

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Егоров Владимир Дмитриевич

**МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ
ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ДЛЯ ЦИФРОВЫХ
СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность: **05.22.10** – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Терентьев Алексей Вячеславович

Санкт-Петербург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Анализ состояния и направлений развития и методологической базы организации грузовых автомобильных перевозок	14
1.1 Современное состояние грузовых автомобильных перевозок в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, определяющее необходимость цифровой трансформации моделей управления	14
1.2 Оценка состояния методологической базы определения эффективности грузовых автомобильных перевозок	23
1.3 Оценка влияния условий движения в Санкт-Петербурге на технико-эксплуатационные показатели работы подвижного состава	35
Выводы по первой главе	45
2. Разработка концепции организации грузовых автомобильных перевозок, основанной на принципах цифровых объектно-ориентированных моделей управления	48
2.1 Механизмы и инструменты реструктуризации сложных систем на основе цифровых сервисов	48
2.1.1. Общие особенности применения цифровых технологий в сложных транспортных системах	48
2.1.2 Цифровые сервисы как инструменты формирования сервисно-ориентированной архитектуры в системе грузовых перевозок	53
2.2 Цифровые технологии, реализующие системно-сервисные и бизнес-модели управления грузовыми перевозками	61
2.3 Актуальные модели решения многокритериальных задач маршрутизации в динамических транспортных сетях	69
Выводы по второй главе	74

3. Разработка сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации контейнерных перевозок	77
3.1 Определение требований к модели управления грузовыми перевозками, основанных на цифровых сервисах.....	77
3.2 Разработка аналитической модели определения показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий	81
3.2.1 Разработка аналитической модели определения коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя среднетехническая скорость	81
3.2.2 Обоснование необходимости «он-лайн» определения показателя среднетехническая скорость при формировании системы тарифообразования грузовых автомобильных перевозок	91
3.3 Разработка алгоритма методики организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления	95
Выводы по третьей главе.....	99
4 Апробация и экономическое обоснование эффективности методики организации автомобильных грузовых перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления	101
4.1 Методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП	101
4.2 Апробация методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС, основанной на фактическом определении значений технико-эксплуатационных показателей	108
Выводы по четвёртой главе.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	121
ПРИЛОЖЕНИЯ	136

Приложение А. Описание существующего процесса планирования и контроля доставки грузов при применении ПО ANTOR LM	137
Приложение Б. Листинг ПО для расчёта по алгоритму Декстры с тремя критериями эффективности	141
Приложение В. Решение оптимизационной задачи определения значений эффективности распределения вкладов показателей ТЭП в систему ГАП	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Необходимость развития сервисно-ориентированных систем планирования грузовых автомобильных перевозок (ГАП), в первую очередь, аргументируется значительным уровнем издержек из-за низкой производительности работы грузового автомобильного транспорта (АТ) в РФ. Данный показатель в РФ в 2...3 раза в сравнении с производительностью работы грузовых автомобилей в зарубежных странах, активно внедряющих цифровые технологии в модели организации ГАП. Цифровые сервисно-ориентированные модели формирования систем ГАП предполагают обязательное разделение организации ГАП на производственную и координационную составляющие, а цифровые сервисы (ЦС) позволяют интегрировать их в единую интеллектуальную систему на основе цифровых сервисно-ориентированных моделей управления. Опыт применения данных сервисно-ориентированных моделей управления ГАП за рубежом показывает возможность повышения производительности работы грузовых автотранспортных средств (АТС) на 5...6%, причем более половина этого увеличения достигается только за счет оптимизации процессов управления.

Традиционно основой для формирования системы управления процессами ГАП в РФ была информация о состоянии технико-эксплуатационных показателей работы АТС (ТЭП), полученная на основе системной обработки статистических данных об эффективности эксплуатации подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП) за предшествующие периоды. Основной проблемой применения данной модели в современной практике организации ГАП является динамическая нестабильность большинства показателей использования АТС, таких как время простоя под погрузкой и разгрузкой (ППР), среднетехническая скорость, время в наряде и т.д. Перечисленные показатели в современных условиях являются сложнопрогнозируемыми величинами, в значительной степени зависящими от факторов внешней среды ГАП из-за сложной дорожной обстановки, многочисленных заторовых ситуаций т.д.

Разработка эффективных средств и инструментов управления в исследуемой сложной системе всегда является основополагающей научной задачей в приложении к любой сфере деятельности. Эффективность системы всегда определяется адекватностью методов организации процессов в системе и получения достоверных оценок состояния системы. Современный уровень развития цифровых технологий позволяет выйти на новый качественный уровень техническим инструментам сбора, обработки и анализа информации в цифровом формате о состоянии транспортных процессов в динамике их развития – в «онлайн» режиме. В свою очередь, новые возможности обязывают научное сообщество создавать новые научно-методические подходы к разработке аналитических средств организации и планирования ГАП, то есть к разработке, соответствующей современному уровню развития технологического процесса структуры ТЭП коммерческой эксплуатации грузовых АТС. Основой для объективной оценки эффективности эксплуатации ГАП, отвечающей требованиям цифровой трансформации отрасли, является математическая модель расчёта ТЭП, реализованная в методике расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления.

Востребованная необходимостью задача цифровизации управления процессами ГАП в условиях динамического нестабильного состояния внешней среды является важной социально-значимой задачей, так как отсутствие научного подхода к решению данной проблемы приводит к противоречию между сосуществующем уровнем развития цифровых технологий и устаревшими формами организации ГАП, а, в итоге, неоправданным затратам по доставке грузов в РФ. Настоящим диссертационным исследованием должны быть обеспечена разработка методики, позволяющей системно с учётом современных достижений научно-технического прогресса в области цифровых технологий, прогнозировать результативные показатели работы при производственном планировании ГАП.

Степень разработанности проблемы. Еще в советское время автотранспортные предприятия (АТП) применяли достаточно эффективные

методы для организации и планирования подвижного состава. Теоретическая основа развития ГАП была заложена и развивалась в постсоветское время в работах Вельможина А.В., Воркута А.И., Гудкова В.А., Горева А.Э., Корчагина В.А., Лукинскогo В.С., Миротина Л.Б., Николина В.И., Пугачева И.Н, Россохи В.И. [26,27,28,29,30,31] и многих других авторов. К исследованиям, посвященным организации и планированию ГАП в изменившихся условиях его работы, обращаются и современные авторы научных работ [32,33,34,35,36 и др.]. Все перечисленные работы при решении задач эффективности перевозок опираются на расчёт производственной программы по эксплуатации АТС. Во всех работах отмечается, что переход к рыночным отношениям изменяет практику изменения входные данные и состав показателей, применяемых для определения эффективности ГАП. Отмечается, что особенностью в современных условиях является частое изменение режимов движения, расстояний перевозки, объемов и видов грузов и т. д., что в совокупности не позволяет получать достоверные результаты в режиме работы АТС. Также в большинстве работ декларируется необходимость создания новых математических моделей для проведения анализа и получения достоверных ТЭП, оценивающих эффективность работы автомобилей в сложных условиях внешней среды (дорожной, экономической, организационной). Анализ учебных, методических и научных работ показал, что для того, чтобы приблизиться к объективному управлению ГАП в сложных динамических условиях, необходимо производить планирование на основе анализа конкретных данных по отдельным заявкам на транспортные услуги и, исходя из конкретных условий перевозок по каждой заявке: расстояний перевозки, времени ПРР, учитывая грузоподъемность или грузовместимость отдельного АТС и т. д. Поэтому определяется необходимость перехода на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательным элементом которого является использование в процессе управления современного ПО, автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании и планировании ГАП.

Целью диссертационной работы является разработка методики расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления, позволяющая объективно регулировать и планировать ТЭП в динамически нестабильных условиях ГАП.

Для достижения цели исследования решаются **следующие задачи**:

1. Обосновать концепцию перехода на цифровые модели управления в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, зависящих от факторов внешней среды ГАП.
2. Разработать принципы организации автомобильных перевозок с применением системной сервисной модели, основанной на цифровых технологиях.
3. Разработать аналитическую модель сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации ГАП с учетом возможности автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте.
4. Разработать научно-методический подход к расчёту производственной программы по определению показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий для установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.
5. Произвести апробацию методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП.

Объектом исследования является система планирования автомобильных перевозок в динамически изменяющихся условиях среды эксплуатации автотранспортных средств.

Предметом исследования являются научные методы и аналитические модели оценки эффективности ГАП, предполагающие возможность применения цифровых технологий и определения информационного состояния транспортных процессов в «он-лайн» режиме.

Научная гипотеза исследования предполагает некорректность применения стохастического неопределенного показателя ТЭП (среднетехническая скорость, время ПРР и др.) при расчёте производственной программы ГАП. В целях оптимального планирования ГАП и, исходя из изменяющихся условий перевозки, должны определяться фактические базы ограничений по величине отдельных показателей использования АТС и формироваться базы данных весовых коэффициентов распределения вкладов в эффективность системы для каждого показателя. По сформированным таблицам весовых коэффициентов распределения вкладов отдельных показателей должна определяться эффективность каждого маршрута в заданной системе ограничений и целеполагания. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования должна решаться по всем видам ограничений, накладываемых внешней средой с применением методов векторной оптимизации, и производиться комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров.

Научная новизна исследования заключается в:

1. Разработке аналитической модели сервисно-ориентированной методики определения ТЭП, обеспечивающей: возможность регулярного обновления ТЭП на основе полученных «он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок; возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте; возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду и т.д.
2. Разработке аналитической модели определения управляющих коэффициентов, учитывающих стохастический неопределенный характер показателей ТЭП, основанной на применении комплекса ограничений, накладываемых на варьируемые показатели на установленном интервале времени, определяемом периодом исследования.

3. Разработке методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации и планировании ГАП, предназначенной для анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисно-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

Практическая значимость заключается в том, что позволяет планировать ГАП с применением современных цифровых технологий с максимальной степенью эффективности на основании дифференцированной оценки показателей использования автомобилей:

- формировать базы исходных данных показателей на базе протокола маршрутизации и его реализующего ПО, предполагающего возможность применения «он-лайн»-данных о состоянии процесса при выборе эффективного действия и при наличии стохастической неопределённости исследуемых показателей;
- формировать состав показателей, исключая показатель среднетехнической скорости движения, но предполагающий расчёт фактической средней скорости движения АТС на каждом отдельном маршруте;
- решать многокритериальные задачи оптимизации в анализируемой системе ГАП в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов.

Сформулированные в исследовании выводы и практические рекомендации могут быть использованы в работе АТП и транспортно-логистических компаний, осуществляющих и организующих ГАП любых видов грузов.

Методология и методы исследования основываются на системном анализе, теории информационного взаимодействия в условиях различных информационных состояний при динамически изменяющихся факторах внешней среды, методов векторной оптимизации, теории вероятностей, статистических методов обработки и анализа экспериментальных данных.

Область исследования соответствует пунктам паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта:

- П2. Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов.
- П15. Развитие новых информационных технологий при перевозках.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция организации автомобильных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления.
2. Аналитические модели определения показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий.
3. Аналитические модели определения коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя ТЭП.
4. Методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП.
5. Результаты апробации методики расчёта производственной программы по эксплуатации для целей исследования эффективности системы ГАП

Личный вклад автора. Все идеи, положенные в основу:

- методики расчёта производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисно-ориентированных моделей управления;
- аналитической модели определения ТЭП, обеспечивающей возможность регулярного обновления ТЭП на основе полученных «он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок и оперативного изменения маршрутных

заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте;

принадлежат автору исследования.

Степень достоверности обоснована эффективным использованием методов системного анализа и системной инженерии при формировании концепции внедрения цифровых технологий в ГАП; обоснована применением методов векторной оптимизации и линейного программирования при создании аналитических моделей, оптимизирующих методы расчёта производственной программы ГАП; подтверждена применением разработок исследования при выполнении научно-технической работы «Разработка цифровых объектно-ориентированных моделей управления в транспортно-логических системах и прототипов программного обеспечения на их основе», ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», 2020-2021 гг.; обеспечена применением авторского программного обеспечения (ПО), автоматизирующего новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом;

Апробация работы. Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на конференциях:

- Объединённый международный онлайн форум МАНФ-2020 «Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы» и АВТОНЕТ– 2020 «Форум инновационных транспортных технологий», 14 -15 октября 2020, г. Москва.
- XIII Петербургский международный инновационный форума «Логистический Кластер Северо-Запада России: Внедрение цифровых технологий в систему управления логистики» (11-13 ноября, 2020 - Санкт-Петербург)
- X Международный форум «Арктика: настоящее и будущее», 10 -12 декабря 2020, г. Санкт-Петербург.
- Санкт-Петербургская конференция кластеров «Кластеры открывают границы. Цифровая трансформация», 28 июня 2021 г, г. Санкт-Петербург.

- Международная конференция «Транспортная доступность АРКТИКИ: сети и системы», 2 -4 июня 2021 г. г Санкт-Петербург.

Реализация результатов работы. Значимость результатов диссертационного исследования подтверждается:

1. Актом о внедрении в учебные программы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» при реализации лекционных, практических и лабораторных занятий кафедрой транспортных систем по направлениям подготовки:
 - бакалавров - 23.01.01 «Технология транспортных процессов» (профиль подготовки «Организация перевозок и управление на автомобильном транспорте»)
 - 23.04.01 «Технология транспортных процессов» (профессионально-образовательная программа «Транспортная логистика и интеллектуальные транспортные системы»)
2. Актом о внедрении в производство АО «Тяжмаш» (г. Сызрань), АО «НИИРПИ» (г. Санкт-Петербург).

Публикации. По теме работы опубликовано 5 работ. Общий объем их составляет 1,2 печатных листа, включая 3 из них в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, 2 статья в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем составляет 161 страницу машинописного текста, включающего 17 рисунков и 18 таблиц. Библиография содержит 137 наименования.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

1.1 Современное состояние грузовых автомобильных перевозок в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, определяющее необходимость цифровой трансформации моделей управления

Автомобильный транспорт (АТ) по сравнению с другими отраслями хозяйствования всегда обладал рядом специфических особенностей, что принципиально отличало системы управления и методы организации технологических процессов. Главной особенностью, отличающей АТ от других отраслей, является то, что производственный процесс (перевозки грузов) протекает за пределами автотранспортных предприятий, его организующих. Таким образом, в систему управления перевозками включаются не только автотранспортные предприятия, но и предприятия, которым оказываются транспортные услуги. [1,2,3,4]. Поэтому структура объектов производства на АТ многообразнее сложнее, чем в других отраслях. Поэтому, с одной стороны, организовать эффективное управление в многоуровневой и гетерогенной системе производства АТ гораздо сложнее, чем на локализованном производстве, но, с другой стороны, только за счёт применения оптимальных в рамках исследуемой структуры решений можно добиться повышения качества в целом в социально-технической системе, внутри которой осуществляется деятельность АТ, что неоднократно подчеркивалось и определялось в различных государственных региональных концепциях, направленных на развитие транспортных систем в РФ [5,6]. В частности, в документе «Основные положения Стратегии развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года», отмечается, что транспорт не только играет важнейшую роль социально-экономического развития (услугами АТ пользуются около 450 тыс. предприятий города и около 7 млн. населения), обеспечивает эффективность работы других отраслей экономики.

