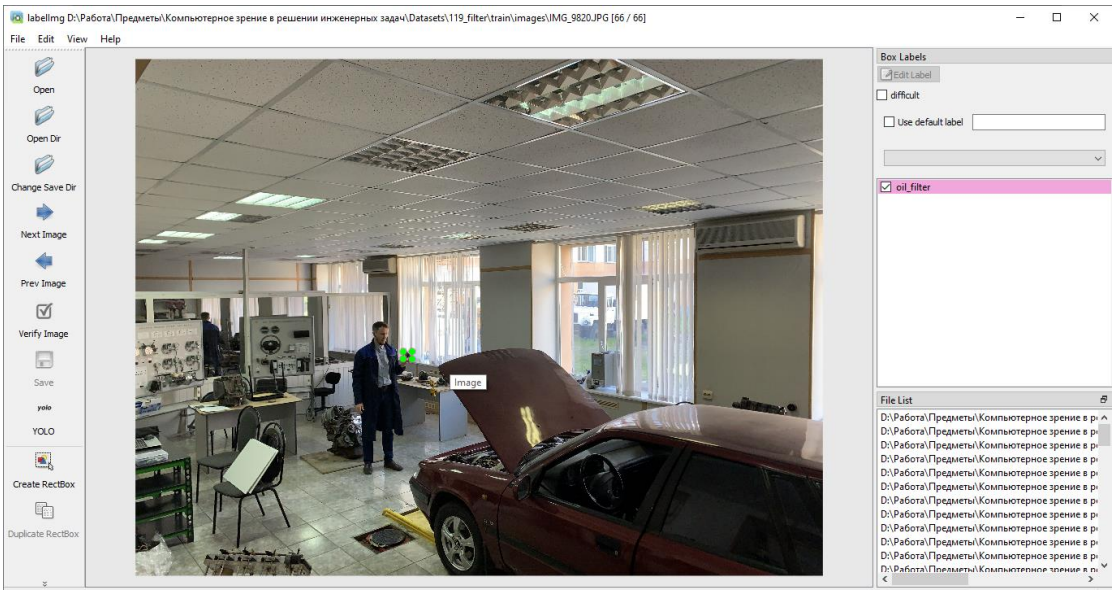


Рисунок 3.144 – Разметка реальных изображений, содержащих масляный фильтр

Тем не менее, даже при наличии небольшого количества изображений в обучающей выборке (66 фотографий), модель позволяет распознавать объекты с достаточно высокой точностью.

Изменение метрик точности модели также фиксировалось с помощью фреймворка comet.

Сводное значение метрик представлено в таблице 3.98.

Таблица 3.98 – Метрики точности модели, обученной на реальных изображениях

№	Название	Значение
1	Precision	0,86
2	Recall	0,89
3	mAP_0.5	0,89
4	mAP_0.5_0.95	0,29

Можно заключить, что модель с высоким уровнем уверенности (0,6 – 0,8) детектирует факт наличия масляного фильтра в руках механика. Значение уверенности показано на изображении справа от наименования класса, к которому принадлежит объект (рисунок 3.145).



Рисунок 3.145 – Результат детектирования масляного фильтра обученной моделью на реальном изображении

Кроме того, разработанный подход позволяет определить оптимальное положение видеокамеры наблюдения за производственным корпусом, при котором все требуемые к распознаванию объекты будут детектированы. Пример настройки положения камеры представлен на рисунке 3.146.

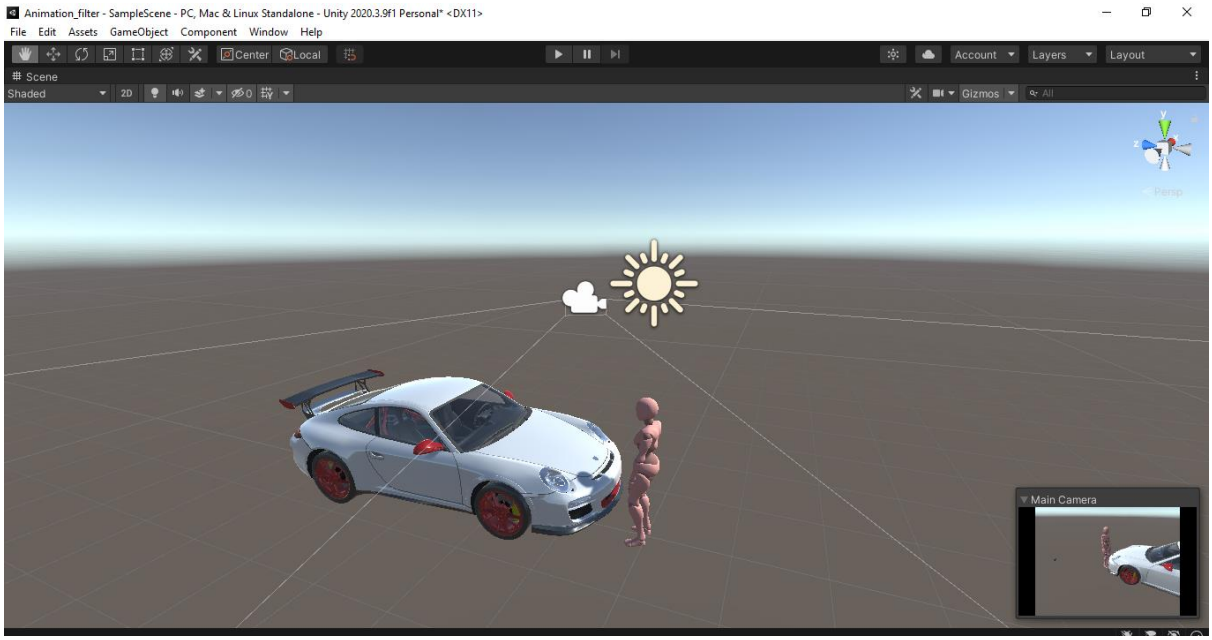


Рисунок 3.146 – Расположение видеокамеры для детектирования объектов

Разработанная методика позволяет моделировать любые технологические операции и обучать модели сверточных нейронных сетей с использованием виртуальной среды.

4. Контроль исполнителей по биометрическим данным

Для обеспечения контроля доступа исполнителя к производственно-складским помещениям, а также для реализации автоматизированной системы управления заказ-нарядами могут быть использованы технологии компьютерного зрения на основе биометрических данных исполнителя. Такие системы были рассмотрены и апробированы автором в работе [83] и могут быть адаптированы для контроля работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

Для практической реализации алгоритмов доступа по биометрическим данным были разработаны UML-диаграммы компонентов системы и активности элементов, которые могут быть использованы для разработки программно-аппаратного решения. Диаграммы представлены на рисунках 3.147 и 3.148.

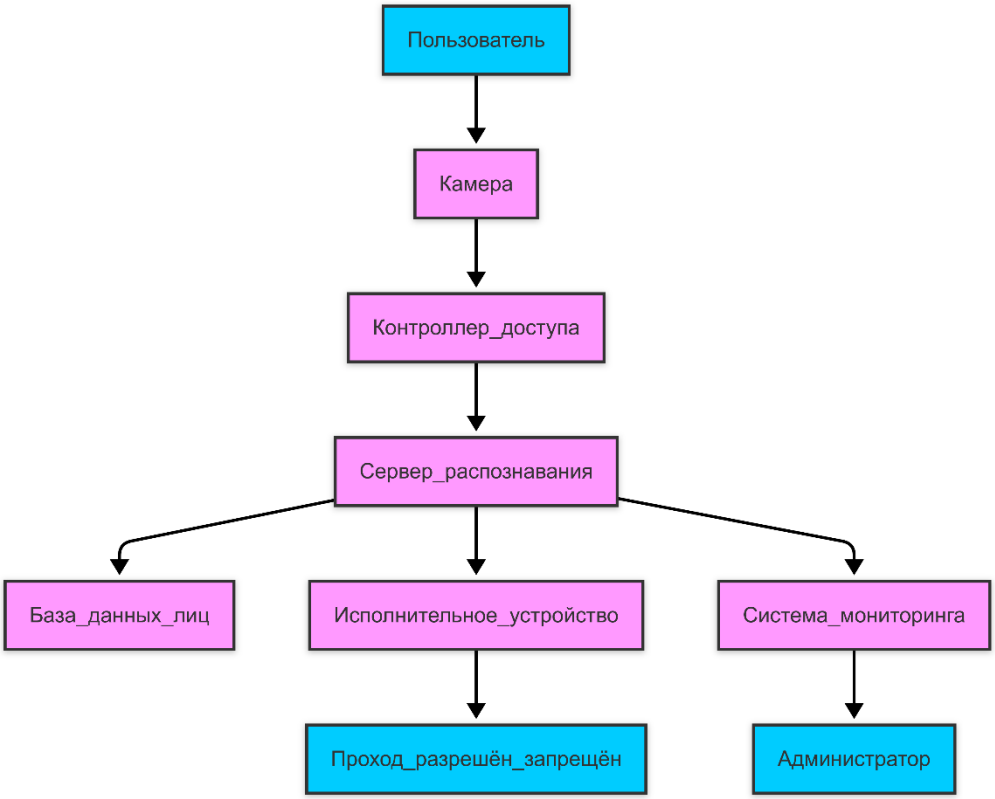


Рисунок 3.147 – UML-диаграмма компонентов (Component Diagram) для системы контроля доступа по биометрии исполнителей к производственным помещениям

Система контроля доступа по биометрическим данным состоит из следующих компонентов:

пользователь - физическое лицо, предъявляющее свои биометрические данные для идентификации, в качестве которых для условий безконтактного взаимодействия может выступать лицо;

камера - устройство захвата изображения с поддержкой проверок факта наличия живого объекта;

контроллер доступа – устройство, обрабатывающее сигналы от камеры и отправляющее запрос о верификации на сервер, а также управляющее исполнительным устройством;

сервер распознавания – выполняет программное сравнение лица с шаблонами в базе данных и принимает решение о допуске или отказе;

база данных лиц – хранилище зарегистрированных биометрических шаблонов, содержащих перечень работников предприятия с установленными правами и уровнем доступа;

исполнительное устройство - турникет, замок или шлагбаум, который открывается при успешной идентификации;

система мониторинга – программа, осуществляющая логирование событий, имеющая интеграцию с видеонаблюдением и интерфейс пользователя;

администратор – лицо, имеющее доступ к журналу и права для управления системой.

Принцип работы системы раскрыт на схеме рисунка 3.148.

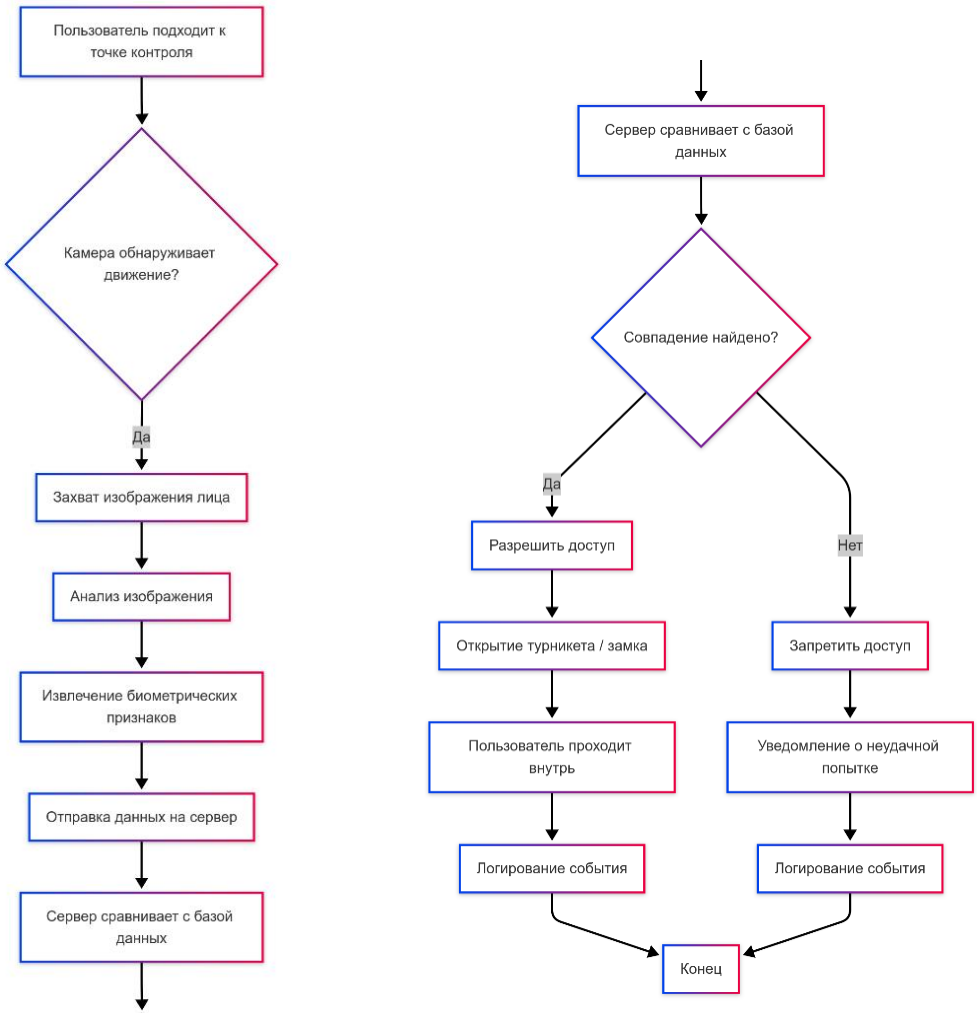


Рисунок 3.148 – UML-диаграмма активности (Activity Diagram) для системы контроля доступа по биометрии исполнителей к производственным помещениям

При приближении пользователя к точке контроля система активирует камеру, которая осуществляет захват изображения. Система распознавания с использованием встроенных алгоритмов детекции и распознавания осуществляет анализ изображения исполнителя. Изображение используется для извлечения биометрических признаков, на основании которых затем создается шаблон лица для сравнения. Указанные данные в зашифрованном виде передаются на сервер распознавания, где происходит проверка наличия совпадений среди зарегистрированных пользователей. При наличии совпадения система разрешает доступ и направляет управляющий сигнал на контроллер доступа, в случае отсутствия – доступ запрещается и пользователь уведомляется об отрицательной идентификации. Все действия сохраняются в системе мониторинга в виде логов.

3.11. Выводы по 3 главе

1. В результате проведенного пассивного эксперимента по сбору и анализу статистических данных о работе предприятий автомобильного транспорта были установлены законы распределения величин случайных факторов, а также численные значения констант, которые были использованы для формирования закономерностей планирования потребности в ресурсах, а также для разработки, валидации и верификации имитационной модели предприятия.

2. Произведена оценка адекватности разработанной имитационной модели работы предприятия автомобильного транспорта. Для этого оценивалась статистическая значимость равенства выборок реальных данных и данных, полученных с использованием модели. Анализ позволил сделать вывод об адекватности имитационной модели.

3. Произведена кластеризация типов работ по ТО и Р автомобилей, выполняемых на станциях технического обслуживания. По результатам было установлено, что все работы можно разделить на три типа по степени возрастания трудоемкости и увеличения стоимости. Результаты были использованы при моделировании.

4. Произведена классификация функций производственного персонала, реализующего работы по ТО и Р автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта. Для основных типов исполнителей (технологических звеньев) было определено среднее количество реализуемых функций. Результаты были использованы при моделировании производственных структур, а также для расчета показателей эффективности подсистем управления.

5. Задача долгосрочного планирования параметров производственно-технической базы предприятий автомобильного транспорта была решена как обратная задача многофакторной оптимизации с использованием метода простого перебора значений с использованием балльной оценки вариантов и их фильтрации методом Парето, а также с помощью метода генетических алгоритмов. Алгоритм за небольшое количество итераций позволил получить оптимальное по установленному критерию решение, которое сопоставимо с решением, полученным методом простого перебора значений.

6. С использованием гармонического анализа были определены модели потока требований на основные ресурсы предприятий автомобильного транспорта. Статистические данные от предприятия были обработаны на предмет определения трендовой, периодической и случайной компоненты. Установлено, что почти для всех исследуемых видов ресурсов статистическую значимость имеют первая или вторая гармоники, что говорит о том, что спрос на ресурсы имеет цикличность.

7. Разработана модель управления перечнем услуг предприятия по техническому сервису автомобилей. Установлены закономерности изменения целесообразности производства работ каждого типа для разной интенсивности поступления потока клиентов в сервисную зону. Определены оптимумы для различных сочетаний типов работ.

8. С использованием полносвязной архитектуры искусственной нейронной сети разработана модель прогнозирования загрузки зоны технического сервиса дилерской СТО от количества продаж новых автомобилей и от поступающего потока клиентов.

9. Моделирование парка техники с высокой неравномерностью интенсивности ее эксплуатации вместо гармонических моделей предложено осуществлять с использованием метода искусственных нейронных сетей. Экспериментальные исследования показатели, что он обладает более высокой точностью, чем применяемые в настоящее время методы.

10. Для описания, визуализации и оценки эффективности организационно-производственных структур был использован метод BPMN-нотации (Business Process Model and Notation) и исследования процессов (Process Mining). Варианты производственных структур для станций технического обслуживания автомобилей и автотранспортных предприятий представлены десятью функциональными схемами, содержащими разное количество технологических звеньев и ветвлений.

11. С использованием разработанных автором имитационных моделей производилось моделирование поведения системы при различных значениях влияющих факторов и различных вариантах организационно-производственных структур.

12. Установлено, что каждую производственную структуру рационально использовать при определенных значениях влияющих на нее факторов. Так, производственные структуры с малым количеством технологических звеньев, или универсальные структуры, предполагающие проведение всего спектра работ по ТО и Р на универсальных постах, эффективны для потоков поступления требований на ТО и Р с низкой интенсивностью. При больших потоках и для работ высокой сложности такие структуры теряют свою эффективность. Для этих условий требуются структуры с большим количеством технологических звеньев разных типов, т.е. структуры с большей специализацией.

13. Были получены закономерности формирования производственных структур для автотранспортных предприятий и для станций технического обслуживания автомобилей. Закономерности описываются двух и трехфакторыми регрессионными моделями.

14. При формировании организационных структур вместо нормативно-функционального предложено использовать системно-целевой подход. Для

организационных структур в целом характерно увеличение оптимального количества административно-управленческого персонала при увеличении интенсивности поступления автомобилей в зону ТО и Р.

15. Были получены закономерности формирования организационных структур для автотранспортных предприятий и для станций технического обслуживания автомобилей. Закономерности описываются одно и двухфакторыми регрессионными моделями.

16. Произведено имитационное моделирование работы системы с различными типами базовых систем стимулирования производственного персонала. Установлено, что для низкой интенсивности поступления автомобилей в зону технического сервиса наиболее эффективной по критерию минимизации затрат является пропорциональная система стимулирования K, L-типа. При превышении расчетного порогового значения количества поступающих автомобилей в месяц приоритет смещается в сторону фиксированного значения заработной платы для исполнителей – системы C-типа. Система стимулирования с перераспределением дохода D-типа находится на втором месте по приоритету на всем диапазоне количества требований.

17. Для аппроксимации модели выбора был выбран метод деревьев классификации или деревьев решений (decision tree). Для каждого типа предприятий были получены иерархические модели выбора типа системы стимулирования в зависимости от влияющих факторов.

18. Для высокого уровня загрузки производственной зоны были определены модели закономерностей влияния производственной программы по ТО и Р автомобилей на оптимальные параметры подсистемы контроля: на количество точек контроля за смену и величину управляющего воздействия. Закономерности описываются однофакторными нелинейными регрессионными моделями.

19. В рамках реализации контроля производственной зоны предприятия в режиме реального времени было решено четыре прикладных задачи: контроль последовательности выполнения технологических операций, контроль продолжительности, факта выполнения операции и контроль доступа по биометрическим данным. Для этого были использованы методы и технологии компьютерного зрения.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Методики практического использования результатов исследования

Разработано восемь частных методик, реализующих методологию повышения эффективности системы управления технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта. Структура методологии представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Методики, реализующие методологию повышения эффективности системы управления ТЭА на предприятии

№	Функции	Виды	Методика	Показатель эффективности	Предлагаемые методы
1	Планирование	Стратегическое планирование	М1. Методика планирования технико-экономических показателей деятельности предприятий автомобильного транспорта	Функция приспособленности на основе максимизации показателей рентабельности	Обратная оптимизация на основе генетического алгоритма
				Балльная оценка варианта плана на основе экспертных значений, метод Парето	Обратная оптимизация на основе метода перебора и экспертной оценки варианта
			М2. Методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания	Среднеквадратическая ошибка модели (MSE)	Системная динамика, нейронные сети
		Оперативное планирование	М3. Методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года	Среднеквадратическая ошибка модели (MSE)	Прогнозирование с использованием полносвязных нейронных сетей

Продолжение таблицы 4.1

			М4. Методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта	Издержки от функционирования системы массового обслуживания	Гармонический анализ
			М5. Методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания	Чистая рентабельность	Имитационное моделирование
2	Организация	Организационная структура	М6. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта	Затраты на организационную структуру	Иерархия над технологическим графом
		Производственная структура		Издержки от функционирования системы массового обслуживания	Метод исследования процессов (process mining), BPMN-нотация, имитационное моделирование
3	Стимулирование	Стимулирование производственного персонала	М7. Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта	Затраты на стимулирование производственных работников	Метод технико-экономического сравнения и оптимизации, деревья классификации
4	Контроль	Реализация управления	М8. Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта	Затраты времени на реализацию основной производственной функции	Имитационное моделирование
		Текущий контроль		Потери от нарушений производственного процесса	Компьютерное зрение

4.1.1. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта

Предлагаемая методика содержит порядок действий для формирования производственной и организационной структуры предприятия автомобильного транспорта в зависимости от значений влияющих факторов.

Методика формализована в виде блок-схемы, представленной на рисунке 4.1.

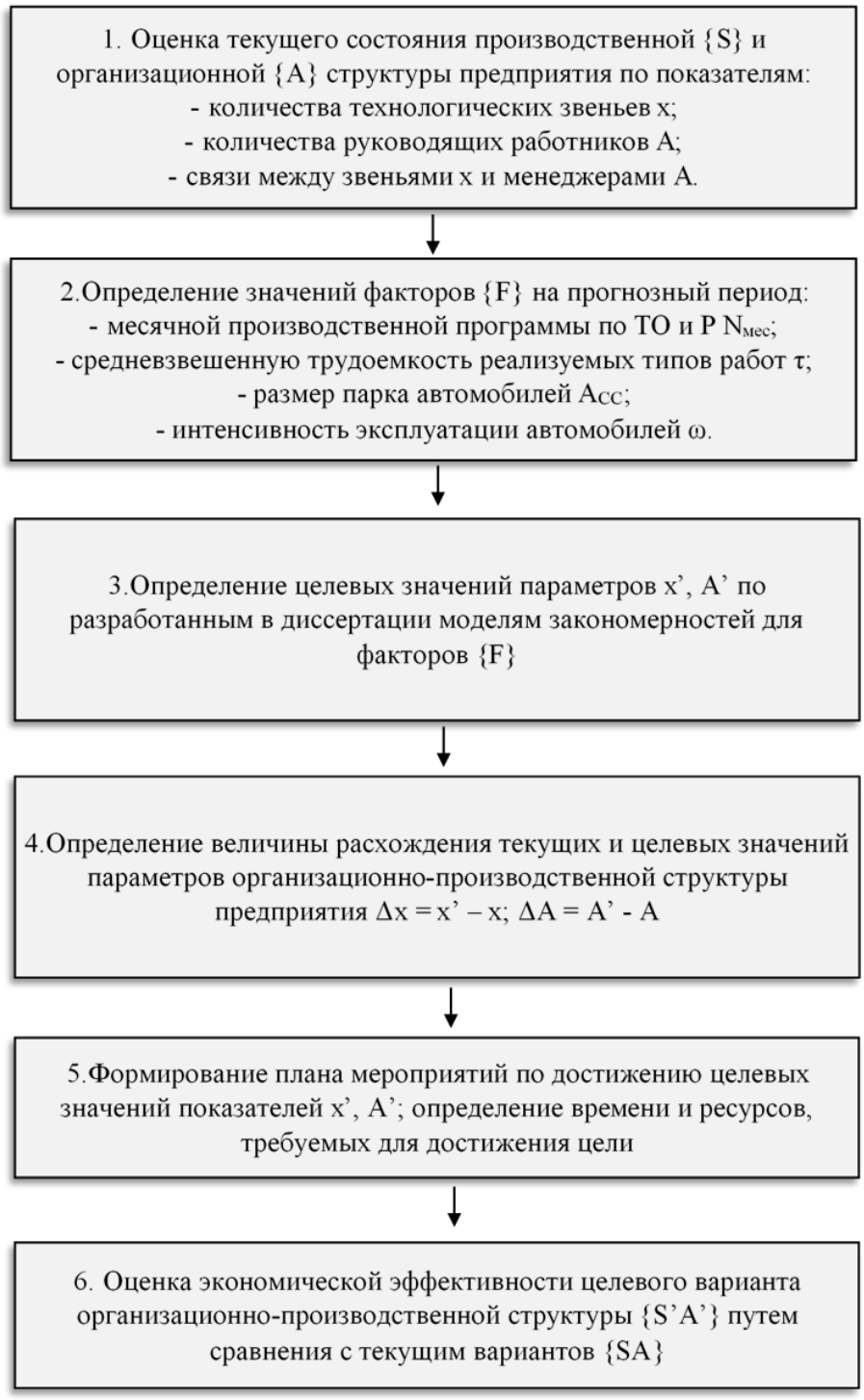


Рисунок 4.1 – Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта

Методика, представленная в виде блок-схемы, описывает последовательность действий для анализа и совершенствования текущей производственной и организационной структуры предприятия. Она включает шесть основных этапов.

На первом этапе проводится анализ текущего состояния производственной (S) и организационной (A) структуры предприятия. Основные показатели для оценки:

1. количество технологических звеньев разных типов (x), представляющих собой производственные зоны или участки по выполнению работ по ТО и Р автомобилей;
2. количество руководящих работников (A), инженерно-технических работников (ИТР) или менеджеров, ответственных за управление производственными процессами;
3. связи между технологическими звеньями (x) и менеджерами (A), определяющие специализацию управленческих звеньев и характеризуемые нормой управляемости, т.е. количеством производственных работников на одного ИТР.

Этот этап позволяет сформировать исходные данные для дальнейшего анализа.

На втором этапе определяются значения ключевых факторов или основных производственных показателей (F), которые будут влиять на работу предприятия в прогнозируемом периоде и под которые должна быть адаптирована структура управления технической службой. Эти факторы включают:

1. месячную производственную программу по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ($N_{мес}$), выражаемую для станций технического обслуживания в единицах;
2. средневзвешенную трудоемкость реализуемых типов работ (τ), характеризующую соотношение типов работ по типам согласно произведенной в третьем разделе исследований кластеризации и выражаемую для станций технического обслуживания в человеко-часах;
3. размер парка автомобилей (A_{CC}), эксплуатируемых и обслуживаниемх автотранспортным предприятием, выражаемый в единицах;
4. интенсивность эксплуатации автомобилей (ω), выражаемую пробегом автомобилей автотранспортного предприятия за месяц.

Основные производственные показатели используются в качестве независимых переменных, определяющих значения целевых показателей организационно-производственной структуры предприятия.

На третьем этапе рассчитываются целевые значения параметров (x', A') с использованием разработанных в диссертации моделей закономерностей. Эти модели учитывают влияние факторов (F) на организационно-производственную

структуру предприятия. Целью является определение оптимального количества технологических звеньев (x') и численности руководящих работников (A'), которые обеспечат эффективное выполнение производственной программы. Для этого используются таблицы нормативов и коэффициентов их корректирования, представленные ниже.

На четвертом этапе вычисляется величина расхождения между текущими (x, A) и определенными с помощью разработанных нормативов целевыми (x', A') значениями параметров:

$$\Delta x = x' - x; \Delta A = A' - A. \quad (4.1)$$

Эти величины показывают, насколько текущая структура предприятия отличается от оптимальной, и позволяют выявить направления для оптимизации, установив целевые показатели для лиц, принимающих решения.

На пятом этапе руководством предприятия разрабатывается план мероприятий для достижения целевых значений (x', A'). План, как правило, включает:

1. перечень мероприятий (например, реорганизация подразделений, выделение специализированных зон или участков, или, наоборот, их объединение и повышение степени их универсальности, изменение численности производственного или административного персонала, изменение нормы управляемости для административного персонала и т.п.);
2. оценку времени, необходимого для реализации каждого мероприятия;
3. расчет ресурсов (финансовых, материальных, человеческих), требуемых для достижения целей.

Данный этап направлен на практическую реализацию изменений в структуре предприятия с учетом установленных целевых значений, т.е. ее адаптацию под изменения производственных показателей или времени.

На заключительном этапе проводится сравнение текущего варианта организационно-производственной структуры (SA) с целевым (S' A') для оценки экономической эффективности предложенных изменений. Основные критерии оценки:

1. снижение издержек от функционирования системы;
2. увеличение производительности (пропускной способности) зон и участков технического сервиса;
3. уменьшение очереди из клиентов, времени их ожидания и вероятности потери клиентов;
4. рост прибыли предприятия.

Достижение экономического эффекта от изменения организационно-производственной структуры подтверждает целесообразность принятый решений по оптимизации.

Разработанная методика представляет собой комплексный подход к анализу и оптимизации организационно-производственной структуры предприятия. Она позволяет не только выявить текущие проблемы, но и разработать конкретные шаги для их решения, обеспечивая повышение эффективности работы предприятия в целом.

Более подробно методика формирования организационной структуры рассмотрена в работе [80].

Для практического использования были разработаны нормативы параметров организационно-производственных структур предприятий автомобильного транспорта (таблицы 4.2 и 4.3).

Таблица 4.2 – Норматив количества технологических звеньев производственной структуры для станций технического обслуживания автомобилей

$N_{мес}$, ед.	τ, чел.час.					
	2	2,5	3	3,5	4	4,5
350	2	2	3	3	3	4
700	4	4	4	5	5	6
1050	5	5	5	6	6	7
1350	5	6	6	6	7	7
1700	6	6	7	7	7	8
2050	6	7	7	7	8	8

Таблица 4.3 – Норматив количества технологических звеньев производственной структуры для автотранспортных предприятий

A_{CC}, ед.	ω, км/мес.					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
50	1	2	3	4	5	5
100	1	3	4	4	5	6
200	2	4	5	5	6	6
300	3	5	6	6	7	7
400	4	5	6	7	8	8
500	5	6	7	8	9	9

Для формирования параметров производственной структуры предприятий в качестве практических инструментов предложено использовать контурные графики (рисунок 4.2, 4.3).

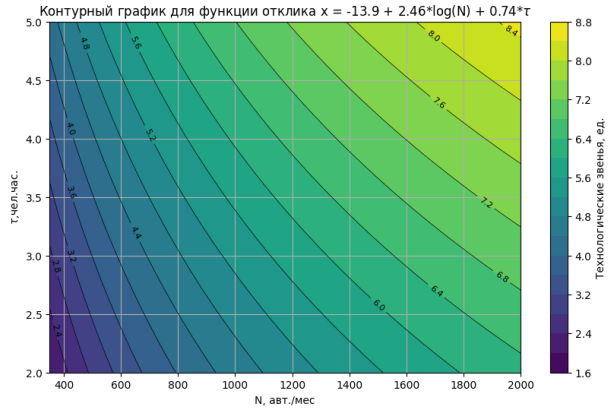


Рисунок 4.2 – Контурный график для определения оптимального количества технологических звеньев производственной структуры станций технического обслуживания автомобилей

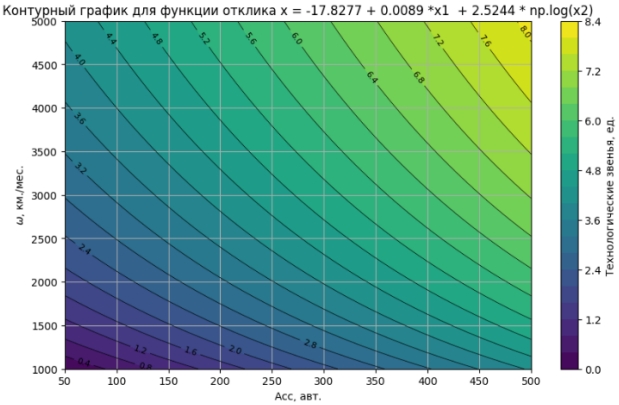


Рисунок 4.3 – Контурный график для определения оптимального количества технологических звеньев производственной структуры автотранспортных предприятий

Они аналогичны номограммам и позволяют определить количество технологических звеньев для различных значений влияющих факторов в естественных координатах.

Контурные линии на пересечении заданных значений координат графика показывают значение функции отклика. Для наглядности добавлена цветовая дифференциация областей. Более темный цвет (синий) соответствует меньшему оптимальному количеству технологических звеньев, а светлые зоны (желтые) – структурам с большим количеством технологических звеньев. Наряду с таблицами нормативов, такие графики разработаны для станций технологического обслуживания автомобилей и для автотранспортных предприятий.

Таблицы нормативов состоят из собственно нормативов и поправочных коэффициентов к ним. Нормативы - это значения y_1, вычисленные для определённых значений x_1 (например, с фиксированным шагом). Поправочные коэффициенты - линейные поправки, которые позволяют интерполировать значения y_1 для промежуточных значений x_1.