Транспорт относится к числу ведущих отраслей специализации региона, учитывая его существенный вклад в формирование валового регионального продукта (ВРП), уровень занятости населения и объем привлекаемых инвестиций. Вклад транспортного комплекса в социально-экономическое развитие Санкт-Петербурга и Ленинградской области характеризуют следующие показатели:

- в структуре ВРП г. Санкт-Петербурга доля транспорта в целом составляет около 12 %, а в Ленинградской области более 15,9%, при этом здесь АТ составляет доминирующую часть по отношению к другим видам транспорта. Следует отметить, что приведенные региональные показатели значительно выше, чем в целом по РФ, где они составляют 10 т 13 % соответственно.
- в системе транспортного производства в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области находится более 30 тыс. предприятий, на которых работает более 300 тыс. человек, что составляет более 8% от общей численности трудящихся в регионе, в том числе в Санкт-Петербурге.

Из общей суммы поступлений налогов и сборов в бюджетную систему Российской Федерации от предприятий различных видов транспорта, зарегистрированных на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, наибольший объем поступлений обеспечили предприятия, осуществляющие транспортную деятельность (включая обработку, хранение и складирование грузов и контейнеров; деятельность терминалов и т. д.). При этом предприятия грузового и автомобильного транспорта обеспечивают вес более 15 % в данном показателе, уступая только предприятиям железнодорожного транспорта (28%).

АТ обеспечивает доставку грузов для всех отраслей экономики Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Высокий спрос на грузовые автомобильные перевозки формируется за счет конкурентоспособных тарифов, высокой скорости доставки товаров и организации перевозок «от двери до двери». В современных условиях АТ лидирует при перевозках на расстояния до 1000 -1500 км, а в случае доставки дорогостоящих и скоропортящихся грузов – до 3000 км.

АТ играет важную роль в обслуживании морских портов, расположенных на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, он обеспечивает транспортировку 10,3% от общего объема портовых грузов. На АТ перевозится около 75% контейнерных грузов, следующих через морские порты. Существенна роль автомобильного транспорта в международных перевозках, выполняемых через международные автомобильные пункты пропуска (МАПП), расположенные на границе Ленинградской области с Финляндией и Эстонией. Эти МАПП являются наиболее загруженными автомобильными пунктами пропуска в России. Численность парка автотранспортных средств (АТС) Санкт-Петербурга и Ленинградской области составляет 53% от общей численности парка Северо-Западного федерального округа и 5% парка Российской Федерации.

Специфической особенностью грузовых автомобильных перевозок (ГАП) в г. Санкт-Петербурге является то, что большая доля в объеме ГАП региона непосредственно обеспечивается доставкой грузов в морские порты Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга, поставляемых на экспорт из них импортных грузов. Доля автомобильного транспорта в перевозке грузов Большого порта Санкт-Петербург составила 46% и 42% соответственно. На автотранспорте перевозятся грузы в контейнерах, металлы и металлолом, лесные грузы, рефрижераторные грузы, нефтепродукты и др. Наибольший объем автоперевозок приходится на грузы в контейнерах (17,3 млн тонн в 2019 г. и 14,5 млн тонн в 2020 г.). Объем грузов Большого порта Санкт-Петербург, перевозимых на АТ, сопоставим с объемом международных автомобильных перевозок через все международные автомобильные пункты пропуска, расположенные на границе РФ. Мощный поток АТС, обеспечивающий работу порта, вызывает проблемы, связанные с исчерпанием пропускной способности улично-дорожной сети (УДС) и стоянкой большегрузных автомобилей на территории Санкт-Петербурга в ожидании времени прихода судов. Таким образом, автотранспортное предприятие (АТП) связано со всеми предприятиями обслуживаемой им территории, зависит от состояния транспортной и производственной и потребительской инфраструктуры региона.

Значительный спрос на ГАП в Санкт-Петербурге связан с большим количеством промышленных, складских и торговых объектов, расположенных в границах плотной застройки. В связи с высокой концентрацией в Санкт-Петербурге грузообразующих объектов остро стоит вопрос создания эффективной системы управления грузовой логистикой. Несмотря на ограничения движения грузового автотранспорта, на ряде магистралей города в дневные часы наблюдается значительное количество грузовых автомобилей, что негативно сказывается на условиях движения транспортных потоков и экологической ситуации. Поэтому для решения этой проблемы в городе разработана и внедрена система ограничения доступа большегрузного автотранспорта на территорию Санкт-Петербурга в границах КАД. В соответствии с Постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 27.03.2012 № 272 «О порядке осуществления временных ограничения или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам регионального значения в Санкт-Петербурге»:

- были внедрены мероприятия, значительно ограничивающие возможность движения большегрузных автомобилей по региональным дорогам Ленинградской области и в г. Санкт-Петербурге;
- разработан порядок осуществления временных ограничений и прекращения движения автотранспортных средств и определен порядок выдачи пропусков на движение грузовых транспортных средств по УДС Санкт-Петербурга.

Перечисленные меры носят не оптимизационный, а ограничительный характер, но позволили в полном объеме решить задачи по ограничению движения грузового автотранспорта. Во многом это связано с отсутствием единой эффективной системы управления автомобильными контейнерными перевозками, а также необходимых для реализации системы информационно-коммуникационных и технических средств контроля движения АТС по улично-дорожной сети (УДС) города и межрейсового отстоя грузовиков, которые в большинстве своем располагаются в жилых районах Санкт-Петербурга.

Таким образом, АТ представляет собой многокомпонентную систему, функционирующую динамически нестабильных условиях, управление которой связано с большими трудностями, обусловленными с необходимостью учитывать огромное количество факторов, показателей использования и результативных показателей различной физической природы происхождения [7,8,9]. Решать задачи рационального распределения ресурсов управления и обоснованности ограничений в данных системах возможно только с помощью современных математических методов, упорядочивающих и оптимизирующих процесс организации перевозок [10,11,12,13,14].

При неупорядоченном характере ограничений на перемещения автомобилей и невозможности УДС справиться с «хаотичной» нагрузкой, когда каждое АТП применяет для организации перевозок «собственную логистику» систему перевозок в целом, приводит к такой транспортной логистической (информационной) ситуации, когда существующая модель решения задач в транспортной системе не удовлетворяет никого: ни муниципальные власти, ни грузоперевозчиков, ни владельцев транспортно-складских комплексов, ни грузовладельцев.

Альтернативой данному подходу является использование моделей управления механизмов, позволяющих осуществлять многокритериальную синхронизацию показателей объектов транспортной инфраструктуры и ГАП [15,16,17,18]. Сегодня данная трансформация объектов в сложных транспортных системах осуществима, но содержит большое количество видов и типов связей, поэтому требует разработки специальных объектно-ориентированных моделей управления, которые формируют индивидуальные траектории перемещения автомобилей в транспортной сети. При этом модель управления должна формировать не только описание объектов и критериев, но и методы их взаимодействия и преобразования атрибутов, позволяющих строить производные структуры на основе базовых для более сложных состояний системы, что делает процесс управления более гибким и универсальным.

Для построения перспективной системы управления грузовой логистикой необходимо активное использование цифровых моделей управления с применением информационно-коммуникативных технологий (ИКТ), навигационно-информационных систем по контролю движения АТС с использованием возможностей спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS в составе Центра управления транспортом Санкт-Петербурга. Это позволит обеспечить контроль за работой и мониторинг параметров движения АТС, прошедших процедуру подключения к навигационно-информационной системе и принадлежащих транспортным компаниям, имеющим допуск к осуществлению грузовых автоперевозок на территории Санкт-Петербурга в пределах КАД.

Создание систем управления ГАП, основанных на активном применении ИКТ-технологий необходимо осуществлять последовательно, наращивая объемы обрабатываемой информации постепенно. В Санкт-Петербурге возможности для подобного развития сценария цифровизации ГАП определены специфическими условиями и видами перевозок. В настоящее время около 75% от общего объема грузов в контейнерах, проследовавших через Большой порт Санкт-Петербург и порт Усть-Луга, перевозится на АТ. Преобладание автомобильного транспорта в перевозке грузов в контейнерах, следующих через морские порты, объясняется следующими причинами:

- на АТ грузы в контейнерах могут сразу же покидать порт после прохождения всех административных процедур, а для отправки их на железнодорожном транспорте необходимо время на формирование поезда, кроме того, средняя скорость доставки контейнерных грузов на расстояние до 2 тыс. километров на АТ в два раза превышает скорость доставки на ж/д транспорте, поэтому время в пути от морского порта до места назначения при расстоянии доставки грузов до 2 тыс. километров на АТ существенно меньше, чем на железнодорожном транспорте (например, гарантированное время доставки грузов на АТ от Большого порта Санкт-Петербург до Москвы составляет на автотранспорте 12 часов, а на железнодорожном транспорте – 25,5 часов);

- важную роль при выборе вида транспорта играет стоимость аренды контейнера, которая резко повышается при увеличении срока возврата контейнера в порт, поэтому компании стремятся сократить время аренды контейнеров за счет использования автотранспорта;
- грузы в контейнерах тяготеют к доставке точно в срок, а при использовании железнодорожного транспорта необходимо подстраиваться под расписание следования контейнерных поездов, что удлиняет сроки доставки;
- из-за высокой конкуренции среди автоперевозчиков и относительно низких тарифов на грузовые автоперевозки доставка грузов в контейнерах на автотранспорте стоит значительно дешевле по сравнению с доставкой на железнодорожном транспорте;
- автомобильный транспорт обеспечивает доставку грузов «от двери до двери», а при использовании железнодорожного транспорта, как правило, требуется доставка контейнеров от станции назначения до получателя на автотранспорте [19;20;21]
- большинство получателей грузов в контейнерах в России заказывают товары, в основном, небольшими партиями, поэтому автомобильный транспорт больше соответствует размеру товарных партий по сравнению с железнодорожным транспортом.

Проведенный анализ показал, что наибольшая доля контейнерных грузов, следующих через морские порты, доставляется на автотранспорте в регионы, находящиеся в зоне 12-часовой транспортной доступности портовых комплексов (около 700 км от морских портов, расположенных на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области). Именно в этой зоне сконцентрированы основные отправители и получатели грузов в контейнерах, следующих через морские порты. Такая дальность маршрутов доставки грузов позволяет минимизировать затраты времени на возврат контейнеров в морские порты и плату за их использование.

Анализ сложившейся ситуации, показывает, что основная проблема в организации работы грузового автомобильного транспорта связана с нерегулируемой деятельностью автоперевозчиков в регионе. Большая доля рынка транспортных услуг ГАП находится в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области находится в «теневом» секторе, что, с одной стороны, снижает их эффективность и производительность, а, с другой стороны, приводит к существенным экономическим потерям для ВВП региона. Большинство перевозчиков – физических лиц в Санкт-Петербурге и Ленинградской области имеют по одному или несколько грузовых автомобилей. Перевозчики вынуждены приобретать собственный ПС из-за качества транспортных услуг, что является показателем экстенсивного развития производства. За последние годы доля грузовых перевозок, выполняемых парком нетранспортных организаций, возросла до 80%. При этом снизился средний уровень загрузки и уменьшилась производительность грузового автотранспорта (из-за порожней обратной поездки, низкой скорости движения на дорогах, преобладания малотоннажных грузовиков). В Санкт-Петербурге отсутствует эффективная система управления движением грузовых автомобилей по улично-дорожной сети города.

Несмотря на ограничения движения грузового автотранспорта, на ряде магистралей города в дневные часы наблюдается значительное количество грузовых автомобилей. Наибольшие потоки грузового транспорта следуют в Большой порт Санкт-Петербург. В 2015 г. в Большой порт Санкт-Петербург на автотранспорте было ввезено 10,5 млн тонн экспортных грузов и вывезено 11,5 млн тонн импортных грузов (для сравнения, на внутреннем водном транспорте было перевезено только 1 млн тонн портовых грузов). Как уже отмечалось, около 75% от общего объема грузов в контейнерах, проследовавших через Большой порт Санкт-Петербург, перевозится на автотранспорте. В связи с этим возникают проблемы, связанные с обеспечением проезда большегрузных автомобилей в порт по УДС города и их стоянкой на территории Санкт-Петербурга в связи с ожиданием времени ПРР.

Основной объем портовых грузов в контейнерах перевозится на автотранспорте в субъекты РФ, расположенные в зоне 12-часовой транспортной доступности до морских портов, расположенных в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Для ускорения возврата порожних контейнеров в морские порты и снижения платы за пользование ими необходимо обеспечить повышение средней скорости движения грузовых автомобилей по дорожной сети. В результате в настоящее время среднесуточный пробег грузовых автомобилей в России на 30–40% ниже, чем в развитых странах ЕС.

Для создания перспективных системно-разрешающих (ноосферных) технологий работы АТС они обязательно должны быть организованы в централизованную систему управления, реализованного в современной цифровой среде [22, 23, 24, 25]. Цифровые сервисно-ориентированных модели формирования систем ГАП предполагают обязательное разделение организации ГАП на производственную и координационную составляющие, а цифровые сервисы (ЦС) позволяют интегрировать их в единую интеллектуальную систему на основе цифровых сервисно-ориентированных моделей управления. Опыт применения данных сервисно-ориентированных моделей управления ГАП за рубежом показывает возможность повышения производительности работы грузовых автотранспортных средств (АТС) на 5...6%, причем более половина этого увеличения достигается только за счет оптимизации процессов управления.

Необходимость развития сервисно-ориентированных систем планирования грузовых автомобильных перевозок (ГАП), в первую очередь, аргументируется значительным уровнем издержек из-за низкой производительности работы грузового автомобильного транспорта (АТ) в РФ. Данный показатель в РФ в 2...3 раза в сравнении с производительностью работы грузовых автомобилей в зарубежных странах, активно внедряющих цифровые технологии в модели организации ГАП.

Поэтому закономерен процесс перехода от традиционных предметно-ориентированных методов управления (разработка сценариев) к объектно-ориентированным аналитическим моделям, позволяющим автоматизировать процессы управления на базе аналитических методов и разрабатывать алгоритмы и программное обеспечение для определения оптимальных параметров системы перевозок. Только такой подход обеспечит автоматизированный сбор, измерение и хранение информации, как по конкретному АТС, так и по их группе, за определенный промежуток времени и учет выполнения рейсов отдельным маршрутам.

1.2 Оценка состояния методологической базы определения эффективности грузовых автомобильных перевозок

Еще в советское время транспортные предприятия пользовались достаточно эффективными методиками формирования маршрутов движения: сборных, маятниковых, развозочных и т. д. Теоретическую основу развития ГАП были заложены и развивались постсоветское время в работах Вельможина А.В., Воркута А.И., Гудкова В. А., Горева А.Э., Корчагина В.А., Лукинського В.С., Миротина Л.Б., Николина В.И., Пугачева И.Н, Россохи В.И. [26,27,28,29,30,31] и других авторов.

К исследованию, посвященным организации и планированию перевозок автомобильным транспортом в изменившихся условиях его работы, обращаются и современные авторы научных работ [31,32,33,34,35,36 и др.]. Все перечисленные работы при решении задач эффективности перевозок опираются на ряд методов и методик. Рассмотрим подробнее особенности их применения в современных условиях. Во всех работах отмечается, что переход к рыночным отношениям изменяет практику, изменяет входные данные и состав показателей, применяемых для определения эффективности ГАП.

Например, в [32] подчеркивается современная специфическая экономическая составляющая работы грузового АТП «изменении клиентуры, видов грузов и их объемов, расстояний перевозок и т. д.». Эта особенность не позволяет формировать достоверные стохастические показатели работы АТС, поэтому предлагается изменить аналитическую модель для проведения анализа ТЭП определяющих эффективность работы АТС.

На примере грузооборота $t \cdot км$:

$$P = A D_{и} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_{н} \cdot l_{ге} \cdot V_{т} \cdot d_{у}}{l_{ге} + t_{п-р} \cdot \beta \cdot V_{т}}} \cdot K_{\alpha} \frac{D_{рг}}{D_{и}} \cdot \frac{T_{н} \cdot l_{ге} \cdot \beta \cdot q \cdot \gamma \cdot V_{т}}{l_{ге} + t_{п-р} \cdot \beta \cdot V_{т}} \quad (1.1)$$

где $D_{рг}$ – количество рабочих дней в календарном году;

$D_{и}$ – дней работы АТС на линии;

K_{α} – коэффициент использования АТС;

$d_{у}$ – норматив простоя АТС в ТО и Р на $дн/1000 км$ пробега;

$l_{ге}$ – длина гружёной ездки, $км$;

β – коэффициент использования пробега,

$t_{п-р}$ – время ПР, затрачиваемое на 1-у тонну груза, $ч$;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

$V_{т}$ – среднетехническая скорость, $км/час$;

$T_{н}$ – время в наряде автомобиля, $час$;

$A D_{и}$ – автомобиле-дни в использовании, $а-д$;

q – номинальная грузоподъемность автомобиля, $т$.

Данная модель рассматривает отдельные дискретное состояние ТЭП эксплуатации АТС и позволяет формировать их текущие величины. Далее корректируется план ГАП базе текущего состояния ТЭП. При этом фактически уточняются ТЭП, но не устраняются методологические неточности, вызванные стохастической неопределенности информационной ситуации в системе.

В работе [33] представлена методика оперативного планирования работы в автотранспортной системе перевозок грузов, создания единого расписания работы ГО, ГП с учетом провозных возможностей отдельных АТС и САСПГ по разработанной модели.:

Общий вид предлагаемой модели управления:

$$S_{\text{ССАСПГ}} = \{Z_c, (P, x_p, t_p); (P, x_p, t_p), l_{\min}, T_c, A_z, \text{Расп}; Y\} \quad (1.2)$$

где Z_c - заявка из i -го ПП в j -й ПР k -го на объём $Q(i, j)$ единицах в текущую смену (сутки)

I – число ПП, ед.,

J – число ПР, ед.,

K – число однородных видов грузов, ед.;

P – обозначение ПП;

x_p – число мест погрузки в i -ом ПП, ед.;

t_p - время погрузки в i -ом пункте погрузки k -го вида груза в АТС для h -ой группы, ч;

H – количество типов АТС по грузоподъёмности, ед.

P – обозначение ПР;

x_p – число постов разгрузки j -ом ПР, ед.;

t_p - время разгрузки в j -ом пункте разгрузки k -го вида груза из АТС h -ой группы, ч;

l_{\min} - кратчайшее расстояния между i -ым ПП и j -ым ПР, км;

T_c - продолжительность работы АТС в исследуемой ситсеме, ч;

A_z - число АТС h -ой группы в текущую смену, ед.;

Расп - расписание работы АТС, ПП и ПР;

Y - аппарат управления перевозками в САСПГ.

Адаптировать предложенную методику к реальным условиям производства в транспортной отрасли в практику работы АТП будет сложно по следующим причинам:

- 1) в основу построения расписания работы АТС положен **эвристический подход** аналогичный, по сути, подходу, применяемому в (1.1), то есть на основании предшествующих данных ТЭП эксплуатации АТС;
- 2) решается вопрос динамической нестабильности показателей ГАП (среднетехническая скорость, время простоя в ПРР и. д.), что фактически сводит на нет любые жесткие предметно-ориентированные модели построения расписаний движения АТС.

В работе [34] на основе анализа показателей эффективности работы ПС зафиксировано регулярное несоответствие плановых (в случае расчёта по существующим методикам) и фактических величин ТЭП работы АТС. В этой работе разрабатывается довольно сложный алгоритм автоматизации в режиме реального времени процесса распределения АТС в соответствии с поступающими заявками на перевозки грузов в междугороднем сообщении. Вводятся новые понятия, а именно: оператор учета времени и коэффициент перекрытия интервала времени выполнения заявки и времени занятости автомобиля. При этом справедливо отмечается, что учёт фактора времени может нарушаться при постановке транспортной задачи нарушается её линейный характер. Поэтому для реализации разработанного алгоритма, по сути, решается задача динамического однокритериального программирования, но не самым эффективным методом последовательного простого перебора возможных вариантов и с некоторыми нарушениями в описании вычислительного процесса. Например, заявлено, что производится выбор автомобилей для реализации заявки «по оптимальной производительности» выполняется с условием, а вычисляется сумма производительностей работы всех автомобилей по всем заявкам:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} = W_j, \quad (1.3)$$

где w_{ij} – производительность i -го типа АТС по j -ой заявке, т/ч.

Затем утверждается, что разработанная методика оперативного планирования обеспечивается «критериальной функцией»:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^m W_{ij} x_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1.4)$$

где x_{ij} – требуемое количество автомобилей, ед.

Подобные неточности в индексации исследуемых параметров могут свести на нет заявленные характеристики методики как универсальной, способной эффективно распределять автомобили по заявкам.

Важно отметить, что все рассматриваемые работы направлены на решение задач, определяемых сложными динамически изменяющимися условиями перевозок в течение незначительных интервалов времени, таких как: неравномерность (колебание) спроса на перевозки грузов, и несоблюдения установленных графиков работы АТС по заранее разработанным расписаниям.

Еще одним актуальным направлением исследований является формирование оптимального баланса собственного и наёмного подвижного состава, как следствия стремления оптимизировать затраты на перевозки. Например, в работе [35] декларируется необходимость разработки оптимальных схем перевозок с учётом рационального распределения перевозок грузов между различными видами: привлечение АТС или использования собственных. Суть разработанной в исследовании методики заключается в определении \min удельных затрат при различных количественных соотношениях: собственных и привлечённых АТС.

Производится расчёт затрат, приведённых к устанавливаемым уровням процентного соотношения использования собственного или наёмного транспорта по месяцам года.

Полученные соотношения определяют необходимое рациональное собственное подвижное состава. Задача оптимизации заключается в минимизации математического ожидания годовых затрат на перевозки.

$$\left\{ \begin{array}{l} M\{Z(A^{\text{собст}}, A_t^{\text{наём}}, s_t)\} \rightarrow \min_{A^{\text{собст}}, A_t^{\text{наём}}, s_t}, \\ P\{(Q_{p.c.t.} - Q_{c.c.t.}) \geq 0\} \geq P_{\text{год}}, \\ A^{\text{собст}} \geq 0, A_t^{\text{наём}} \geq 0, s_t \geq 0, \\ M\{Z(A^{\text{собст}}, A_t^{\text{наём}}, s_t)\} = M\{\text{П}_{\text{п.п}}(Q_{\text{макс.с}} - Q_{\text{р.с.}})\} + P_{\text{а/м}}(A) + P_{\text{прм}}(s) + \\ + M\{E_{\text{а/м}}^{\text{ож}}(A_t^{\text{наём}}, t_{\text{ож}})\} + M\{E_{\text{прм}}^{\text{ож}}(s_t, p_t)\} + M\{E_{\text{рампа}}^{\text{ож}}(s_t, p_t)\} \end{array} \right. \quad (1.5)$$

где $A^{\text{собст}}$ – число собственных АТС, ед.;

$A_t^{\text{наём}}$ – число наёмных АТС, ед.;

s_t – число ПР механизмов, ед.;

$Q_{p.c.t.}$ – суточный объём перевозки, т.;

$Q_{c.c.t.}$ – среднесуточный объём перевозки, т.;

$Z(A^{\text{собст}}, A_t^{\text{наём}}, s_t)$ – затраты на эксплуатацию АТС, руб./год.;

$\text{П}_{\text{п.п}}(Q_{\text{макс.с}} - Q_{\text{р.с.}})$ – потери из-за не вывоза продукции, руб.;

$P_{\text{а/м}}(A)$ – затраты на содержание резерва АТС, руб./а-м.;

$P_{\text{прм}}(s)$ – затраты на содержание резерва ПР, руб./ед.;

$E_{\text{а/м}}^{\text{ож}}(A_t^{\text{наём}}, t_{\text{ож}})$ – затраты из-за простоя АТС, руб./а-м.;

$E_{\text{прм}}^{\text{ож}}(s_t, p_t)$ – затраты из-за простоя ПРС, руб./а-м.;

$E_{\text{рампа}}^{\text{ож}}(s_t, p_t)$ – затраты, связанные с простоем рампы из, руб.

Представленное аналитическое решение должно формировать оптимальный баланс количества АТС и ПРМ в условиях динамической нестабильности спроса на продукцию отдельного предприятия. То есть определяется необходимость

разработок моделей оптимизации работы АТС в динамических нестабильных условиях для одного предприятия, тогда если в исследуемую систему ГАП включено несколько предприятий, эта задача становится еще более актуальной. Между тем задача оптимизации решается по единственному экономическому критерию, что противоречит комплексному характеру поставленной проблемы.

Сложный динамический нестабильный характер ТЭП эксплуатации парка АТС подчеркивается в работе [36]. Динамическая оптимизация существующего парка подвижного состава (ПС) опять решается по критерию \min затрат (данная задаче характерна при организации перевозок контейнеров).

$$\sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^m a_i(t) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{ij}(T) = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n b_j(t) \quad (1.6)$$

при ограничениях

$$U_{ij}(t) \geq 0, X_i(t) \geq 0, X_j(t) \geq 0, \quad (1.7)$$

где $a_i(t)$ – подача ПС под ПР ($i=1, \dots, m$);

$U_{ij}(T)$ – функция, определяющая количество ПС от i -го поставщика в j -ый цех в момент времени t ($j=1, \dots, n$);

$b_j(t)$ – потребность предприятия ПС в ресурсах в момент времени (t);

$X_i(t)$ – объём ПС i -го поставщика не востребовавшийся в предыдущий момент времени;

$X_j(t)$ – недостающий объём вагонов в j -ом цеху в предыдущий (t).

Далее формируется модель распределения ресурсов ПС как \min функции затрат:

$$FF = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{ij}(T) \times C_{ij}(t) + \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^m X_j(t) \times C'_i(t) + \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^n X_i(t) \times C''_i(t) \rightarrow \min \quad (1.8)$$

где $C_{ij}(t)$ – цена распределения ПС с учетом перспективы применения;

$C_{ij}(t)$ – издержки из-за задержек отгрузки продукции,

$C_i''(t)$ – издержки от простоя ПС.

Решение данной задачи сводится в табличную форму с последующим итерационно-пошаговым изменением ежедневных ресурсов ПС и оценкой функции затрат. Недостатком применения данного аппарата является трудоёмкость вычислительных процедур, связанных с итерационным подходом.

В работе [37] динамические изменения в структуре «заказывания» перевозок в условиях применения «фиксированной» декомпозиции приводят к неполноценному использованию провозных возможностей АТП и грузоподъемности подвижного состава; перегрузке автомобилей; несвоевременному удовлетворению спроса на перевозки; неуравновешенному балансу потребности в подвижном составе; неэффективному применению автомобилей во времени; несоответствию плановых и фактических показателей работы АТП, невозможности обслужить по времени клиентов подавших заявки в последнюю очередь и т.д.. Причем в таких условиях работают, согласно статистическим данным, преобладающее количество небольших автопредприятий (около 80 % от общего числа).

Анализ приведенных работ показывает, что объективно существует динамическая нестабильность информационной среды в системе ГАП, но все предлагаемые решения опираются на традиционный состав усредненных значений ТЭП [38, 39, 40,41]:

- 1) длина гружёной ездки - $l_{ег}$,
- 2) номинальная грузоподъёмность автомобиля q_n , время в наряде - T_n ,
- 3) среднетехническая скорость - V_T ,
- 4) коэффициент использования пробега β ,
- 5) коэффициент использования грузоподъёмности γ и др.

Провозные возможности парка автомобилей в данном случае определяются по известным соотношениями:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \quad (1.9)$$

$$Q_{ij} = A_{\text{сп}ij} \cdot D_{\text{к}} \cdot \alpha_{\text{в}i} \cdot q_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot n_{\text{е}ij} \quad (1.10)$$

$$n_{\text{е}ij} = \frac{T_{\text{н}} - t_{\text{н}}}{\left(\frac{l_{\text{е}ij}}{\beta_{ij} \cdot V_{\text{т}ij}} \right) + t_{\text{п-р}ij}} \quad (1.11)$$

где Q – общие провозные возможности АТП, т;

Q_{ij} – объем перевозок автомобилями i -го типа j -ой заявке.

$A_{\text{сп}ij}$ – списочное количество АТС, привлекаемых для ГАП, ед

$D_{\text{к}}$ – число календарных дней в исследуемом периоде, ед.

$\alpha_{\text{в}i}$ – коэффициент выпуска i -го типа автомобилей;

q_{ij} – грузоподъемность i -го типа АТС, реализующего j -ую заявку;

γ_{ij} – коэффициент использования грузоподъемности i -го типа АТС, реализующего j -ую заявку;

$n_{\text{е}ij}$ – количество ездов i -го типа автомобилей на j -ой заявке;

$T_{\text{н}}$ – время работы в наряде автомобилей;

$l_{\text{е}ij}$ – длина гружёной ездки i -го типа автомобилей, реализующего на j -ую заявку;

β_{ij} – коэффициент использования пробега i -го типа АТС, реализующего на j -ую заявку;

$V_{\text{т}ij}$ – среднетехническая скорость i -го типа автомобилей, реализующего на j -ую заявку;

$t_{\text{п-р}ij}$ – время простоя под погрузкой и разгрузкой i -го типа АТС, реализующего на j -ую заявку.