Далее будет приведен процесс формирования таблицы нормативов для нормы управляемости на СТО.

Для разработки таблицы нормативов сначала был определен диапазон значений x_1. Для этого диапазон варьирования переменной x_1 (от 100 до 2000) был разбит на равные интервалы с шагом 100. Для каждого значения x_1 в выбранном

диапазоне определялось соответствующее значение y_1 по разработанной в третьем разделе регрессионной модели.

Для определения промежуточных значений x_1 между соседними нормативами использована линейная интерполяция. Поправочный коэффициент k вычисляется как:

$$k = \frac{y_{1\max} - y_{1\min}}{x_{1\max} - x_{1\min}}, \tag{4.2}$$

где $x_{1,\min}$ и $x_{1,\max}$ — соседние значения x_1, а $y_{1,\min}$ и $y_{1,\max}$ — соответствующие нормативы.

При использовании таблицы для промежуточных значений для каждой пары соседних значений x_1 вычисляется поправочный коэффициент k, который показывает, как изменяется y_1 на единицу изменения x_1.

Для определения промежуточного значения А’ используется следующая формула:

$$A' = A_{\min} + k \cdot (N_{\max} - N_{\min}), \tag{4.3}$$

где A_{min}, N_{max}, N_{min} – максимальное и минимальное нормируемое значение показателя из диапазона, включающего *A’*.

Нормативные значения для параметров организационных структур станций технического обслуживания и автотранспортных предприятий представлены в таблицах 4.4., 4.5.

Таблица 4.4 – Нормативные значения нормы управляемости для станций технического обслуживания автомобилей

N	A	k
100	16	-0,037
200	13	-0,022
300	11	-0,015
400	9	-0,012
500	8	-0,010
600	7	-0,008
700	6	-0,007
800	5	-0,006
900	5	-0,006
1000	4	-0,005

Продолжение таблицы 4.4

1100	4	-0,005
1200	3	-0,004
1300	3	-0,004
1400	2	-0,004
1500	2	-0,003
1600	2	-0,003
1700	1	-0,003
1800	1	-0,003
1900	1	-0,003

Таблица 4.5 – Нормативные значения нормы управляемости для автотранспортных предприятий

Acc	A	k
50	3	-0.004
150	2	-0.002
250	2	-0.001
350	2	-0.001
450	2	-
500	1	-

4.1.2. Методики организации подсистемы планирования показателей деятельности технической службы предприятий автомобильного транспорта

Методика планирования технико-экономических показателей деятельности предприятий автомобильного транспорта

Методика в виде блок-схемы представлена на рисунке 4.4. Описание методики для станций технического обслуживания автомобилей будет рассмотрено далее. Для автотранспортных предприятий методика реализуется аналогичным образом, но с использованием другой последовательности технологического и экономического расчета предприятия.

Методика описывает последовательность действий для анализа и оптимизации производственно-технологических показателей предприятия с целью достижения целевых экономических результатов. Она состоит из восьми этапов.



Рисунок 4.4 – Методика планирования технико-экономических показателей деятельности предприятий автомобильного транспорта

На первом этапе собирается и фиксируется информация о фактических значениях основных производственно-технологических показателей ($П_{от}$) предприятия:

- годового количества условно обслуживаемых на станции автомобилей ($N_{СТО}$);
- количества автомобиле-заездов в год (d);
- среднегодового пробега автомобиля ($L_г$);
- число рабочих дней в году ($Д_{раб.г}$);
- продолжительности смены ($T_{см}$);
- число смен (C);
- стоимости нормочаса работ ($C_{н–ч}$).

Эти данные служат исходной базой для дальнейших расчетов.

На втором этапе рассчитываются текущие экономические показатели ($П_э$) предприятия:

- текущие затраты ($З_т$);
- доход ($Д$);
- прибыль ($П$);
- рентабельность ($Р$);
- капитальные вложения ($КВ$).

Эти показатели отражают текущее финансовое состояние предприятия.

На третьем этапе выбирается целевой показатель ($П_ц$), который необходимо достичь, и критерий его достижения. Это может быть один или несколько из рассмотренных выше экономических показателей, например:

- минимизация текущих затрат ($З_т$);
- максимизация дохода ($Д$);
- увеличение прибыли ($П$);
- улучшение рентабельности ($Р$).
- оптимизация капитальных вложений ($КВ$).

Пользователь указывает конкретное целевое значение показателя или пороговое значение, с которого должна формироваться область оптимизации. Целевые значения ($П_ц$) задаются на основе стратегических целей предприятия. Кроме того, может быть указан шаг изменения каждого параметра и его вес с точки зрения сложности влияния на этот параметр. Подробнее принцип построения системы показателей рассмотрен в разделе описания разработанного программного обеспечения.

На четвертом этапе с применением разработанного в диссертационной работе программного обеспечения проводится итеративный расчет вариантов (S) с изменением начальных данных ($П_{от}$):

$$S=\{П_{от};\ П_{от}+Δ1;\ П_{от}+Δ2;\ldots;П_{от}+Δn\}, \quad (4.4)$$

где $Δ$ — минимальный шаг изменения текущих значений Пот′ относительно фактических $П_{от}$,

n — количество итераций.

Программой формируется декартово произведения факторов, представляя область начальных параметров для технологического расчета или решений. Для каждого такого решения производится расчет. Расчет продолжается до тех пор, пока не будет выполнено конечное условие:

$$П_э^S \geq П_ц. \; . \tag{4.5}$$

Этот этап позволяет найти варианты, соответствующие целевым экономическим показателям.

На пятом этапе каждый вариант (S) оценивается по степени близости к целевым показателям ($П_ц$). Вариант добавляется в список результатов (Res), если он удовлетворяет условиям:

- экономические показатели ($П_э^S$) не ниже целевых ($П_ц$);
- изменения (Δ) минимальны, т.е. «стоимость» решения стремится к минимуму.

На шестом этапе из списка результатов (Res) выбирается вариант (S) с наилучшей приспособленностью, т.е. соответствием указанным выше условиям. Выбор осуществляется на основе следующих критериев:

- минимальные изменения ($\Delta \rightarrow min$);
- достижение или превышение целевых экономических показателей ($П_э^S \geq П_ц$).

Этот этап позволяет выбрать оптимальное решение для задачи обратной оптимизации, т.е. выбрать такие начальные производственно-технологические параметры, при которых установленное значение целевой функции будет достигнуто.

На седьмом этапе определяется целевой перечень организационно-технологических показателей ($П_{от}^S$) для выбранного варианта (S). На основе этих показателей формируется план мероприятий для их достижения. План включает:

- перечень мероприятий;
- необходимые ресурсы (финансовые, материальные, человеческие);
- временные рамки реализации.

На заключительном этапе проводится оценка экономической эффективности плана путем сравнения его экономических показателей ($П_э^S$) с текущими экономическими показателями ($Пэ$) предприятия:

$$Э = П_э^S - П_э \, . \tag{4.6}$$

Если Э>0, то это свидетельствует об улучшении экономических показателей относительно текущих и целесообразности внедрения плана.

Методика представляет собой комплексный подход к оптимизации организационно-технологических показателей предприятия. Она позволяет:

1. оценить текущее состояние предприятия;
2. определить целевые экономические показатели;
3. провести итеративный расчет вариантов для достижения целей;
4. выбрать оптимальный вариант и разработать план мероприятий;
5. оценить экономическую эффективность внедрения плана.

Более подробно методика планирования технико-экономических показателей предприятия автомобильного транспорта рассмотрена в работах [272, 273, 84].

Методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта

Методика планирования потока требований на ресурсы представлена на рисунке 4.5 в виде блок-схемы.

Она представляет собой последовательность действий по анализу временных рядов изменения потребности в выбранном виде ресурса в течение заданного промежутка времени.

Первым этапом является формирование набора статистических данных по изменению потребности в ресурсе за как можно больший период времени. Данные проверяются на полноту и корректность по известным методикам поиска аномальных значений (выбросов), после чего создается визуализация временного ряда. Она позволяет оценить наличие трендовой составляющей (увеличение/уменьшение потребления ресурса со временем), сезонности и случайных колебаний (шума).

Временной ряд может быть разложен на три составляющие – трендовую, сезонную и случайную компоненту с использованием линейных регрессионных моделей (для тренда) и гармонических моделей (для сезонной составляющей). Сезонная компонента выделяется путем вычитания из временного ряда трендовой составляющей. Линеаризация гармоник, составляющих сезонную компоненту, позволяет определить статистическую значимость каждой из них, что будет говорить о наличии циклического изменения потребности в ресурсе. Точность прогноза оценивается по известным статистическим метрикам, например, MAPE, MAE, RMSE и т.д.

Номер значимой гармоники характеризует периодичность колебаний потребности в течение года.



Рисунок 4.5 – Методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта

На основе полученных гармонических моделей изменения потребности в ресурсе в течение года для практического использования была разработана таблица нормативов и коэффициентов их корректирования на примере одной марки автомобилей.

Нормативы были получены на основе среднемесячной потребности в каждом ресурсе и представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Норматив среднемесячной потребности в ресурсе

Вид ресурса	Среднемесячная потребность $R_{ср}$, ед.
$N_м$	100
$N_{тм}$	20
$N_{ож}$	10
$N_{тж}$	5
$N_{тр}$	10
$N_{то}$	40
$N_ш$	15
$N_{зч}$	800

Формула для определения потребности в ресурсе для *i*-го месяца представлена ниже:

$$R_i = R_{ср} \cdot k_i, \tag{4.7}$$

где R_i – потребность в ресурсе для i-го месяца года, ед.;

$R_{ср}$ – среднемесячная потребность в ресурсе, ед.;

k_i – коэффициент корректирования потребности в ресурсе для i-го месяца года (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Таблица коэффициентов корректирования потребности в ресурсах для одной марки автомобилей, обслуживаемой на станции технического обслуживания

T, мес	$k_{Nм}$	$k_{Nтм}$	$k_{Nож}$	$k_{Nтж}$	$k_{Nтр}$	$k_{Nто}$	$k_{Nш}$	$k_{Nзч}$
1	1,10	1,13	1,19	1,11	1,08	0,75	1,42	1,01
2	1,12	1,32	0,98	1,04	1,13	0,75	1,30	1,01
3	1,02	1,43	0,79	0,85	1,15	0,81	1,09	1,00
4	0,90	1,42	0,81	1,11	1,13	0,93	0,86	1,00
5	0,88	1,30	1,02	1,04	1,07	1,07	0,67	0,99
6	0,98	1,10	1,21	0,85	1,00	1,18	0,57	0,99

Продолжение таблицы 4.7

7	1,10	0,87	1,19	1,11	0,92	1,25	0,58	0,99
8	1,12	0,68	0,98	1,04	0,87	1,25	0,70	0,99
9	1,02	0,57	0,79	0,85	0,85	1,19	0,91	1,00
10	0,90	0,58	0,81	1,11	0,87	1,07	1,14	1,00
11	0,88	0,70	1,02	1,04	0,93	0,93	1,33	1,01
12	0,98	0,90	1,21	0,85	1,00	0,82	1,43	1,01

Принцип формирования коэффициентов корректирования потребности в ресурсе по месяцам года представлен на рисунке 4.6.

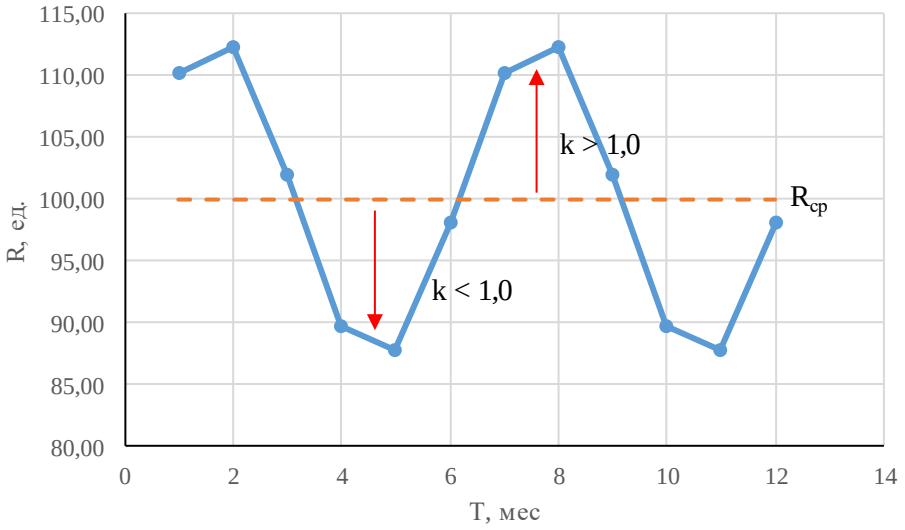


Рисунок 4.6 – Формирование коэффициентов корректирования среднемесячной потребности в ресурсе для предприятий автомобильного транспорта

Для определения потребности в ресурсе для всех обслуживаемых марок и моделей автомобилей потребность в ресурсе для одной марки умножается на количество марок и моделей, для которых заранее должна быть установлена сезонная вариация потока требований на ресурс:

$$R_{общ} = R_j \cdot J \quad , \tag{4.8}$$

где j- конкретная марка или модель автомобиля из общего количества марок и моделей, обслуживаемых на предприятии $j \in J$.

Возможен и другой вариант. Потребность в ресурсах для всего предприятия можно определить через отношение количества автомобилей проанализированной

марки или модели к общему количеству автомобилей, обслуживаемых на предприятии:

$$R_{общ} = R_j \cdot \frac{N_{общ}}{N_j}, \quad (4.9)$$

где $N_{общ}$ – общее количество автомобилей, обслуживаемых на предприятии, ед.;
N_j – количество автомобилей конкретной марки или модели, ед.

Методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания

Методика, представленная в виде блок-схемы на рисунке 4.7, описывает последовательность действий для прогнозирования и планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания. Она состоит из восьми этапов, описание которых представлено ниже.

На первом этапе определяется временной горизонт планирования (T), выраженный в месяцах, на n месяцев вперед $T \in [1,n]$. Горизонт планирования задает период, на который будет рассчитываться загрузка зоны технического сервиса. По умолчанию используется горизонт планирования, равный 10 месяцам.

На втором этапе формируется прогноз продаж автомобилей (S) для периода T. Продажи осуществляются отделом продаж дилерского центра. Этот показатель отражает количество новых автомобилей, реализуемых за период T, и влияет на потенциальный объем работ по гарантийным ремонтам и техническому обслуживанию. В случае, если на предприятии отсутствует отдел продаж, то для этого показателя следует указывать нулевые значения.

На третьем этапе формируется прогноз по заездам сторонних клиентов (I) для периода T. Сторонние клиенты — это владельцы автомобилей, которые не являются покупателями новых автомобилей, реализуемых дилерским центром. Этот показатель учитывает спрос на услуги технического обслуживания и ремонта со стороны внешних клиентов.

На четвертом этапе определяется среднее количество отказов (F) на один автомобиль для периода T. Это значение соответствует количеству заездов для устранения отказов одного автомобиля в год. Показатель F зависит от типа обслуживаемых автомобилей, их возраста и условий эксплуатации и выбирается как усредненное значения для каждой обслуживаемой на предприятии марки и модели, исходя из исторических данных.

На пятом этапе рассчитывается прогноз общего количества заездов (N) в сервисный центр для периода T. Для расчета может быть использована разработанная автором модель на основе полносвязной нейронной сети (FCNN),

реализующая задачу многофакторной регрессии. Модель учитывает входные параметры (*S*, *I*, *F*, *T*).



Рисунок 4.7 – Методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания

Модели нейронных сетей могут быть использованы в двух режимах: в режиме обучения на наборе тренировочных данных и в режиме использования для прогнозирования значений функции отклика. Рассмотренная в третьем разделе диссертации модель уже была обучена и готова к использованию для формирования прогнозов.

Разработанная модель нейронной сети под названием service_load_predict_ann_model выложена на сайте Github в профиле автора диссертации в открытом доступе для практического использования по ссылке https://github.com/eskozin/Ann_models.git (рисунок 4.8).

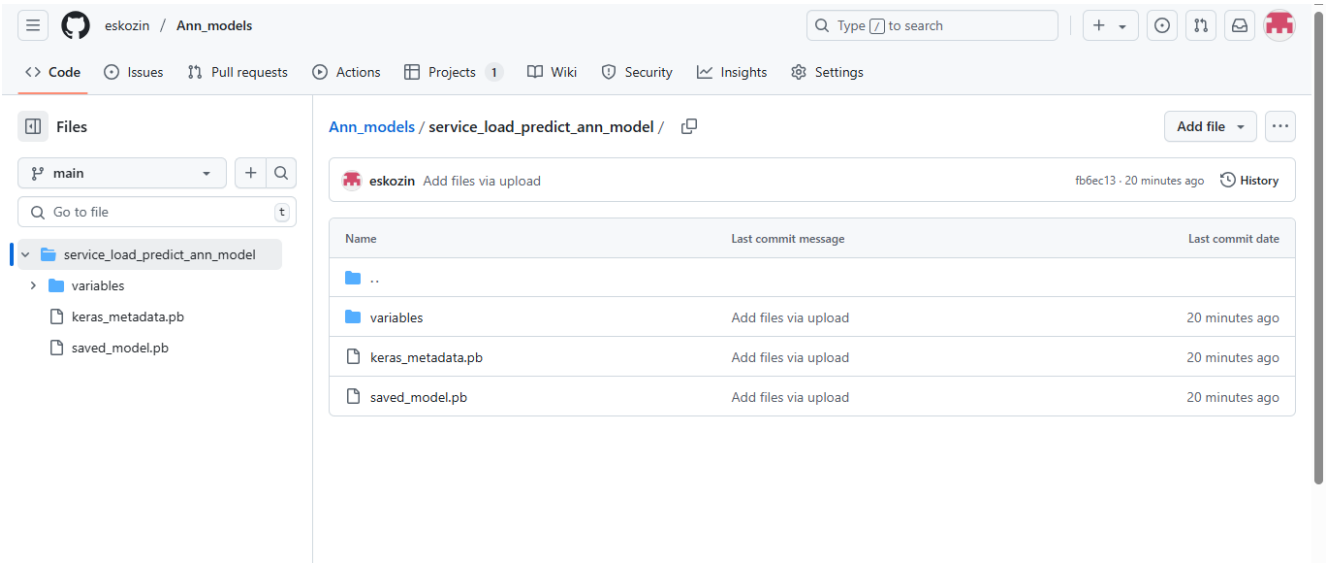


Рисунок 4.8 – Файлы модели полносвязной нейронной сети для прогнозирования загрузки зон технического сервиса, разработанной автором и выложенной на сайте Github для практического использования

Для использования модели необходимо сформировать набор исходных данных по представленным выше факторам. Пример такого набора данных представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Набор исходных данных для использования прогнозной нейросетевой модели загрузки зоны технического сервиса

T, мес.	S, ед.	I, ед.	F, отк./авто.
1	50	100	2
2	200	100	1

Модель, представленная на сайте, обучена на экспериментальных данных и сохранена в папке, содержащей следующие компоненты модели:

- архитектуру модели — структуру нейронной сети;
- веса модели — обученные параметры;

- конфигурацию компиляции — функцию потерь, оптимизатор и метрики оценки точности модели.

Для ее загрузки необходимо скачать файлы модели и в среде программирования на языке Python выполнить следующий программный код:

```
from tensorflow.keras.models import load_model
# Загрузка модели
loaded_model = load_model('my_ann_model')
# Пример предсказания
predictions = loaded_model.predict(X_new)
```

После этого можно использовать модель в режиме прогнозирования.

На шестом этапе определяется общий фонд времени работы постов ($Ф$) для периода T. Фонд времени рассчитывается исходя из фонда рабочего времени одного поста за период T и общего количества постов в зоне технического сервиса. Общий фонд времени ($Ф$) отражает максимальную трудоемкость работ, которые должны быть выполнены станцией технического обслуживания дилерского центра.

На седьмом этапе определяется средняя трудоемкость (τ) производства работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р). Этот показатель соответствует удельной трудоемкости ТО и ТР на одно техническое воздействие (заезд). Значение τ зависит от типа выполняемых работ и специфики обслуживаемых автомобилей и определяется исходя из статистических данных деятельности предприятия.

На заключительном этапе рассчитывается коэффициент загрузки постов (k) для периода T:

$$k = \frac{N \cdot \tau}{\Ф}. \qquad (4.10)$$

Коэффициент загрузки измеряется в пределах от 0 до 1 и может быть интерпретирован следующим образом:

- $k < 0{,}7$: посты недозагружены;
- $0{,}7 \le k \le 0{,}9$: оптимальная загрузка;
- $k > 0{,}9$: посты перегружены, требуется принятие управленческих решений.

Результаты расчета позволяют оценить текущую загруженность зоны технического сервиса и принять меры для повышения эффективности ее работы.

Таким образом, методика представляет собой комплексный подход к планированию загрузки зоны технического сервиса. Она позволяет учесть прогноз продаж автомобилей, заезды сторонних клиентов и частоту отказов автомобилей; рассчитать общее количество заездов с использованием модели полносвязной нейронной сети; оценить загрузку постов и принять управленческие решения для повышения эффективности работы сервисного центра.

Методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания

Методика (рисунок 4.9) представляет собой системный подход к управлению установленным ранее с помощью кластеризации тремя типами работ, выполняемых на станции технического обслуживания автомобилей, с целью минимизации затрат и повышения эффективности системы.



Рисунок 4.9 – Методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания

Она включает оценку текущего соотношения реализуемых предприятием услуг по типам, прогнозирование определяющих выбор типов услуг факторов, анализ вариантов распределения работ и выбор оптимального по критерию минимизации затрат решения.

На первом этапе проводится анализ текущего состояния системы. Определяется соответствие распределения реализуемых объемов работ по трем кластерам. Кластеры с определенной степенью условности для задач практического использования можно свести к типам сложности (трудоемкости): λ_{k1} — работы низкой сложности и стоимости; λ_{k2} — работы средней сложности и стоимости; λ_{k3} — работы высокой сложности и стоимости. Подробно процесс кластеризации работ рассмотрен в третьем разделе исследования. Также фиксируются текущие затраты на функционирование системы $C_{сущ}$, которые включают расходы на выполнение работ, содержание зоны технического сервиса, производственного и управленческого персонала.

Для прогнозирования будущих условий работы системы определяются ключевые факторы, влияющие на объемы и структуру работ:

- $N_{мес}$ — месячная производственная программа по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р);

Для проведения дальнейших расчетов формируются три варианта приоритетов для распределения работ:

- вариант 1: приоритет для работ низкой сложности ($\lambda k1 > \lambda k2, \lambda k3$);
- вариант 2: приоритет для работ средней сложности ($\lambda k2 > \lambda k1, \lambda k3$);
- вариант 3: приоритет для работ высокой сложности ($\lambda k3 > \lambda k1, \lambda k2$).

Приоритет означает, что доля работ определенного типа значительно превышает доли остальных типов. Кроме соотношения работ по типам методика учитывает также соотношение типов работ по трудоемкости Δt и по стоимости ΔC. По этим показателям работы также предложено разделять на три типа: 1 – работы отличаются по трудоемкости и стоимости не более чем на 20%; 2 – работы отличаются не более чем на 100%; 3 – работы отличаются более чем на 100%. Подробно вопрос разделения работ на типы рассмотрен в разделе экспериментальных исследований.

Следующим этапом для каждого из трех вариантов при различных значениях факторов $N_{мес}$, Δt и ΔC рассчитываются показатели эффективности системы $C_{сущ}$. Расчеты выполняются на основе предложенных в диссертации моделей, учитывающих взаимосвязь между факторами $\{F\}$ и затратами.

Из трех вариантов выбирается оптимальное соотношение типов работ, обеспечивающее минимальные затраты на функционирование системы. Оптимальное значение затрат обозначается как C_{opt} и определяется по формуле:

$$C_{opt}=argmin(C_{\lambda 1},C_{\lambda 2},C_{\lambda 3}), \quad (4.11)$$

где $C_{\lambda 1}$, $C_{\lambda 2}$, $C_{\lambda 3}$ — затраты для каждого из вариантов распределения работ, руб.

На основе выбранного оптимального варианта разрабатывается план мероприятий, направленных на изменение приоритетов в структуре выполняемых работ, например, предприятие фокусируется на увеличение доли работ первого типа – низкой трудоемкости и стоимости. План включает корректировку ресурсов, перераспределение задач между сотрудниками и адаптацию производственных процессов.

Экономическая эффективность предлагаемых мер оценивается путем сравнения затрат на оптимальную систему C_{opt} с затратами на существующую систему $C_{сущ}$. Экономический эффект $Э$ рассчитывается по формуле:

$$Э = C_{opt} - C_{сущ}. . \quad (4.12)$$

Если $Э < 0$, то это свидетельствует о снижении затрат и повышении эффективности системы.

Для практического использования предложено использовать модель полносвязной нейронной сети, прогнозирующую оптимальной соотношение работ по типам для влияющих факторов.

Набор исходных данных представляет собой одномерный вектор из трех значений, соответствующих факторам $N_{мес}$, Δt и ΔC. Модель прогнозирует категориальное значение функции отклика, представляющее собой приоритет для работ 1, 2 или 3 типа, выдавая значения из списка [1, 2, 3].

Вид таблицы исходных данных для модели нейронной сети представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Набор исходных данных для использования прогнозной нейросетевой модели определения ассортимента услуг станции технического сервиса

N, ед.	t, категория	C, категория
650	1	2
650	2	1
650	1	1

Обученная модель под названием service_list_management_ann_model.keras по аналогии с рассмотренной ранее моделью полносвязной нейронной сети размещена для удобства практического использования на ресурсе Guthub по адресу: https://github.com/eskozin/Ann_models.git (рисунок 4.10).

В отличии от предыдущей модели, модель нейронной сети управления перечня услуг сохранена в формате `.keras` и может быть открыта для дальнейшего использования в программной среде Python с установленной в ней библитекой `keras`. В файле модели также сохранена ее архитектура, веса коэффициентов и гиперпараметры модели, такие как оптимизатор, метрика определения ошибок и т.п.

Таким образом, методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на СТО включает оценку текущего состояния системы, прогнозирование факторов, анализ вариантов распределения работ и выбор оптимального решения. Цель методики — минимизация затрат на функционирование системы за счет изменения приоритетов в структуре выполняемых работ. Результатом является формирование плана мероприятий и оценка экономической эффективности предлагаемых изменений.

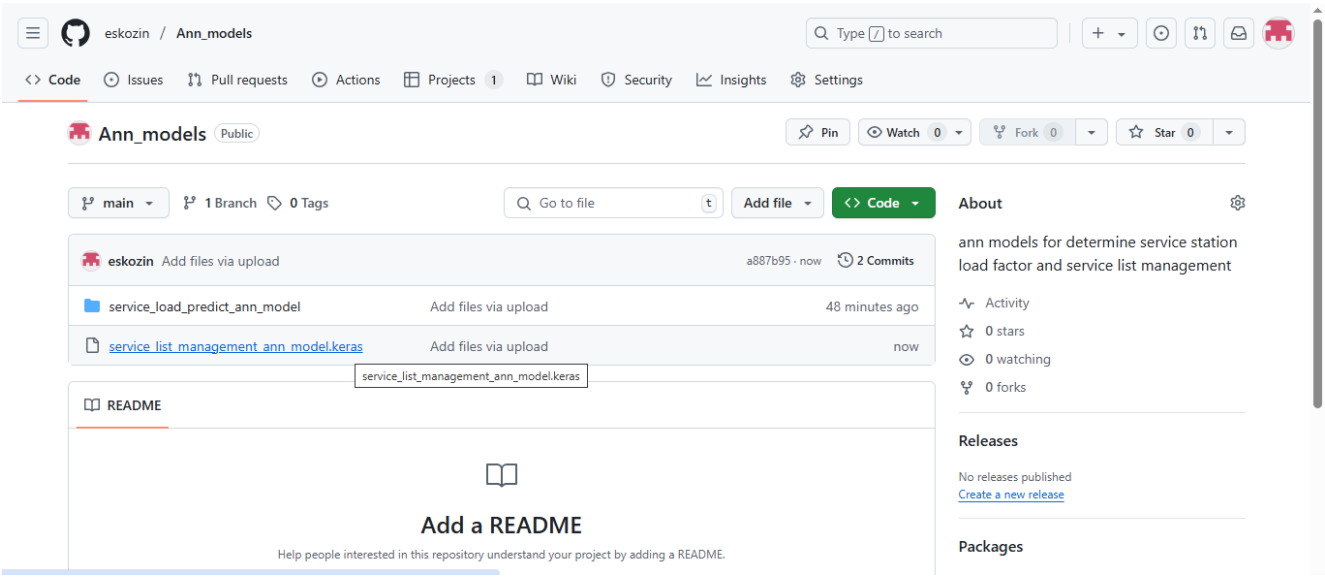


Рисунок 4.10 – Файлы модели полносвязной нейронной сети для управления перечнем услуг станции технического обслуживания автомобилей, разработанной автором и выложенной на сайте Github для практического использования

Методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года

Методика, представленная в виде блок-схемы на рисунке 4.11, описывает последовательность действий для учета и моделирования неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года. Она состоит из семи этапов.

На первом этапе формируется временной ряд (Y_T), отражающий изменение интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года. Временной ряд представляет собой набор значений интенсивности эксплуатации ($Y_T(t)$) для

каждого месяца (t=1,2,…,12). Эти данные могут быть получены на основе статистики использования автопарка или прогноза на будущие периоды.



Рисунок 4.11 – Методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года

На втором этапе вычисляется градиент $Grad(Y_Г)$ изменения функции $Y_Г(t)$. Градиент определяется как разность между соседними значениями временного ряда:

$$Grad(Y_Г(t)) = Y_Г(t+1) - Y_Г(t), t = 1,2,...,12. \quad (4.13)$$

Этот показатель характеризует скорость изменения интенсивности эксплуатации автомобилей между соседними месяцами.

На третьем этапе определяется максимальное значение градиента *max(Grad(Y_Г))* для временного ряда:

$$\max(\left|Grad\left(Y_{\Gamma}(t)\right)\right|), t = 1,2,...12\,. \tag{4.14}$$

Значение этого параметра показывает наибольшую скорость изменения интенсивности эксплуатации за год.

На четвертом этапе проверяется выполнение условия:

$$\max(\left|Grad\left(Y_{\Gamma}(t)\right)\right|) \geq T_{hr}\,, \tag{4.15}$$

где T_{hr} — установленное пороговое значение, равное 95.

Если условие выполняется, это свидетельствует о значительной неравномерности интенсивности эксплуатации. В этом случае временной ряд следует аппроксимировать с использованием модели полносвязной искусственной нейронной сети (FCNN). FCNN позволяет учитывать сложные нелинейные зависимости в данных и обеспечивает высокую точность прогнозирования.

Для аппроксимации интенсивности эксплуатации автомобилей с градиентом функции выше порогового значения была использована полносвязная нейронная сеть с четырьмя скрытыми слоями с 16, 32, 64, 128 нейронами в каждом слое соответственно. Модель нейронной сети позволяет аппроксимировать нелинейные изменения интенсивности эксплуатации техники с высокой степенью точности. Пример аппроксимации функции с превышением порогового значения градиента, а также график изменения точности модели в процессе обучения показан на рисунке 4.12.

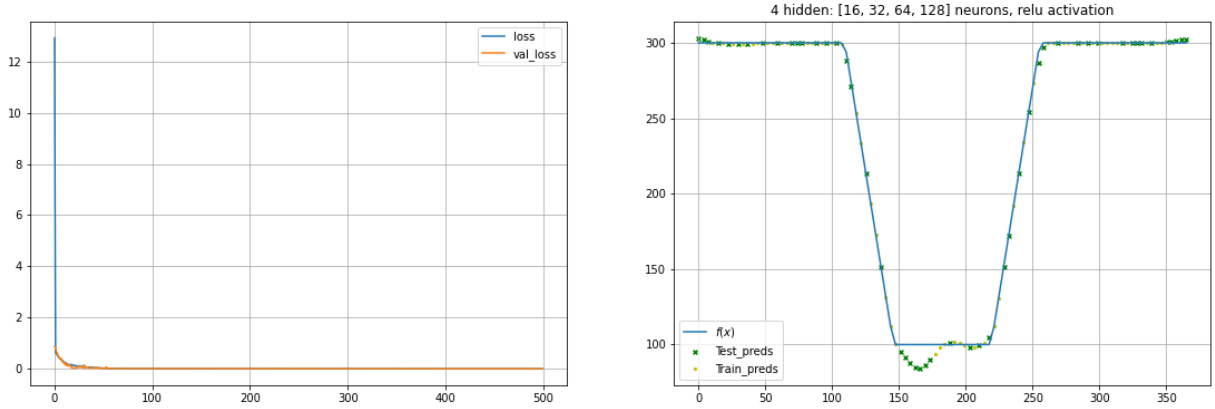


Рисунок 4.12 – Точность модели нейронной сети в процессе обучения и графическое отображения результата аппроксимации функции с высоким значением градиента моделью нейронной сети

Архитектура модели полносвязной нейронной сети, полученная с помощью функции `plot_model` из модуля `tensorflow.keras.utils` языка программирования Python представлена на рисунке 4.13. Алгоритм оптимизации модели – стохастический градиентный спуск, метрика точности – среднеквадратическая ошибка.