Далее для получения суммарного значения провозных возможностей АТП определяется количество подвижного состава в автомобиле-днях $АД_{эj}$, которое АТП сможет выделить для выполнения каждого конкретного договора (заказа), то есть произвести предварительное распределение подвижного состава для выполнения заказов клиентов.

$$АД_{эij} = \frac{Q_j}{q_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot n_{eij}} \quad (1.12)$$

Потребность в автомобилях для выполнения j -ой заявки определяется по формуле:

$$АД_{сij} = \frac{АД_{эij}}{\alpha_{вj}} \quad (1.13)$$

Остальные ТЭП работы автомобилей устанавливаются на основе анализа отчетных данных за предыдущий период работы. Исходя из полученных результативных показателей, ТЭП планируют ориентировочный объем транспортной работы: объем перевозок на планируемый период, необходимый пробег общий и с грузом, планируемую величину грузооборота, возможную производительность АТС и их выработку на 1 среднесписочную автомобиле-тонну (в тоннах, в тонно-километрах) и другие необходимые для производственного планирования результативные показатели ТЭП. Чтобы решать перечисленные актуальные задачи в настоящее время АТП вкладывают большие средства в закупку программного обеспечения (ПО) для определения маршрутов перевозки, формирования рациональной загрузки автомобилей, контроля работы автомобилей линии. Проанализируем возможности некоторых из них: ПО SoftCargo – это система управления грузовыми перевозками, которая позволяет отслеживать последовательность выполнения каждой перевозки, определять на каком этапе выполнения в настоящий момент времени находится заявка и корректировать процесс перемещения груза для достижения результата перевозки «точно в срок».

Более содержательное программное обеспечение АВМ Rinkai TMS разработано для автоматизированного планирования ежедневных городских кольцевых маршрутов и позиционирует следующие возможности:

1. Оптимальный выбор транспортных средств для выполнения 100% поступающих заказов.
2. Задействование минимально возможного количества автомобилей, необходимых для осуществления перевозок.
3. Оптимальная последовательность объезда грузопунктов на маршруте и т. д.

По заявленным возможностям ПО АВМ Rinkai TMS достаточно полно отражает задачи оперативно-производственного планирования перевозок, но достаточно сложно оценить алгоритмы оптимизации, заложенные в программное обеспечение (как правило, они предполагают простой перебор вариантов с расчётом по одному критерию эффективности – затратам на перевозки). Можно и дальше анализировать возможности предлагаемого на рынке программного обеспечения, но, в итоге, оно предполагает решение частных задач, но не определяет весь сложный комплекс оперативного и текущего планирования перевозок.

В [34] были изучены различные программные продукты по планированию перевозок и выполняемые ими функции. В таблице 1.1 представлены характеристики некоторых из них.

Можно сделать вывод, что организация ГАП является более сложным многогранным процессом, чем представима в существующих методиках и применяемых на практике для планирования перевозок.

В **Приложении А** приведен пример организации работы АТП по планированию перевозок с применением ПО и выявленные при этом проблемы:

1. Классические методики планирования и расчёта производственной программы ГАП, описанные в многочисленных учебных пособиях и учебниках по организации грузовых перевозок на практике, не применяются.
2. Существующее ПО организации ГАП решает локальные задачи и требует постоянного ручного корректирования, то есть не является инструментом

автоматизации процессов планирования перевозок (требуется дополнительное время для отладки процессов планирования в ручном режиме до 4-х часов на распределение провозных возможностей АТП на заявки, поступившие в течение одних суток).

Таблица 1.1 – Характеристики ПО для планирования перевозок [34]

Поставщик: название IT решения	Интеграция в 1С	Заявка на	Построение	Деление по	Печать	План-факт	Учёт найма	Учёт ГСМ	Учёт постоянных	Учёт разнесённых	Итоговые отчёты
<u>ДТКсофт</u> : ИАС "Грузоперевозки"		+		+	+		+	+	+		+
РАРУС: Управление транспортом	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
ФОРЕС: Автотранспорт	+	+		+	+	+	+	+	+		+
<u>Акселот</u> : Управление перевозками	+	+		+	+	+	+			+	+
ИТОВ: Центр логистики	+	+	+	+		+		+		+	+
АНТОР: <u>LogisticsMaster</u>		+	+	+	+	+					
ESRI: <u>ArcLogistics Route</u>		+	+	+	+	+	+	+			+
<u>ТопПлан</u> : <u>TopLogistic</u>			+	+				+			
CDC: ОПТИМУМ ГИС			+	+	+			+			
<u>Эрмасофт</u> : СИТИ-Доставка		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Вывод: анализ учебных, методических и научных работ показал, что для того чтобы приблизиться к объективному распределению провозных возможностей ГАП в сложных динамических системах необходимо производить планирование на основе объектного (индивидуального) анализа отдельных заявок на транспортное обслуживание, при этом необходимо учитывать конкретные условия ГАП по каждой заявке, определяемые показателями использования ГАП: возможные изменения в расстояниях доставки грузов, возможное несоответствие планируемого времени простоя под ПР операциями реальной ситуации в метах грузопереработки, изменения в среднетехнической скорости движения АТС, прогноза состояния парка АТС и выпуска его на линию, различия АТС по

показателям использования грузоподъемности и других эксплуатационных показателей. Важно подчеркнуть, что применяемые сегодня на предприятиях программные продукты не решают данные стохастические задачи.

Поэтому определяется необходимость перехода на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательными элементами которого являются использование в процессе управления современного ПО автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании перевозочного процесса.

1.3 Оценка влияния условий движения в Санкт-Петербурге на технико-эксплуатационные показатели работы подвижного состава

Рассмотрим, как отражается применение классической структуры ТЭП результатов расчёта производственной программы ГАП на точность и достоверность определения эффективности эксплуатации АТС. Расчёт выработки от эксплуатации АТС производится по следующим известным и общепринятым в теории ГАП зависимостям:

$$W_{\varrho} = \frac{T_n \cdot q \cdot \gamma \cdot V_m}{l_{ze} + t_{ng} \cdot \beta \cdot V_m}, \quad (1.13)$$

$$W_p = \frac{T_n \cdot \gamma \cdot q \cdot \beta \cdot V_m \cdot l_{ze}}{l_{ze} + t_{ng} \cdot \beta \cdot V_m} \quad (1.14)$$

где T_n – время нахождения АТС в наряде, час.

l_{ze} - гружёная ездка.

V_m - среднетехническая скорость.

t_{ng} - время ПРР за поездку и т.д.

Определим значимость и необходимость учета стохастичности ТЭП на эффективности планирования объемов перевозок посредством общего графика протекания транспортного процесса (рисунок 1.1).

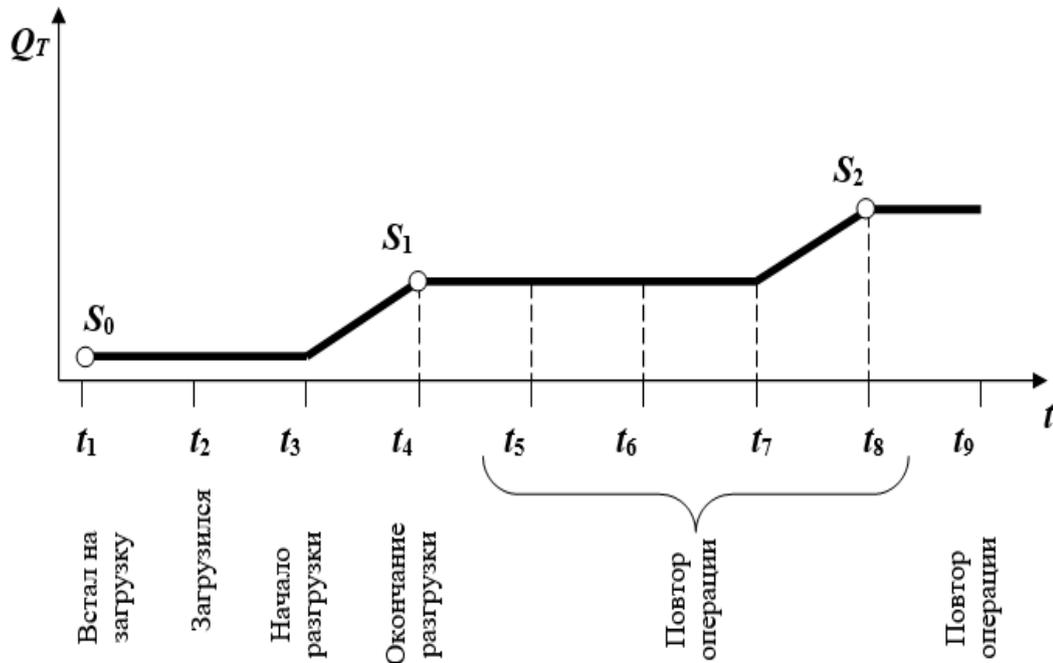


Рисунок 1.1 – Общий график протекания транспортного процесса

Переход исследуемой системы ГАП из одного состояния в последующее происходит дискретно в отдельные моменты времени, в каждом из которых целый ряд ТЭП носит сложно прогнозируемый характер, так как продолжительность всех операции λ_{jn} транспортного процесса носит стохастический характер. Схема протекания транспортного процесса приведена на рисунке 1.2.

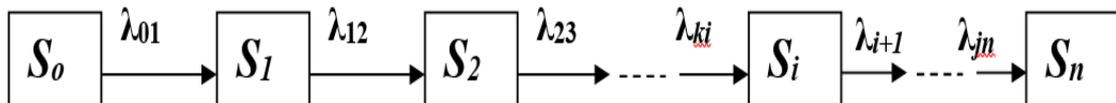


Рисунок 1.2 - Схема последовательности транспортного процесса

где S_1 - первая выполненная ездка, S_2 –первая и выполненные вторая ездки, ... и т.д. S_i - выполнено i ездок, S_n - выполнено n ездок.

Естественно, что при большом количестве последовательно выполняемых элементов экспоненциально развивается в сторону увеличения стохастическая неточность при прогнозировании ТЭП, так как последующее значение каждого из них умножается на предыдущее и увеличивает величину неопределенности в системе и т. д. Чем больше интервалы времени (сутки, месяц, год), которые служат расчётным циклом для определения результативных показателей работы подвижного состава, привлеченного к перевозкам, тем значимее проявляется основная проблема применения современных методик расчёта производственной программы по коммерческой эксплуатации АТС.

Основной проблемой применения данной методики на практике является динамическая нестабильность показателей использования АТС, применяемых в формулах (1.13) и (1.14). Если ряд показателей достаточно хорошо прогнозируем и управляем ($T_n; l_{ze}; t_{nv}; q; \gamma$), то (V_m - среднетехническая скорость) в современных условиях является сложно-прогнозируемой величиной – стохастически неопределенной величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП.

Обоснуем данное утверждение на примере данных по организации движения АТС в Санкт-Петербурге. Рост численности автомобилей приводит к исчерпанию пропускной способности дорожной сети и ухудшению условий движения в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. В будние дни в Санкт-Петербурге отмечаются часы пик: утром с 8:00 до 10:00 и вечером с 17:00 до 20:00, причём вечером загруженность УДС существенно выше, чем утром. Соответственно, в вечерние часы пик ухудшается транспортная доступность периферийных районов по сравнению с утренними часами. Транспортные потоки начинают заметно возрастать с 7 часов утра и достигают максимального значения к 9 часам, создавая заторы практически на всех направлениях к центру города. В последующие часы транспортные потоки несколько снижаются, при этом заторовые ситуации перемещаются в центральную часть Санкт-Петербурга и сохраняются на ряде межрайонных связей. Следующий пик транспортных потоков наблюдается от 17–00 до 19-00 часов.

Заторовые ситуации обостряются на магистралях в направлении от центра города к периферийным районам. Самые протяженные заторовые участки (по 10–15 км) возникают на вылетных магистралях Санкт-Петербурга, на Московском шоссе и на КАД (при возникновении ДТП или проведении ремонтных работ).

Средние скорости сообщения на автомобильном транспорте составляют на «заторовых» направлениях – 6...10 км/ч, в среднем по центральной планировочной зоне – 10...15 км/ч, в пределах плотной застройки – 20...26 км/ч. Распределение средних скоростей движения АТС на УДС по времени суток для направления движения в центр/из центра соответственно представлены на рисунках 1.3 и 1.4.

Покажем, что негативные факторы внешней среды переводят систему ГАП управления в неустойчивое состояние, когда резульативные показатели использования АТС могут не подчиняться стохастическим законам распределения вероятности исследуемой величины.