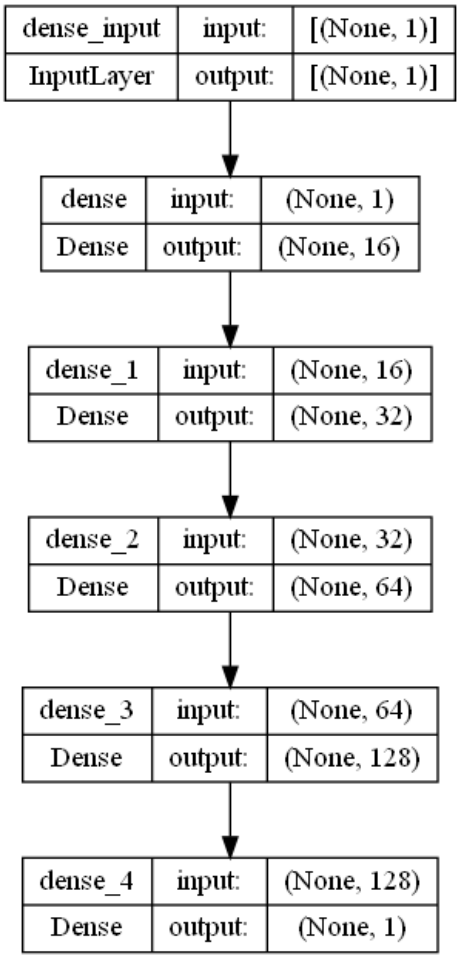


Рисунок 4.13 – Архитектура модели нейронной сети для аппроксимации интенсивности эксплуатации автомобилей с высоким значением градиента функции

Если указанное выше условие не выполняется, то временной ряд аппроксимируется гармоническими моделями. Эти модели основаны на периодических функциях (например, синусоидах) и подходят для описания относительно равномерных колебаний интенсивности эксплуатации. Последовательность аппроксимации представлена в [63] и в третьем разделе настоящих исследований.

На заключительном этапе выполняется моделирование эксплуатации парка техники с заданным значением изменения интенсивности ее эксплуатации и выбранной моделью (FCNN или гармонической). Это позволяет прогнозировать

интенсивность эксплуатации автопарка, оптимизировать планирование ресурсов (например, топлива, запчастей, персонала), учитывать сезонные колебания при формировании стратегий обслуживания.

Методика представляет собой комплексный подход к учету неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года. Она позволяет формировать временной ряд и анализировать его изменчивость; выбирать подходящую модель аппроксимации на основе анализа градиента; моделировать эксплуатацию автопарка для принятия обоснованных решений по управлению им.

Полная модель нейронной сети для аппроксимации неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года под названием forecasting_uneven_exploitation_ann_model с учетом ее архитектуры, весов и гиперпараметров для удобства практического использования также размещена в профиле автора на сайте Github по ссылке https://github.com/eskozin/Ann_models.git (рисунок 4.14).

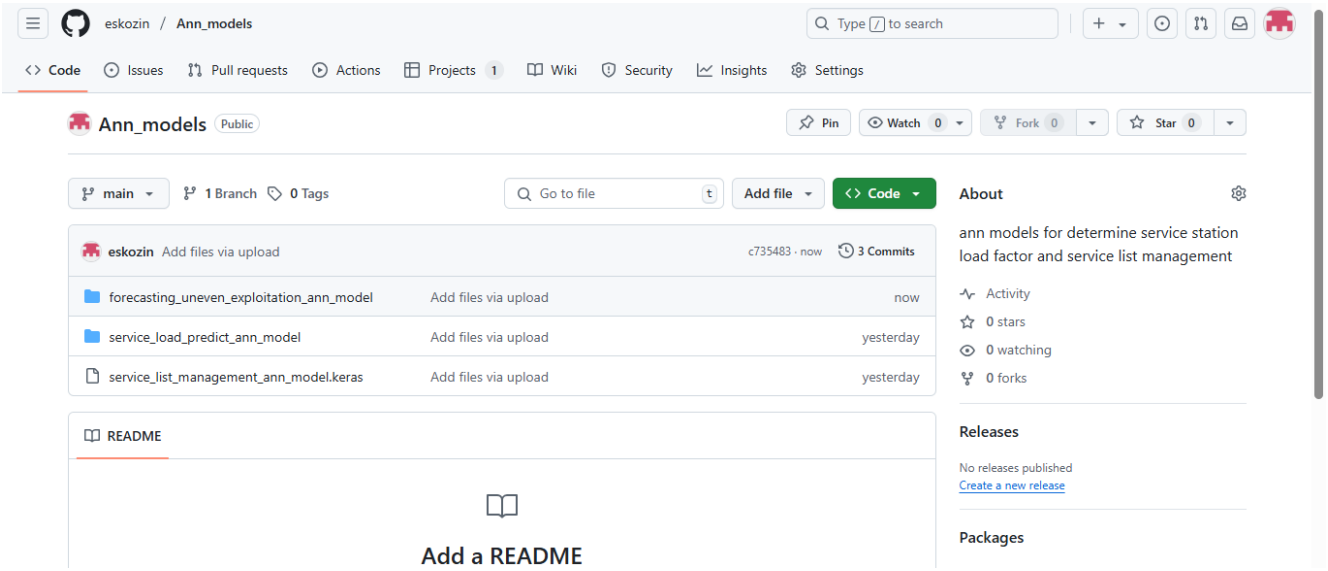


Рисунок 4.14 – Обученная модель полносвязной нейронной сети для прогнозирования неравномерности эксплуатации автомобилей

4.1.3. Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта

На основе установленных в экспериментальных исследованиях моделей закономерностей была разработана методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта. Методика предполагает поиск наиболее эффективной по критерию минимума затрат системы стимулирования для целевых значений входящих факторов. Методика состоит из шести основных этапов. Блок-схема методики представлена на рисунке 4.15.

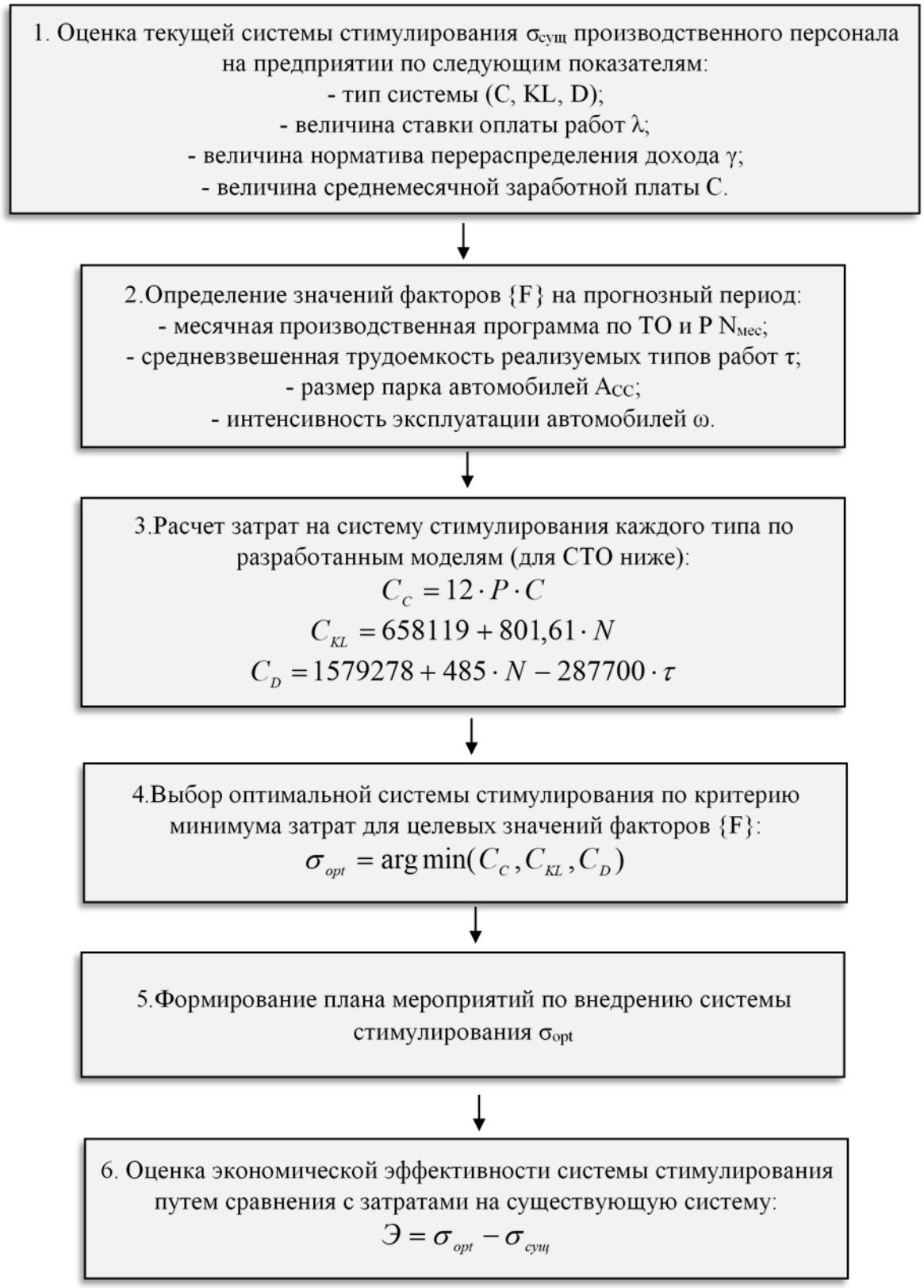


Рисунок 4.15 – Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта

Методика, представленная в виде блок-схемы, описывает последовательность действий для анализа текущей системы стимулирования

персонала на предприятии, расчета альтернативных вариантов и выбора оптимального решения. Она состоит из шести этапов.

На первом этапе проводится анализ существующей системы стимулирования ($\sigma_{\text{сущ}}$) производственного персонала. Оцениваются следующие показатели:

- тип системы стимулирования: *C* (компенсаторная), *KL* (пропорциональная), *D* (с перераспределением дохода);
- величина ставки оплаты работ (λ) - размер оплаты за выполнение единицы работы;
- величина норматива перераспределения дохода (γ) - доля дохода, которая распределяется между сотрудниками;
- величина среднемесячной заработной платы (*C*) - фактический уровень оплаты труда сотрудников.

На втором этапе определяются значения ключевых факторов (*F*), которые влияют на работу предприятия автомобильного транспорта в прогнозируемом периоде. Эти факторы включают:

- месячную производственную программу по техническому обслуживанию и ремонту ($N_{\text{мес}}$) станции технического обслуживания;
- средневзвешенную трудоемкость реализуемых типов работ (τ) станции технического обслуживания, характеризующую приоритет выполняемых работ по типам;
- размер парка автомобилей (A_{CC}) на автотранспортном предприятии;
- интенсивность эксплуатации автомобилей (ω) на автотранспортном предприятии.

Эти параметры являются основными производственными показателями, под которые адаптируется структура системы стимулирования производственного персонала.

На третьем этапе рассчитываются затраты на внедрение каждой из трех типов базовых систем стимулирования (*C*, *KL*, *D*) с использованием разработанных и представленных в третьем разделе диссертации моделей. Этот этап позволяет количественно оценить затраты на каждую систему стимулирования.

На четвертом этапе выбирается система стимулирования (σ_{opt}), обеспечивающая минимальные затраты. Выбор осуществляется по критерию минимума затрат:

$$\sigma_{opt}=\text{argmin}(C_C,C_{KL},C_D). \quad (4.16)$$

Этот этап позволяет определить наиболее экономически эффективную систему стимулирования по критерию минимизации затрат для целевых значений факторов (*F*).

На пятом этапе разрабатывается план мероприятий для внедрения выбранной системы стимулирования (σ_{opt}). План включает:

- перечень мероприятий (например, изменение системы оплаты труда, обучение персонала, адаптация документации);
- оценку времени, необходимого для реализации каждого мероприятия;
- расчет ресурсов, требуемых для внедрения новой системы.

Этот этап направлен на практическую реализацию изменений.

На заключительном этапе проводится сравнение затрат на существующую систему стимулирования ($\sigma_{сущ}$) с затратами на выбранную оптимальную систему (σ_{opt}). Экономическая эффективность (Э) рассчитывается как разница между затратами:

$$Э=\sigma_{opt}-\sigma_{сущ.}. \quad (4.17)$$

При Э<0 достигается положительный экономический эффект. При Э>0 требуется дополнительный анализ целесообразности внедрения новой системы.

Более подробно методика выбора базовой системы стимулирования производственного персонала рассмотрена в работе [82].

Для выбора базовой системы стимулирования производственного персонала помимо представленных выше иерархических моделей деревье принятия решений предложено использовать графические модели классификации, полученные с использованием метода опорных векторов (SVM). Они аналогичны номограммам и представляют собой однородные области, соответствующие границам классов, в пределах диапазона варьирования стандартизированных факторов, определяющих разделение на классы. На диаграмме они заполнены одним цветом (рисунок 4.16, 4.17). Точки соответствуют полученным на основе имитационного эксперимента данным и позволяют оценить точность формирования границ классов. Представленный метод позволяет получить решение при нелинейном разделении данных.

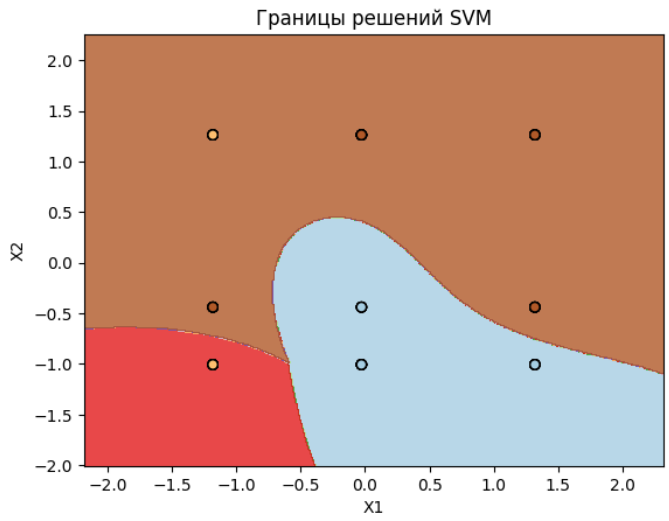


Рисунок 4.16 – Номограмма для выбора типа базовой системы стимулирования для станций технического обслуживания в нормированных координатах X_1 – $N_{мес}$, авт. и X_2 – τ, чел.час., полученная с помощью модели метода опорных векторов (SVM-классификатора), использующего нелинейное ядро

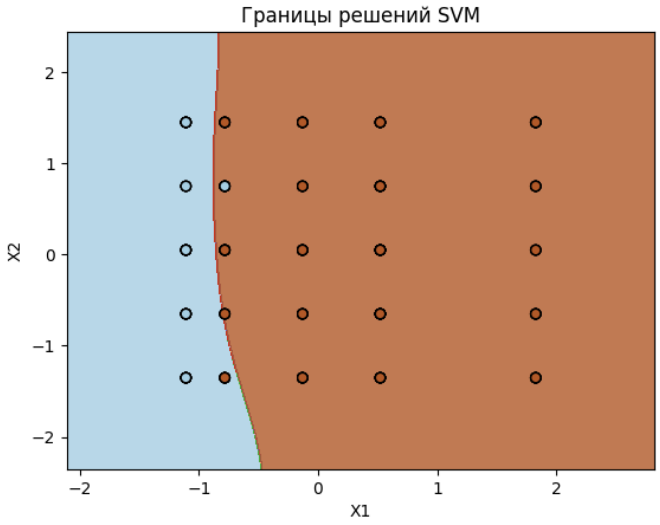


Рисунок 4.17 – Номограмма для выбора типа базовой системы стимулирования для автотранспортных предприятий в нормированных координатах X_1 – *Acc*, авт. и X_2 – ω, ед., полученная с помощью модели метода опорных векторов (SVM-классификатора), использующего нелинейное ядро

Для получения стандартизированного значения признаков, которые подставляются в модель, необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}, \tag{4.18}$$

где x – естественное значение признака;

μ – среднее значение признака (СТО: μ_N=683; μ_τ=2,8; АТП: μ_{Acc}=230; μ_ω=3000);

σ – среднеквадратическое отклонение признака (σ_N=533; σ_τ=0,8; АТП: σ_{Acc}=160; σ_ω=1417).

4.1.4. Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта

Методика, представленная на рисунке 4.18 в виде блок-схемы, описывает последовательность действий для организации и реализации системы контроля технологического процесса ТО и Р. Она состоит из десяти этапов.

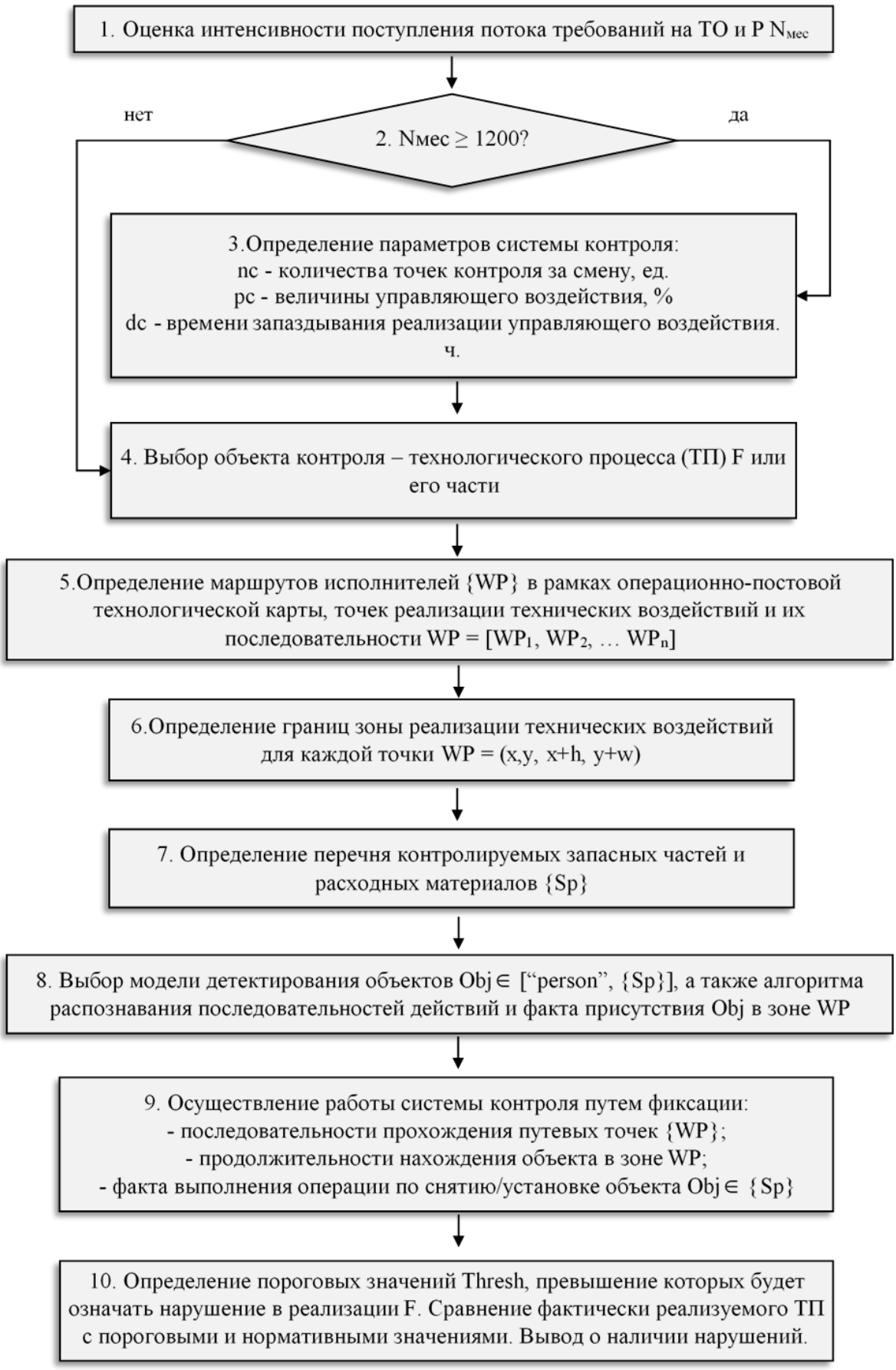


Рисунок 4.18 – Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта

На первом этапе оценивается интенсивность поступления потока требований на техническое обслуживание и ремонт ($N_{мес}$) — количество заявок или объем работ за месяц. Этот показатель определяет необходимость внедрения системы контроля количества управляющих воздействий, их величины и периодичности.

На втором этапе проверяется выполнение условия: $N_{мес} \geq 1200$.

Если условие выполняется, это свидетельствует о высокой интенсивности поступления автомобилей на посты и необходимости детального контроля производственных процессов. В этом случае следует переходить к третьему этапу. Если условие не выполняется ($N_{мес} < 1200$), то следует сразу перейти к четвертому этапу.

При выполнении условия ($N_{мес} \geq 1200$) определяются ключевые параметры системы контроля:

- n_c: количество точек контроля за смену, ед.;
- p_c: величина управляющего воздействия, %;
- d_c: время запаздывания реализации управляющего воздействия, ч.

Эти параметры позволяют организовать строго нормированную систему контроля на основе заданных характеристик. Для этого следует использовать полученные в разделе экспериментальных исследований модели закономерностей либо воспользоваться таблицей нормативов (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Нормативы по определению количества точек контроля и величины управляющего воздействия

$N_{мес}$, ед.	n_c, ед.	p_c, %
1200	3	75
1400	4	84
1600	4	91
1800	5	98
2000	5	100
2200	6	100
2400	6	100

Следующим этапом определяется объект контроля — либо весь технологический процесс (F), либо его часть: одна или несколько технологических операций.

Разработанный автором виртуальный тренажер для имитации работы производственного персонала позволяет проектировать любые маршруты исполнителей и анимацию их движений для тестирования моделей контроля.

На пятом этапе определяются маршруты исполнителей (WP) в рамках операционно-постовой технологической карты. Для каждой точки маршрута ($WP_1, WP_2, \ldots, WP_n$) указываются:

- последовательность точек реализации технических воздействий;
- точки, где выполняются конкретные операции.

Далее определяется место статичной установки камеры видеофиксации, после чего кадр программно размечается на области интереса (roi) с помощью пиксельных координат. Для каждой точки маршрута (*WP*) определяются границы зоны реализации технических воздействий в виде прямоугольника:

$$WP=(x,y,x+h,y+w), \tag{4.19}$$

где (*x*,*y*) — координаты пикселей левого нижнего угла зоны; (*x*+*h*,*y*+*w*) — координаты пикселей правого верхнего угла зоны.

Подробнее процесс контроля производственных процессов с использованием нейронных сетей рассмотрен в работе [61]. Этот шаг позволяет точно определить пространственные рамки выполнения операций.

На седьмом этапе при необходимости реализации контроля факта снятия/установки узлов и агрегатов автомобиля формируется список контролируемых запасных частей и расходных материалов (*Sp*). Эти элементы являются ключевыми объектами контроля в технологическом процессе.

На восьмом этапе выбираются:

- модель детектирования объектов (*Obj*), например, ["person", *Sp*], чтобы отслеживать присутствие людей и использование запасных частей;
- алгоритм распознавания последовательностей действий и факта присутствия объектов (*Obj*) в зоне *WP*.

В качестве модели может быть использована любая предобученная модель сверточной нейронной сети, либо модель, разработанная вручную. Предобученную модель необходимо дообучить с использованием методик обучения нейронных сетей на распознавание объектов, на которые она не была обучена заранее. Этот этап обеспечивает автоматизацию процесса контроля.

На девятом этапе система контроля осуществляет фиксацию следующих данных:

- последовательность прохождения путевых точек (*WP*);
- продолжительность нахождения объекта в зоне *WP*;
- факт выполнения операции по снятию/установке объекта (*Obj*∈*Sp*).

Эти данные используются для анализа выполнения технологического процесса.

На заключительном этапе определяются пороговые значения (*Thresh*), превышение которых будет считаться нарушением в реализации технологического процесса (*F*). Проводится сравнение фактически реализуемого процесса с

пороговыми и нормативными значениями. По результатам анализа делается вывод о наличии нарушений.

Методика представляет собой комплексный подход к внедрению системы контроля технологического процесса. Она позволяет:

1. оценить интенсивность работ и выбрать объект контроля;
2. определить параметры системы контроля, маршруты исполнителей и границы зон реализации;
3. автоматизировать процесс контроля с использованием моделей детектирования и алгоритмов распознавания;
4. выявить нарушения в технологическом процессе на основе пороговых значений.

4.2. Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей

Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей выполнена в виде программного продукта. Программный продукт реализован как web-приложение, которое в рамках клиент-серверной архитектуры способно обрабатывать запросы удаленных пользователей, сохранять информацию в базе данных и работать с ней с помощью блока моделей, являющегося частью приложения. Приложение было разработано на языке программирования Python с помощью фреймворка для создания интернет-приложений Django. Проект имеет стандартную для выбранного фреймворка структуру файлов и модулей.

В структуру программы входит директория с системными файлами приложения, шаблоны для отображения информации на страницах браузера, файл базы данных, а также программная реализация логической модели работы приложения (так называемый backend). Программа предназначена для определения целевых параметров работы станции технического обслуживания при заданном пользователем условии. Она позволяет определить, при каких исходных значениях факторов можно достичь определенных технико-экономических показателей работы предприятия, например, дохода или прибыли. Подробно принципы работы приложения и заложенные в его основу теоретические модели рассмотрены в соответствующем разделе диссертации.

Текущая версия приложения запускается в интернет-браузере на локальном компьютере по адресу localhost (127.0.0.1).

Главное окно приложения имеет строку меню, расположенную слева от основной рабочей области. Здесь расположены четыре основных вкладки: «Главная», «Данные», «Результаты» и «Справка». При нажатии на последнюю

вкладку открывается справочная информация по работе программы, которая может быть полезна пользователю для понимания основ ее проектирования. Окно с выводом справочной информации по программе представлено на рисунке 4.19.

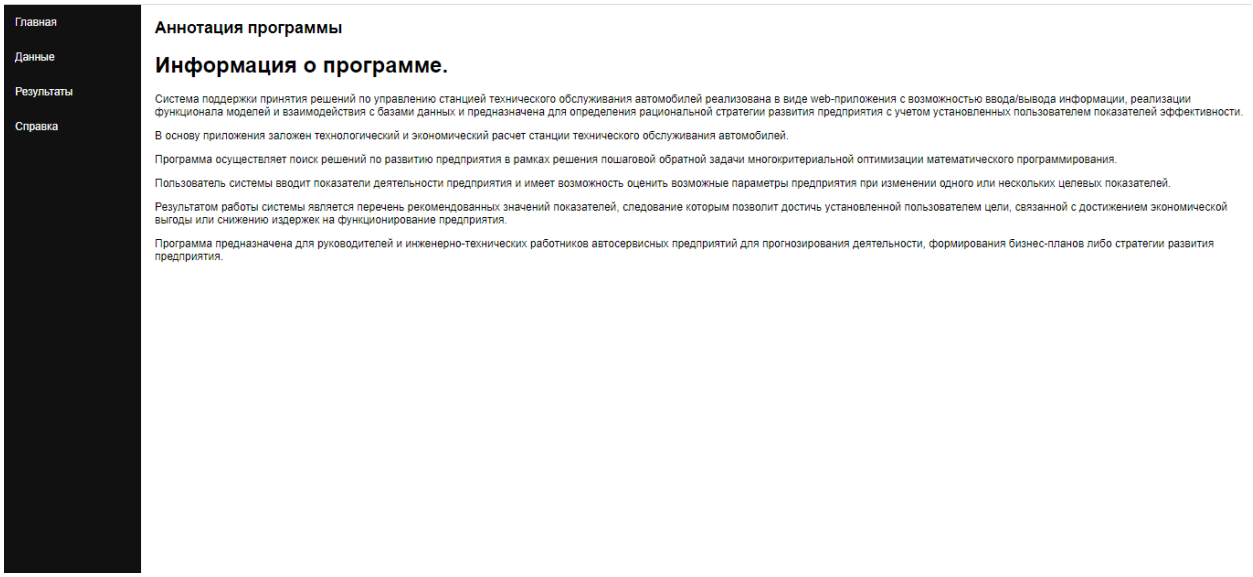


Рисунок 4.19 – Справка по программе

При запуске программы пользователь сразу попадает на вкладку «Главная». Здесь в текущей версии программы размещен один модуль: система поддержки ПР (принятия решений), запускаемый при нажатии на красную кнопку. В дальнейшем здесь будут размещены остальные модули программы, такие как имитационная модель, система контроля текущего состояния сервисной зоны, система прогнозирования показателей, база данных и аналитическая информация о работе предприятия и т.п. Модули программы соответствуют перечню задач управления технической службой предприятий автомобильного транспорта, которые рассмотрены в разделах диссертации. Главное окно программы представлено на рисунке 4.20.

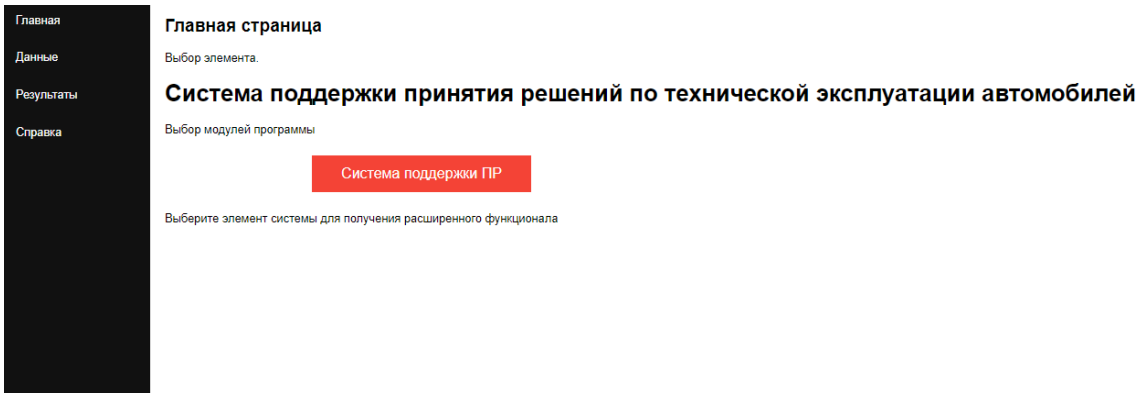


Рисунок 4.20 – Главная страница приложения

При нажатии на кнопку «Система поддержки ПР» пользователь переходит в соответствующий названию модуль. Здесь расположено окно ввода исходных показателей работы предприятия. Это те показатели, которые отражают работу предприятия на текущий момент. Все показатели можно разделить на две группы: технико-эксплуатационные показатели деятельности предприятия (количество обслуживаемых на предприятии автомобилей, количество автомобиле-заездов одного автомобиля в течение года, среднегодовой пробег одного автомобиля, количество дней работы предприятия в году, число смен, продолжительность смены, стоимость нормо-часа для клиента). Эти показатели относятся к стандартным исходным показателям для проведения технологического расчета станции технического обслуживания автомобилей. Вторая группа показателей относится к экономическим показателям работы предприятия. К ним относятся доходы, налоги, прибыль, безубыточный объем реализации услуг, рентабельность, срок окупаемости капитальных вложений. Эти показатели вводятся пользователем вручную или могут быть перенесены из сводных таблиц или других информационных систем. Здесь же пользователь может очистить базу данных модели, однако эта опция доступна только в режиме разработчика. Внешний вид окна ввода исходных данных представлен на рисунке 4.21.

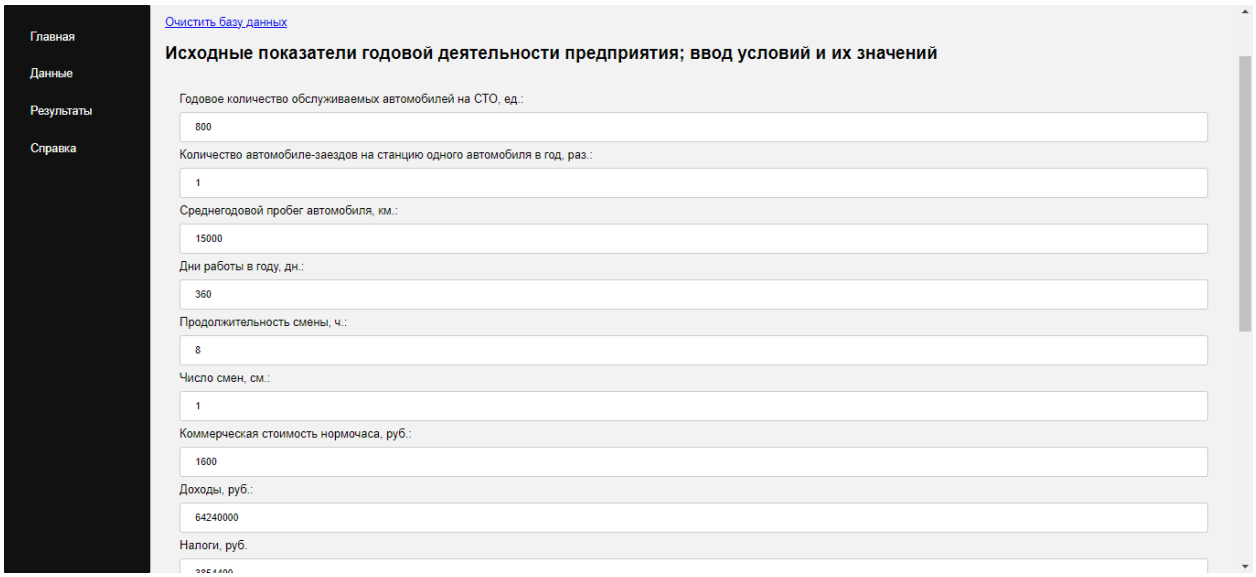


Рисунок 4.21 – Ввод исходных значений показателей работы предприятия и целевых значений

Помимо исходных данных пользователь может ввести целевые показатели деятельности предприятия, которые он планирует достичь. На демонстрацию способов достижения этих показателей и направлена работы системы поддержки принятия управленческих решений. Он может выбрать один или несколько целевых показателей и ввести их значения через запятую в окне ниже. После

нажатия на кнопку «Simulate» система выдаст те варианты достижения заданных целевых показателей, которые соответствуют условию. Вид окна выбора целевых показателей представлен на рисунке 4.22.

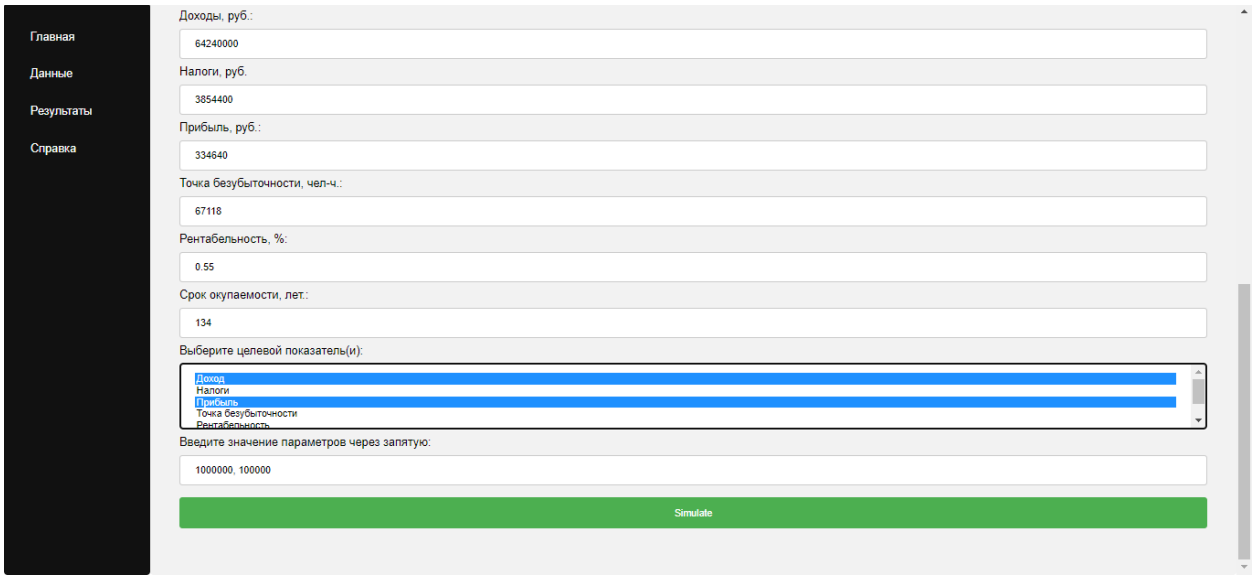


Рисунок 4.22 – Выбор целевых показателей эффективности, в рамках которых будет произведен выбор вариантов принятия решений

Имитационная модель моделирует общий перечень возможных сочетаний исходных вариантов и производит имитацию деятельности предприятия. В качестве периода моделирования по умолчанию указан один календарный год. В результате моделирования все варианты сохраняются в базу данных. В рамках стандартной модели django база данных реализована с помощью SQlite, однако в готовом варианте программы можно использовать любой удобный пользователю тип базы данных. Данные сохраняются в ячейках базы данных, реализованной в виде таблицы. Внешний вид базы данных, открытой для демонстрации с помощью программы SQliteStudio представлен на рисунке 4.23.

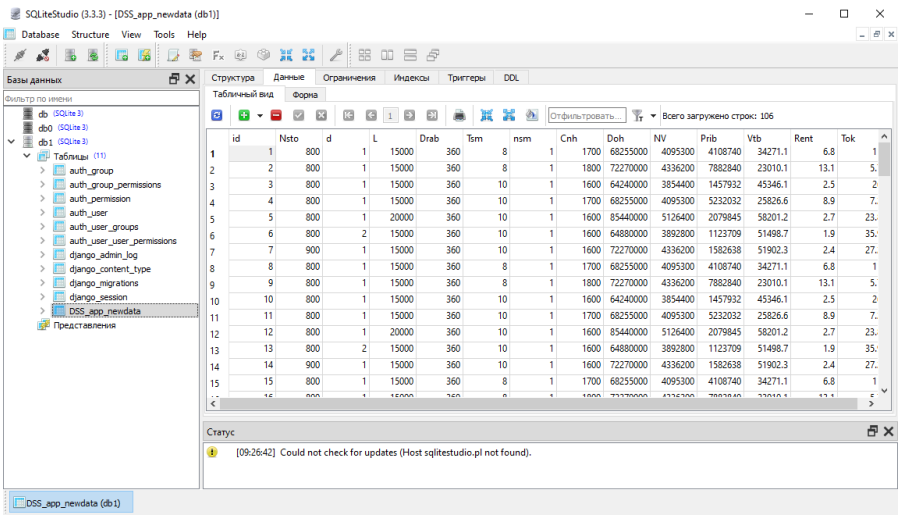


Рисунок 4.23 – Вид базы данных приложения в программе SQLiteStudio

В окне вывода результатов моделирования пользователю предлагается ознакомиться с общим количеством вариантов для принятия решений. Также здесь представлены исходные данные, в рамках которых производилось моделирование. Кроме того, с помощью встроенной оптимизационной модели система позволяет производить отбор из конечного перечня вариантов, удовлетворяющих условию пользователя, только перечень самых рациональных. Для этого используется правило Парето. На рисунке 4.24 представлен вид окна вывода результатов моделирования.

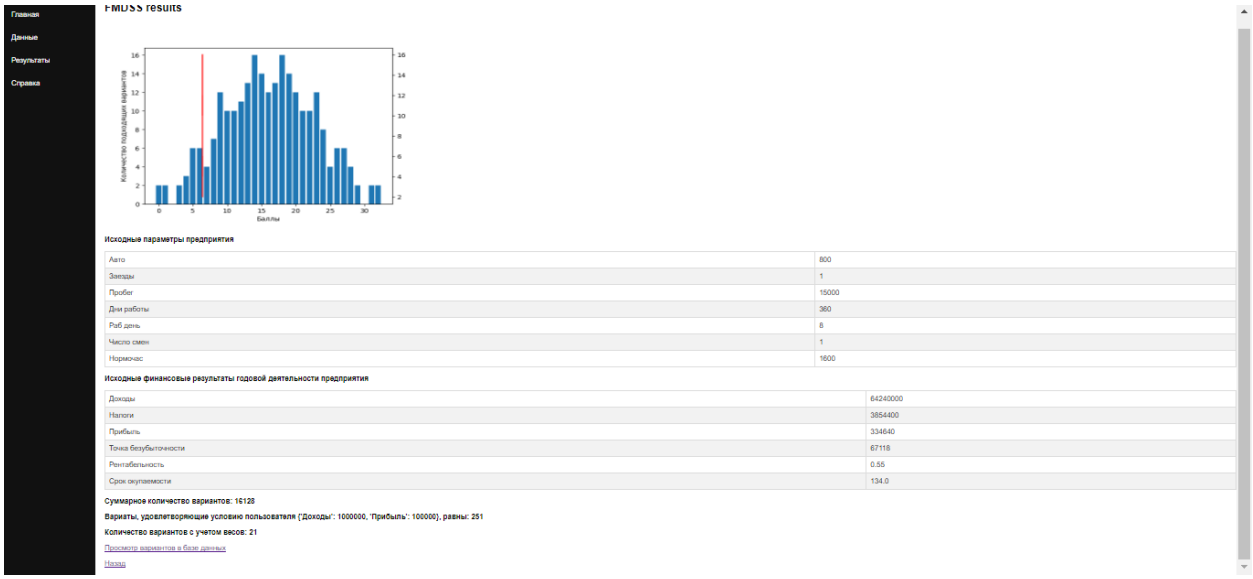
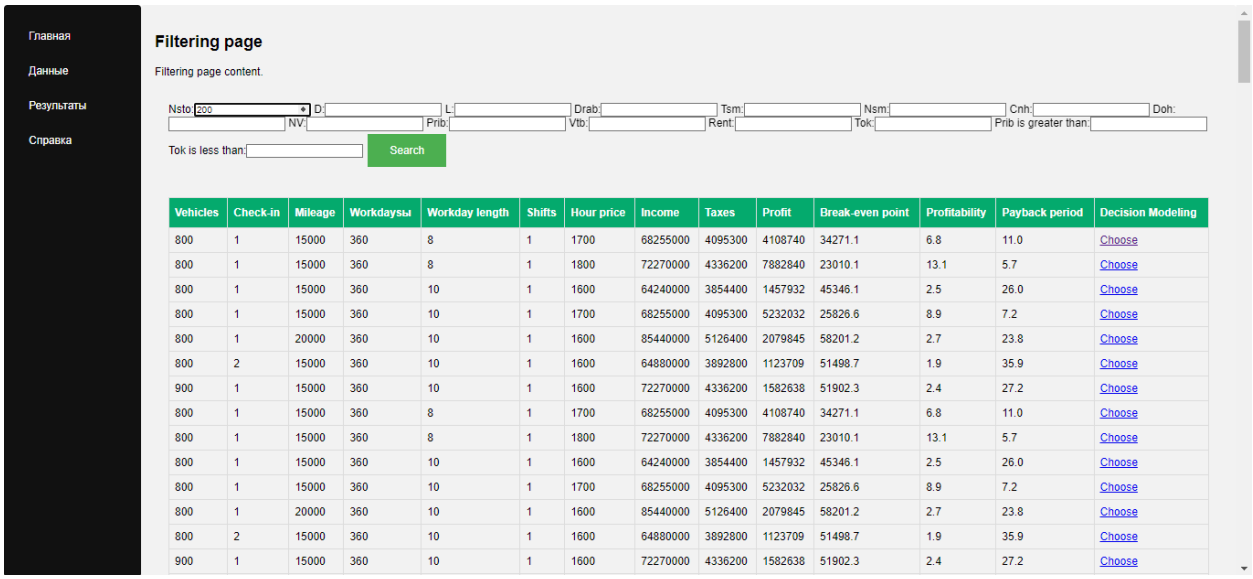


Рисунок 4.24 – Результаты моделирования вариантов, удовлетворяющих условию пользователя

На гистограмме представлен перечень вариантов и суммарный балл по каждому из них. Красной вертикальной линией отсекаются неэффективные варианты, имеющие высокий балл реализации управленческого решения. Эти варианты не предлагаются к рассмотрению пользователя, однако он может ознакомиться с ними позднее. Слева от красной линии остаются те несколько вариантов, которые позволяют достичь заданного условия с минимальными затратами времени и ресурсов. Принцип распределения баллов по вариантам и правила оценки эффективности вариантов рассмотрены ранее в третьем разделе.

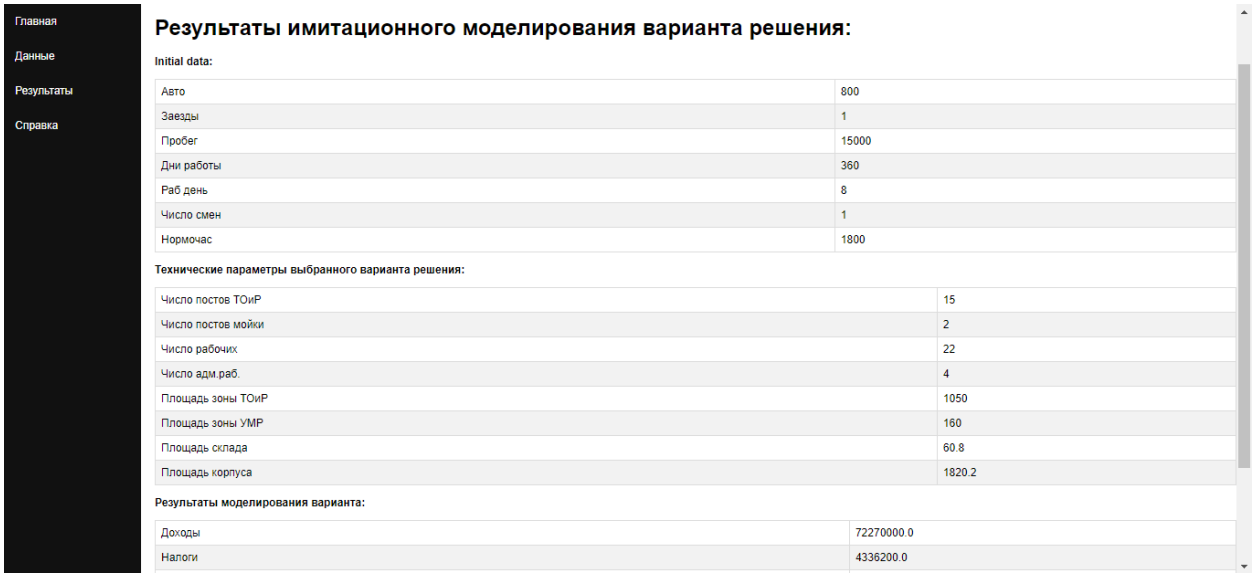
Пользователь имеет возможность ознакомиться с итоговым перечнем вариантов, которые предложила система. Кроме того, приложение позволяет осуществлять фильтрацию (отбор) вариантов по значениям всех параметров. Также можно изучить конкретные технические показатели моделирования каждого варианта при нажатии на вкладку «Choose» справа от численных значений вариантов управленческих решений. Внешний вид окна просмотра итогового перечня вариантов представлен на рисунке 4.25.



Vehicles	Check-in	Mileage	Workdayssы	Workday length	Shifts	Hour price	Income	Taxes	Profit	Break-even point	Profitability	Payback period	Decision Modeling
800	1	15000	360	8	1	1700	68255000	4095300	4108740	34271.1	6.8	11.0	Choose
800	1	15000	360	8	1	1800	72270000	4336200	7882840	23010.1	13.1	5.7	Choose
800	1	15000	360	10	1	1600	64240000	3854400	1457932	45346.1	2.5	26.0	Choose
800	1	15000	360	10	1	1700	68255000	4095300	5232032	25826.6	8.9	7.2	Choose
800	1	20000	360	10	1	1600	85440000	5126400	2079845	58201.2	2.7	23.8	Choose
800	2	15000	360	10	1	1600	64880000	3892800	1123709	51498.7	1.9	35.9	Choose
900	1	15000	360	10	1	1600	72270000	4336200	1582638	51902.3	2.4	27.2	Choose
800	1	15000	360	8	1	1700	68255000	4095300	4108740	34271.1	6.8	11.0	Choose
800	1	15000	360	8	1	1800	72270000	4336200	7882840	23010.1	13.1	5.7	Choose
800	1	15000	360	10	1	1600	64240000	3854400	1457932	45346.1	2.5	26.0	Choose
800	1	15000	360	10	1	1700	68255000	4095300	5232032	25826.6	8.9	7.2	Choose
800	1	20000	360	10	1	1600	85440000	5126400	2079845	58201.2	2.7	23.8	Choose
800	2	15000	360	10	1	1600	64880000	3892800	1123709	51498.7	1.9	35.9	Choose
900	1	15000	360	10	1	1600	72270000	4336200	1582638	51902.3	2.4	27.2	Choose

Рисунок 4.25 – Просмотр и фильтрация значений параметров каждого из предложенных системой вариантов

Пользователь уже может руководствоваться перечнем значений представленного на рисунке списка вариантов как целевым для изменения стратегии и тактики работы своей станции технического обслуживания. При необходимости можно изучить конкретные технические аспекты работы предприятия, предполагаемые выбранным вариантом. Эти параметры представлены в центральной части окна просмотра детальных параметров варианта, показанного на рисунке 4.26.



Авто	800
Заезды	1
Пробег	15000
Дни работы	360
Раб день	8
Число смен	1
Нормочас	1800

Технические параметры выбранного варианта решения:

Число постов ТОиР	15
Число постов мойки	2
Число рабочих	22
Число адм.раб.	4
Площадь зоны ТОиР	1050
Площадь зоны УМР	160
Площадь склада	60.8
Площадь корпуса	1820.2

Результаты моделирования варианта:

Доходы	72270000.0
Налоги	4336200.0

Рисунок 4.26 – Просмотр детальных параметров выбранного варианта управленческого решения

Таким образом, разработанное приложение позволяет реализовать функционал системы поддержки принятия управленческих решений через задаваемые пользователем целевые параметры работы предприятия, которых он желает достичь. Также указывается перечень начальных (текущих) значений показателей работы предприятия, в рамках которых имитационная модель будет осуществлять моделирование работы предприятия на прогнозный период. По результатам работы модели пользователь получает не весь список вариантов, удовлетворяющих заданному условию, а перечень уже отобранных моделью вариантов на основе встроенной системы взвешивания вариантов и оценки их эффективности. Итоговый перечень из 5-15 вариантов анализируется пользователем самостоятельно, а показатели этих вариантов могут использоваться им в качестве целевых для планирования деятельности своего предприятия в рамках достижения поставленной цели.

Реализация методики прогнозирования технико-экономических параметров предприятий автомобильного транспорта с использованием генетических алгоритмов подробно рассмотрена в работе [62].

4.3. Программа по оценке эффективности функционирования производственной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей

Начальное окно программы представлено на рисунке 4.27.

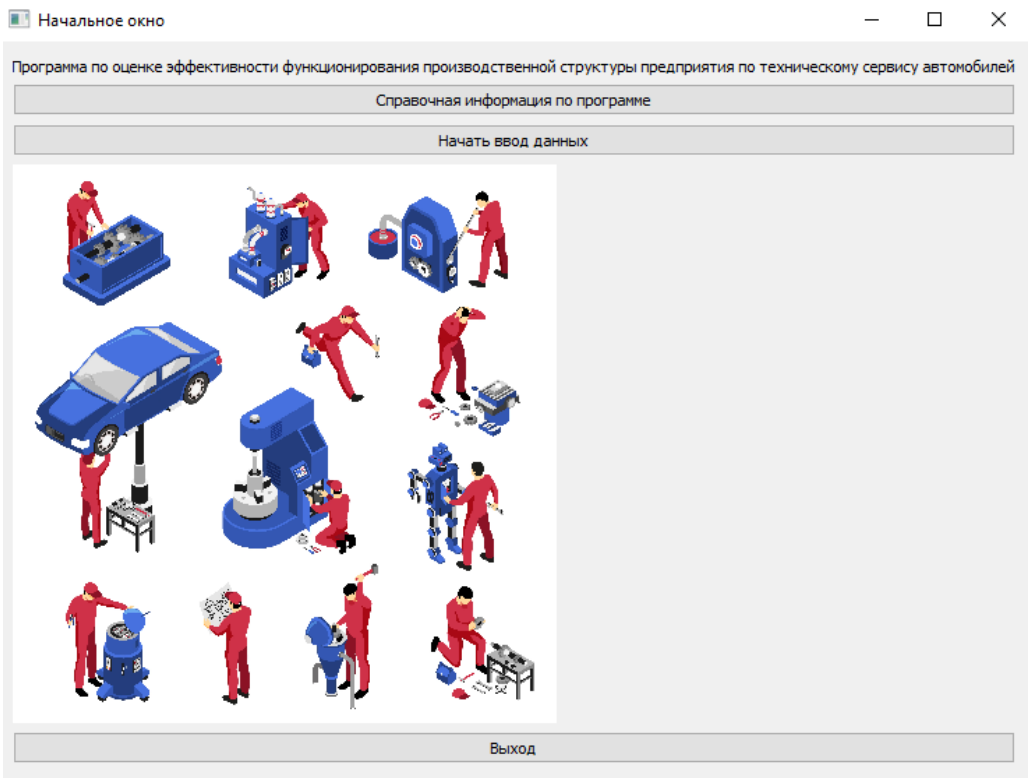


Рисунок 4.27 – Начальное окно программы

Программа позволяет осуществить имитационное моделирование работы предприятия по техническому сервису автомобилей с заданной производственной структурой. Предприятие рассматривается как система массового обслуживания с определенным типом, количеством технологических звеньев и заданной трудоемкостью обработки входящего потока требований на техническое обслуживание и ремонт. Пользователь задает вариант производственной структуры и технологические маршруты обслуживания заявок. Технологический маршрут заявки – вид и последовательность технологических операций, входящих в услугу (основную бизнес-функцию). Также пользователь указывает типы работ для входящего потока заявок и их процентное соотношение в общем объеме входящего потока требований. В результате программа выдает показатели эффективности работы системы, а также графическую модель процесса прохождения заявки через систему с использованием BPMN-нотации. Практическая значимость программы заключается в возможности оценки показателей эффективности работы предприятия с заданным вариантом производственной структуры, что позволяет выбрать оптимальную структуру для входящего потока требований с определенными параметрами.

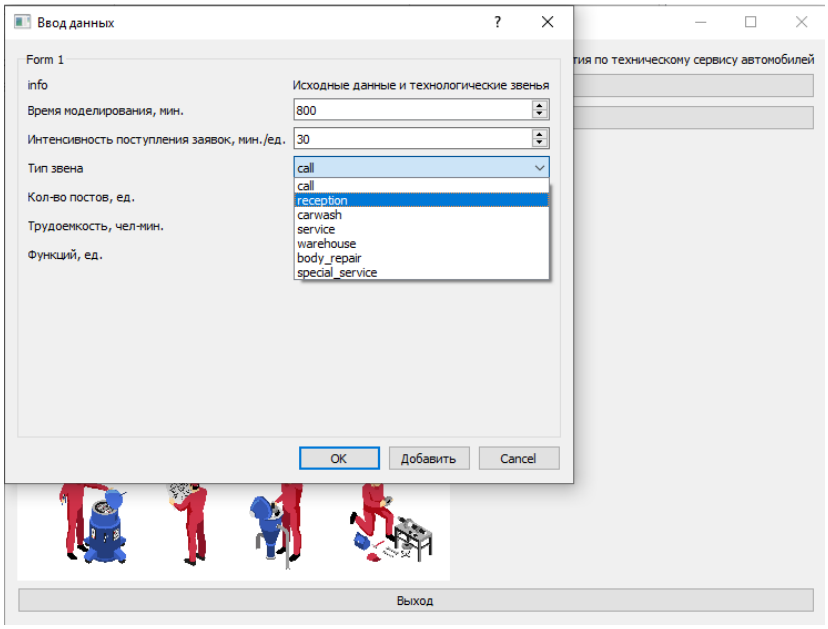


Рисунок 4.28 – Окно ввода исходных данных. Определение параметров технологического звена и его добавление в модель

Ввод данных.

1. Время моделирования. Указывается срок моделирования в минутах. Максимальное значение: 1000 мин.

2. Интенсивность поступления заявок. Указывается интенсивность поступления автомобилей в зону ТО и Р, мин./ед. Например, значение 15 означает, что каждые 15 минут генерируется новый автомобиль.

3. Тип звена (рисунок 4.28). Указываются типы постов (технологических звеньев), осуществляющих работы по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) автомобилей на предприятии. Например, универсальный пост по ТО и Р, пост для шиномонтажных работ и т.п.

Варианты технологических звеньев:

- call – колл-центр, технологическое звено;
- reception – мастер-приемщик, технологическое звено;
- service – универсальный пост по ТО и Р, технологическое звено;
- carwash – пост уборочно-моечных работ, технологическое звено;
- warehouse – склад по заказу, хранению и выдаче запасных частей и расходных материалов, технологическое звено;
- special_service – пост по выполнению специализированных ремонтных работ, в том числе со снятыми агрегатами, технологическое звено;
- body_repair – пост по выполнению специализированных ремонтных работ по ремонту элементов кузова, технологическое звено.

4. Количество постов. Указывается количество постов, принадлежащих к одному типу.

5. Трудоемкость. Указывается средняя трудоемкость выполнения работ на постах одного типа.

6. Функции. Указывается количество производственных функций, выполняемых технологическим звеном в рамках основного бизнес-процесса предприятия. Например, мастер-приемщик реализует 7 функций: прием клиента и консультирование; оформление и оплата; определение поста и исполнителя; определение расходных материалов и запасных частей; определение стоимости работ; определение объема работ; перегон автомобиля.

Здесь и далее: после ввода параметров технологического звена одного типа необходимо нажать на кнопку «Добавить» для добавления введенных данных в программу. После добавления всех данных следует нажать на кнопку «ОК» для перехода к следующему окну.

7. Добавление технологических маршрутов (рисунок 4.29). Указывается технологический маршрут обработки входящей заявки. Форма записи: 121, где цифрой указывается тип технологического звена (из введенных ранее), порядок указания цифр соответствует технологической последовательности движения заявки в системе.

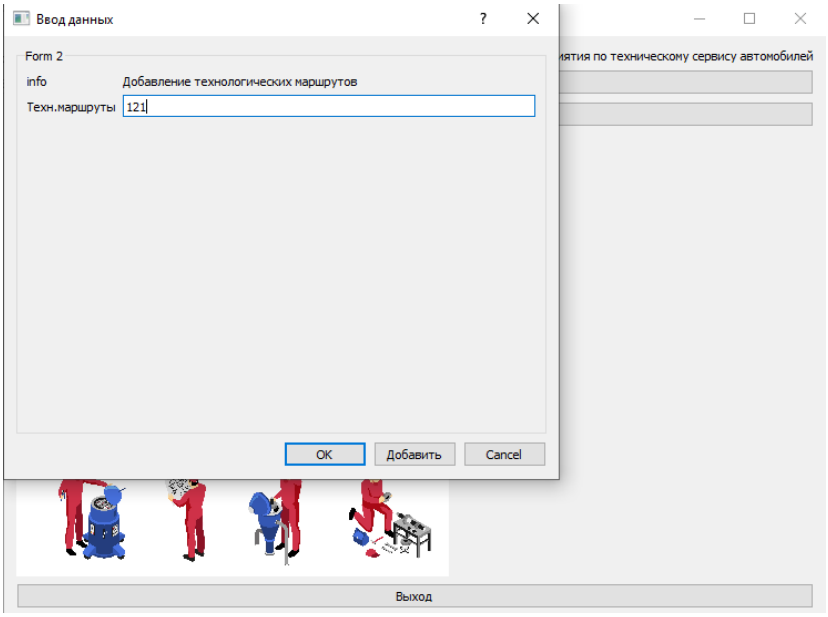


Рисунок 4.29 – Окно ввода исходных данных. Добавление технологических маршрутов в модель

Добавление видов работ и вероятностей.

8. Вероятность. Указывается процентное соотношение заявок данного типа в общем объеме поступающих заявок. В сумме все типы заявок должны составлять 100%. Типы заявок могут не соответствовать имеющимся типам технологических звеньев. В этом случае заявка будет обслуживаться на универсальном посту «service», но с трудоемкостью для указанного типа работ. Формат ввода: 0 – 100.

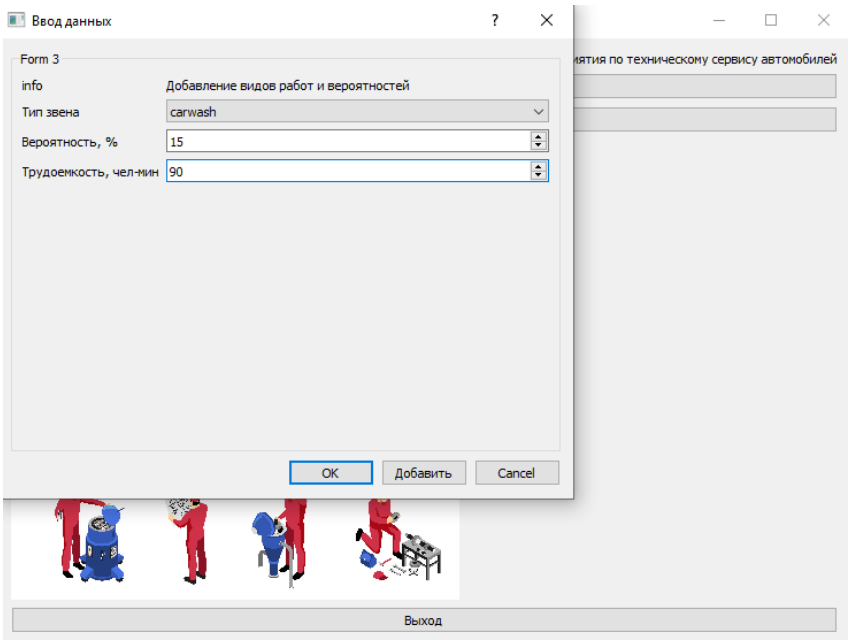


Рисунок 4.30 – Окно ввода исходных данных. Добавление фактических типов технологических звеньев и вероятности попадания заявки на технологического звено

9. Трудоёмкость. Указывается трудоёмкость обслуживания заявки заданного типа.

После нажатия на кнопку «Результаты» при условии корректного ввода исходных значений программа выведет результат моделирования работы предприятия и схему реализации бизнес-процесса (рисунок 4.31). При некорректном вводе программа выведет окно об ошибке ввода. Следует ввести значения заново после перезапуска программы.

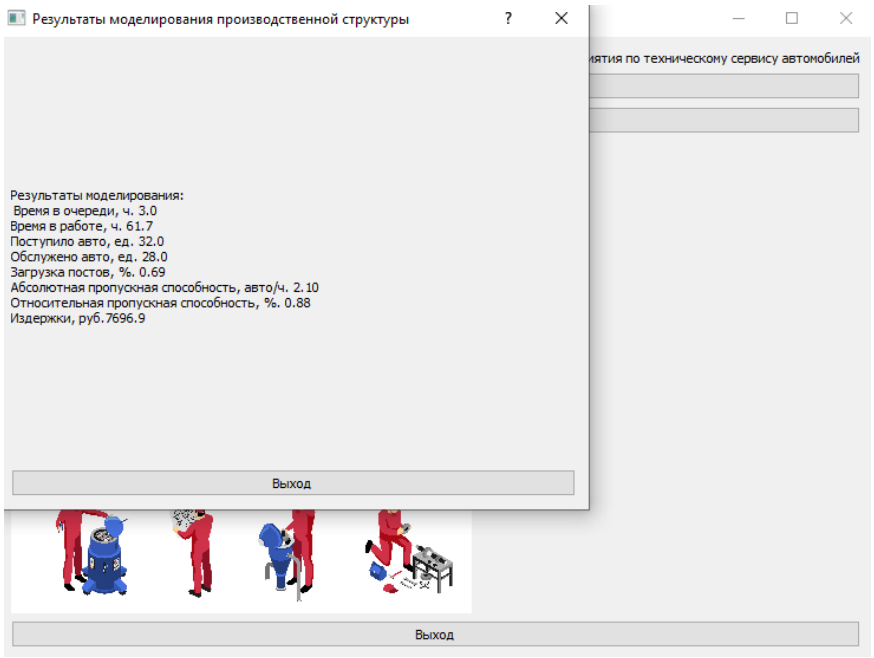


Рисунок 4.31 – Окно вывода результатов моделирования. Производительность системы и издержки ее функционирования

4.4. Программа по определению и оценке эффективности организационной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей

Начальное окно программы представлено на рисунке 4.32. Программа позволяет осуществить подбор и оценку экономической эффективности нижнего иерархического звена организационной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей для заданного варианта производственной структуры. Производственная структура является первичной по отношению к организационной и представляет собой последовательность технологических звеньев, через которые проходит автомобиль при техническом обслуживании и ремонте.

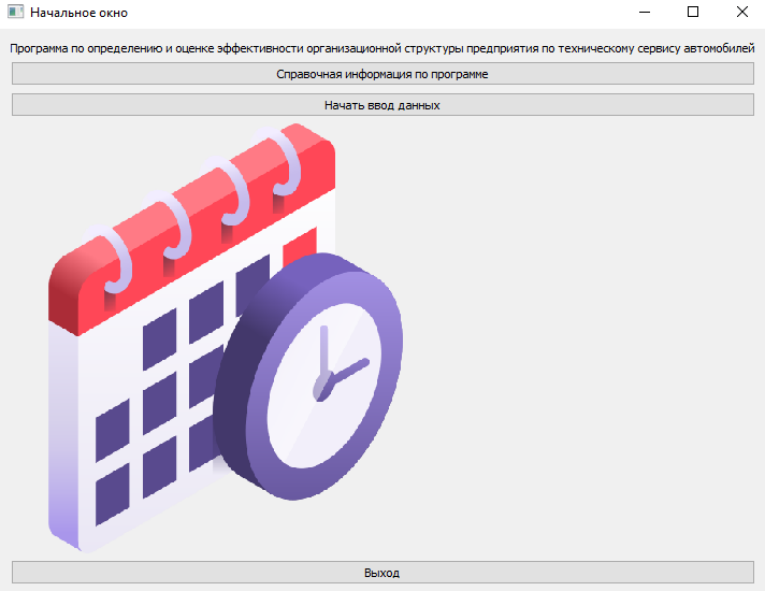


Рисунок 4.32 – Начальное окно программы

Пользователь задает вариант производственной структуры предприятия автомобильного сервиса: количество постов (технологических звеньев) различного типа по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, трудоемкость работ на этих постах, а также количество функций, выполняемых исполнителями и контролируемых административными работниками. Кроме того, пользователь указывает экономические параметры работы структуры управления производственным процессом: зарплату специалистов по управлению (менеджеров), возможную стоимость потери клиента (или убытков предприятия) вследствие возникновения ошибок в реализации производственного процесса, возникших в результате перегруженности управляющих звеньев, коэффициент, отражающий уровень квалификации менеджеров, вероятность совершения ошибки и годовую производственную программу по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей. В результате программа выдает результат подбора оптимальной по критерию минимизации суммарных затрат структуры управления технологическими звеньями, значение затрат на структуру управления, а также параметры, которыми эта структура характеризуется. Практическая значимость программы заключается в возможности выбора для заданной производственной программы оптимальной организационной структуры, которая будет управлять производственными процессами предприятия с минимальными затратами и обеспечивать минимальную вероятность возникновения ошибок управления вследствие рационального распределения функций между менеджерами.