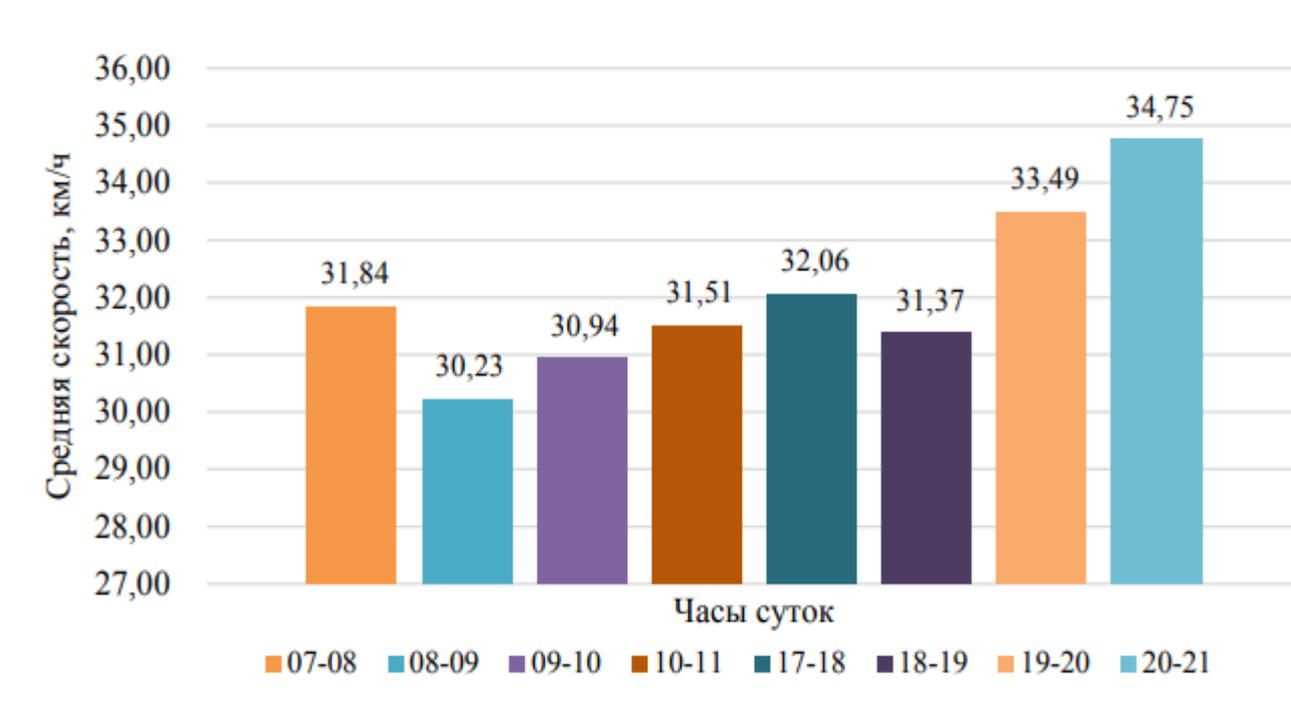


Рисунок 1.3 – Распределение средних скоростей движения АТС по времени суток и направления движения в центр [42]

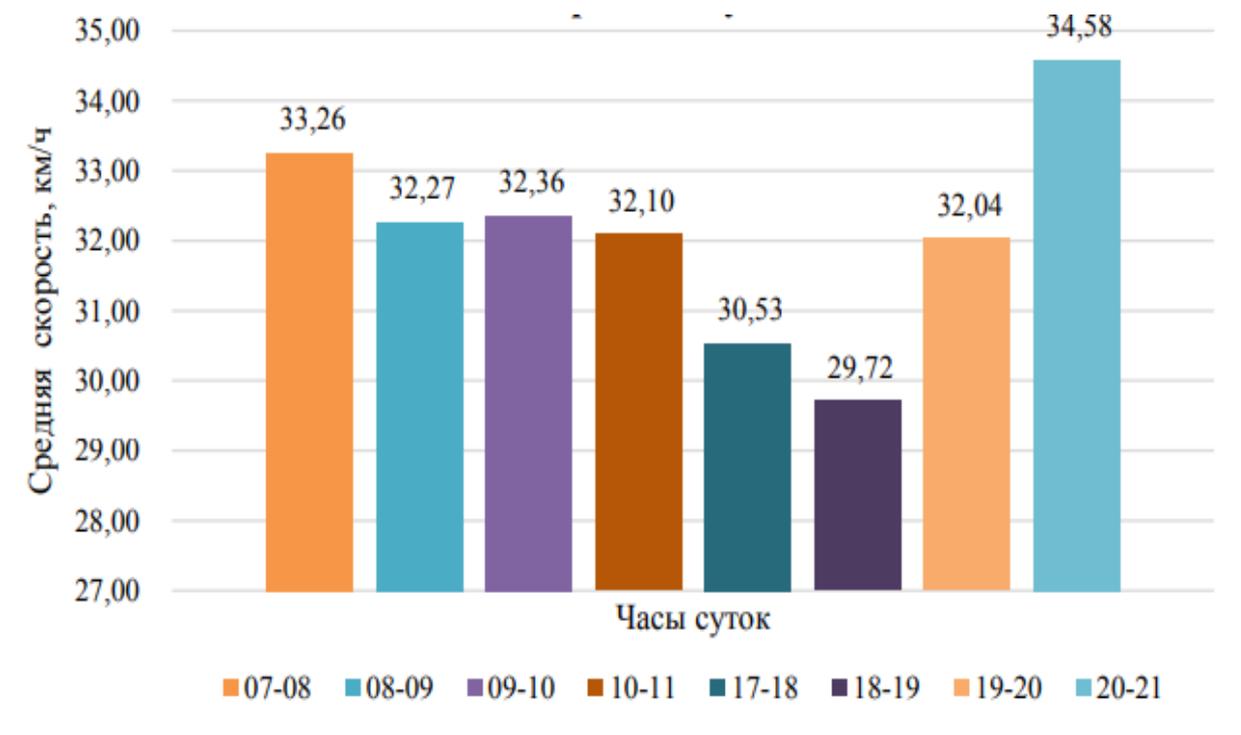


Рисунок 1.4 – Распределение средних скоростей движения АТС по времени суток и направления движения из центра [42]

Представим результаты исследования показателя среднетехнической скорости на одном маршруте в разные интервалы времени, подтверждающие данное утверждение.

Проводилась проверка нормальности распределения [43,44,45]: из условия соответствия коэффициент вариации – $v(x)$, если $v(x) < 0,33$ распределению случайной величины нормальному закону. При размахе вариации 6σ :

$$x - 3\sigma(x) < x < x + 3\sigma(x) \quad (1.15)$$

где x – статистическое значение МО случайной величины;

$\sigma(x)$ – статистическое значение среднего квадратичного отклонения случайной величины.

Определим объем выборки генеральной совокупности с вероятностью 95% для нормального распределения:

$$n = \frac{(t^2 \cdot \sigma^2)}{\varepsilon^2} \quad (1.16)$$

где t^2 – обращённое значение функции Лапласа;

σ^2 - дисперсия оценки;

ε^2 – плотность вычисления выборочной средней величины (x).

Учитывая, что точность (ε) может быть выражена через относительную точность

$$(\varepsilon_0) + \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{x}, \quad (1.17)$$

$$n > \left[\frac{(t^2 \cdot \sigma^2)}{(\varepsilon^2 \cdot x)} \right] > \frac{(t^2 \cdot v^2)}{\varepsilon_0^2} \quad (1.18)$$

Принимаем пятипроцентный уровень значимости, которому соответствует $t = 1,96$.

Приняв $\varepsilon_0 = 0,1$, при пятипроцентном уровне значимости $\alpha = 0,05$, вариации, объём выборки наблюдений составил $n = 94,5$ (95).

Рассмотрим **показатели, характеризующие количественную оценку эксперимента**. Среднее арифметическое \bar{x} при сгруппированных данных

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i}, \text{ где } i = 1, 2 \dots k, \quad (1.19)$$

где x_i – среднее значение i -го интервала;

f_i – число попаданий в интервал;

k – число интервалов.

Среднее квадратичное (стандартное) отклонение стандартное отклонение для сгруппированных данных определяется как положительный квадратный корень из дисперсии. Дисперсия определяется по формуле:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1.2)$$

где n – общий объём выборки.

Тогда среднее квадратичное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.12)$$

Исходные данные и результаты расчёта проверки показателя среднетехническая скорость на нормальность распределения приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Исходные данные для проверки показателя среднетехнической скорости на нормальность распределений

Таблица исходных данных					
16,7	20,3	19,7	14,3	9,01	25,8
15,7	12,3	18,7	12,6	19,5	31,6
13,2	25,6	25,6	13,2	21,3	25,7
14,3	27,6	22,1	10,2	16,3	36,7
16,7	28,9	19	23,1	26,7	24,5
18,9	31,7	24,2	26,7	23,7	34,2
29,1	33,4	25,6	28,2	21,9	39,6
27,8	35,7	26,7	21,2	19,6	14,6
28,3	36,1	36,1	28,9	35,6	24,6
25,7	29,3	36,2	34,2	12,9	27,9
18,5	27,4	34,2	15,2	13,1	31,3
20,3	11,9	16,7	25,6	14,7	12,6
15,6	35,3	34,5	22,9	25,1	35,8
23,4	13,3	32,1	12,5	19,1	38,9
17,8	25,1	35,5	17,1	38,3	14,6
17,9	24,9	12,4	31,1	35,1	10,2
22,3	19,3	38,1	34,2	16,9	17,8
25,2	19,3	25,6	30,9	35,3	27,3

Таблица 1.3 – Результаты проверки показателя среднетехнической скорости на нормальность распределений

Точечная оценка				
R=	10,6		- размах случайной величины	
N=	7,51	(8)	- число интервалов	
\bar{X}_{cp} =	23,96			
σ =	8,08		- среднеквадратическое отклонение	
ν =	0,34		- коэффициент вариации	

В случае, когда статистические данные показателей использования АТС в ГАП не подчиняются нормальному закону распределения случайных величин, может быть применена известная концепция определения энтропии для решения транспортных задач [46] и других многочисленных работ [47,48,49,50]. В этих работах энтропия системы определяется, как максимум некоторой функции в пространстве возможных состояний как математических состояний, который определяется наибольшим статистическим показателем [51]. Тогда энтропия системы определяется следующим выражением:

$$H(f) = \sum_{ij} f_{ij} \ln \left(\frac{f_{ij}}{v_{ij}} \right), \text{ где } f = \{f_{ij} | i, j \in R\} \quad (1.13)$$

где f_{ij} — все число количества элементов системы, находящихся в состояниях (i, j) .

v_{ij} – величина, определяемая «априорными данными для наиболее вероятных» f_{ij} .

Тогда «априорными данные для наиболее вероятных» f_{ij} , определяют значения F_{ij} из решения задачи нахождения (max) - энтропии при заданный ограничениях f_{ij} .

Ограничения, накладываемые на распределения вероятностей f_{ij} , могут быть любой природы, отражающие априорную информацию о макроскопических характеристиках состояния исследуемой системы. Данный класс задач решается с применением кибернетической теории или теории информационного взаимодействия в сложных динамических системах [52,53,54].

Применение концепции определения энтропии для решения транспортных задач, как правило, затруднено из-за отсутствия прикладных математических моделей, позволяющих адаптировать модель определения энтропии (1.3) в применяемом в ГАП системе измерителей. То есть определить f_{ij} , v_{ij} и ограничения f_{ij} в системе, последовательности транспортного процесса.

Разработка эффективных средств и инструментов управления в исследуемой сложной системе всегда является основополагающей научной задачей в приложении к любой сфере деятельности. Эффективность системы всегда определяется адекватностью методов организации процессов в системе и объективностью экономико-математических методов, применяемых для оптимизации и получения достоверных оценок состояния системы. Поэтому важно структурировать сложную систему ГАП по характеру решаемых задач (таблица 1.4) [55].

Таблица 1.4 – Характеристика решаемых задач в системе ГАП

Индикатор	Характеристика
1. По наличию ограничений	Задача с ограничениями, определяемыми границами системы и характером показателей (единиц измерения)
2. По наличию и количеству критериев эффективности	Многокритериальная, с возможностью появления и добавления критериев в процессе развития системы
3. По наличию влияния внешней среды	Задача с возможностью внешних возмущений.

4. По возможности внутренних реструктуризации	Задача, учитывающая возможность внутренних изменений, направленных на повышение эффективности системы, вызываемых развитием качества имеющихся элементов и добавления новых (внедрение новых цифровых технологий и организация новых цифровых сервисов на их основе)
5. По характеру целеполагания	Задача с разнонаправленным целеполаганием по отдельным критериям эффективности
6. По условиям информационных ситуаций, определяемых внешней и внутренней средой	Задача, решаемая в условиях недостаточности информации или задача в неопределённых условиях исследования

Таким образом, анализ исследуемой системы показывает, что она обладает сложной структурой взаимозависимостей и взаимосвязей, включающих достаточно большое количество разнообразных элементов. Многогранное понятие эффективности функционирования сложной системы достаточно сложно определить однозначно. В научных источниках встречаются самые разнообразные трактовки данного понятия. Но в соответствии с международным стандартом ISO 9000–2005 дается наиболее общее понятие эффективности, как соотношение используемых ресурсов и достигнутых результатов [56]. С системных позиций эффективность охарактеризовал Г. Клейнер, разделив её на следующие типы [57]:

- 1) целевая (функциональная) – измеряет степень соответствия результативности действия целевому назначению.
- 2) технологическая (ресурсная) – характеризующая степень или уровень полезного использования ресурсов системы.
- 3) экономическая – является оценкой системы между достигнутым результатом и затрачиваемыми на достижение цели результатами. Здесь следует различать экономическую эффективность и понятие экономического эффекта. Традиционно экономический эффект — это разница между результатами экономической деятельности и затратами, то есть абсолютный

показатель, но система ГАП может обладать и экономической эффективностью. Экономическая эффективность – это относительный показатель, который может выражаться в увеличении спроса, улучшении платёжного баланса региона, росте ВВП и т. д.

Выводы по первой главе

В первой главе исследования:

1. Установлено, что наибольший объем грузовых автомобильных перевозок в регионе связан с обеспечением доставки экспортных грузов в морские порты Санкт-Петербурга и Ленинградской области и вывозом импортных грузов из портовых комплексов для доставки их потребителям. Доля автомобильного транспорта в перевозке грузов Большого порта Санкт-Петербург составила 46% и 42% соответственно, при этом наибольший объем автоперевозок приходится на грузы в контейнерах (17,3 млн тонн в 2019 г. и 14,5 млн тонн в 2020 г.). Мощный поток АТС, обеспечивающий работу порта, вызывает проблемы, связанные с исчерпанием пропускной способности (УДС). Принимаемые для решения проблемы меры носят не оптимизационный, а ограничительный характер. Во многом это связано с отсутствием единой эффективной системы управления автомобильными контейнерными перевозками.
2. Доказано, что применяемые в настоящее время методики управления ГАП позволяют учитывать отдельные дискретное состояние ТЭП эксплуатации подвижного состава и получать их оперативные значения и корректировать план перевозок на основании текущего состояния ТЭП, но при этом не решается вопрос возможности активного или проактивного управления ГАП, так как фактически речь идет об устранении ошибок, допущенных при предыдущем планировании.

3. Определенно, что для того, чтобы приблизиться к объективному распределению провозных возможностей ГАП в сложных динамических системах, необходимо производить планирование на основе объектного (индивидуального) анализа отдельных заявок на транспортное обслуживание, при этом необходимо учитывать конкретные условия ГАП по каждой заявке, определяемые показателями использования ГАП: возможные изменения в расстояниях доставки грузов, возможное несоответствие планируемого времени простоя под ПР операциями реальной ситуации в метрах грузопереработки, изменения в среднетехнической скорости движения АТС, прогноза состояния парка АТС и выпуска его на линию, различия АТС по показателям использования грузоподъемности и других эксплуатационных показателей. Поэтому переход на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательными элементами которого являются использование в процессе управления современного ПО, автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании перевозочного процесса.
4. Обосновано, что основной проблемой перехода на цифровые модели управления является отсутствие эффективных инструментов управления ГАП в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, именно V_m (среднетехническая скорость) в современных условиях является сложнопрогнозируемой величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП.
5. Доказано, что статистические данные вероятностей распределения показателей использования АТС в ГАП не подчиняются стандартным (нормальным) законам распределения случайных величин, поэтому необходимо для решения задач исследования применить концепции определения энтропии для прикладных транспортных задач. Данный класс задач решается с теории информационного взаимодействия в сложных динамических системах.