Ввод данных.

1. Зарплата менеджера, руб. Указывается среднемесячная фактическая заработная плата административного работника (мастера, технолога, главного

механика и т.п.), выполняющего задачи по контролю и организации производственного процесса.

2. Стоимость потери клиента, руб. Указывается годовая величина недополученной предприятием прибыли вследствие потери лояльности одного клиента или увеличения срока простоя одного автомобиля в техническом обслуживании и ремонте.

3. Квалификация менеджера. Коэффициент, учитывающей снижение затрат на управление вследствие высокой квалификации управляющего персонала. Для менеджеров высокой квалификации параметр равен 1. Увеличение параметра говорит о снижении квалификации управляющих звеньев.

4. Вероятность потери клиента, %. Указывается вероятность потери клиента вследствие снижения эффективности контроля. Форма ввода: 1 – 100%.

5. Годовая производственная программа, ед. Указывается годовое автомобилей, по которым предприятия выполняет работы по техническому обслуживанию и ремонту.

6. Тип звена. Указываются типы постов (технологических звеньев), осуществляющих работы по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) автомобилей на предприятии. Например, универсальный пост по ТО и Р, пост для шиномонтажных работ и т.п.

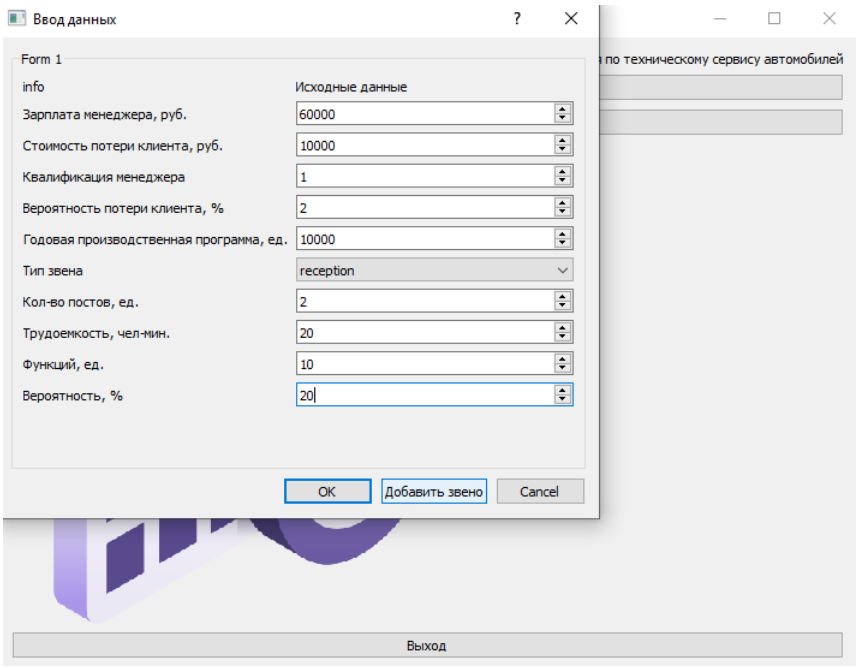


Рисунок 4.33 – Окно ввода исходных данных. Добавление технологических звеньев

Варианты технологических звеньев (рисунок 4.33):

- call – колл-центр, технологическое звено;
- reception – мастер-приемщик, технологическое звено;
- service – универсальный пост по ТО и Р, технологическое звено;
- carwash – пост уборочно-моечных работ, технологическое звено;

- warehouse – склад по заказу, хранению и выдаче запасных частей и расходных материалов, технологическое звено;
- special_service – пост по выполнению специализированных ремонтных работ, в том числе со снятыми агрегатами, технологическое звено;
- body_repair – пост по выполнению специализированных ремонтных работ по ремонту элементов кузова, технологическое звено.

7. Количество постов. Указывается количество постов, принадлежащих к одному типу.

8. Трудоемкость, чел.мин. Указывается средняя трудоемкость выполнения работ на постах одного типа.

9. Функции. Указывается количество производственных функций, выполняемых технологическим звеном в рамках основного бизнес-процесса предприятия. Например, мастер-приемщик реализует 7 функций: прием клиента и консультирование; оформление и оплата; определение поста и исполнителя; определение расходных материалов и запасных частей; определение стоимости работ; определение объема работ; перегон автомобиля.

10. Вероятность, %. Указывается процентное соотношение работ данного типа в общем объеме поступающих заявок. В сумме все типы заявок могут не составлять 100%. Например, каждый автомобиль попадает в зону ТО и Р через мойку. Тогда вероятность звена «carwash» будет равна 100% так же, как и звена «service». Формат ввода: 0 – 100.

Здесь и далее: после ввода параметров технологического звена одного типа необходимо нажать на кнопку «Добавить» для добавления введенных данных в программу. После добавления всех данных следует нажать на кнопку «ОК» для перехода к следующему окну.

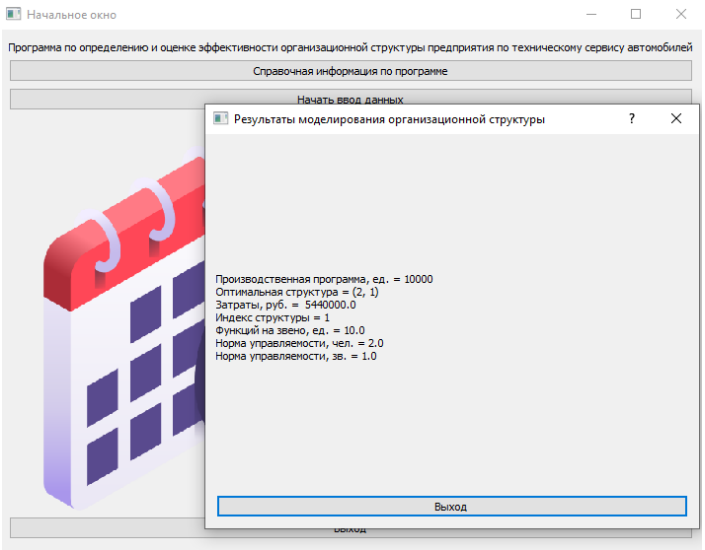


Рисунок 4.34 – Окно вывода результатов определения организационной структуры предприятия

После нажатия на кнопку «Результаты» при условии корректного ввода исходных значений программа выведет результат определения оптимальной организационной структуры управления производственным процессом. При некорректном вводе программа выведет окно об ошибке ввода. Следует ввести значения заново после перезапуска программы.

Вывод результатов (рисунок 4.34).

Программа выводит результат подбора оптимальной организационной структуры в формате (1, 2, 3), где значение – порядковый номер менеджера, а индекс этого значения – порядковый номер контролируемого этим менеджером технологического звена. То есть для представленного примера организационная структура включает трех менеджеров, первый контролирует первое технологическое звено, второй – второе, а третий – третье.

Затраты - суммарные затраты на организационную структуру, включающие затраты на работу узлов контроля и затраты на содержание узлов контроля.

Норма управляемости – количество исполнителей или технологических звеньев разного типа на одно административное звено.

4.5. Программа по оценке эффективности системы контроля производственных процессов предприятия по техническому сервису автомобилей

Начальное окно программы представлено на рисунке 4.35.

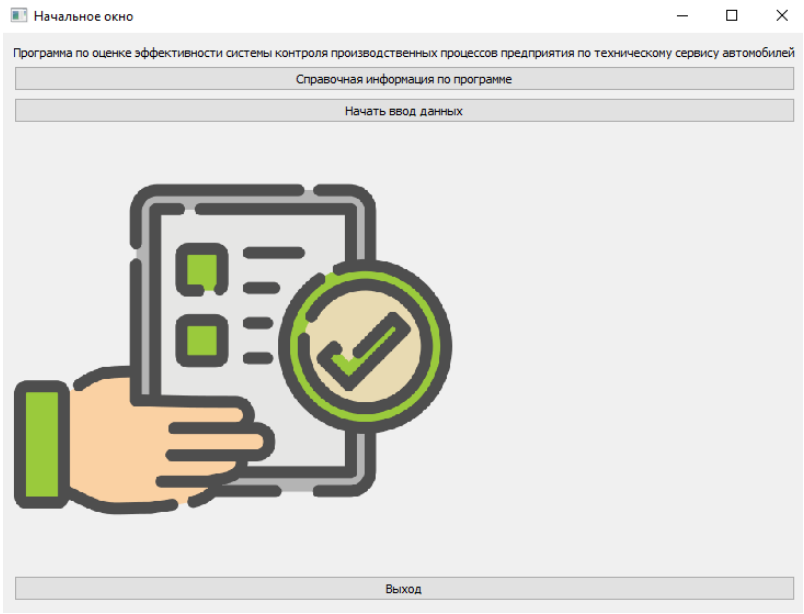


Рисунок 4.35 – Начальное окно программы

Программа позволяет оценить эффективность системы контроля производственных процессов предприятия по техническому сервису автомобилей.

Объектом оценки является производственный процесс по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, состоящий из поста приемки автомобиля и универсального поста технического сервиса. Система контроля определяется количеством точек контроля, величиной реализации управляющего воздействия, его задержкой по времени, квалификацией менеджеров, а также финансовыми потерями предприятия от формирования очереди и потери клиента из-за неэффективной системы контроля. Программа выдает результат моделирования работы предприятия с установленными параметрами системы контроля, а также значения потерь от ее неэффективной работы. Практическая значимость программы заключается в возможности выбора для заданной производственной структуры оптимальной системы контроля.

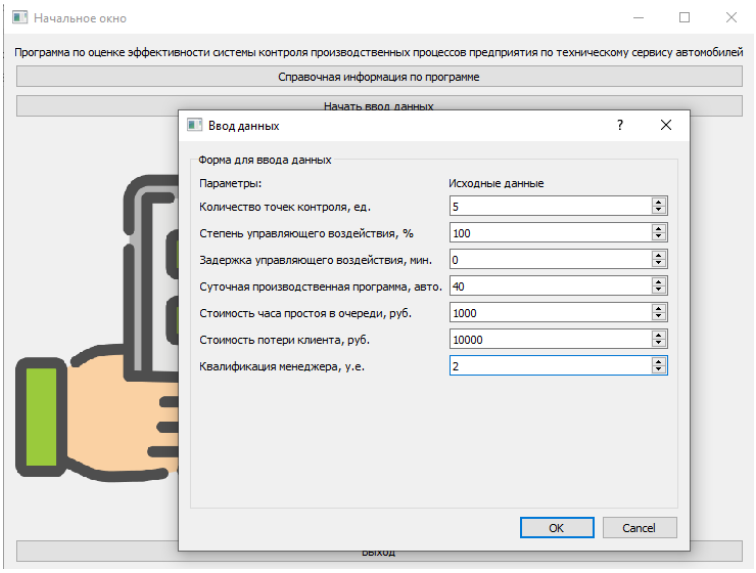


Рисунок 4.36 – Окно ввода исходных данных

Ввод данных (рисунок 4.36).

1. Количество точек контроля, ед. Указывается количество раз в течение рабочей смены, когда менеджер будет контролировать ход производственного процесса и, в случае несоответствия контролируемого показателя нормативам, корректировать его силой своего управляющего воздействия. Формат ввода: 1-6 ед.

2. Степень управляющего воздействия, %. Указывается величина степени управляющего воздействия (УВ) от 0 до 100%, которая может быть охарактеризована как степени возврата фактического значения управляемого параметра к его нормативному значению. Величина УВ, равная 100%, соответствует полному возврату к начальному значению параметра.

3. Задержка управляющего воздействия, мин. Величина показывает, на сколько будет отложено управляющее воздействие от точки контроля. Формат ввода: 1 – 360 мин.

4. Суточная производственная программа, авто. Указывается суточное количество автомобилей, по которым предприятия выполняет работы по техническому обслуживанию и ремонту. Формат ввода: 0 – 100.

5. Стоимость часа простоя в очереди, руб. Указываются величина потерь предприятия от простоя автомобилей клиентов в очереди на техническое обслуживание и ремонт.

6. Стоимость потери клиента, руб. Указывается годовая стоимость потери одного клиента вследствие ошибок в системе управления производственными процессами предприятия.

7. Квалификация менеджера, у.е. Указывается величина квалификации менеджера в условных единицах. 100 соответствует высшей квалификации, высокой скорости принятия управленческих решений. Формат ввода: 100 – 200.

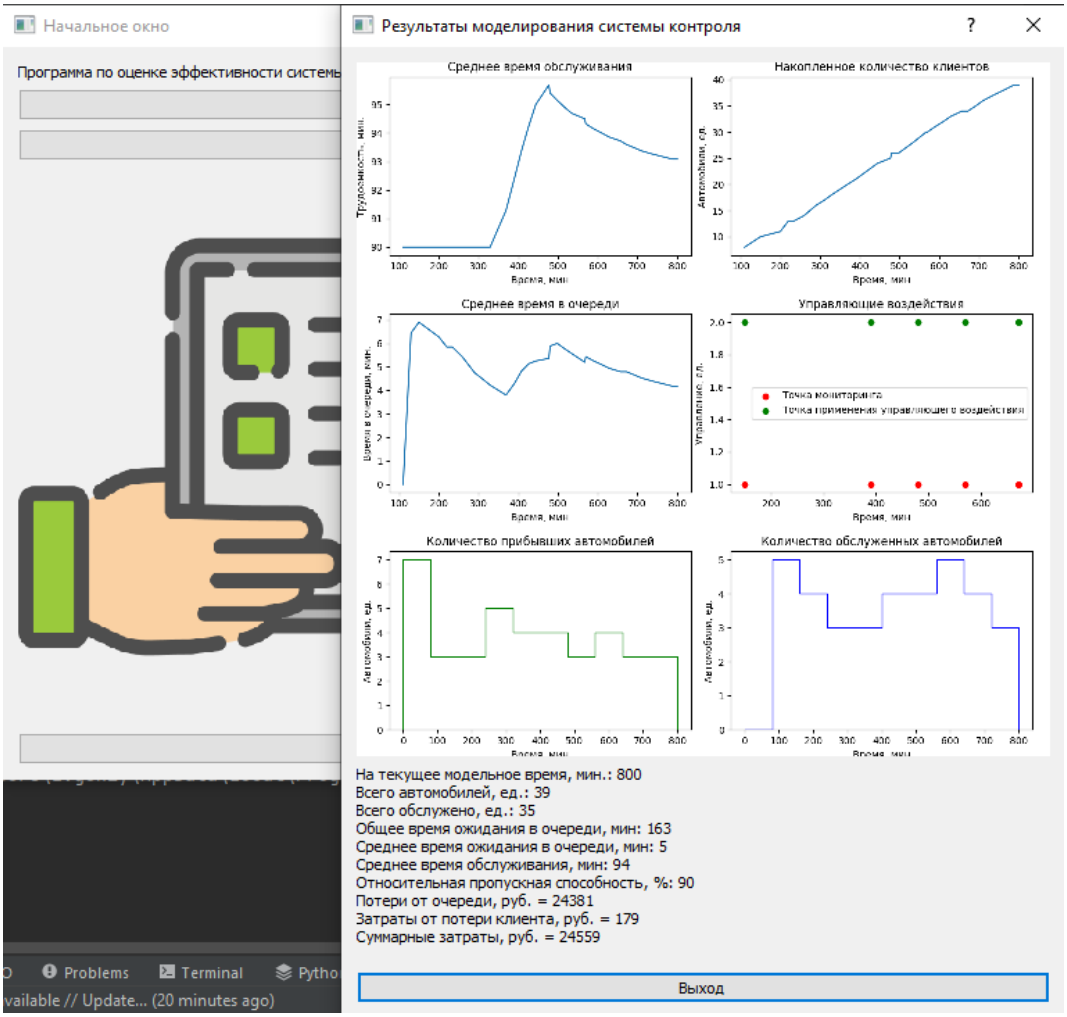


Рисунок 4.37 – Окно вывода результатов определения параметров системы контроля

После добавления всех данных следует нажать на кнопку «ОК» для перехода к окну результатов.

После нажатия на кнопку «Результаты» при условии корректного ввода исходных значений программа выведет результат определения оптимальной системы контроля производственного процесса. При некорректном вводе

программа выведет окно об ошибке ввода. Следует ввести значения заново после перезапуска программы.

Вывод результатов (рисунок 4.37).

Программа выводит результат работы системы контроля. Результаты подразделяются на технико-экономические и финансовые. Также в окне выводятся графики работы предприятия как системы массового обслуживания.

4.6. Программа по оценке эффективности системы стимулирования производственных рабочих предприятия по техническому сервису автомобилей

Начальное окно программы представлено на рисунке 4.38.

Программа позволяет оценить эффективность системы стимулирования производственных рабочих предприятий по техническому сервису автомобилей. Объектом оценки являются четыре модели стимулирования производственного персонала в соответствии с теорией организационных систем: модель С-типа - скачкообразная, L-типа - пропорциональная, К-типа - компенсаторная, D-типа – учитывающая перераспределение дохода. В основе программы лежит имитационная модель работы станции технического сервиса автомобилей Программа выдает результат моделирования работы предприятия с установленными параметрами системы стимулирования, а также затраты предприятия на реализацию каждой из систем за период моделирования.

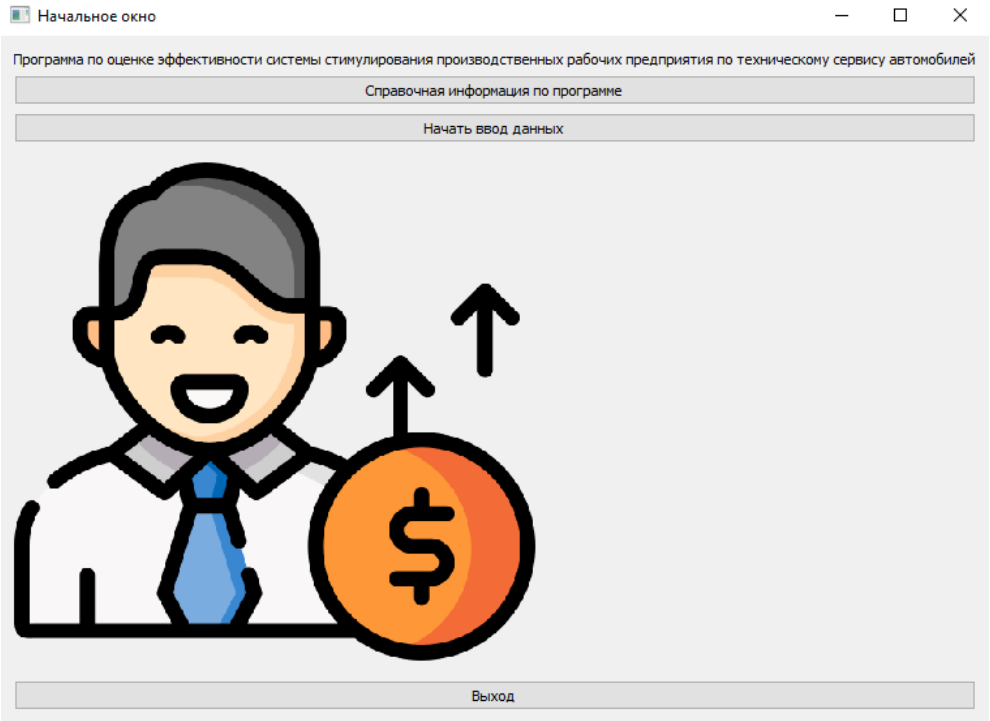


Рисунок 4.38 – Начальное окно программы

Практическая значимость программы заключается в возможности оценки эффективности системы стимулирования для предприятия с заданной производственной программой по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

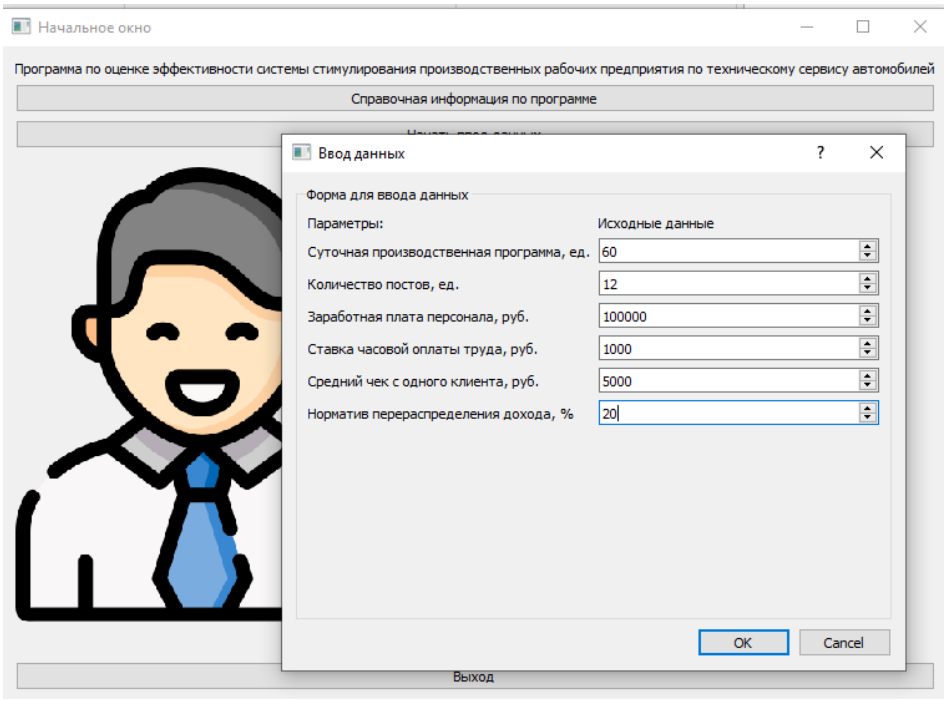


Рисунок 4.39 – Окно ввода исходных данных для определения оптимальной системы стимулирования

Ввод данных (рисунок 4.39).

1. Суточная производственная программа, авто. Указывается суточное количество автомобилей, по которым предприятие выполняет работы по техническому обслуживанию и ремонту. Формат ввода: 0 – 70.
2. Количество постов, ед. Указывается количество постов всех типов по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятии. Формат ввода: 1 – 15.
3. Заработная плата персонала, руб. Указывается среднемесячная заработная плата производственного персонала на предприятии с учетом выплаты налогов и пр. Формат ввода: 0 – 500000 руб.
4. Ставка часовой оплаты труда, руб. Указывается ставка часовой оплаты труда при сдельной системе заработной платы. Величина соответствует получаемой работником суммы при выполнении одного нормо-часа работ. Формат ввода: 0 – 5000.
5. Средний чек с одного клиента, руб. Указывается средняя величина дохода, получаемого с одного клиента за один автомобиле-заезд. Формат ввода: 0 – 50000.

6. Норматив перераспределения дохода, %. Указывается процент перераспределения дохода предприятия на стимулирование производственного персонала. Формат ввода: 0 – 100.

После добавления всех данных следует нажать на кнопку «ОК» для перехода к окну результатов (рисунок 4.40).

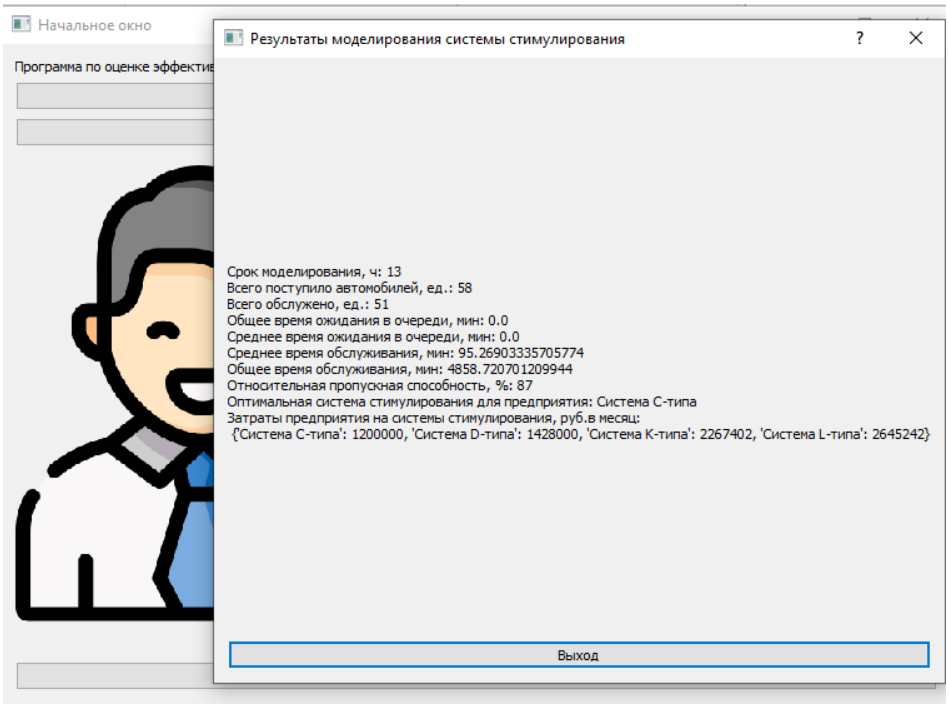


Рисунок 4.40 – Окно вывода результатов моделирования

После нажатия на кнопку «Результаты» при условии корректного ввода исходных значений программа выведет результат определения оптимальной системы стимулирования производственного процесса. При некорректном вводе программа выведет окно об ошибке ввода. Следует ввести значения заново после перезапуска программы.

Вывод результатов программы происходит в отдельном окне.

Программа выводит результат работы предприятия при различных системах стимулирования. Результаты подразделяются на технико-экономические и финансовые. Также в окне выводится наименование оптимальной по критерию минимума затрат со стороны предприятия системы стимулирования.

4.7. Виртуальный тренажер для имитации работы производственного персонала согласно операционно-постовой карты технологического процесса технического обслуживания и ремонта автомобиля

Программа позволяет с использованием средств визуального моделирования в среде Unity создать маршруты движения производственного персонала и визуализировать движение работника между установленными путевыми точками с

заданным временем нахождения объекта в пределах каждой точки. При наличии анимированного персонажа, трехмерной модели автомобиля и запасной части программа дает возможность смоделировать технологический процесс замены запасной части из подкапотного пространства автомобиля на примере масляного фильтра, установив момент времени появления фильтра в руке анимированного персонажа и момент времени его исчезновения. Обученная модель нейронной сети позволяет детектировать объекты, а также продолжительность их нахождения в указанных точках. Программа полезна для формирования набора данных для обучения моделей компьютерного зрения, а также для настройки детекторов в рамках решения задачи контроля производственных процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Структура программных модулей представлена ниже.

ItemAppearing.cs – скрипт для моделирования появления предмета для детектирования в руке анимированного персонажа. Для запуска требуется программа Unity и подготовленные модели персонажа, автомобиля, запасной части (предмета) и окружения (при необходимости)

MoveDelay.cs – скрипт для моделирования перемещения анимированного персонажа через заранее установленные пользователем путевые точки с учетом времени нахождения в каждой из них. Для запуска требуется программа Unity и подготовленные модели персонажа, координаты путевых точек, продолжительности нахождения в каждой из них и окружение (при необходимости)

С помощью программы Unity создается видеозапись движения персонажа, которая сохраняется на диск и затем обрабатывается с помощью последующих скриптов на языке Python.

Service_zone_detection.py – скрипт на языке Python для детектирования факта и продолжительности нахождения анимированного персонажа в каждой путевой точке. Также позволяет отслеживать последовательность прохождения персонажа через установленные путевые точки и сравнивать ее с нормативной. Для запуска требуется обученная на распознавание объектов класса «person» сверточная нейронная сеть YOLO с загруженными весами, размеченные пиксельные координаты путевых точек, последовательность их прохождения и нормативное время нахождения в каждой из них.

Spare_part_detection.py – скрипт на языке Python для детектирования запасной части автомобиля в руке анимированного персонажа. Для запуска требуется обученная на распознавание детектируемой запасной части сверточная нейронная сеть YOLO с загруженными весами.

4.8. Экономическая эффективность результатов исследований

Приведем пример расчета экономической эффективности от использования разработанных методик на практике. Оценка произведена для каждой подсистемы в отдельности. Методика расчета экономической эффективности приведена в работе [41].

При внедрении методики «Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта» ожидается экономический эффект за счет увеличения пропускной способности зон и участков технического сервиса при адаптации организационно-производственной структуры предприятия под значения входящих факторов. При этом уменьшаются издержки, связанные с простоем автомобилей в очереди на обслуживание. Кроме того, увеличивается количество обслуженных автомобилей, что влияет на увеличение прибыли предприятия. Таким образом, производится сравнение результатов работы технической службы до и после применения методики. Следует отметить, что расчетный экономический эффект от использования предложенных методик достигается за счет увеличения пропускной способности системы и снижения издержек, связанных с неэффективной работой системы управления.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Исходные данные для расчета экономического эффекта от внедрения методики формирования организационно-производственной структуры

Наименование показателя	Буквенные обозначения	Показатели		Источники получения показателей	
		базовые	после внедрения методики	базовых	после внедрения методики
Тип предприятия		СТО			
Период расчета		мес.			
Количество технологических звеньев, ед.	x	4	6	исходные данные	расчетные данные
Общее число постов, ед.	X	12	11	исходные данные	расчетные данные
Прибыль от обслуживания одного ТС, руб.	$П_н$	1500	1500	данные организации	
Потери от простоя в очереди, руб./час	$С_1$	500	500		

Продолжение таблицы 4.11

Потери от простоя поста, руб./час	C_2	100	100	
Производственная программа по ТО и Р, авт./мес.	$N_{мес}$	1350	1350	исходные данные
Средневзвешенная трудоемкость работ, чел.час..	τ	2,5	2,5	исходные данные
Длительность нахождения в очереди на обслуживание, ч.	r	489	380	расчетные данные
Продолжительность простоя постов, ч.	n	909	1015	расчетные данные
Относительная пропускная способность системы, %	q	0,44	0,49	расчетные данные
Издержки от функционирования системы, руб.	$И^S$	335 453	291 815	расчетные данные
Прибыль от обслуженных автомобилей, руб.	П	887 106	993 844	расчетные данные

Определим экономический эффект как:

$$Э^S = (И_1^S - И_2^S) + (П_2 - П_1) \qquad (4.20)$$

где $И^S_1$, $И^S_2$ – издержки от работы зоны технического сервиса до и после внедрения методики, руб.;

$П_1$, $П_2$ – прибыль от реализации работ по ТО и Р до и после внедрения методики.

Тогда:

$$Э^S = (335453 - 291815) + (993844 - 887106) = 150376 руб.$$

$$\text{или } \frac{Э^S}{N_{мес}} = \frac{150376}{1350} = 111 руб./авто.$$

При внедрении методики «Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта» ожидается экономический эффект для предприятия за счет

уменьшения денежного фонда на стимулирование производственного персонала при адаптации системы стимулирования к значениям влияющих на нее факторов.

Таблица 4.12 – Исходные данные для расчета экономического эффекта от внедрения методики формирования структуры системы стимулирования

Наименование показателя	Буквенные обозначения	Показатели		Источники получения показателей	
		базовые	после внедрения методики	базовых	после внедрения методики
Тип предприятия		СТО			
Период расчета		мес.			
Общее число постов, ед.	X	12	11	исходные данные	расчетные данные
Тип системы стимулирования	σ	L	C	исходные данные	расчетные данные
Заработная плата исполнителя, руб/мес.	$C_{мес}$	90 000	90 000	данные организации	
Затраты на систему стимулирования C, руб.	σ_C	1 080 000	990 000	расчетные данные	
Затраты на систему стимулирования L, руб.	σ_L	1 740 293	1 740 293	расчетные данные	
Затраты на систему стимулирования D, руб.	σ_D	1 514 778	1 514 778	расчетные данные	

Определим экономический эффект как:

$$Э^{\sigma} = \sigma_L^1 - \sigma_C^2 \qquad (4.21)$$

где σ_L^1 – затраты на систему стимулирования L-типа до внедрения методики, руб.

σ_C^2 – затраты на систему стимулирования C-типа после внедрения методики, руб.

Тогда:

$$Э^{\sigma} = 1740293 - 990000 = 750293 руб.$$

$$\text{или } \frac{Э^{\sigma}}{N_{мес}} = \frac{750293}{1350} = 556 руб./авто.$$

При внедрении методики «Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта» ожидается экономический эффект за счет увеличения пропускной способности зон и участков технического сервиса от внедрения таких элементов системы контроля, как количество, величина и запаздывание управляющих воздействий. При этом уменьшаются издержки, связанные с простоем автомобилей в очереди на обслуживание. Также увеличивается количество обслуженных автомобилей, что влияет на увеличение прибыли предприятия. Помимо этого, использование системы контроля производственных процессов на основе компьютерного зрения позволит снизить количество повторных заездов на предприятие. Таким образом, производится сравнение результатов работы технической службы до и после применения методики.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Исходные данные для расчета экономического эффекта от внедрения методики формирования структуры системы контроля

Наименование показателя	Буквенные обозначения	Показатели		Источники получения показателей	
		базовые	после внедрения методики	базовых	после внедрения методики
Тип предприятия		СТО			
Период расчета		мес.			
Количество управляющих воздействий, ед.	n_c	-	4	исходные данные	расчетные данные
Величина управляющего воздействия, %	p_c	-	81		расчетные данные
Время запаздывания управляющего воздействия, ч.	d_c	-	0		расчетные данные
Вероятность повторного заезда, %	$p_{возвр.}$	5	2	исходные данные	расчетные данные
Доход от реализации услуг для 1 клиента, руб.	Сраб.	12821	12821	данные организации	
Прибыль от обслуживания одного ТС, руб.	$П_н$	1500	1500		
Потери от простоя в очереди, руб./час	C_1	500	500		

Продолжение таблицы 4.13

Потери от простоя поста, руб./час	C_2	100	100	
Производственная программа по ТО и Р, авт./мес.	$N_{мес}$	1350	1350	исходные данные
Длительность нахождения в очереди на обслуживание, ч.	r	489	437	расчетные данные
Продолжительность простоя постов, ч.	n	909	954	расчетные данные
Относительная пропускная способность системы, %	q	0,44	0,46	расчетные данные
Издержки от функционирования системы, руб.	$И^S$	335 453	314 312	расчетные данные
Издержки от работы системы контроля, руб.	$И^K$	86 542	34 617	расчетные данные
Прибыль от обслуженных автомобилей, руб.	П	887 106	932 822	расчетные данные

Определим экономический эффект как:

$$Э^K = (И_1^S - И_2^S) + (И_1^K - И_2^K) + (П_2 - П_1) \quad (4.22)$$

где $И^S_1$, $И^S_2$ – издержки от работы зоны технического сервиса до и после внедрения методики, руб.;

$И^K_1$, $И^K_2$ – издержки от работы системы контроля до и после внедрения методики, руб.;

$П_1$, $П_2$ – прибыль от реализации работ по ТО и Р до и после внедрения методики.

Тогда:

$$Э^K = (335453 - 314312) + (86542 - 34617) + (932822 - 887106) = 118783 руб.$$

$$\text{или } \frac{Э^K}{N_{мес}} = \frac{118783}{1350} = 88 руб./авто.$$

Суммарный экономический эффект от внедрения результатов исследования будет равен:

$$Э^{\Sigma} = Э^{P} + Э^{S} + Э^{\sigma} + Э^{K} = 250356 + 150376 + 750293 + 118783 = 1269807\,руб.$$

или 941 руб./автомобиль.

Внедрение методики не предполагает существенных затрат, поскольку она затрагивает преимущественно организационные вопросы управления технической службой предприятия. Тем не менее, были учтены капитальные вложения на внедрение методики, равные 2 млн. руб., которые включает в себя затраты на изменение организационно-производственной структуры, затраты на внедрение новой модели стимулирования и контроля. В эту же сумму входят вложения на систему компьютерного зрения для существующей системы видеонаблюдения организации.

Тогда срок окупаемости капитальных вложений по внедрению разработанных методик для количества автомобиле-заездов в месяц $N_{мес}$=1350 можно рассчитать как:

$$T_{ок} = \frac{K}{Э^{\Sigma}} = \frac{2500000}{1269807} = 1{,}97\,мес.$$

На рисунке 4.41а представлен график изменения накопленного экономического эффекта от количества автомобиле-заездов на СТО, а на рисунке 4.41б – от времени. Эффект достигается на 2800-ом клиенте или через 2 месяца работы предприятия с заданной интенсивностью поступления автомобилей.

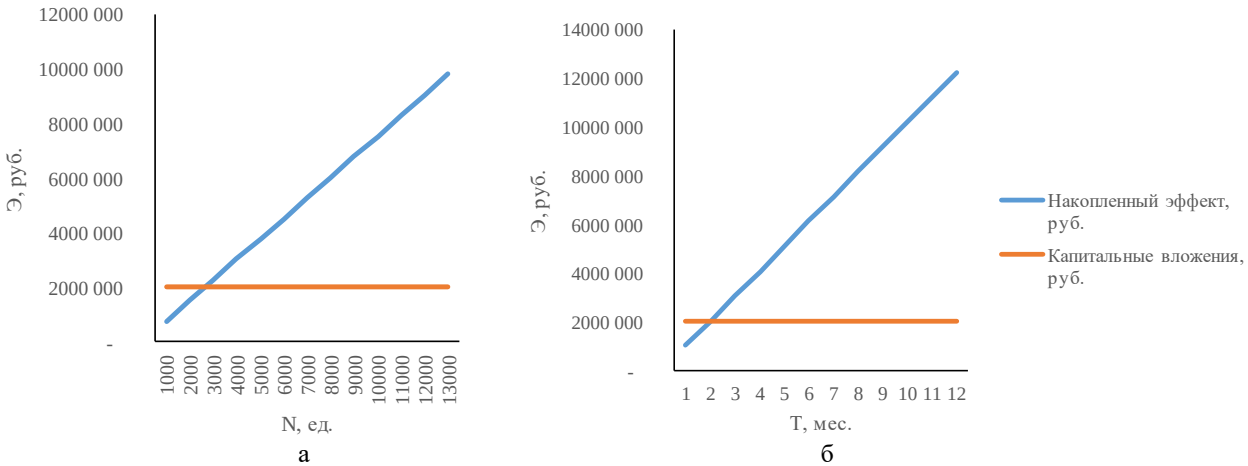


Рисунок 4.41 – Графики изменения величины экономического эффекта и капитальных затрат от количества автомобиле-заездов и времени

4.9. Выводы по 4 главе

1. Разработано восемь частных методик, реализующих методологию повышения эффективности системы управления технической эксплуатацией на предприятиях автомобильного транспорта. Частные методики позволяют сформировать оптимальные параметры для каждой подсистемы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятии.

2. Методика планирования технико-экономических показателей деятельности предприятий автомобильного транспорта позволяет определить способы достижения заданных целевых значений этих показателей о оценить степень сложности их достижения. Методика может быть использована руководством предприятий в качестве поддержки принятия управленческих решений.

3. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта позволяет определить количество разных типов технологических звеньев для производственной структуры предприятия. Также она дает рекомендации к определению количества управленческих работников и определяет норму управляемости для них.

4. Методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания позволяет определять количество автомобилезаездов на станцию в зависимости от количества проданных отделом продаж автомобилей и количества клиентов. С ее использованием можно определить момент реализации управленческих решений по стратегическому планированию деятельности предприятия.

5. Методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года может быть полезна руководству автотранспортных предприятий, так как позволяет с высокой точностью моделировать эксплуатацию парка техники для специфических условий ее использования – наличия длительных простоев без работы, которые сменяются периодом ее постоянной эксплуатации до окончания условий контракта.

6. Методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта позволяет корректировать потребность в основных ресурсах с учетом сезонной неравномерности их потребления.

7. Методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания позволяет определить соотношение реализуемых предприятием работ по ТО и Р автомобилей по типам для различной интенсивности поступления автомобилей в зону технического

сервиса. Для определенных условий предприятию выгодно реализовывать различное соотношение работ низкой, средней и высокой трудоемкости по типам.

8. Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта позволяет определить наиболее эффективный для текущих условий деятельности предприятия тип базовой системы стимулирования исполнителей.

9. Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта направлена на решение четырех прикладных задач: определения параметров системы контроля производственных процессов, контроля последовательности выполнения технологических операций, контроля продолжительности и факта выполнения операции по ТО и Р автомобиля.

10. Для реализации инструментов практического использования разработанной методологии разработан комплект программного обеспечения. Он состоит из семи программ, каждая из которых направлена на решение задач в рамках определенной подсистемы. На каждую программу было получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

11. Расчетный экономический эффект от использования предложенных методик достигается за счет увеличения пропускной способности системы и снижения издержек, связанных с неэффективной работой системы управления. Он равен 1,2 млн. рублей в месяц для одного предприятия или 941 рубль на каждый обслуженный автомобиль. Срок окупаемости не превышает полугода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была решена научная проблема выявления и научного обоснования закономерностей адаптации структуры управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятии к изменению влияющих на систему внешних факторов.

Основные выводы по работе представлены ниже.

1) Разработана концепция формирования структуры управления технической эксплуатацией на предприятии автомобильного транспорта. Одно из ключевых положений заключается в том, что поддержание динамического равновесия между входящим и исходящим потоком требований на техническое обслуживание и ремонт автомобилей возможно реализовать за счет внутренних параметров системы управления технической эксплуатацией, типология которой представлена совокупностью подсистем планирования, организации, стимулирования и контроля.

2) Определена граница и структура системы управления технической эксплуатацией. Система базируется на определении реализуемого технической службой перечня и объема технических воздействий по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава, на основании которого формируется организационно-производственная структура предприятия, определяющая подходы к стимулированию и контролю.

3) Установлены закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей под действием таких факторов, как интенсивность поступления автомобилей в зону технического сервиса, вид технических воздействий по ТО и Р, списочный состав парка автомобилей и интенсивность эксплуатации парка техники. Закономерности структурированы на шесть типов по четырем функциям управления: закономерности формирования подсистемы планирования, подсистемы организации, подсистемы стимулирования и подсистемы контроля.

4) Установлен вид и оценены численные значения параметров математических моделей, описывающих закономерности процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей. Для их аппроксимации использованы современные методы машинного обучения и искусственного интеллекта: методы гармонического, кластерного, корреляционно-регрессионного анализа, деревьев классификации, полносвязных искусственных нейронных сетей.

5) Разработаны оригинальные алгоритмы, реализованные в комплексе программного обеспечения для моделирования закономерностей изменения

структуры управления технической эксплуатацией автомобилей. Оно включает двенадцать имитационных моделей и семь прикладных программных продуктов.

6) Разработана методология повышения эффективности работы предприятия на основе закономерностей процессов изменения структуры управления технической эксплуатацией автомобилей. Методология реализована в восьми частных методиках, включающих методику формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта; методику планирования технико-экономических показателей деятельности предприятий автомобильного транспорта; методику планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта; методику планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания; методику управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания; методику учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года; методику формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта и методику формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.

7) Дальнейшие исследования по данной теме следует направить на расширение перечня изучаемых факторов и оценку их влияния на эффективность системы управления технической эксплуатацией, а также на совершенствование методологии формирования организационно-производственных структур для различных типов предприятий автомобильного транспорта.

Далее результаты проведенных исследований рассмотрены в более подробном виде.

Разработана концепция формирования адаптивной системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятии к изменениям факторов внешней среды.

Одним из ключевых положений концепции является необходимость поддержания динамического равновесия системы технической эксплуатации автомобилей между входящим потоком заявок на ТО и Р и выходящим потоком обслуживаний, которое может быть реализовано за счет определения рациональных параметров управления этой системой. В качестве управляемых параметров рассматриваются подсистемы планирования, организации, стимулирования и контроля.

Для его реализации выявлены закономерности изменения управляемых параметров четырех подсистем от основных производственных показателей предприятий автомобильного транспорта, в частности, для предприятий, имеющих собственный парк техники и осуществляющих работы по его эксплуатации и

техническому сервису (автотранспортных предприятий) и предприятий, реализующих услуги по техническому сервису автомобилей на коммерческой основе (станций технического обслуживания и ремонта автомобилей).

Установлено, что каждый вариант организационно-производственной структуры предприятия оптимален для определенного набора значений входящих в систему факторов. У каждой структуры существует предел производительности, после чего дальнейшее ее совершенствование является нецелесообразным, а требуется переход на более производительную структуру, которая, как правило, связана с увеличением специализации ее технологических звеньев.

Предложена классификация услуг предприятий технического сервиса автомобилей, основанная на применении метода кластеризации k-средних и разделяющая все реализуемые работы по техническому сервису автомобилей на три типа по критерию трудоемкости их реализации и коммерческой стоимости: быстрые, но недорогие; работы средней стоимости и трудоемкости; трудоемкие работы с высокой коммерческой стоимостью, что обеспечивает более точное управление структурой предоставляемых услуг.

Установлены закономерности изменения параметров подсистемы организации от основных производственных показателей предприятий автомобильного транспорта:

закономерности изменения пропускной способности зоны технического сервиса от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, сложности реализуемых работ и типа производственной структуры технической службы предприятия (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения пропускной способности зоны технического сервиса от размера парка автомобилей, интенсивности их эксплуатации и типа производственной структуры технической службы предприятия (для автотранспортных предприятий);

закономерности изменения типа оптимальной производственной структуры технической службы предприятия от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей и сложности реализуемых работ (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения типа оптимальной производственной структуры технической службы предприятия от размера парка автомобилей и интенсивности их эксплуатации (для автотранспортных предприятий);

закономерности изменения оптимального количества постов по ТО и Р от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей и типа производственной структуры технической службы предприятия (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения оптимального количества постов по ТО и Р от размера парка автомобилей, интенсивности их эксплуатации и типа производственной структуры технической службы предприятия (для автотранспортных предприятий);

закономерности изменения оптимального количества инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами по ТО и Р автомобилей, от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения нормы управляемости для инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами по ТО и Р автомобилей, от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения нормы управляемости для инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами по ТО и Р автомобилей, от уровня квалификации управленческого персонала (для автосервисных предприятий);

закономерности изменения оптимального количества инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами по ТО и Р автомобилей, от размера парка автомобилей (для автотранспортных предприятий);

закономерности изменения нормы управляемости для инженерно-технических работников, управляющих производственными процессами по ТО и Р автомобилей, от размера парка автомобилей (для автотранспортных предприятий).

Разработаны модели выявленных закономерностей, которые описаны многофакторными регрессионными уравнениями линейного и нелинейного характера.

Разработаны новые подходы и установлены закономерности изменения параметров подсистемы планирования от основных производственных показателей предприятий автомобильного транспорта.

Приведено обоснование применения способов обратной многофакторной оптимизации для решения задач стратегического планирования технико-экономических показателей предприятий автомобильного транспорта с использованием методов экспертных оценок и генетических алгоритмов. Подход позволяет принимать управленческие решения путем определения конкретных целевых показателей с учетом установленного критерия эффективности.

Установлены закономерности подсистемы планирования:

закономерности изменения загрузки сервисной зоны от объема продаж новых автомобилей и количества обращений на ТО и Р. Модель многофакторной закономерности реализована в виде полносвязной многослойной нейронной сети,

имеющей высокую прогностическую способность и возможность интеграции в корпоративные системы управления автотранспортным предприятием;

закономерности изменения потока требований на основные ресурсы предприятий автомобильного транспорта от времени. Изменение потребности в ресурсах в течение года описывается гармоническими моделями с одной или двумя значимыми гармониками, что отражает существенные циклические колебания спроса на ресурс. Долгосрочные изменения потребности в ресурсах описаны линейными зависимостями;

закономерности управления реализуемым перечнем услуг для предприятий технического сервиса в зависимости от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

Предложено для случаев высокой неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года применять для аппроксимации не гармонические модели, а модели, основанные на многослойной архитектуре полносвязных искусственных нейронных сетей, поскольку последние могут с высокой точностью описать колебания со слабо выраженной цикличностью.

Выявлено, что приоритет выбора оптимальной системы стимулирования производственного персонала меняется в зависимости от значений влияющих на систему факторов.

Установлены закономерности изменения параметров подсистемы стимулирования от основных производственных показателей предприятий автомобильного транспорта:

закономерности изменения затрат на основные типы систем стимулирования производственного персонала от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и соотношения реализуемых видов работ по типам (для станций технического обслуживания);

закономерности изменения затрат на основные типы систем стимулирования производственного персонала от размера парка подвижного состава и интенсивности его эксплуатации (для автотранспортных предприятий);

закономерности выбора оптимальной системы стимулирования производственного персонала от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и соотношения реализуемых видов работ по типам (для станций технического обслуживания);

закономерности выбора оптимальной системы стимулирования производственного персонала от размера парка подвижного состава и интенсивности его эксплуатации (для автотранспортных предприятий).

Модели закономерностей реализованы в иерархическом виде с помощью метода деревьев классификации как наиболее удобного метода прогнозирования

качественных категориальных значений функции отклика при большом количестве влияющих на нее факторов.

Определено, что строгие нормативы по периодичности контроля производственных процессов в течение смены и величине управленческого воздействия следует устанавливать только при высокой интенсивности поступления автомобилей в зону технического сервиса предприятия. В остальных случаях достаточно существующих механизмов контроля.

Установлены подходы к организации подсистемы контроля и закономерности изменения ее параметров от основных производственных показателей предприятий автомобильного транспорта:

закономерности изменения пропускной способности производственной зоны предприятий технического сервиса от количества точек контроля, величины управляющих воздействий и времени запаздывания реализации управляющего воздействия;

закономерности изменения оптимального количества точек контроля в течение смены от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятии;

закономерности изменения оптимальной величины управляющего воздействия от производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятии.

Закономерности описываются многофакторными регрессионными моделями линейного и нелинейного характера.

Предложен подход по реализации системы контроля производственных процессов на предприятии с использованием компьютерного зрения. Он предполагает контроль последовательности реализации производственного процесса исполнителем, контроль времени выполнения технологических операций и контроль факта выполнения работ по снятию-установке запасных частей и расходных материалов с автомобиля. Подход реализован с использованием моделей сверточных нейронных сетей, обученных на решение задач классификации, детектирования и сегментации объектов.

Экспериментально проверена адекватность и определены численные значения параметров математических моделей подсистем управления технической эксплуатацией.

Разработано программное обеспечение для моделирования параметров системы управления и поиска их оптимальных значений.

Разработана методология повышения эффективности системы управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях на основе выявленных закономерностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 8 KPI-показателей для бизнеса [Электронный ресурс] // PASsteam : блог. – URL: https://www.passteam.ru/blog/8-kpi-pokazateley-dlya-biznesa (дата обращения: 10.10.2023).

2. Автодилеры в России [Электронный ресурс] // TAdviser. — URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Автодилеры_в_России#:~:text=К%20середине%20в%20январе%202024,РФ%20было%203164%20таких%20точек (дата обращения: 05.04.2025).

3. Александров, А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. - М.: Высшая школа, 1989. - 263 с.

4. Алексеева, М.Б. Организационные аспекты управления социально экономическими системами: теория и практика / М.Б. Алексеева, В.Ф. Богачев // Проблемы теории и практики управления. - 2020. - № 5. - С. 6-14.

5. Анализ отказов автомобилей индивидуального пользования / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков, В. А. Бузин [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 2. – С. 30-33.

6. Аникеев, В.В. Корректирование нормативов ресурса автомобильных двигателей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации (на примере двигателей автомобилей КамАЗ-4310) : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / В.В. Аникеев. – Тюмень, 2002. – 165 с.

7. Антонов, А.В, Системный анализ. Учеб. для вузов / А.В. Антонов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2006. – 454 с.

8. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов // учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 368 с.

9. Асанова, Л. Р. Современная модель системы стимулирования наемного персонала на производственных предприятиях / Л. Р. Асанова, Э. Д. Абдураимова // Учетно-аналитическое обеспечение стратегии устойчивого развития предприятия : Сборник научных трудов, Симферополь, 24 мая 2018 года / Под общей редакцией Р.А. Абдуллаева. – Симферополь: ИП Хотеева Л.В., 2018. – С. 97-100.

10. Асаул, А.Н. Формирование и оценка эффективности организационной структуры управления в компаниях инвестиционно-строительной сферы / А.Н. Асаул, Н.А. Асаул, А.В. Симонов // под ред. А.Н. Асаула. - СПб. : ГАСУ, 2009. - 258 с.

11. Балалаев, М.А. Управление и экономическая эффективность технического обслуживания и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта : Дисс. … канд. экон. наук : 08.00.05 / М.А. Балалаев. – Хабаровск, 2007. – 124 с.

12. Бахтадзе, Н.Н. Прогнозирование состояния технологических процессов в металлургии на основе анализа видеоконтента / Н.Н. Бахтадзе, З.Г. Салихов, Д.М. Дончан // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2018 труды международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 84-86.

13. Белов, А. Г. Методы имитационного моделирования / А. Г. Белов, С. А. Моисеев, А. В. Григорьев // НиКа. - 2014. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-imitatsionnogo-modelirovaniya (дата обращения: 16.04.2025).

14. Бизнес-процесс // Calltouch : [сайт]. – URL: https://www.calltouch.ru/blog/glossary/biznes-proczess/ (дата обращения: 10.10.2023).

15. Блянкинштейн, И. М. Анализ сложившихся подходов к подготовке и оценке квалификации кадров для автотранспортной отрасли / И. М. Блянкинштейн, С. Д. Рассказов // Транспорт. Взгляд в будущее - TFV-24 : Сборник научных статей международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 07–08 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2024. – С. 88-93.

16. Блянкинштейн, И. М. Концепция автоматизированной системы контроля технического состояния автобусов на основе видеорегистрации / И. М. Блянкинштейн, Д. В. Сенкевич // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 1(90). – С. 121-129. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-121-129.

17. Блянкинштейн, И. М. Характеристика и алгоритмы контроля технического состояния автобусов по параметрам системы RGB / И. М. Блянкинштейн, Д. В. Сенкевич // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 233-252. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-4-233-252.

18. Болгаров, Н. И. Методика оценки экономической эффективности комплексного использования транспорта при планировании грузовых и пассажирских перевозок на территориях субъектов Российской Федерации / Н. И. Болгаров, Р. В. Волокушин, И. В. Стрельников // Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. – 2015. – № 2(2). – С. 75-81.

19. Борисов К. А. Проведение анализа существующих методов распознавания объектов и событий на основе данных видеопотоков / К. А. Борисов, Н. В. Давидюк // Мат. 15-й межд. конф. «Технические средства систем управления и связи. Информационные технологии и технические средства управления» (ICCT-2022). – 2022. – С. 142-144.

20. Бородин, А. Л. Метод углубленного диагностирования главного тормозного цилиндра автотранспортного средства / А. Л. Бородин, В. И. Васильев, В. Н. Шабуров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 82-91. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-5-82.

21. Бородин, А. Л. Методика синтеза алгоритма постановки диагноза агрегатов и систем автомобиля / А. Л. Бородин, В. И. Васильев, В. Н. Шабуров //

Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2022. – № 4(78). – С. 231-237. – DOI 10.34771/UZCEPU.2022.78.4.046.

22. Брусакова, И.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов для цифровых двойников / И.А. Брусакова // Петербургский Экономический Журнал. – 2023. — №.1. – С. 51-61.

23. Бугаев, К.В. Определение параметров производственно-технической базы автотранспортных предприятий с учетом климатических условий : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / К.В. Бугаев. –Тюмень, 2006. – 167 с.

24. Бузин, В.А. Организация технического обслуживания с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей / В.А. Бузин, Н.С. Захаров, А.Э. Александров // Транспорт Урала. – 2023. – 2 (77). – С. 60-65.

25. Букреев, В.Ю. Совершенствование организации технического сервиса лесозаготовительных машин : Дисс. … канд. техн. наук : 05.21.01 / В.Ю. Букреев. – Архангельск, 2022. – 136 с.

26. Булатов, С. В. Исследование надежности автомобилей Lada Vesta в гарантийный период эксплуатации / С. В. Булатов // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 9(9). – С. 41-46. – DOI 10.30987/2782-5957-2022-9-41-46.

27. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами: Учебник / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков // под ред. Д.А. Новикова. Изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2017. – 264 с.

28. Бурков, В.Н. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков, М.В. Губко // Проблемы управления. - 2012. - №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-upravleniya-organizatsionnymi-sistemami-i-drugie-nauki-ob-upravlenii-organizatsiyami (дата обращения: 16.04.2025).

29. Быков, Д.С. Моделирование потока отказов специальных автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Д.С. Быков. –Тюмень, 2006. – 165 с.

30. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. Учеб. пособие для студ. втузов. – 2-е изд., стер. / Е.С. Вентцель. – М.: Высш.шк., 2001. – 208 с.

31. Винер, Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – Москва : Советское радио, 1961. – 336 с.

32. Власов, А.И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей / А.И. Власов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. — №. 10—2 (17). – С. 17-26.

33. Власов, В.М. Оценка и проектирование организационно-технологического обеспечения производства ТО и ремонта автомобилей: Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.10 / В.М. Власов. – Москва, 1996. – 362 с.

34. Вознесенский, А.В. Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.10 / А. В. Вознесенский, 2006. — 20 с.

35. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — 3-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 562 с.

36. Волокобинский, М.Ю. Принятие решений на основе метода анализа иерархий / М.Ю. Волокобинский, О.А. Пекарская, Д.А. Рази // Финансы: теория и практика/Finance: Theory and Practice. – 2016. - 20(2). - С. 33-42. https://doi.org/10.26794/2587-5671-2016-20-2-33-42 .

37. Воронин, А.А. Математические модели организаций: Учебное пособие. Изд. 2-е, стереотип. / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков // М.: ЛЕНАНД, 2019. – 360 с.

38. Гамазин, И.В. Управление сетью автомобильных дилерских предприятий : Дисс. … канд. экон. наук : 08.00.05 / И.В. Гамазин. – Москва, 2007. – 124 с.

39. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2008. – 479 с.

40. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. 3-е изд., испр. и доп. М.: Эдиториал УРСС, 2005. - 400 с.

41. ГОСТ 20779-81. Система технологической подготовки производства. Термины и определения основных понятий [Введ. 1983-01-01]. — М. : Издательство стандартов, 1981. — 15 с.

42. Гржибовский, А. М. Сравнение количественных данных двух независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии / А. М. Гржибовский, С. В. Иванов, М. А. Горбатова // Наука и здравоохранение. - 2016. - №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-kolichestvennyh-dannyh-dvuh-nezavisimyh-vyborok-s-ispolzovaniem-programmnogo-obespecheniya-statistica-i-spss (дата обращения: 04.03.2025).

43. Григорьян, Т.А. Влияние сезонных условий на трудоемкость текущего ремонта автомобилей: Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Т.А. Григорьян. – Тюмень, 2000. – 139 с.

44. Грязнов, М.В. Обеспечение надежности функционирования транспортных систем доставки автомобильным транспортом (на примере

Уральского региона) : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.01 / М.В. Грязнов. – Москва, 2014. – 289 с.

45. Гумеров, М. Теория систем и кибернетика как основы науки об организационном управлении / М. Гумеров // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. - 2015. - № 1. - С. 297-301.

46. Данилова, С. Ю. Подходы к формированию бизнес-процессов в транспортной логистике на предприятиях химического комплекса / С. Ю. Данилова // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2014. – № 2(51). – С. 45-51.

47. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей : Дисс. … докт. техн. наук : 05.20.03 / А.С. Денисов. – Саратов, 1999. – 428 с.

48. Диагностика двигателя [Электронный ресурс] : официальный сайт «Автостоп72». – URL: https://avtostop72.ru/uslygi/diagnostika-avtomobilja/diagnostika-dvigatelja (дата обращения: 05.04.2025).

49. Довбня, Б.Е. Влияние сезонных изменений интенсивности эксплуатации на производственную программу предприятий по техническому обслуживанию автомобилей : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Б.Е. Довбня. – Тюмень, 2000. – 165 с.

50. Дорофеев, А.Н. Анализ деятельности автотранспортного предприятия с использованием системной динамики / А.Н. Дорофеев, В.М. Курганов // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы. Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 125-летию РУТ(МИИТ). Москва, 2021. - С. 233-238.

51. Дорофеев, А.Н. Реализация концепции "цифровых двойников" для управления транспортно-логистической компанией / А.Н. Дорофеев, В.М. Курганов // Автомобильные перевозки и транспортная логистика: теория и практика. Сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием). Под научной редакцией Е.Е. Витвицкого. - Омск, 2020. - С. 26-32.

52. Дракунов, И. И. Анализ программного обеспечения для управления системой технического обслуживания и ремонта автомобилей / И. И. Дракунов, В. В. Сиваков, А. Н. Заикин // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 31 января – 02 2023 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – С. 91-99.

53. Дрючин, Д.А. Методология организации функционирования системы городского пассажирского наземного транспорта на основе согласования взаимодействия подсистем : Дисс. … докт. техн. наук : 2.9.5 / Д.А. Дрючин. – Оренбург, 2024. – 400 с.

54. Елесин, С.В. Корректирование нормативов ресурса элементов тормозной системы автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации / С.В. Елесин, А.С. Елесин, А.С. Терехов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – 2 (37). – С. 169.

55. Епишкин, В. Е. Перспективные направления развития предприятий автосервиса / В. Е. Епишкин // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2017. – Т. 6, № 3(20). – С. 145-148.

56. Жмурко, Д. Ю. Понятие, сущность и классификация адаптивного управления системами с организационной сложностью / Д.Ю. Жмурко // Научный журнал КубГАУ. - 2013. - №90. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-suschnost-i-klassifikatsiya-adaptivnogo-upravleniya-sistemami-s-organizatsionnoy-slozhnostyu (дата обращения: 20.05.2025).

57. Жуков, В. Е. Совершенствование методов организации оперативного управления провозными емкостями в авиакомпании на основе производственно-сбытовой модели : Дисс. … канд. техн. наук : 2.9.1 / В.Е. Жуков. – Санкт-Петербург, 2014. – 143 с.

58. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. – М.:Транспорт, 1977. – 73 с

59. Захаров Н.С. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем путем ограничения срока службы автомобилей / Н.С. Захаров, С.А. Теньковская, А.Э. Александров // Транспорт Урала. - 2023. - № 2 (77). - С. 54-59.

60. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Захаров Николай Степанович. – Тюмень, 2000. – 525 с.

61. Захаров, Н. С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей / Н. С. Захаров, Е. С. Козин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4(60). – С. 43-51.

62. Захаров, Н. С. Технологическое проектирование станций технического обслуживания автомобилей с использованием генетических алгоритмов / Н. С. Захаров, Е. С. Козин // International Journal of Advanced Studies. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 104-122.

63. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей: монография / Н.С. Захаров. ТГНГУ. – Тюмень, 2002. – 128 с.

64. Заяц, Ю. А. Алгоритм управления технической готовностью воинской части на основе системно-информационного анализа / Ю. А. Заяц, А. В. Шабанов // Научный резерв. – 2021. – № 2(14). – С. 33-38.

65. Заяц, Ю. А. Концептуальная информационная модель системы управления технической готовностью военной автомобильной техники воинской части / Ю. А. Заяц, А. В. Шабанов // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2021. – № 1(149). – С. 13-17. – DOI 10.52190/1729-6552_2021_1_13.

66. Зиганшин, Р.А. Методика определения потребности в запасных частях при эксплуатации автомобильных буровых установок: Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Р.А. Зиганшин. – Оренбург, 2016. – 289 с.

67. Игнатьев, С. А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С. А. Игнатьев, В. В. Горбунов, А. А. Игнатьев // Монография. – Издательство: Саратовский гос. технический ун-т. – 2009. – 160 с.

68. Исследование автомототранспортных средств в целях определения стоимости восстановительного ремонта и оценки. Методическое руководство для судебных экспертов" (утв. Минюстом России, 2007).

69. Каждан, А. Б. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. Учебное пособие / А. Б. Каждан, О. И. Гуськов, А. А. Шиманский // М. : «Недра», 1979. - 168 с.

70. Калугин, Ю. Б. Модифицированная расчетная схема для обоснования величины периода контроля / Ю. Б. Калугин // Специальная техника и технологии транспорта. – 2020. – № 8(46). – С. 114-120.

71. Калугин, Ю. Б. Обоснование величины шага контроля при управлении технологическими процессами / Ю. Б. Калугин // Специальная техника и технологии транспорта. – 2020. – № 7(45). – С. 33-36.

72. Канеман, Д. Думай медленно… решай быстро / Д. Канеман. – Москва: Издательство АСТ, 2016. – 653 с.

73. Карагодин, В.И. Эффект от учета взаимосвязи производственных участков при проектировании станции технического обслуживания автомобилей / В.И. Карагодин, В.О. Малютин // Автотранспортное предприятие. - 2015. - № 2. - С. 21-24.

74. Квинт, М.Ю. Оценка организационно-экономической надежности управленческих решений в путевом хозяйстве железнодорожного транспорта : Дисс. … канд. экон. наук : 08.00.05 / М.Ю. Квинт. – Новосибирск, 2011. – 159 с.

75. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. 3-е изд. – СПб.: Питер : Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.

76. Кирюшин, И. Н. Исследование показателей технической эксплуатации автомобилей / И. Н. Кирюшин, В. Н. Ретюнских // XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2018) : Сборник трудов конференции, Москва, 20–23 ноября 2018 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2019. – С. 98-101.

77. Киселев, Г. Г. Система для оперативного контроля и соблюдения технологической дисциплины процесса осмотра подвижного состава на ПТО / Г. Г. Киселев // Наука и образование: достижения и перспективы : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 21 декабря 2023 года. – Самара - Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2023. – С. 35-40.

78. Кичигин, С.Ю. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей путем оптимизации квалификационного состава ремонтных рабочих : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / С.Ю. Кичигин. –Тюмень, 2011. – 194 с.