Сделан вывод о необходимости и возможности применение концепции определения энтропии для решения транспортных задач. При этом необходимо адаптировать модель определения энтропии к применяемым в системе ГАП структуре измерителей. То есть необходимо определить значения f_{ij} , v_{ij} и ограничения f_{ij} для отдельных элементов (объектов) в системе последовательной оценки состояния эффективности транспортного процесса.

2 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНЦИПАХ ЦИФРОВЫХ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Механизмы инструментов реструктуризации сложных систем на основе цифровых сервисов

2.1.1 Общие особенности применения цифровых технологий в сложных транспортных системах

В первой главе сделан вывод о необходимости применения концепции определения энтропии для решения транспортных задач. При этом необходимо адаптировать модель определения энтропии к применяемым в системе ГАП структуре измерителей. То есть необходимо определить значения f_{ij} , v_{ij} и ограничения f_{ij} для отдельных элементов (объектов) в системе последовательной оценки состояния эффективности транспортного процесса. Основной сложностью в решении данной задачи является необходимость обрабатывать большие объемы данных, причем эти базы данных по своим формальным (количественным) значениям для отдельных предприятий будут отличаться, а по содержанию и установленным связям в системе должны быть единообразны. Решить данную задачу сегодня возможно только с помощью цифровых систем обработки больших бах данных и цифровых технологий мониторинга математического состояния системы. В ГАП это математическое состояние определяется показателями использования и результативными показателями эффективности, структурированными в виде методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС.

Цифровые технологии (ЦТ) сегодня - обязательная часть любого бизнес-процесса и их внедрение в процесс организации ГАП повлечет за собой изменения в её структуре, методах управления и методах оценки эффективности, поэтому важно рассмотреть особенности применения ЦТ.

Особенности применения ЦТ объясняются рядом преимуществ свойств информации, преобразованной в цифровом формате:

- 1) возможность передачи кодированной информации с использованием различных физических носителей;
- 2) возможность распространять информацию посредством копирования без потери ее качества и точности;
- 3) возможность многократного увеличения скорости передачи информации за счёт увеличения плотности записи и т. д.

Развитие цифровых форматов записи больших объёмов данных и качественные преобразования в процессе передачи информации обусловили появление нового научного направления «digital economics» [58]. В настоящее время появилось множество определений «цифровая экономика». Большинство из них опираются на активное внедрение возможностей интернета, мобильных сетей доступа к информации, а также возможности работы в онлайн-режиме, что позволяет вводить в практику электронного документооборота, создавать новые бизнес-модели, реструктурировать механизмы взаимодействия рынков и потребителей и т.д. Анализ данных подходов к определению «цифровой экономики» показывает, что причисленные нововведения (инновации) это лишь результат процесса «цифровизации», каждый из которых выделяет и подчеркивает ее существенные преимущества. Кстати, впервые термин «цифровизация» был введен американским учёным Николасом Негропonte из Массачусетского университета в 1995 г. [59], однако процессы цифровизации информации и обработки данных в новом формате активно использовались, например, в США еще в 50-е годы прошлого века, по крайней мере в экономике. Но **главным содержанием понятия «цифровая экономика» является определение её как новой системы организационно-экономических отношений** [60], охватывающая всю сферу общественной жизни людей, науку, менеджмент, производство. Основными признаками нового вида системы, отражающими её специфику, являются:

- 1) Возможность обработки огромного количества данных, которые генерируются в используемых информационных системах и преобразуются в новую полезную информацию, применяемую для ускоренного экономического развития, повышение конкурентоспособности и т. д. эффективности становится жизненной необходимостью
- 2) Активное использование инновационных цифровых ИКТ, современных электронных каналов связи на базе мобильных носителей информации направлены на создание новых управления, новых бизнес-моделей, реструктуризирующих взаимоотношения рынков и потребителей;
- 3) Использование эффективных, специально разрабатываемых под новые задачи и условия применения математических методов и моделей переработки информации, основанных на возможности обработки цифровой формы информации (цифрового кодирования данных);
- 4) Создание и применение новых информационно-аналитических платформ, специализированных на отдельных отраслях экономики, но способных активно (проактивно) взаимодействовать с внешней средой в режиме онлайн мониторинга информационных ситуаций.

Основное назначение новой системы организационных отношений — это преобразование информации, представленной и обрабатываемой в новом цифровом формате, направленное на повышение эффективности процессов организуемых процессов. То есть цифровизация — это лишь инструмент для увеличения скорости передачи данных, их доступности и защищенности, обеспечивающий возможность автоматизации поиска оптимальных решений, направленных на последовательное улучшение всех бизнес-процессов.

Подтверждением выделения «цифровой экономики» в отдельный вид отношений является появление новых системных измерителей, оценивающих степень развития, охвата или влияния цифровизации процессов в отдельных странах на национальную экономическую и социальную жизнь. Приведем некоторые из этих измерителей:

1. NRI (Networked Readiness Index) индекс сетевой готовности, разработанный в 2001 году. NRI определяет уровень развития ИКТ в отдельных странах по трём группам параметров: готовность государственных органов и отдельных граждан в стране к применению ИКТ, наличие технологических условий и уровня развития информационной сети необходимых для активного использования ИКТ, уровень применения ИКТ в бизнес-среде. Общее количество изучаемых показателей – 53. Ежегодно на Всемирном экономическом форуме представляются результаты расчета NRI. В 2016 и 2017 гг. РФ в рейтинге из 143 стран занимала 41-е место [61].
2. GI (Global innovation index) – глобальный инновационный индекс, публикуемый с 2007 года, оценивает цифровую трансформацию общества в контексте инновационной деятельности. По результатам расчёта GI в 2017 году РФ занимает 45-место.
3. DESI (Digital Economy and Society Index) - индекс цифровизации экономики и общества, основной показатель, оценивающий уровень охвата цифровизацией для отдельных стран ЕС, а также рекомендуемой ЕЭК ЕС для всех стран [62]. Данный измеритель предусматривает оценку страны по пяти укрупнённым показателям (рисунок 2.1)

Приведенные оценочные показатели свидетельствуют о том, что в РФ созданы предпосылки для активного развития цифровой экономике, но говорить о достигнутых показателях мирового уровня ещё рано. Для более наглядного и упрощенного представления степени внедрения цифровизации в экономическо-социальную сферу эксперты определяют 3 укрупненных этапа, отражающих степень ее реализации.

- 1) Первый этап характеризуется сегментарным применением цифровых технологий для снижения затрат в отдельных отраслях экономики страны, как правило, это наиболее развитые и базовые отрасли (в РФ таким примером может служить нефтегазовая отрасль).



Рисунок 2.1 – Показатели измерителя DESI

- 2) Второй этап – это более широкое внедрение цифровых технологий уже в рамках специализированных бизнес-моделей, разрабатываемых для отдельных отраслей. Как правило, это технологически продвинутые и сильно насыщенные ИКТ-средствами отрасли, такие как авиационная и космическая отрасли, экономики.
- 3) Третий этап характеризуется принципиальным изменением подходов в организации бизнес-моделей, использующих цифровые технологии. Новые бизнес-модели формируются на предоставлении отдельных услуг компаниями, не обладающими собственной материальной базой (например, каршеринг автомобилей и т. д.). Возникает понятие ЦС – цифровой сервис. Для третьего этапа характерно вовлечение в новую цифровую среду всех отраслей экономики отдельного государства.

РФ в настоящий период времени, безусловно, находится в начале третьего этапа по уровню формирования цифровых походов во всех отраслях народного хозяйства, что подтверждается материалом, изложенным в первой главе. Естественно, что масштабы и темпы цифровизации экономики РФ будут определять её место и эффективность в глобальном экономическом пространстве. Понимание необходимости цифровой трансформации экономики РФ отражено в основополагающих документах «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» (утверждена Указом Президента РФ № 2032 от 9.05.2017 г и государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (принятая Правительством РФ, распоряжение № 1632-р от 28. 06. 2017 г.) [63,64]. Наличие и внедрение цифровых моделей управления автотранспортными системами ГАП (ЦАТС), организованных на базе ЦС и внедрением ЦТ в данной структуре измерения степени цифровизации экономики РФ является показательным элементом, поскольку:

- 1) функционирование ЦАТС ГАП развивает и относится ко всем основным параметрам индексирования DESI и увеличивает их значение;
- 2) ЦАТС является неотъемлемым элементом и интегратором процессов цифровизации услуг, характеризующим третий этап в развитии цифровой экономики по упрощенной системе оценки.

2.1.2 Цифровые сервисы как инструменты формирования сервисно-ориентированной архитектуры в системе грузовых перевозок

В качестве основного элемента в цифровых системах сферы услуг, производства сегодня рассматривается ЦС, закрепляющие «цифровое разделение труда» (digital division of labor) [65]. Различные исследования показывают, что цифровая экономика формирует принципиально новые схемы в разделение труда «организация – создатель и поставщик сервиса».

Пусть некая организация выполняет определенную производственную деятельность, а внешняя структура выполняет информационные услуги по цифровым каналам, дополняя «недостающую ценность» и актуализируя бизнес-процесс [66,67]. Данный подход способствовал изменению существующих бизнес-моделей в целях создания новой ценности и получения новых доходов, обозначая переход к новым формам бизнеса – цифровым, когда продается не товар, а сервис [68]. Определение данного типа сервиса включено в библиотеку IT Infrastructure Library 2011 г. (ITIL 2011): «сервис – способ предоставления ценности заказчику через содействие в получении конечных результатов, которые заказчик хочет достичь без владения специфическими затратами и рисками» [69]. Приведенная формулировка определяется четырьмя основными понятиями:

- 1) ЦС обладает собственной коммерческой ценностью, которая должна выражаться в виде затрат, использующего его предприятия, через цену доступа, правила доступа, время доступа;
- 2) конечный результат – это полученные и подтвержденные экономические, организационные или маркетинговые эффекты, получаемые заказчиками в случае использования ЦС;
- 3) риски несёт владелец ЦС;
- 4) затраты распределяются между владельцем ЦС (это затраты на обслуживание сервиса) и заказчиком (затраты по тарифу на объем потребляемых услуг) [70].

Немного иное определение понятия ЦС дал M. Schrage, на наш взгляд, менее конкретизированное, считающий их частью процесса виртуального управления предприятием, а именно цифровые сервисы «представляют собой информационные ресурсы, созданные для удовлетворения конкретных нужд пользователя, представляющих ценность, поскольку они в состоянии эти потребности удовлетворить» [71]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что

1. ЦС в настоящее время является самостоятельным инновационным продуктом, основанным на информационной деятельности.

2. ЦС не только способствует повышению эффективности существующих бизнес-процессов, освобождая их от рисков и затрат, связанных с обслуживанием ЦС, путем предоставления новой ценности заказчику, но и является самостоятельной бизнес-услугой, реализованной с использованием ИКТ.

Важно отметить, что создание ЦС предполагает необходимость конструирования новой информационно-аналитической системы, которая является удобной в использовании и необходимой для потенциальных заказчиков и легко адаптируемой к их потребностям удобной в применении в адаптивном виде к потребностям заказчика.

Наиболее видимая экономическая ценность внедрения информационно-аналитических платформ на базе ЦС – это возможность значительного сокращения расходов информационно-технологических (далее – ИТ) отдельных предприятий, которые складываются из капитальных затрат на покупку программного обеспечения (ПО), оплаты лицензий и обновлений ПО [72]. Особенно это значимо при активном развитии бизнеса, когда затраты на ПО растут нелинейно, из-за необходимости формирования новых структур, отделов и служб. Применение ЦС кардинально трансформирует данную ситуацию, преобразуя модель финансовой деятельности в модель «циклически повторяющихся расходов» наподобие абонентской платы, что значительно ниже расходов на капитальные вложения.

Другим эффектом от внедрения ЦС является необходимость и переосмысления подходов к управлению бизнесом и организацией, распространенных сегодня. При реализации новых процессов управления ЦС целесообразно сервисно-ориентированная архитектура (СОА) предприятия. СОА это способ формирования структуры предприятия как набор ЦС, предлагаемый потребителям и партнерам организации [73]. Таким образом, СОА организации определяет место ЦС в структуре современного предприятия, а их совокупность, расположенных на различных уровнях управления определяет экономическое содержание деятельности организации [74].

Данный подход к развитию бизнес-процессов может обеспечить выход предприятия на качественно новый уровень развития. То есть, если предприятие сформировано в виде набора ЦС:

- внешних ЦС, используемых для нужд организации, снижающих стоимость владения ИТ за счет сокращения затрат на их содержание;
- собственных ЦС, используемых для обслуживания ССА предприятия (управление, планирование бизнес-процессов и т. д.);
- собственных или внешних ЦС, обеспечивающих поток информации для внешних заказчиков (рисунок 2.2)

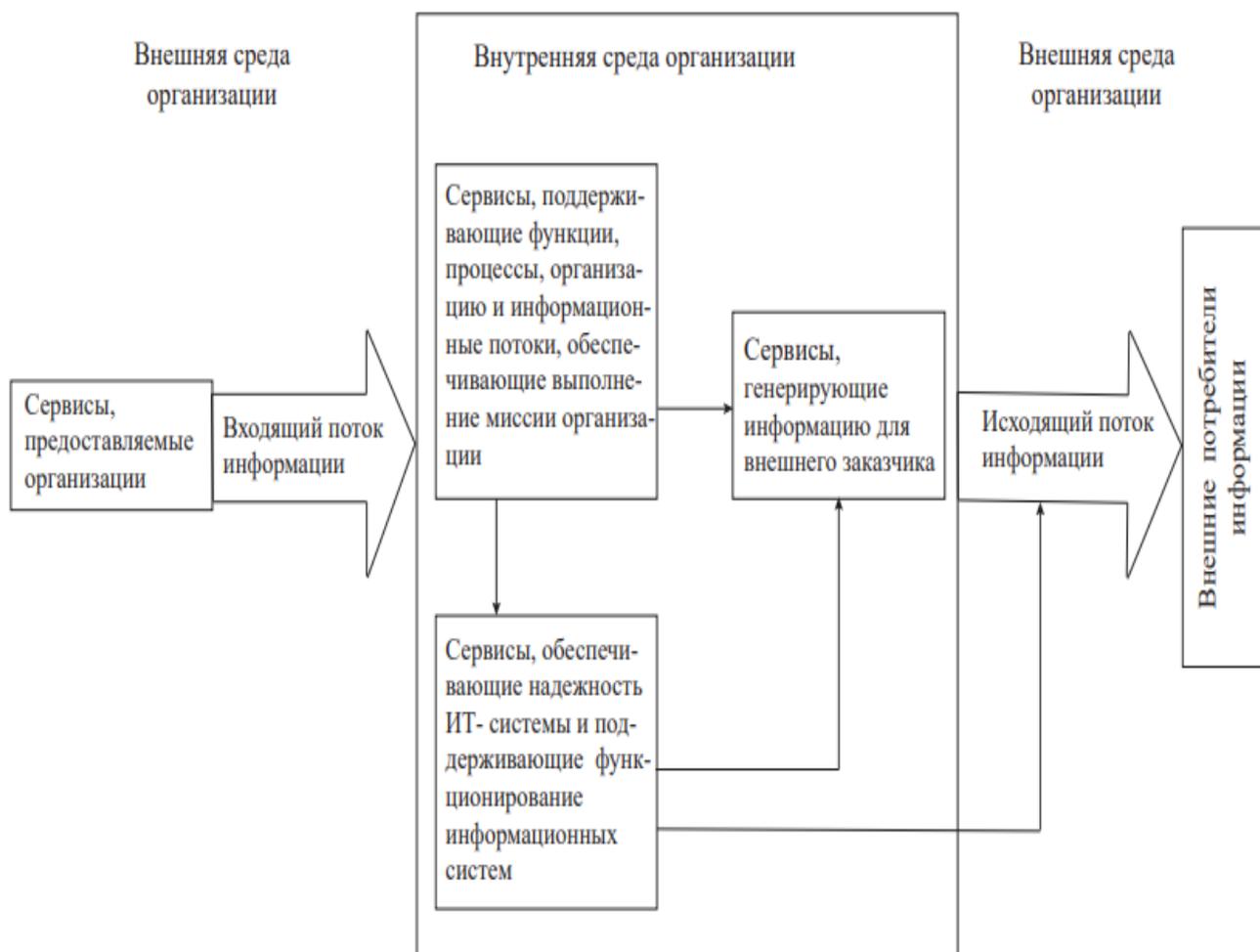


Рисунок 2.2 - Структура сервисно-ориентированной организации предприятия с элементами ЦС [70]