79. Клейнер, Б.С. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Организация и управление / Б.С. Клейнер, В.В. Тарасов – М. Транспорт, 1986. – 237 с.

80. Козин, Е. С. Оптимизация организационной структуры предприятий автомобильного сервиса / Е. С. Козин // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-3(88). – С. 82-89. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-82-89.

81. Козин, Е.С. Методика формирования структуры распределенной производственной базы автотранспортных подразделений нефтепроводной отрасли : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Е.С. Козин. – Оренбург, 2013. – 160 с.

82. Козин, Е.С. Определение типа базовой системы стимулирования производственного персонала на предприятиях автомобильного транспорта / Н. С. Захаров, Е. С. Козин, И.А. Покрышкин // Транспортное дело России. – 2025. – № 3.

83. Козин, Е.С. Система идентификации водителя транспортного средства на основе биометрических данных / Е.С. Козин, А.В. Базанов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2020. - № 4. - С. 133-142.

84. Козин, Е.С. Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей / Е.С. Козин // Транспорт Урала. - 2022. - № 3 (74). - С. 73-77.

85. Колесник, М.Н. Принципы создания информационно-планирующей и управляющей системы перевозками на автомобильном транспорте / М.Н. Колесник, В.Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2007. - № 3 (15). - С. 46-52.

86. Колесников, М.В. Разработка концепции, моделей и механизмов организационного управления железнодорожной транспортной системой : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.01 / М.В. Колесников. – Москва, 2013. – 310 с.

87. Кононова, Г. А. Инновационные изменения в управлении транспортными предприятиями / Г. А. Кононова, М. Г. Григорян // Журн. Ун-та водных коммуникаций. - 2012. - № 1 (13). - С. 212–216.

88. Корепанова, Н. В. Иерархический подход к анализу факторов, влияющих на интенсивность движения на урбанизированных дорогах / Н. В. Корепанова // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2016. – Т. 19, № 2(70). – С. 113-115.

89. Корчагин, В.А. Организация подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их централизованном ремонте по техническому состоянию : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / В.А. Корчагин. – Санкт Петербург, 2014. – 149 с.

90. Косилов, Р.А. Видеоконтроль железнодорожного переезда из кабины локомотива / Р.А. Косилов, Н.В. Анопченко, Н.В. Терешин, А.П. Богачев // Железнодорожный Транспорт. – 2007. - №7. – С. 57-58.

91. Кочиева, Т.Б. Базовые системы стимулирования / Т.Б. Кочиева, Д.А. Новиков - М.: Апостроф, 2000. - 108 с.

92. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. – Москва : Наука, 1973. – 472 с.

93. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИДАНА, 2006. - 573 с.

94. Крутов, В.И. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др. – М.: Высш.шк. – 1989. – 400 с.

95. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

96. Кузьменко, Н. В. Разработка структуры анализа контроля качества технологического процесса / Н. В. Кузьменко, В. В. Куликов, Г. Ф. Бордун // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2014. – Т. 1. – С. 11.

97. Кузьменко, О.Г. Решение задачи оценки состояния объектов средствами видеоконтроля и регистрации / О.Г. Кузьменко, В.В. Линьков // Известия Орловского Государственного Технического Университета. Серия: Информационные системы и технологии. – 2006. - №1-1. – С. 117-119.

98. Курганов, В. М. Информационные системы для автомобильных перевозок / В. М. Курганов, А. Н. Дорофеев // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13, № 3(58). – С. 156-171.

99. Курганов, В.М. Управление автомобильными перевозками на основе ситуационного подхода : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.08 / В.М. Курганов. – Москва, 2004. – 286 с.

100. Кутурга, В.В. Интеллектуальная система видеонаблюдения / В.В. Кутурга // Вестник Молодёжной Науки России. – 2019. – № 1. – С. 12-19.

101. Кушнарева, И. В. Повышение эффективности управления персоналом с применением современных методов мотивации / И. В. Кушнарева, М. В. Бугаева // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 2-1. – С. 100-107.

102. Кушнир, Г.Ю. Совершенствование методов контроля качества технического обслуживания и ремонта на предприятиях, обслуживающих транспортные средства различных марок / Г.Ю. Кушнир, С.Н. Минченко // Международный научный журнал. – 2017. – №3. – С. 70-73.

103. Ларина, Ю. Событийный Видеоконтроль / Ю. Ларина // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2009. - №83. – С. 20-40.

104. Лившиц, В.Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте / В.Н. Лившиц. – М.: Транспорт, 1986. – 240 с.

105. Лялин, К.В. Технологический расчет и планировка станций технического обслуживания автомобилей: учебное пособие / К. В. Лялин, В. П. Лялин. Екатеринбург: РГППУ, 2019. - 124 с.

106. Макаров, Е.И. Методика планирования потребности автотранспортных предприятий в моторном масле с учётом условий эксплуатации автомобилей : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Е.И. Макаров. –Оренбург, 2017. – 191 с.

107. Макарова, А.Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей : 05.22.10 : дис. … канд. техн. наук / А.Н. Макарова. – Оренбург, 2016. – 204 с.

108. Максимов, В. А. Программное обеспечение для управления расходом топлива городских автобусов / В. А. Максимов, В. Т. Нгуен, Д. К. З. Чан // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2024. – № 3. – С. 54-61. – DOI 10.36535/0236-1914-2024-03-9.

109. Малащук, П. А. Организационная структура управления как один из факторов эффективности технической эксплуатации автомобилей / П. А. Малащук // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России : Материалы межрегиональной научно-практической конференции, Котлас, 20 марта – 20 2003 года / Ответственный редактор С.А.Гладких. Том Выпуск 1. – Котлас: Котласский филиал Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций, 2003. – С. 12-16.

110. Мальцев, Д. В. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей / Д.В. Мальцев, Д.С. Репецкий // Мир Транспорта. – 2020. — № 6 (91). Т. 18. – С. 238—247.

111. Мальшаков, А.В. Методика оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / А.В. Мальшаков. –Санкт Петербург, 2017. – 155 с.

112. Маслов, Е. С. Разработка методов управления транспортно-экспедиционной деятельностью на основе интеллектуальных информационных технологий : Дисс. … канд. техн. наук : 2.9.1 / Е.С. Маслов. – Москва, 2019. – 158 с.

113. Медоуз, Д. Х. Азбука системного мышления / Д. Х. Медоуз. - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 315 с.

114. Михайлов, В. С. Теория управления / В. С. Михайлов. Киев, издательство Выща школа. Головное изд-во, 1988. — 312 с.

115. Могилевич, М.В. Теория и методы планирования и управления ресурсами транспорта: Дисс. … докт. экон. наук : 08.07.04 / М.В. Могилевич. – Киев, 1996. – 456 с.

116. Мутраков, О.С. Моделирование управления услугами по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей (на примере республики Башкортостан) : Дисс. … канд. экон. наук : 08.00.05 / О.С. Мутраков. – Казань, 2020. – 181 с.

117. Назаров, Ф. Л. Резервы уменьшения затрат на эксплуатацию автомобиля / Ф. Л. Назаров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 6. – С. 107-116. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-6-107.

118. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания : Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.

119. Никитина, Н. С. Тест Дики–Фуллера / Н. С. Никитина // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: https://bigenc.ru/c/test-diki-fullera-ba2fa5/?v=6443030. – Дата публикации: 06.03.2023.

120. Никульшин, С. В. Совершенствование структуры региональной системы автосервиса / С. В. Никульшин, В. Ю. Векличев, С. А. Носов // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2019. – № 2(29). – С. 20-26.

121. Новиков П. С. Элементы математической логики / П. С. Новиков. – Москва : Наука, 1959. – 400 с.

122. Новиков, А.М. Докторская диссертация?: Пособие для докторантов и соискателей ученой степени доктора наук. – 3-е изд. – М.: Издательство «Эгвес», 2003. – 120 с.

123. Новиков, Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития / Д.А. Новиков. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 160 с.

124. Новиков, Д.А. Методология управления / Д.А. Новиков. – М.: ЛЕНАНД, 2021. – 128 с.

125. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. - М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

126. Обшивалкин, М. Ю. К вопросу оценки влияния условий и режимов эксплуатации автомобилей на эффективность их использования / М. Ю. Обшивалкин, В. А. Мигачев, Н. В. Паули // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Сборник докладов IX Российской научно-практической конференции, Оренбург, 26–27 ноября 2009 года / Редколлегия: Филатов М.И. (отв. редактор), Мельников А. Н. (отв. секретарь). – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2009. – С. 255-257.

127. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта : ОНТП-01-91 : РД 3107938-0176-91 : утв. протоколом концерна "Росавтотранс" от 07.08.1991 № 3. – Москва : Транспорт, 1991. – 76 с.

128. Основы научных исследований: учеб.для техн.вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др. – М. : Высш.шк., 1989 – 400 с.

129. Основы теории управления : Учебное пособие / Ред. В.Н.Парахина, Ред. Л.И.Ушвицкий. — Москва : Финансы и статистика, 2003. — 560 с.

130. Оценка качества работы сервисного центра при обслуживании и ремонте подвижного состава автобусного АТП / Д. В. Ушаков, В. А. Максимов, А. А. Солнцев, Н. В. Поживилов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 4(67). – С. 10-17.

131. Павлова, Е. В. Организация и управление предприятиями : учебное пособие / Е. В. Павлова, В. В. Макаров, А. В. Исаков. - Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2021.

132. Паршина, Р.Н. Методология организации транссибирских международных контейнерных перевозок Европа – Азия транзитом по России : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.01 / Р.Н. Паршина. – Москва, 2013. – 445 с.

133. Периодичности технического обслуживания автомобилей КАМАЗ, поставляемых в народное хозяйство. Набережные Челны, 2018. – 3 с.

134. Петелин, А.А. Влияние сезонных условий эксплуатации автомобилей на изменение качества моторного масла (на примере моторных масел М-10Г2к) : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / А.А. Петелин . – Тюмень, 2000. – 129 с.

135. Петров, М.Б. Методология организации региональной транспортной системы : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.01 / М.Б. Петров. – Москва, 2004. – 322 с.

136. Плутова, М. И. Совершенствование системы мотивации и стимулирования труда персонала производственного предприятия / М. И. Плутова // Урал - драйвер неоиндустриального и инновационного развития России : Материалы IV Уральского экономического форума, Екатеринбург, 20–21 октября 2022 года / Ответственные за выпуск: Я.П. Силин, В.Е. Ковалев. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. – С. 117-121.

137. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта : [утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984] // Сборник нормативных документов по автотранспорту. – Москва : [Транспорт], 1984. – 115 с.

138. Попова, А.В. Распознавание объекта на видеопоследовательности в сложных условиях освещения / А.В. Попова, И.С. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12 (102). – С. 141-144.

139. Постановление Правительства РФ от 19.12.2016 № 1401 (ред. от 30.05.2023) "О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей" : утв. Правительством РФ : // Собрание законодательства РФ. – 2016.

140. Постолит, А.В. Совершенствование информационного обеспечения технической эксплуатации автомобилей : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.10 / А.В. Постолит. – М., 1998. – 542 с.

141. Приказ Минтруда России от 06.02.2018 № 59н "Об утверждении Правил по охране труда на автомобильном транспорте" : [зарегистрировано в Минюсте России 23.03.2018 № 50488]. – URL: https://www.normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=268451 (дата обращения: 02.05.2025). – Текст : электронный.

142. Ракитин, А.Н. Влияние сезонных изменений условий и интенсивности эксплуатации на поток отказов автомобилей : 05.22.10 : дис. … канд. техн. наук / А.Н. Ракитин. ТГНГУ. – Тюмень, 2004. – 190 с.

143. Рахмангулов, А.Н. Методологические основы организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.01 / А.Н. Рахмангулов. – Москва, 2013. – 373 с.

144. Раюшкина, А. А. Критерии и этапы оценки социально- экономической эффективности автотранспортных услуг / А. А. Раюшкина // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2022. – Т. 1, № 7(127). – С. 59-68.

145. Результаты исследования кадрового обеспечения автотранспортного комплекса региона (на примере Республики Башкортостан) / Н. Н. Якунин, О. Ю.

Фролов, Н. В. Якунина, В. В. Котов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 1(76). – С. 103-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-103-111.

146. Ремонт ведущего моста [Электронный ресурс] : официальный сайт «Вита-Моторс». – URL: https://www.vita-motors.ru/services/remont-vedushchego-mosta.html (дата обращения: 05.04.2025).

147. Ремонт рулевого управления [Электронный ресурс] : официальный сайт «Колесо». – URL: https://koleso.ru/services/rulevoe-upravlenie/ (дата обращения: 05.04.2025).

148. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK). -- Пятое издание. - Project Management Institute, Inc., 2013. – 614 с.

149. Русяева, Е.Ю. Концептуальные основы теории активных систем, их развитие в теории управления организационными системами: тенденции и перспективы / Е.Ю. Русяева, С.А. Салтыков // Проблемы управления. - 2017. - № 4. - С. 74-83.

150. Рыбалкина, А.Л. Композиция и декомпозиция структур авиатранспортного предприятия с целью повышения безопасности полетов путем распределения ресурса между его подструктурами : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.01 / А.Л. Рыбалкина. – Москва, 2013. – 125 с.

151. Саати ,Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993.

152. Самарский, А. А. Математическое моделирование / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – Москва : Физматлит, 2001. – 320 с.

153. Сборник норм времени на техническое обслуживание и ремонт легковых, грузовых автомобилей и автобусов : утв. Минтрансом РФ : РД 03112178-1023-99. Том I. – Москва : Транспорт, 1999.

154. Семенов, С. В. Прогнозирование жизненного цикла проекта для организаций автосервиса / С. В. Семенов, В. А. Семенов, А. В. Семенов // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2022. – № 43(48). – С. 89-97.

155. Семыкина, А. С. Повышение эффективности деятельности автосервисных предприятий посредством использования цифровых и информационных технологий / А. С. Семыкина, Н. А. Загородний, А. Н. Новиков. – Белгород - Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 140 с.

156. Сергиенко, Е.В. Оптимизация количества постов текущего ремонта с учетом неравномерности поступления автомобилей : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Е.В. Сергиенко. –Тюмень, 2004. – 165 с.

157. Серебрякова, Н. Г. Статистические методы анализа и планирования эксперимента : пособие / Н. Г. Серебрякова, А. П. Мириленко. – Минск : БГАТУ, 2022. – 104 с

158. Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : Учебное пособие для вузов / Н. И. Сидняев. – 1-е изд.. – Москва : Издательство Юрайт, 2011. – 399 с. – (Бакалавр и магистр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-0990-6.

159. Смирнов, А. Г. Анализ структуры системы технического обслуживания автотранспортных средств / А. Г. Смирнов, В. С. Павлов, А. А. Гордеев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 57. – С. 172-177.

160. Соколова, А.В. Обоснование мощности дорожной станции технического обслуживания автомобилей / А.В. Соколова, А.В. Маркелов, В.А. Масленников, Д.А. Павлов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2020. № 4. С. 5-14.

161. Солодовников, В.В. Теория автоматического управления техническими системами : Учеб. Пособие / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Изд-во МГТУ, 1993 – 492 с.

162. СП 364.1311500.2018 Свод правил. Здания и сооружения для обслуживания автомобилей. Требования пожарной безопасности : Buildings and facilities for service of cars. Fire safety requirements. – ОКС 13.220.01. – Дата введения: 2018-05-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/559750906 (дата обращения: 02.05.2025).

163. Стоимость одного часа работ по ремонту и обслуживанию транспортных средств на 2025 г. : официальный сайт ООО «УАТ». – URL: https://ooouat.ru/intro/autoserv/ascena.html (дата обращения: 05.04.2025).

164. Табачникова, Е. В. Исследование влияния факторов внешней среды на устойчивость транспортного предприятия / Е. В. Табачникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2019. – № 1. – С. 53-61. – DOI 10.24143/2073-5537-2019-1-53-61.

165. Табачникова, Е. В. Социально-экономические предпосылки и методологические основы повышения устойчивости транспортных предприятий: моногр / Е. В. Табачникова. - СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. - 150 с.

166. Табачникова, Е. В. Факторы устойчивого развития организации. Модернизация экономики и управления: моногр. / Е. В. Табачникова, В. И. Бережной и др. - М.: Русайнс, 2015. - 320 с.

167. Тахтамышев, Х. М. Алгоритмы имитационного моделирования работы автосервисных предприятий по методу Монте-Карло / Х. М. Тахтамышев //

Научный вестник Государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт". – 2019. – № 2. – С. 14-20.

168. Тахтамышев, Х. М. Математические модели различных вариантов организации производственных процессов автосервисных предприятий в условиях умеренной конкуренции / Х. М. Тахтамышев, О. А. Г. Этлухов // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 5(30). – С. 94.

169. Тахтамышев, Х. М. Математические модели функционирования автосервисных предприятий в условиях острой конкуренции при различных формах организации труда / Х. М. Тахтамышев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2015. – Т. 12, № 6(166). – С. 76-80.

170. Тахтамышев, Х. М. Математические модели функционирования подразделений комплекса технического обслуживания / Х. М. Тахтамышев, Д. С. Дауров, М. М. Кидакоев // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 08 апреля 2009 года / Ответственный редактор Захаров Н.С.. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2009. – С. 331-337.

171. Тахтамышев, Х. М. Моделирование показателей автосервисных предприятий при различных уровнях конкуренции и возможных вариантах взаимопомощи исполнителей на постах то и ремонта автомобилей / Х. М. Тахтамышев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 4-1(15-1). – С. 221-225.

172. Тахтамышев, Х. М. Оптимизация мощности автосервисных предприятий при различных формах организации труда / Х. М. Тахтамышев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2014. – Т. 9, № 19(146). – С. 70-73.

173. Тахтамышев, Х. М. Оптимизация мощности зоны текущего ремонта при нескольких технологических группах автомобилей / Х. М. Тахтамышев, Д. С. Дауров, М. И. Езаов // Транспортные и транспортно-технологические системы : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 апреля 2010 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2010. – С. 295-299.

174. Тахтамышев, Х. М. Оптимизация мощности зоны текущего ремонта с полной и частичной специализацией постов / Х. М. Тахтамышев, О. А. Г. Этлухов, Д. С. Дауров // Транспортные и транспортно-технологические системы : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 апреля

2010 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2010. – С. 291-295.

175. Тахтамышев, Х. М. Оптимизация параметров мощности автосервисных предприятий методом приближенного динамического программирования / Х. М. Тахтамышев, С. А. Белов // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 3.

176. Теньковская, С.А. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем нефтегазодобывающих предприятий в условиях Западной Сибири путем ограничения срока службы автомобилей: Дисс. … канд. техн. наук : 2.9.1. / С.А. Теньковская. – Екатеринбург, 2023. – 170 с.

177. Теоретические подходы к оценке уровня технической готовности автомобильного транспорта / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц, Н. А. Загородний, А. В. Шабанов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-4(78). – С. 27-34. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-27-34.

178. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Е.С. Кузнецова. – М.: Наука, 2004. – 535 с.

179. Техническое обслуживание автомобилей КАМАЗ: технологические карты. Набережные Челны, 2013. – 106 с.

180. Технологический расчет площадей сервисного центра для обслуживания и ремонта подвижного состава АТП / Д. В. Ушаков, В. А. Максимов, А. А. Солнцев, Н. В. Поживилов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2021. – № 2(58). – С. 64-70.

181. Тимухина, Е. Н. Критерии эффективности при управлении транспортным предприятием / Е. Н. Тимухина, К. М. Тимухин // Транспорт Урала. – 2024. – № 1(80). – С. 83-89.

182. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. Москва, 2021. - 285 с.

183. Трегубов, Ю. М. Анализ проблем внутреннго контроля производственных процессов на промышленном предприятии / Ю. М. Трегубов // Международная молодежная научная конференция "XXII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)" : Материалы конференции, Казань, 19–21 октября 2015 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). Том 5. – Казань: ООО "Издательство Фолиант", 2015. – С. 388-394.

184. Управление качеством продукции и производственный контроль технологических процессов при применении принципов ХАССП / Ю. А. Антохина, Е. Г. Семенова, К. В. Епифанцев, А. С. Копанский // Метрологическое обеспечение инновационных технологий : Международный форум, Санкт-Петербург, 04 марта

2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2020. – С. 12-13.

185. Усовершенствование методики прогнозирования рынка автосервисных услуг / И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, С. А. Чубучный [и др.] // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2021. – № 2(37). – С. 18-24.

186. Фадеев, А.И. Методология проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования : Дисс. … докт. техн. наук : 05.22.10 / А.И. Фадеев. – Красноярск, 2021. – 330 с.

187. Фалин, Г.И. Квартили в описательной статистике / Г.И.Фалин, А.И.Фалин // Математика. – 2011. - №15. - С.8-14.

188. Федоров, А.А. Разработка методики организации производства диагностирования электронных систем управления двигателей внутреннего сгорания с помощью передвижных лабораторий : Дисс. … канд. техн. наук : 05.02.22 / А.А. Федоров. – Ульяновск, 2009. – 167 с.

189. Фирсов, И.В. Повышение эффективности функционирования станций технического обслуживания на основе совершенствования организационно-производственной структуры : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / И.В. Фирсов. – Москва, 2016. – 128 с.

190. Харбанс, Р. Грокаем алгоритмы искусственного интеллекта / Р. Харбанс. — СПб.: Питер, 2023. – 368 с.

191. Хасанов, Р. Х. К вопросу оценки эффективности эксплуатации автомобилей / Р. Х. Хасанов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 11. – С. 55-58.

192. Что такое бизнес-процессы: обзор базовых понятий BPM // ELMA365 : [сайт]. – URL: https://elma365.com/ru/articles/chto-takoe-biznes-processy-obzor-bazovyh-ponyatij-bpm/ (дата обращения: 10.10.2023).

193. Шайдуллина, Н. К. Моделирование процесса администрирования системы массового обслуживания с ограниченным временем жизни заявок / Н. К. Шайдуллина, Е. А. Печеный, Н. К. Нуриев // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 11. – С. 81-86. – DOI 10.17513/snt.39824.

194. Шевелев, Е.С. Определение параметров зоны технического обслуживания с учетом неравномерности поступления автомобилей : Дисс. … канд. техн. наук : 05.22.10 / Е.С. Шевелев. –Тюмень, 2009. – 154 с.

195. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 386 с.

196. Шушамоина, А. В. Основные факторы дилерской сто оказывающие влияние на количество повторных ремонтов / А. В. Шушамоина // Техника и технологии: роль в развитии современного общества. – 2016. – № 7. – С. 9.

197. Яговкин, А. И. Организация производства технического обслуживания и ремонта машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /А.И.Яговкин. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 400 с.

198. Якунин, Н. Н. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе кооперации автотранспортных и сервисных предприятий / Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, Д. А. Дрючин // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 12. – С. 14-17.

199. Abdi, H. Principal component analysis / H. Abdi, L. J. Williams // Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics. – 2010. – Т. 2. – №. 4. – С. 433-459.

200. ABPMP Россия. BPM CBOK [Электронный ресурс] : свод знаний по управлению бизнес-процессами // Ассоциация бизнес-процессов управления (ABPMP). – URL: https://abpmp.org.ru/resource/bpm-cbok/ (дата обращения: 10.10.2023).

201. Adomavicius, G. Workshop on Context-Aware Recommender Systems / G. Adomavicius [et al.] // Proceedings of the 17th ACM Conference on Recommender Systems. – 2023. – P. 1234-1236. DOI:10.1609/aimag.v32i3.2364

202. Aizerman, M. A. Theory of Automatic Control: Adiwes International Series / M. A. Aizerman // Elsevier, 2016.

203. Akinyede, R. O. Neural Network Web-Based Human Resource Management System Model / R. O. Akinyede, O. A. Daramola // International Journal of Computer Networks and Communications Security. – 2013. – Vol. 1. – №. 3. – P. 75-87.

204. Alhoniemi, E. Process monitoring and modeling using the self-organizing map / E. Alhoniemi [et al.] //Integrated Computer-Aided Engineering. – 1999. – Vol. 6. – №. 1. – P. 3-14.

205. Amato, A. Neural network based video surveillance system / A. Amato, V. Di Lecce, V. Piuri // CIHSPS 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety, 2005. – IEEE, 2005. – P. 85-89.

206. Antuori, V. Combining Monte Carlo tree search and depth first search methods for a car manufacturing workshop scheduling problem / V. Antuori [et al.] // International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. – 2021. https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CP.2021.14

207. Astafiev, A. Device-Free Indoor Localization of a Person Based on Channel State Information / A. Astafiev, A. Erofeev, L. Karpycheva // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – IEEE, 2024. – P. 922-926.

208. Babiker, M. Automated daily human activity recognition for video surveillance using neural network / Babiker M. [et al.] // 2017 IEEE 4th international

conference on smart instrumentation, measurement and application (ICSIMA). – IEEE, 2017. – P. 1-5.

209. Barrera, J. Real-time fleet management decision support system with security constraints / J. Barrera, R.A. Carrasco, E. Moreno // TOP. - 2020. - № 28. - P. 728-748.

210. Bartuševičienė, I. Organizational assessment: effectiveness vs. efficiency / I. Bartuševičienė, E. Šakalytė //Social Transformations in Contemporary Society. – 2013. – Vol. 1. – №. 1. – P. 45-53.

211. Baturu, C. Brute force algorithm implementation of dictionary search / C. Baturu [et al.] //Jurnal Info Sains: Informatika dan Sains. – 2020. – Vol. 10. – №. 1. – P. 24-30. http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/InfoSains

212. Bertalanffy, L. V. General System Theory: Foundations, Development, Applications / L. V. Bertalanffy // New York : George Braziller, 1968. – 295 p.

213. Bhargava, N. Decision tree analysis on j48 algorithm for data mining / N. Bhargava [et al.] // Proceedings of international journal of advanced research in computer science and software engineering. – 2013. – Vol. 3. – №. 6.

214. Binz, T. Improving the manageability of enterprise topologies through segmentation, graph transformation, and analysis strategies / T. Binz [et al.] // 2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference. – IEEE, 2012. – P. 61-70.

215. Bohush, R. Person tracking algorithm based on convolutional neural network for indoor video surveillance / R. Bohush, I. Zakharava // Computer Optics. – 2020. – Vol. 44 (1). – P. 109–116. https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-565 .

216. Borodin, A. L. Mathematical diagnostic model of brake master cylinder of hydraulic brake system of automobile / A. L. Borodin, V. I. Vasiliev, G. I. Maltseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Irkutsk, 21–26 сентября 2020 года. - Vol. 1061. – Irkutsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1757-899X/1061/1/012011.

217. Butt, U. M. Detecting video surveillance using VGG19 convolutional neural networks / U. M. Butt [et al.] // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2020. – Vol. 11. – №. 2.

218. Caelen, O. A. Bayesian interpretation of the confusion matrix / O. A. Caelen // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. – 2017. – Vol. 81. – №. 3. – P. 429-450.

219. Cao, J. Modelling physical systems by effective harmonic oscillators: the optimized quadratic approximation / J. Cao, G. Voth // The journal of chemical physics. – 1995. – Vol. 102. – P. 3338-3348.

220. Carmona, J. Conformance Checking: Relating Processes and Models / J. Carmona, B. Van Dongen, A. Solti // Berlin : Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-99414-7.

221. Carter, M. Operations research: a practical introduction / M. Carter, C. C. Price, G. Rabadi // Chapman and Hall : CRC, 2018.

222. Chan, T. C. Y. Inverse optimization: Theory and applications / T. C. Y. Chan, R. Mahmood, I. Y. Zhu // Operations Research. – 2023. https://arxiv.org/abs/2109.03920

223. Colledani, M. Design and management of manufacturing systems for production quality / M. Colledani [et al.] //Cirp Annals. – 2014. – Vol. 63. – №. 2. – P. 773-796.

224. Corradini, F. A guidelines framework for understandable BPMN models / F. Corradini [et al.] // Data & Knowledge Engineering. – 2018. – Vol. 113. – P. 129-154.

225. Couillard, J. A decision support system for vehicle fleet planning / J. Couillard // Decision support systems. - 1993. - № 9(2). - P. 149-159.

226. Danilecki, K. Modeling inventory and environmental impacts of car maintenance and repair: A case study of Ford Focus passenger car / K. Danilecki, J. Eliasz, P. Smurawski, W. Stanek, A. Szlęk // Journal of Environmental Management . — 2023. — Vol. 45, Issue 2. — P. 123–135.

227. Daryani, S. M. Organizational theory, systemic thinking and system management / S. M. Daryani, S. Ali, A. Asli-zadeh // International Journal of Organizational Leadership. - 2012. - Vol. 1.- №. 2.

228. Denisov, M. V. Organization of the repair and maintenance in road sector with ontologies and multi-agent systems / M. V. Denisov, V. A. Kamaev, A. V. Kizim // Procedia Technology. – 2013. – Vol. 9. – P. 819-825.

229. Design and development of a context-aware decision support system for real-time accident handling in logistics / E.W.T. Ngai, T.K.P. Leung, Y.H. Wong, M.C.M. Lee, P.Y.F. Chai, Y.S. Choi // Decision Support Systems. - 2012. - № 52. - P. 816-827.

230. Digital twin implementation for accelerating the development of flexible transportation system control software / Rassudov L., Tolstikh O., Tiapkin M., Paskalov N., Korunets A., Osipov D. // В сборнике: 2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2021 - Proceedings. 62. 2021.

231. Djenouri, Y. Hybrid graph convolution neural network and branch-and-bound optimization for traffic flow forecasting / Y. Djenouri // Future Generation Computer Systems. – 2023. – Vol. 139. – P. 100-108.

232. Dorfman, R. Application of Linear Programming to the Theory of the Firm / R. Dorfman. – Berkeley : University of California Press, 2023. – 110 p.

233. Doroshin, I. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods / I.

Doroshin, R. Kazaryan // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 530-540.

234. Eisenberg, M.A. Corporate Governance – 1st Edition. – Gower: 2009. – P. 65.

235. Erofeev, A. Multi-criteria evaluation of management decisions in the intellectual system of transportation management / A. Erofeev // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. - 2019. - № 3. - С. 205-208.

236. Fagerholt, K. A decision support methodology for strategic planning in maritime transportation / K. Fagerholt, M. Christiansen, L.M. Hvattum, A.V. Trond, A.V.T. Johnsen, T.J. Vabø // Omega. - 2010. - № 38. - P. 465-474.

237. Fanti, M. P. A Decision Support System for the Management of an Electric-Car Sharing System / M. P. Fanti // International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems . — 2016. — Vol. 12, Issue 3. — P. 150–165.

238. Fayziyev, P. R. Organization of technological processes for maintenance and repair of electric vehicles / P. R. Fayziyev [et al.] // International Journal of Advance Scientific Research. – 2022. – Vol. 2. – №. 03. – P. 37-41.

239. Franklin, R. J. Anomaly detection in videos for video surveillance applications using neural networks / R. J. Franklin [et al.] // 2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). – IEEE, 2020. – P. 632-637.

240. Fred, L.Terry. A modified harmonic oscillator approximation scheme for the electric constants of Alx, Ga1-x, As. / Terry L. Fred // Journal of Applied Physics. – 1991. – Vol. 70. – P. 409-417.

241. Freeman, L. J. A tutorial on the planning of experiments / L. J. Freeman [et al.] // Quality Engineering. – 2013. – Vol. 25. – №. 4. – P. 315-332.

242. Fu, C. A two-stage robust approach to integrated station location and rebalancing vehicle service design in bike-sharing systems / C. Fu [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2022. – Vol. 298. – №. 3. – P. 915-938. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.014

243. Gambella, C. Optimization problems for machine learning: A survey / C. Gambella, B.Ghaddar, J.Naoum-Sawaya // European Journal of Operational Research. – 2021. – Vol. 290. – №. 3. – P. 807-828.

244. Garcia-Sanchez, A. J. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops / A. J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, J.Garcia-Haro // Computers and electronics in agriculture. – 2011. – Vol. 75. – №. 2. – P. 288-303.

245. Goldberg, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning / D. E. Goldberg. – Reading : Addison-Wesley, 1989. – 432 p.

246. Gonzaga, J. C. B. ANN-based soft-sensor for real-time process monitoring and control of an industrial polymerization process / J. C. B. Gonzaga [et al.] // Computers & chemical engineering. – 2009. – Vol. 33. – №. 1. – P. 43-49.

247. Gössling, S. The lifetime cost of driving a car / S. Gössling, J. Kees, T. Litman // Ecological Economics. – 2022. – Vol. 194. – P. 107335. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107335

248. Gould, R. Graph theory. – Courier Corporation, 2012. – 582 p.

249. Grant, R. M. Contemporary strategy analysis. – John Wiley & Sons, 2021. – 544 p.

250. Graph Neural Network for Robust Public Transit Demand Prediction / C. Li, L. Bai, W. Liu [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. - 23(5). – P. 4086-4098.

251. Grassa, R. Developing a sustainable operation management system for food charity organizations / R. Grassa, A. Bocanet // Journal of Cleaner Production. – Vol. 428. – 2023. – P. 139447.

252. Grothe-Hammer, M. Decisional organization theory: Towards an integrated framework of organization / M. Grothe-Hammer, H. Berkowitz, O. Berthod // Research handbook on the sociology of organizations. – Edward Elgar Publishing, 2022. – P. 30-53.

253. Grzybowska, H. Decision support system for real-time urban freight management / H. Grzybowska, J. Barceló // Transportation Research Part C: Emerging Technologies . — 2020. — Vol. 28, Issue 2. — P. 450–465.

254. Günther, C. W. Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics / C. W. Günther, W. M. P. Van der Aalst // Lecture Notes in Computer Science. – 2007. – Vol. 4745. – P. 36–50. – DOI: 10.1007/978-3-540-75559-7_3.

255. Gurianova, E. Design of Organizational Structures of Management According to Strategy of Development of the Enterprises/ E. Gurianova, S. Mechtcheriakova // Procedia Economics and Finance. - Volume 24. - 2015. - P. 395-401.

256. Harary, F. Graph Theory / F. Harary. – Reading : Addison-Wesley, 1969. – 284 p.

257. Harmer, R. Knowledge representation and update in hierarchies of graphs / R. Harmer, E. Oshurko // Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming. – Vol. 114. – 2020. – P. 100559.

258. Hedvall, K. Analysing an activity in context: A case study of the conditions for vehicle maintenance/ K. Hedvall, A. Dubois, F. Lind // Industrial Marketing Management. – 2016. – Vol. 58. – P. 69-82.

259. Hinton, G. E. A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets / G. E. Hinton, S. Osindero, Y.-W. Teh // Neural Computation. – 2006. – Vol. 18. – P. 1527–1554. – DOI: 10.1162/neco.2006.18.7.1527.

260. Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems / J. H. Holland. – Ann Arbor : University of Michigan Press, 1975. – 211 p.

261. Hong, J. The relationship benefits of auto maintenance and repair service: A case study of Korea / J. Hong, B. Kim, S. Oh // Behavioral Sciences. – 2020. – Vol. 10. – №. 7. – P. 115. DOI:10.3390/bs10070115.

262. Ikromov, I. A. Experience and prospects for the development of car service in the field of car maintenance / I. A. Ikromov, A. A. Abduraximov, H. Fayzullayev // ISJ Theoretical & Applied Science. – 2021. – Vol. 11. – №. 103. – P. 344-346. DOI: 10.15863/TAS.2021.11.103.25

263. Jain, N. K. Evaluating service quality in automobile maintenance and repair industry / N. K. Jain, A. K. Singh, K. Kaushik // Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics. – 2020. – Vol. 32. – №. 1. – P. 117-134.

264. Jiang, P. A Review of Yolo algorithm developments / P. Jiang [et al.] // Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 199. – P. 1066-1073.

265. Kalman, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems / R. E. Kalman // Journal of Basic Engineering. – 1960. – Vol. 82, No. 1. – P. 35–45.

266. Kang, Z. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm / Z. Kang, Y. Zhao, D. Kim // Heliyon. – Vol. 9, Issue 8. – 2023. – P. 19016.

267. Katoch, S. A review on genetic algorithm: past, present, and future / S. Katoch, S. S. Chauhan, V. Kumar // Multimedia tools and applications. – 2021. – Vol. 80. – P. 8091-8126. https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-020-10139-6.

268. Kessler, E. H. Encyclopedia of management theory. – Sage Publications, 2013. – 1056 p.

269. Kim, B. S. Cooperation of simulation and data model for performance analysis of complex systems / B. S. Kim, T. G. Kim //International Journal of Simulation Modelling. – 2019. – Vol. 18. – №. 4. – P. 608-619.

270. Kim, S. W. Organizational structures and the performance of supply chain management / S. W. Kim // International Journal of Production Economics. – 2007. – Vol. 106. – №. 2. – С. 323-345.

271. Kohonen, T. The self-organizing map / T. Kohonen // Proceedings of the IEEE. – 1990. – Vol. 78. – №. 9. – P. 1464-1480.

272. Kozin, E.S. Decision Support System For The Management Of A Vehicle Service Workshop / E.S. Kozin // Journal of Management & Technology. - Vol. 23, n.1. – 2023. - P. 380-392.

273. Kozin, E.S. Digital Model of a Transport Enterprise: The Role of Intensity and Operating Conditions of Vehicles / E.S. Kozin // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. - 2023. - Vol. 61. - P. 239-252.

274. Lai, C. H. Systems theory / C. H. Lai [et al.] // The international encyclopedia of organizational communication. - 2017. - Vol. 41. - P. 1-18.

275. Lambiotte, R. From networks to optimal higher-order models of complex systems / R. Lambiotte, M. Rosvall, I. Scholtes // Nature physics. – 2019. – Vol. 15. – №. 4. – P. 313-320.

276. Lambora, A. Genetic algorithm-A literature review / A. Lambora, K. Gupta, K. Chopra // 2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon). – IEEE, 2019. – P. 380-384. DOI:10.1109/COMITCon.2019.8862255

277. LeCun, Y. Deep Learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // Nature. – 2015. – Vol. 521. – P. 436–444. – DOI: 10.1038/nature14539.

278. Liao, K. Digital transformation and enterprise inefficient investment: Under the view of financing constraints and earnings management / K. Liao, H. Liu, F. Liu // Journal of Digital Economy. – Vol. 2. – 2023. – P. 289-302.

279. Lin, L. Development and application of maintenance decision-making support system for aircraft fleet / L. Lin, B. Luo, S. Zhong // Journal of Aerospace Engineering . — 2018. — Vol. 15, Issue 4. — P. 200–215.

280. Lin, L. Development and application of maintenance decision-making support system for aircraft fleet / L. Lin, L. Bin, Z. ShiSheng // Advances in Engineering Software. - 2017. - № 114. - P. 192-207.

281. Liu, P. Optimal maintenance strategies for warranty products with limited repair time and limited repair number / P. Liu, G.Wang, P. Su // Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – Vol. 210. – P. 107554. https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107554

282. Maes, G. A systems model of organizational change / G. Maes, G. Van Hootegem // Journal of Organizational Change Management. - 2019. - Vol. 32. №. 7. - P. 725-738.

283. Malone, T. W. Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes / T. W. Malone [et al.] // Proceedings Second Workshop on Enabling Technologies-Infrastructure for Collaborative Enterprises. – IEEE, 1993. – P. 72-82.

284. Marr, D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information / D. Marr. – New York : W.H. Freeman and Company, 1982. – 397 p.

285. Mirjalili, S. Genetic algorithm / S. Mirjalili // Evolutionary algorithms and neural networks: Theory and applications. – 2019. – P. 43-55.

286. Nikulina, O. Formation of organizational behavior within the management system of business structures of the transportation industry / O. Nikulina, I. Zilberova, I. Novoselova // Transportation Research Procedia. – Vol. 63. – 2022. – P. 541-547.

287. Nyulásziová, M. Implementing a decision support system in the transport process management of a small Slovak transport company / M. Nyulásziová, D. Paľová // Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation. – 2020. – Vol. 16. – №. 1. – P. 75-106.

288. Olkiewicz, M. Quality management in organizations within the framework of standardized management systems / M. Olkiewicz, J. Dyczkowska, N. Chamier-Gliszczynski, T. Królikowski // Procedia Computer Science. – Vol. 225. – 2023. – P. 4101-4109.

289. Owen J. How to Manage: The definitive guide to effective management / J. Owen // UK. : Pearson, 2018.

290. Papadimitriou, D. Constraint Inference in Control Tasks from Expert Demonstrations via Inverse Optimization / D. Papadimitriou, J. Li // 2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC). – IEEE, 2023. – P. 1762-1769. https://arxiv.org/abs/2304.03367.

291. Patalas-Maliszewska, J. An automated recognition of work activity in industrial manufacturing using convolutional neural networks / J. Patalas-Maliszewska, D. Halikowski, R. Damaševičius // Electronics. – 2021. – Vol. 10. – №. 23. – P. 2946.

292. Peng, J. Construction of enterprise business management analysis framework based on big data technology / J. Peng, L. Bao // Heliyon. – Vol. 9, Issue 6. – 2023. – P. 17144.

293. Pophaley, M. Plant maintenance management practices in automobile industries: A retrospective and literature review / M. Pophaley, R. K. Vyas // International Journal of Engineering and Technology . — 2020. — Vol. 15, Issue 3. — P. 45–60.

294. Priyam, A. Comparative analysis of decision tree classification algorithms / A. Priyam [et al.] // International Journal of current engineering and technology. – 2013. – Vol. 3. – №. 2. – P. 334-337.

295. Process Mining Book [Электронный ресурс] : вводная часть // Fluxicon. – URL: https://fluxicon.com/book/read/intro/ (дата обращения: 10.10.2023).

296. Redmon, J. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. - P. 779-788. doi: 10.1109/CVPR.2016.91.

297. Reynolds, D. A. Gaussian mixture models / D. A. Reynolds // Encyclopedia of biometrics. – 2009. – Vol. 741. – №. 659-663. – P. 3.

298. Rezatofighi, H. Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression / H. Rezatofighi [et al.] //Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2019. – P. 658-666.

299. Rozinat, A. Conformance checking of processes based on monitoring real behavior / A. Rozinat, W. M. P. Van der Aalst // Information Systems. – 2008. – Vol. 33, № 1. – P. 64–95. – DOI: 10.1016/j.is.2007.07.001.

300. Schmidhuber, J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview / J. Schmidhuber // Neural Networks. – 2015. – Vol. 61. – P. 85–117. – DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.

301. Schneider, A. Reducing complexity by creating complexity: A systems theory perspective on how organizations respond to their environments / A. Schneider, C. Wickert, E. Marti // Journal of Management Studies. - 2017. - Vol. 54. №. 2. - P. 182-208.

302. Sholiq, S. Generating BPMN diagram from textual requirements / S. Sholiq, R. Sarno, E. S. Astuti // Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. – 2022. – Vol. 34. – №. 10. – P. 10079-10093.

303. Simon, H. A. Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization / H. A. Simon. – New York : Macmillan, 1947. – 225 p.

304. Sinaga, K. P. Unsupervised K-means clustering algorithm / K. P. Sinaga, M. S. Yang // IEEE access. – 2020. – Vol. 8. – P. 80716-80727.

305. Skačkauskienė, I. Research on management theory: A development review and bibliometric analysis / I. Skačkauskienė // Problems and Perspectives in Management. – 2022. – Vol. 20. №2. – P. 335-347. doi:10.21511/ppm.20(2).2022.28

306. Sustainable production in cement via artificial intelligence based decision support system: Case study / K. T. Ates¸ S. Cenk, Y. Kuvvetli, B. A. Küren, A. Uysal // Case Studies in Construction Materials. - 2021. - № 15.

307. Taut, M. Generalized gradient correction for exchange: deduction from the oscillator model / M. Taut // A physical review. – 1996. – Vol. 53. – p. 3143.

308. Tilley, S. Systems analysis and design / S. Tilley, H. J. Rosenblatt // Cengage Learning, 2017. – 761 p.

309. Tompkins, J. R. Organization theory and public management. – Waveland Press, 2023. – 416 p.

310. Trivedi, S. Virtual Employee Monitoring: A Review on Tools, Opportunities, Challenges, and Decision Factors / S. Trivedi, N. Patel // Empirical Quests for Management Essences. – 2021. – Vol. 1. – №. 1. – P. 86-99.

311. Tseng, T. Y. Company employee quality evaluation model based on BP neural network / T. Y. Tseng, Q. Luo // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. – 2021. – Vol. 40. – №. 4. – P. 5883-5892.

312. Turoń, K. Economic aspects of driving various types of vehicles in intelligent urban transport systems, including car-sharing services and autonomous

vehicles / K. Turoń, A. Kubik // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – №. 16. – P. 5580. https://doi.org/10.3390/app10165580

313. Tushman, M. L. Organizational technology / M. L. Tushman, W. Smith // The Blackwell companion to organizations. – 2017. – P. 386-414.

314. Vaičiūtė, K. Estimation of technological development of transport enterprises / K. Vaičiūtė, G. Bureika, D. Bazaras // International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology. – Cham : Springer International Publishing, 2019. – P. 589-598.

315. Van der Aalst, W. M. P. Process Mining: Data Science in Action / W. M. P. Van der Aalst. – Berlin : Springer, 2016. – DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.

316. Van Der Aalst, W. Process mining: Overview and opportunities //ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS). – 2012. – Vol. 3. – №. 2. – P. 1-17.

317. Van der Aalst, W. What Is Process Mining? [Электронный ресурс] / W. van der Aalst ; Fluxicon. – URL: https://fluxicon.com/book/read/intro/ (дата обращения: 05.04.2025).

318. Van Dongen, B. F. The ProM framework: A new era in process mining tool support / B. F. Van Dongen // Proceedings of the International Conference on Business Process Management. – 2018. – URL: https://www.processmining.org/ (дата обращения: 10.10.2023).

319. Von Neumann, J. Theory of Games and Economic Behavior / J. Von Neumann, O. Morgenstern. – Princeton : Princeton University Press, 1944. – 641 p.

320. Wang, Z. Z. A comparative review between Genetic Algorithm use in composite optimisation and the state-of-the-art in evolutionary computation / Z. Z. Wang, A. Sobey // Composite Structures. – 2020. – Vol. 233. – P. 111739. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111739.

321. White, S. A. BPMN modeling and reference guide: understanding and using BPMN / S. A. White, D. Miers. – Future Strategies Inc., 2008.

322. Wuttikun, K. Service Station Modelling Through Enterprise Architecture: Business Intelligence and Customer Engagement of Top Service Stations in Thailand / K. Wuttikun [et al.] // 2021 5th National Conference on Advances in Enterprise Architecture (NCAEA). DOI:10.1109/NCAEA54556.2021.9690506.

323. Xuejun, L. Management mode and path of digital transformation of power grid enterprises based on artificial intelligence algorithm / L. Xuejun, Z. Shiyuan // International Journal of Thermofluids. – Vol. 21. – 2024. – P. 100552.

324. Zakharov, N.S. Basic Simulation Models of Car Failure Flows / N.S. Zakharov, A.N. Makarova, A.V. Ilyukhin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 272 (3). - 2019, P. 032036.

325. Zakharov, N.S. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing / N.S. Zakharov, A.N. Makarova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 272(3). – 2019. – P. 032040.

326. Zelenina, A. Modeling of management processes in distributed organizational systems / A. Zelenina, D. Petrosov, E. Pleshakova et.al. // Procedia Computer Science. – Vol. 213. – 2022. – P. 377-384.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025614449

Программа по оценке эффективности системы стимулирования производственных рабочих предприятия по техническому сервису автомобилей

Правообладатель: ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2025612826**
Дата поступления **13 февраля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***21 февраля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1cc300bf5d1240167 0cc c2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024691355

Программа по определению и оценке эффективности организационной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей

Правообладатель: ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2024690732**
Дата поступления **06 декабря 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***20 декабря 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ab300bf54f240f670bcc2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025612479

Программа по оценке эффективности системы контроля производственных процессов предприятия по техническому сервису автомобилей

Правообладатель: ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2025610739**
Дата поступления **13 января 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***30 января 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a63006f54f2401670cca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025611639

Программа по оценке эффективности функционирования производственной структуры предприятия по техническому сервису автомобилей

Правообладатель: ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2024689511**
Дата поступления **04 декабря 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***22 января 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ab300bf54f2401670bcc2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022664682

Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей (DSS web application)

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ) (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2022664221**
Дата поступления **27 июля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***03 августа 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b80077e14e40f0a94edbd24145d5c7
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 27.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025618413

Виртуальный тренажер для имитации работы производственного персонала согласно операционно-постовой карты технологического процесса технического обслуживания и ремонта автомобиля

Правообладатель: ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Автор(ы): ***Козин Евгений Сергеевич (RU)***

Заявка № **2025617033**
Дата поступления **20 марта 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***03 апреля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025619209

Time tracking software (TTS)

Правообладатель: ***Зиганшин Алик Альбертович (RU)***

Авторы: ***Зиганшин Алик Альбертович (RU), Захаров Николай Степанович (RU), Зиганшин Руслан Альбертович (RU), Козин Евгений Сергеевич (RU), Штанов Юрий Николаевич (RU)***

Заявка № **2025617535**
Дата поступления **01 апреля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***14 апреля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a63100cf54f240f670bcca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 2. Акты внедрения результатов исследований

БАШКОРТОСТАН РЕСПУБЛИКАҺЫНЫҢ
ТРАНСПОРТ ҺӘМ
ЮЛ ХУЖАЛЫҒЫ БУЙЫНСА
МИНИСТРЛЫҒЫ

«БАШКИРАВТОДОР»
АКЦИОНЕРҘАР ЙӘМҒИӘТЕ

450078, Башкортостан Республикаһы,
Өфө каласы, Киров урамы, 128а
Тел. (347) 262-55-55, факс (347) 262-51-30
e-mail: dor@bashkiravtodor.ru
ОГРН 1100280001216
ИНН 0274144861/КПП 027401001

15.04.2025 №_____

на №_____от_____

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И
ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«БАШКИРАВТОДОР»

450078, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Кирова, 128а
Тел. (347) 262-55-55, факс (347) 262-51-30
e-mail: dor@bashkiravtodor.ru
ОГРН 1100280001216
ИНН 0274144861/КПП 027401001

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Струговец Игорь Борисович, главный инженер АО «Башкиравтодор», составил настоящий акт о том, что в АО «Башкиравтодор» приняты к использованию следующие методики:

1. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. Методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. Методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. Методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. Методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. Методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращения затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парка техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Главный инженер  И.Б. Струговец

Общество с ограниченной ответственностью
«Строительная компания «ЛЕЯ»
ИНН 9728045885 КПП 772801001 ОГРН 1217700429870
117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17, эт. 3, ком./оф. 95/334
Тел.: +7 (961) 054-11-11; +7 (999) 646-98-88; e-mail: sk.ley@yandex.ru

Генеральный директор
ООО СК «ЛЕЯ»
Сало А.А
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Сало Андрей Александрович, генеральный директор ООО СК « ЛЕЯ», составил настоящий акт о том, что в ООО СК «ЛЕЯ» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Генеральный директор А.А.Сало

АО «Северная геофизическая экспедиция»
Исполнительный директор
Зеленцов И.М.

Акт

О внедрении результатов диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры «Сервис автомобилей и технических машин» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Я, нижеподписавшийся, Зеленцов Иван Михайлович, исполнительный директор АО «СГЭ», составил настоящий акт о том, что в АО «СГЭ» приняты к опытно-промышленной эксплуатации следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича на тему «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращения затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парка техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Исполнительный директор И.М. Зеленцов

ООО «Логистик-Сервис»
Галиакберов А.З.
15.04.2025

Акт

О внедрении результатов диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры «Сервис автомобилей и технических машин» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Я, нижеподписавшийся, Артур Зульфирович Галиакберов, начальник участка ООО «Логистик-Сервис», составил настоящий акт о том, что в ООО «Логистик-Сервис» приняты к опытно-промышленной эксплуатации следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича на тему «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращения затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парка техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Начальник участка
ООО «Логистик-Сервис» А.З. Галиакберов

ООО «Тайм-мобиль»
Директор Автоцентра
Свистунов Артем Николаевич
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Свистунов Артем Николаевич, директор Автоцентра, действующий на основании доверенности № 04/УК от 25.12.2023г. ООО «Тайм-мобиль», составил настоящий акт о том, что в ООО «Тайм-мобиль» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор Автоцентра «Тайм-мобиль» А.Н. Свистунов

ООО «КУЗОВГРАД»
Генеральный директор
Антонов Роман Николаевич
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Антонов Роман Николаевич, генеральный директор, действующий на основании Устава ООО «КУЗОВГРАД», составил настоящий акт о том, что в ООО «КУЗОВГРАД» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Генеральный директор Р.Н. Антонов

ООО «Гамма Инвест»
Технический директор
Козлов Александр Владимирович
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Козлов Александр Владимирович, технический директор, действующий на основании доверенности № БН от 28.12.2024г. ООО «Гамма Инвест», составил настоящий акт о том, что в ООО «Гамма Инвест» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Технический директор А.В. Козлов

ООО «Автоград Престиж»
Директор направления Ягуар Ленд Ровер
Семянников Денис Владимирович
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Семянников Денис Владимирович, директор направления Ягуар Ленд Ровер, действующий на основании доверенности №03/УК от 15.12.2023г. ООО «Автоград Престиж», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Престиж» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор направления Ягуар Ленд Ровер Д.В. Семянников

ООО «Автоград Мастер»
Сервис-менеджер
Язовских Олег Александрович
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Язовских Олег Александрович, сервис-менеджер, действующий на основании доверенности № 15/АК от 20.03.2025г. ООО «Автоград Мастер», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Мастер» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Сервис-менеджер О.А. Язовских

ООО «Автоград Маркет»
Директор автоцентра
Харчев Денис Сергеевич
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Харчев Денис Сергеевич, директор автоцентра, действующий на основании доверенности № 02/УК от 15.12.2023г. ООО «Автоград Маркет», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Маркет» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор автоцентра Д.С. Харчев

ООО «Автоград Люкс»
Директор направления Вольво
Федоткин Алексей Александрович
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Федоткин Алексей Александрович, директор направления Вольво, действующий на основании доверенности № 01/УК от 15.12.2023г. ООО «Автоград Люкс», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Люкс» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор направления Вольво А.А. Федоткин

ООО «Автоград-кузовной ремонт»
Директор направления кредитования и страхования
Самарин Александр Юрьевич
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Самарин Александр Юрьевич, директор направления кредитования и страхования, действующий на основании доверенности № 08/АК от 15.12.2023г. ООО «Автоград-кузовной ремонт», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград-кузовной ремонт» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор направления кредитования и страхования А.Ю. Самарин

Общество с ограниченной ответственностью «Автоград-кузовной ремонт» Тюменская область г. Тюмень ИНН 7203190180 ОГРН 1077203010070

ООО «Автоград Гарант»
Директор автоцентра
Лысов Евгений Александрович
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Лысов Евгений Александрович, директор автоцентра, действующий на основании доверенности № 10/УК от 04.10.2024г. ООО «Автоград Гарант», составил настоящий акт о том, что в ООО «Автоград Гарант» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор автоцентра Е.А. Лысов

ООО «ЦОДП «РАДАР»
Директор направления Детейлинга и Кузовной ремонт
Селиванов Кирилл Геннадьевич
15.04.2025

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Козина Е.С. по теме
«Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Я, нижеподписавшийся, Селиванов Кирилл Геннадьевич, директор направления Детейлинга и Кузовной ремонт, действующий на основании доверенности № 16/АК от 21.03.2025г. ООО «ЦОДП «РАДАР», составил настоящий акт о том, что в ООО «ЦОДП «РАДАР» приняты к использованию следующие методики:

1. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
2. методика учета неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей в течение года;
3. методика планирования потока требований на ресурсы технической службы предприятий автомобильного транспорта;
4. методика формирования организационно-производственной структуры предприятия автомобильного транспорта;
5. методика формирования структуры системы стимулирования производственного персонала для предприятий автомобильного транспорта;
6. методика формирования структуры системы контроля реализации технологических процессов на предприятиях автомобильного транспорта.
7. методика планирования загрузки зоны технического сервиса станции технического обслуживания;
8. методика управления перечнем услуг по техническому сервису автомобилей на станции технического обслуживания.

Указанные методики разработаны на основе исследований, выполненных в диссертационной работе Козина Евгения Сергеевича по теме «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Экономический эффект достигается за счет сокращение затрат на управление процессом технического обслуживания и ремонта парком техники на предприятии.

Использование методики позволяет определить оптимальные параметры структуры управления процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом основных производственных показателей предприятия.

Директор направления Детейлинга и Кузовной ремонт К.Г. Селиванов

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. первого проректора

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

А.Л. Пимнев

«16» 06 2025

АКТ

о внедрении в учебный процесс кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин» Тюменского индустриального университета диссертационной работы Е.С. Козина на тему «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта»

Настоящим актом подтверждается внедрение в учебный процесс кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» материалов и результатов диссертационного исследования Козина Евгения Сергеевича на тему «Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта».

Разработанная автором методология повышения эффективности управления технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта используется в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» и магистров по направлению подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в рамках лекционного материала и при выполнении практических и лабораторных работ по дисциплинам «Информационные технологии на транспорте», «Компьютерное зрение в решении инженерных задач», «Моделирование транспортных систем», «Компьютерные технологии в науке и производстве».

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин», протокол № 11 от 26.05.2025 г.

Заведующий кафедрой
«Сервис автомобилей и технологических машин» _____ Н.С. Захаров

Директор Института транспорта _____ П.В. Евтин

Приложение 3. Анкеты экспертного анализа факторов

ЭКСПЕРТНАЯ АНКЕТА
Внешние факторы, влияющие на эффективность работы предприятий технического сервиса

Уважаемый эксперт! Вашему вниманию представлена анкета анализа внешних факторов, влияющих на эффективность работы предприятий технического сервиса.

Результаты анализа в обезличенном виде будут использованы для поиска путей совершенствования подходов к управлению ТО и Р подвижного состава в Тюменском индустриальном университете.

Анкету можно заполнить в электронном виде: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScgFf-nfzWhm1Yq8UR5gmuv84HohClNf_iGP4xS1vQJmYnKig/viewform?usp=dialog

Вам представлены следующие группы факторов и относящиеся к ним факторы:

Таблица П.3.1. Внешние факторы, определяющие эффективность управления предприятиями технического сервиса автомобилей

1. Производственно-технологические (ПТ)	2. Организационно-экономические (ОЭ)	3. Рыночные (Р)	4. Факторы, связанные с подвижным составом (ПС)	5. Факторы, связанные с условиями эксплуатации (УЭ)
1.1. Технологическое обеспечение работ по ТОиР 1.2. Нормативное обеспечение работ по ТОиР 1.3. Состав работ по ТОиР 1.4. Трудоемкость работ по ТОиР 1.5. Фондоемкость работ по ТОиР	2.1. Стоимость сооружения и эксплуатации элементов ПТБ 2.2. Уровень цен на запасные части и материалы 2.3. Уровень цен на энергоносители 2.4. Уровень заработной платы производственного и административного персонала 2.5. Налоговая нагрузка	3.1. Уровень конкуренции 3.2. Количество обслуживаемых автомобилей 3.3. Уровень автомобилизации населения (для СТО) 3.4. Размер парка (для АТП) 3.5. Количество продаж новых автомобилей (для дилерских СТО) 3.6. Реализуемый перечень работ (услуг) по ТОиР	4.1. Марочный и модельный состав парка 4.2. Уровень надежности парка 4.3. Возраст парка 4.4. Интенсивность эксплуатации парка	5.1. Природно-климатические условия 5.2. Уровень развития дорожной инфраструктуры 5.3. Категория условий эксплуатации (город, рельеф и т.п.)

Вы можете выбрать один из двух вариантов заполнения анкеты:

1. Попарное сравнение факторов (более точный метод)

Вам нужно попарно оценить значимость 5 групп факторов по следующей шкале:
- равная важность - 1 балл;
- умеренное превосходство - 3 балла;
- значительное превосходство - 5 баллов;
- сильное превосходство - 7 баллов;
- очень сильное превосходство - 9 баллов.

Можно ставить промежуточные оценки, например, 4 балла, если вы оцениваете превосходство как умеренное, но не значительное.

Первой указывается важность фактора в столбце, потом в строке.

Оценка факторов	ПТ	ОЭ	Р	ПС	УЭ
ПТ					
ОЭ					
Р					
ПС					
УЭ					

2. Ранжирование факторов по важности

Поставьте напротив каждой группы факторов ее место по важности, исходя из следующего принципа: 1 – наиболее важный; 5 – наименее важный.

Группа факторов	Место по важности
1. Производственно-технологические (ПТ)	
2. Организационно-экономические (ОЭ)	
3. Рыночные (Р)	
4. Факторы, связанные с подвижным составом (ПС)	
5. Факторы, связанные с условиями эксплуатации (УЭ)	

ЭКСПЕРТНАЯ АНКЕТА

Внутренние факторы, влияющие на эффективность работы предприятий технического сервиса

Уважаемый эксперт! Вашему вниманию представлена анкета анализа внутренних факторов, влияющих на эффективность работы предприятий технического сервиса.

Результаты анализа в обезличенном виде будут использованы для поиска путей совершенствования подходов к управлению ТО и Р подвижного состава в Тюменском индустриальном университете.

Анкету можно заполнить в электронном виде: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScgFf-nfzWhm1Yq8UR5gmuv84HohClNf_iGP4xS1vQJmYnKig/viewform?usp=dialog

Вам представлены следующие группы факторов и относящиеся к ним факторы:

Таблица П.3.2. Внутренние факторы, определяющие эффективность ТЭА

1. Система и организация ТО и Р на предприятии (СО)	2. Производственно-техническая база (ПТБ)	3. Персонал (П)	4. Система снабжения и резервирования (СР)	5. Подвижной состав и эксплуатационные материалы (ПСЭМ)
Организация и управление ТОиР Формирование, адаптация и корректирование нормативов ТОиР	2.1. Уровень обеспеченности ПТБ оборудованием, помещениями	3.1. Количество производственного и административного персонала 3.2. Квалификация персонала 3.3. Стимулирование персонала	4.1. Обеспечение оптимального уровня запасов 4.2. Планирование и организация поставок 4.3. Резервирование подвижного состава или производственных мощностей	5.1. Обновление подвижного состава (для АТП) 5.2. Повышение качества эксплуатационных материалов

Вы можете выбрать один из двух вариантов заполнения анкеты:

1. Попарное сравнение факторов (более точный метод)

Вам нужно попарно оценить значимость 5 групп факторов по следующей шкале:
- равная важность - 1 балл;
- умеренное превосходство - 3 балла;
- значительное превосходство - 5 баллов;

- сильное превосходство - 7 баллов;
- очень сильное превосходство - 9 баллов.

Можно ставить промежуточные оценки, например, 4 балла, если вы оцениваете превосходство как умеренное, но не значительное.

Первой указывается важность фактора в столбце, потом в строке.

Оценка факторов	СО	ПТБ	П	СР	ПСЭМ
СО					
ПТБ					
П					
СР					
ПСЭМ					

2. Ранжирование факторов по важности

Поставьте напротив каждой группы факторов ее место по важности, исходя из следующего принципа: 1 – наиболее важный; 5 – наименее важный.

Группа факторов	Место по важности
1. Система и организация ТО и Р на предприятии (СО)	
2. Производственно-техническая база (ПТБ)	
3. Персонал (П)	
4. Система снабжения и резервирования (СР)	
5. Подвижной состав и эксплуатационные материалы (ПСЭМ)	

Приложение 4. Диссертации для проведения аналитических исследований

Таблица П.4.1. Диссертации по специальности 2.9.5 (05.22.10) по результатам анализа сайта https://vak.minobrnauki.gov.ru/adverts_list#tab=_tab:advert~ (фрагмент)

№	Год защиты	Автор	Тема	Категория
1	2012	Раков Вячеслав Александрович	Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей	1
2	2012	Ревякин Максим Михайлович	Повышение надёжности грузовых автомобилей путём применения системы эксплуатационной самодиагностики	5
3	2012	Симаков Антон Владимирович	Обеспечение безопасности движения на наземных пешеходных переходах в городах	11
4	2012	Фаттахова Альмира Файзулловна	Комплексная методика совершенствования транспортного обслуживания садоводческих маршрутов	9
5	2012	Хасанов Рафаэль Илдарович	Управление скоростным режимом автомобиля в эксплуатации на основе бортовых средств оперативной оценки состояния дорожного полотна	5
6	2012	Науменко Евгений Юрьевич	Организация парковочного пространства в общей системе дорожного движения в городах	9
7	2012	Устаров Рамазан Магомедярагиевич	Прогнозирование пробега автомобильных шин эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности	6
8	2012	Магомедов Варис Камалудинович	Прогнозирование и систематизация отказов прицепных звеньев магистральных автопоездов в горных условиях	6
9	2012	Кущенко Сергей Викторович	Повышение эффективности организации движения на основе моделирования транспортных потоков	7
10	2012	Новописный Евгений Александрович	Повышение эффективности проведения дорожно-транспортной экспертизы на основе анализа напряженно-деформированного состояния бампера автомобиля	11
…				

Таблица П.4.2. Диссертации по специальности 2.9.1 (05.22.01) по результатам анализа сайта https://vak.minobrnauki.gov.ru/adverts_list#tab=_tab:advert~ (фрагмент)

№	Год защиты	Автор	Тема	Категория
1	2012	Косарев Александр Сергеевич	Повышение эффективности работы российских международных грузовых автоперевозчиков	3
2	2012	Кажаев Андрей Александрович	Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городского пассажирского транспорта	6
3	2012	САРКИЕВ Вали Мурадович	Формирование и управление мультимодальной транспортной системой (на примере поставок нефти различных сортов каспийско-черноморского региона)	1
4	2012	Москвичев Евгений Сергеевич	Разработка системы мониторинга и методов нечеткого ситуационного анализа для повышения эффективности международных автомобильных перевозок	3
5	2012	Адиев Хаджимурат Абуевич	Повышение эффективности грузовых автомобильных перевозок в условиях неустойчивой городской транспортной системы	3
6	2012	Суматохин Дмитрий Геннадьевич	Повышение эффективности разработки индивидуальных маршрутных норм расхода топлива для городских автобусов	3
7	2012	Кочнева Дарья Ивановна	Повышение эффективности функционирования региональной контейнерной транспортно-логистической системы	1
8	2012	Фридрихсон Олег Владимирович	Формирование транспортно-логистической контейнерной системы доставки продукции металлургического предприятия	1
9	2012	Дэльз Сергей Валерьевич	Развитие транспортно-логистической системы экспортной перевозки зерна.	1
10	2012	Жанказиев Султан Владимирович	Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов	1
…				