Разработка СОА должна осуществляться в полном взаимодействии с разработкой структуры ЦС, поскольку перечень необходимых ЦС определяется структурой и объемами производимых бизнес-процессов, то есть носить системный характер. Именно системная постановка задачи может определить оптимальные объемы информационной поддержки извне, которая необходима предприятию в решении стратегических задач управления и планирования деятельности и т. д.

Сегодня существует тенденция формирования СОА, рассматривающая ЦС как некоторые «строительные кирпичи», из которых формируется общая структура предприятия с новыми качественными характеристиками. Своего рода конструктор для полной архитектуры предприятия, включая не только ИТ-архитектуру, но и классическую структуру предприятия в целом, что в принципе правомерно при отходе от формальных механизмов планирования, контроля и управления в создании цифровых организаций, активно внедряющие инновационные ИКМ, проектирующие новые экосистемы, привлекающие в свою деятельность социальные сети. [75].

Но при этом не следует забывать, что любая задача формирования структуры предприятия, даже базирующегося на ЦС, должна быть решена с помощью комплекса методов и моделей, гарантирующих будущий эффективный процесс управления. Особенно актуально это при построении СОА, в которой разрушаются традиционные схемы формирования структуры предприятия, когда иерархия взаимодействия, уровни управления и комплексы задач определялись в большей степени объёмными (количественными) измерителями эффективности. Если же речь идет о системе, плоскость интересов и область деятельности которой, находится в информационной сфере, то возникает необходимость не только анализа информации имеющейся, но и применения методов управления информационными потоками при необходимости разработки последних, что подтверждается анализом понятия СОА в научной литературе, где приводятся новые необходимые атрибуты в данной структуре (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Перечень новых атрибутов в СОА, основанной на активном использовании ЦС [76,77, 78,79]

Атрибуты	Содержание атрибута
Способ доступа	Удаленный доступ
Способ использования	По усмотрению заказчика
Интеграция	Может быть полностью интегрирован в деятельность организации
Ценность	Удовлетворение конкретной потребности заказчика
Совместимость	Способность работать с иными сервисами, используемыми в организации
Условия доступа	Условия доступа должны отвечать возможностям клиента

Создание новой модели СОА, включающей новые атрибуты, требует создания эффективно функционирующей системы информационного управления бизнес-процессами, основанной на принципах теории исследования операций, теории игр и/или теории игр с природой. Скорее всего, формирование единого шаблона по организации СОЭ с применением ЦС для любых форм и видов социально-экономической деятельности будет затруднено по объективным причинам разнородности информационных ситуаций во внешней и внутренней среде деятельности организаций, поэтому можно говорить лишь о некоторой эффективной композиции ЦС, как о шаблоне, но каждому отдельному предприятию или отраслевой системе придется создавать собственную систему ЦС и собственную модель СОА предприятия. А именно, для каждого предприятия должны быть выявлены собственные критерии целеполагания, позволяющие определить общий класс задач управления, решаемых с помощью внешнего информационного обеспечения. Естественно, что в рамках одной отрасли автомобильных перевозок задачи управления или повышения эффективности будут располагаться в пределах одного класса. Следовательно, если говорить о некотором универсальном шаблоне моделирования и дальнейшего масштабирования СОЭ с применением ЦС, то разрабатываемая модель организации должна быть универсальна внутри отрасли ГАП, но учитывать специфические виды работ при различных видах перевозок.

То есть должна разработана модель формирования СОА АТП, активно внедряющих ЦС в виде системных сервисных моделей (ССМ) для отдельных видов перевозок, характеризуемыми индивидуальными структурами критериев с точки зрения специфики бизнес-процессов, технологических особенностей, структуры используемых приложений. Системно-сервисная модель (ССМ) в ГАП – модель из оптимальной совокупности цифровых ресурсов: персонала, технологий и оборудования, формирующих информационную систему цифровых услуг.

Главное преимущество системной сервисной модели (ССМ) заключается в возможности пользоваться определенной функцией управления ГАП, а именно расчётом производственной программы по эксплуатации АТС, обладающей свойством объективно обрабатывать и анализировать заданные и полученные параметры для достижения заданной цели повышения эффективности ГАП. При этом пользователю не требуется самому знать и понимать каким образом организован данный сервис, какую он содержит методологическую основу и какие компоненты в нем участвуют. Концентрация на результатах является критически важным фактором эффективности внедрения ЦТ в виде ССМ. Именно это условие закладывается в разработку методологии многокритериальной оценки эффективности цифровизации в ЦАТС на основе ЦС, которые будет предоставляться потенциальным потребителям в лице перевозчиков, органов власти разных уровней, и др.

Внедрение сервисного подхода на базе ЦАТС означает кардинальный разворот в выборе критериев оценки эффективности использования ЦТ-ресурсов «от показателей уровня цифровизации к показателям, определяющим эффективность». Несомненно, что данный подход ведет к трансформации структуры от функциональной к матричной многокритериальной системе, а также к появлению новых организационных функций в транспортной индустрии.

Схема структуры и взаимодействия в разработанной концепции приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 - Схема структуры и взаимодействия ССМ ЦАТС с внешней средой

Модель формирования СОА организаций, активно внедряющих ЦС в виде системных сервисных моделей (ССМ) для отдельных видов перевозок, характеризуемыми индивидуальными структурами критериев с точки зрения специфики бизнес-процессов, технологических особенностей, структуры используемых приложений и т. д., при этом:

1. Базовым информационно-технологическим элементом ССМ должна быть информационно-аналитическая платформа.
2. Должны быть разработаны инструменты управления и оптимизации функционирования в СТС с учётом потенциальных возможностей СОА с применением цифровых технологий на основе адаптации существующих методов теории принятия решений к условиям работы ЦАТС. Особенно это важно для процессов сложных процессов управления, характеризуемых наличием больших объёмов данных.

2.2 Цифровые технологии, реализующие системно-сервисные и бизнес-модели управления грузовыми перевозками

Современные облачные технологии (технологии облачных вычислений и технологий виртуализации) обеспечивают возможность сетевого доступа по требованию эксплантатов (потребителей) ССМ к общему ресурсу вычислительных ресурсов. Виртуализация вычислительных процессов – это процесс, когда программные приложения (программное обеспечение) написаны на одном вычислительном модуле. Такая схема виртуализации вычислительных процессов приобрела широкое распространение и продолжает активно развиваться. Сегодня на один физический сервер уже приходится более 8-ми виртуальных. Данная технология позволяют на четверть сократить парк физических серверов.

Помимо явных физических преимуществ, внедрение облачных технологий и ССМ активно происходит на мировом рынке ГАП, что повышает эффективности перевозок и способствует прозрачности бизнес-процессов. Например, в 2016 году компания «Uber Technologies» анонсировала запуск нового сервиса для ГАП «Uber Freight». Он создан компанией «Otto» параллельно с разработкой самоуправляемых грузовиков. Еще одно направление деятельности, «Otto» - разработка оборудования для беспилотных грузовиков. Привлекательность ССМ на основе Uber в сегменте ГАП подтверждается инвестициями, которые привлекаются в мире в данную отрасль. Например, фирмы Transfix (США) привлекла 36 млн. долл., uShip - 25 млн. долл., Convooy - около 80 млн. долл. инвестиций, создав инновационные мобильные приложения. В РФ уровень инвестиций в облачные технологии и в транспортные компании существенно. Это направление только вступает в активную фазу развития [80]. Например, ССМ компании «iCanDeliver» является оптимизация транспортных потоков и упрощение процесса оформления перевозок. Сейчас в системе «iCanDeliver» зарегистрировано около 20 тыс. грузоперевозчиков от мелких (две-три "ГАЗели"), до крупных европейских грузоперевозчиков.

В основе современных ЦС лежат облачные технологии цифрового кластера:

- IaaS (Infrastructure as a Service) - **«Инфраструктура как услуга»**,
- PaaS (Platform as a Service) - **«Платформа как услуга»**.
- SaaS (Software as a Service) - **«Программное обеспечение как услуга»**;
- CaaS (Communication as a Service) - **«Коммуникация как услуга»** [81].
- MaaS (Monitoring as a Service) **«Мониторинг как услуга»**

Остановимся подробнее на технологии (Monitoring as a Service). Система MaaS может быть представлена конечным пользователям по-разному (с разными технологиями и в разных форматах), независимо от того, предоставляется ли она как приложение для смартфонов или как организационная структура. Уже достигнутые результаты и анализ тематических исследований показали, что веб-технологии представляют собой ключевую движущую технологию для предоставления услуг MaaS. Именно эти технологии составляют основу для создания новых комбинированных и интегрированных служб цифровой мобильности в соответствии с определением MaaS. В основном, архитектура ИТС характеризуется высоким уровнем интеграции услуг, автоматизации и возможностей подключения. Следуя в этом направлении, можно достичь более высокой степени гармонизации услуг и предоставляемого контента. Похожие требования возникают при предоставлении услуг MaaS для синхронизации различных сотрудничающих организаций и предоставления высококачественных услуг конечным пользователям. Концептуальная модель системы MaaS учитывает все выявленные технические требования. Архитектура системы охватывает принципы предоставления услуг, которые определены в цепочке создания стоимости услуг. Даже несмотря на то, что архитектура системы MaaS предоставляет собой описание технологических и технических решений, используемых в системе, и связанных с ней операций, могут существовать и использоваться другие технические решения, которые отвечают тем же требованиям. Технологии могут использоваться различными способами, поэтому были выделены только определенные на практике технологии, применяемые к различным доступным услугам MaaS (рисунок 2.4).

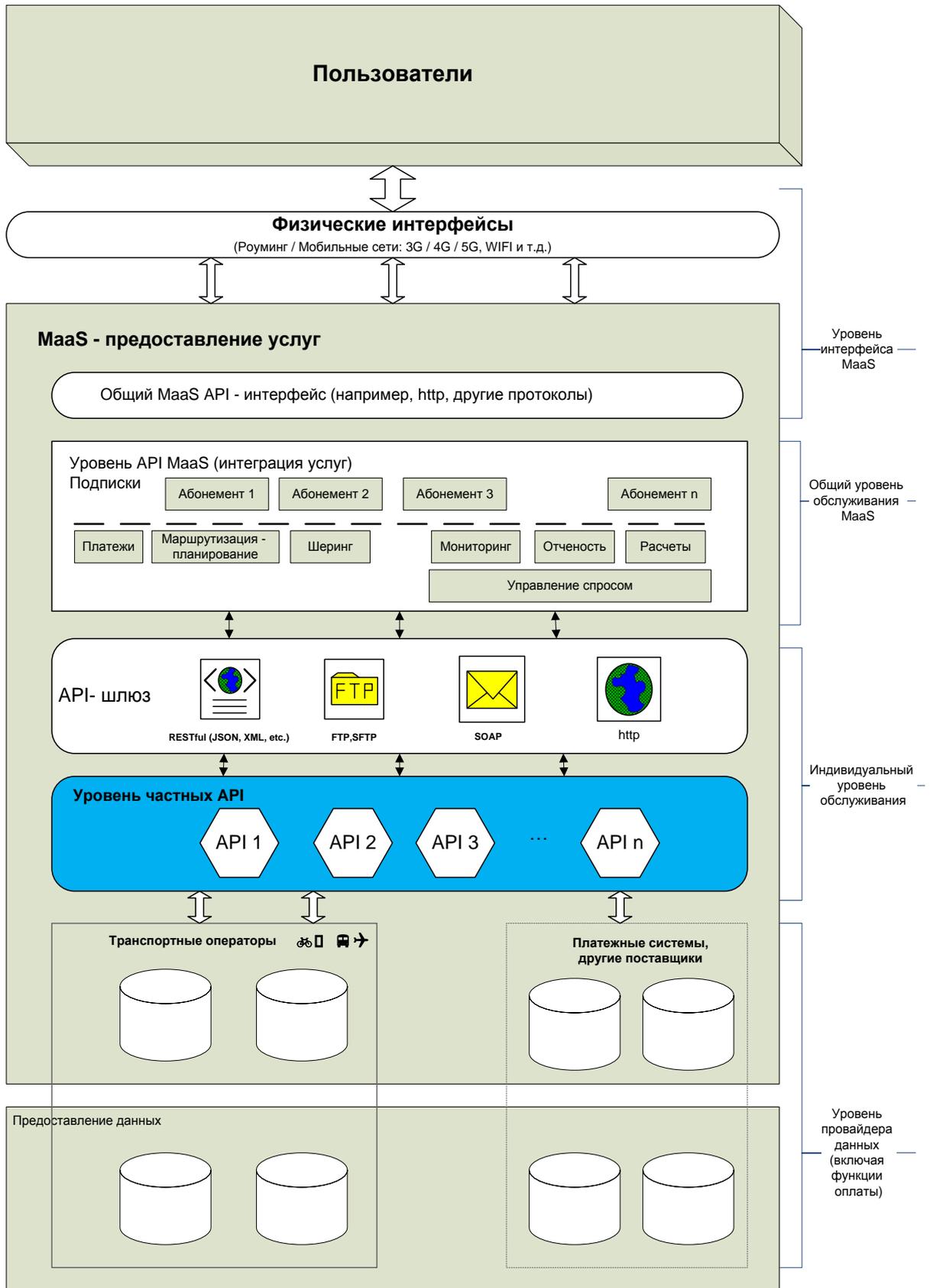


Рисунок 2.4 – Обобщенная техническая архитектура системы применения цифровых технологий

На практике анализ архитектуры системы систематически связывается с организационным фоном соответствующей системы MaaS. Другими словами, процессы и технологии, необходимые для предоставления услуг MaaS, представлены в технической архитектуре системы, роли и обязанности определены в конкретных ССМ.

Концепция MaaS уделяет большое внимание предоставлению гибких услуг мобильности, имея несколько транспортных режимов, подключенных и объединенных в одну общую платформу бронирования и информации, а высокая целевая величина интеграции MaaS обусловлена количеством интегрированных транспортных режимов, обеспечивающих плавные переходы режимов. С технической точки зрения как инфраструктурные, так и транспортные операторы могут представлять, как данные, так и услуги.

Ниже представлены различные уровни предоставления услуг MaaS конечным пользователям. Основным домен MaaS представлен новым уровнем API MaaS – интеграция услуг. Следуя принципу объединения услуг с несколькими подписками по одному общему интерфейсу, пользователям предоставляется один общий простой интерфейс транзакций через разные зарегистрированные подписки, что дает пользователям возможность выбирать предпочтительные предложения мобильности. С текущей точки зрения сосуществуют несколько различных мобильных сервисов/приложений, которые не имеют интерфейсов/ соединений друг с другом.

Автономные проприетарные сервисы выделены в синем поле (рисунок 2.4), которое называется уровнем частного API. Уровень частного API представляет собой сумму всех доступных мобильных сервисов, которые потенциально доступны на рынках цифровых услуг и уже используются, например, непосредственно пассажирами. Эти услуги могут предоставляться, например, транспортными операторами, которые также выполняют роли поставщиков услуг. С другой стороны, услуги могут предлагаться и сторонними организациями, способными обеспечить всю архитектуру виртуальных услуг.

В зависимости от применяемой ССМ некоторые транспортные операторы, как упоминалось ранее, могут выступать в качестве поставщиков данных и услуг, поэтому они представлены как на сайтах данных, так и на уровне обслуживания. Чтобы подключить различные сервисы (и/или функции) к одной платформе общего доступа, необходимы интерфейсы технических сервисов для сбора всех доступных источников контента и информации. На рисунке 2.4 показан API-шлюз, описывающий примеры интерфейсов с использованием технологий распространения на основе веб-служб. Например, Restful (Rest), простой HTTP и/или SOAP указывают, когда обращаться к данным/обмениваться данными между различными сайтами. Все эти технологии веб-сервисов, в основном, реализованы как часть серверных систем. Поскольку конечные пользователи взаимодействуют только с интерфейсной службой системы MaaS, необходимо установить фоновые системы между различными поставщиками данных/услуг.

ССМ формирует бизнес-модель, которая определяет как организация создает, поставляет и получает ценности (включая экономические, социальные, культурные или другие контексты). Таким образом, процесс построения бизнес-модели является важной частью формирования бизнес-стратегии и оценки потенциала и позиции рынка [82]. Наиболее известным инструментом для этого является схема бизнес-модели (А. Osterwalder, Y. Pigneur, 2013). Она позволяет описывать новые или существующие бизнес-модели с помощью предложения (ценностное предложение), инфраструктуры (ключевые виды деятельности, ресурсы, партнеры), клиентов (сегменты, каналы, отношения) и финансов (структура затрат, потоки доходов). Универсальная схема бизнес-модели для оператора услуг MaaS, базирующаяся на зарубежном опыте, представлена на рисунке 2.5. Приведенная выше схема бизнес-модели раскрывает широкий спектр ключевых партнеров и клиентов, а также источники дохода. Услуги, основанные на платформе системы MaaS (например, управляемые оператором MaaS) являются новым способом управления предложением отдельных поставщиков услуг. В итоге, это увеличивает добавленную стоимость для клиентов, конкретизируя синергетические преимущества бизнес-системного подхода. [83].

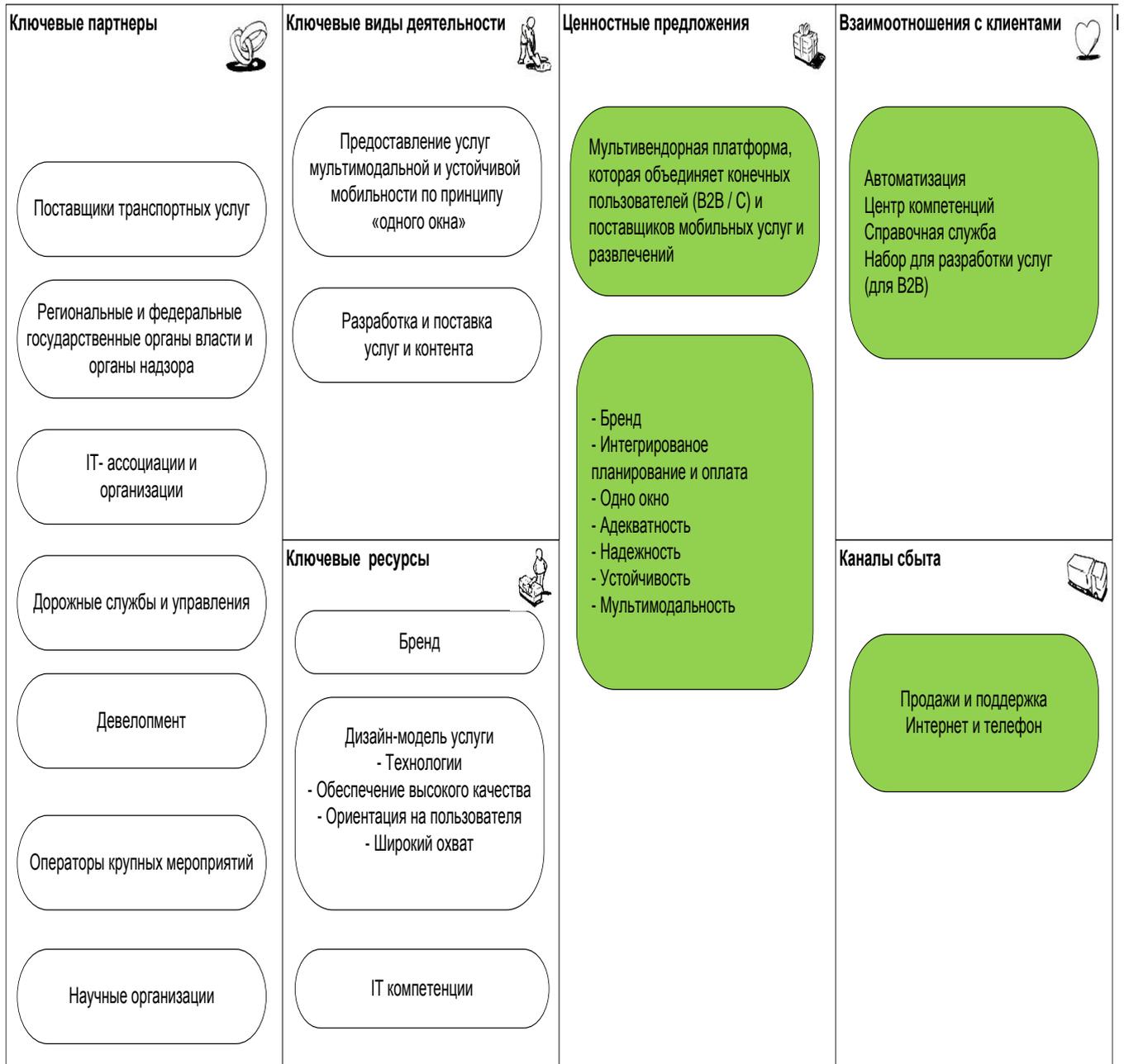


Рисунок 2.5 – Универсальная схема бизнес-модели оператора системы MaaS

По сути, существуют два типа бизнес-моделей операторов MaaS и потоков доходов: модель агента и модель продавца. На рисунке 2.6 показаны модели коммерческих операторов MaaS. В модели посредника несколько услуг от разных поставщиков транспортных услуг предлагаются пользователям через один интерфейс. Модель интегратора включает в себя, кроме того, поставщика IT-услуг, который предоставляет ключевые технологии и услуги, обеспечивающие поддержку (например, мобильные билеты и оплату).

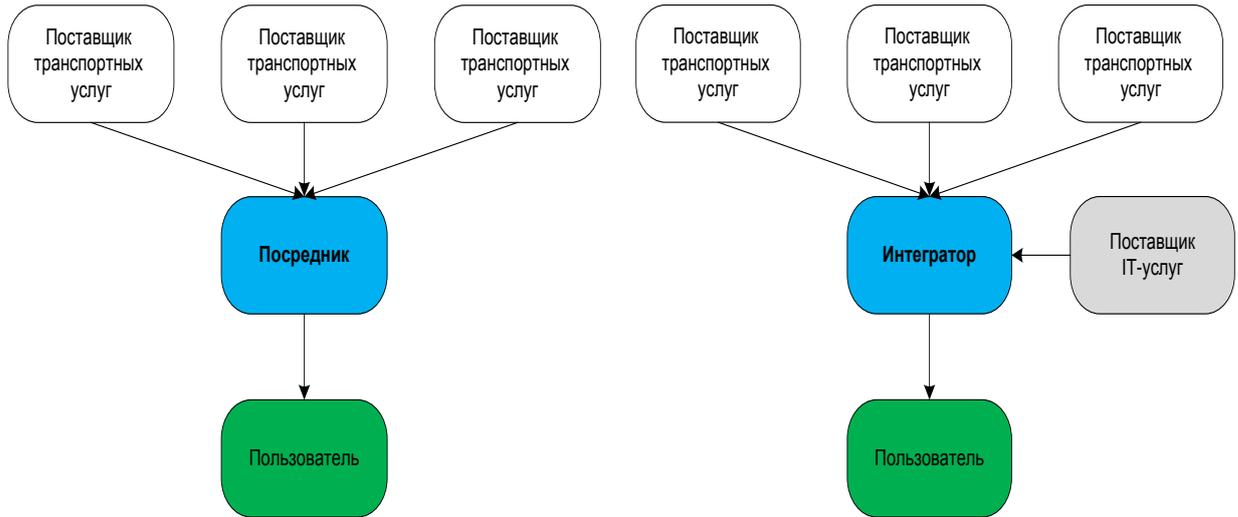


Рисунок 2.6 – Модели коммерческих операторов MaaS

Независимо от модели оператора MaaS, соглашения об обслуживании между оператором MaaS и транспортными операторами различаются. Одна услуга MaaS может включать в себя различные соглашения об обслуживании. Типами соглашений об обслуживании являются перепроданные услуги и договорные услуги (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Типы соглашений об обслуживании

Естественно, что, в итоге, ССМ на основе облачных технологий снижают риски непредвиденных расходов и оптимизировать работу транспортного предприятия [84]. Специализированные решения, как правило, являются системами автоматизации планирования маршрутов доставки продукции и используются для автоматизации процессов диспетчеризации и автоматизации работы диспетчеров [85].

Рассмотренные технологии и ССМ-организации процессов и бизнес-модели наиболее эффективны в системах ГАП с крупными централизованными пунктами переработки грузов (терминалами) и позволяют крупным и средним ГАТП автоматизировать процессы управления перевозками и планирования маршрутов, и оптимально использовать провозные возможности парка подвижного состава.

Как правило, такие решения позволяют не только обрабатывать большое количество информации за короткий промежуток времени, но и оптимизировать структуру технологических процессов, что повышает эффективность работы компании в целом. Обычно маршруты оптимизируются в обязательном порядке по двум основным критериям: \min пробег всего парка автомобилей и \max загрузка автомобиля. Но в условиях загруженности дорожно-транспортной инфраструктуры, наличия ряда специфических грузов нередко возникают дополнительные критерии, которые напрямую не коррелируются с величиной пробега и коэффициентом грузоподъемности АТС, такие как время доставки, время выполнения ПРР и т. д. Специализированные решения с применением облачных технологий позволят решать данную многокритериальную задачу наиболее эффективно реализуя:

- автоматическое создание справочников и баз, позволяющих применять перекрестный ввод информации;
- автоматизированное планирование маршрутов АТС;
- формирование графика маршрутных заданий одному или группе АТС автоматически по заданным условиям работы;
- автоматическую оптимизацию планирования на основе аналитических данных системы.

Решение данных задач должно осуществляться по единому основному функционалу и построению на общих принципах. В то же время, в первом случае, решения могут быть расширены за счет учета модулями взаимоотношений с клиентами, диспетчеризации и согласования с грузополучателями условий доставки.

2.3 Актуальные модели решения многокритериальных задач маршрутизации в динамических транспортных сетях

В главе 1 показано, что современные транспортные сети имеют активную тенденцию быть динамичными, то есть с непредсказуемыми задержками, пробками или закрытием дорожного движения. Потребность учитывать данное обстоятельство давно исследуется зарубежными учеными и исследователями. В результате были выделены основные подходы.

1. Можно просто «подправить» предварительно обработанные данные, а не строить их с нуля. Этот подход был опробован для различных методов, в том числе для метода «Геометрических Контейнеров» [86], ALT [87], метод «Флагов Дуг» [88] и «СН-метод» [89,90], с переменным успехом. Для СН, например, нужно отслеживать зависимости между «ярлыками» - (текущим состоянием процесса), частично, по мере необходимости, перезапуская сокращение.
2. Второй подход заключается в адаптации алгоритмов «запроса» так, чтобы обходить «неправильные» или несоответствующие доминирующей статистике разделы на этапе предварительной обработки. В частности, метод «ALT» является устойчивой к увеличению расходов на дуги [87]. Это необходимо, когда необходимость решать задачу маршрутизации реже, чем происходят обновлений в текущей информации в транспортной сети.
3. Третий подход разделяет информацию на метрико-независимые (МН) и метрико-зависимые фазы (МЗ). МН-фаза — это достаточно стабильная информация о топологию сети. МЗ-фаза – когда текущая информационная ситуация изменяется (ALT, СН и CRP методы). Например, в ALT можно сохранить ориентиры или пересчитать новые показатели [87,91]. Для СН можно сохранить иерархичность, и просто повторно запустите программу сокращения [92]. Для CRP, можно сохранить фрагментацию и топологию наложения, и просто пересчитать длины ярлыков [93].

Вторая сложность, приводящая сегодня к неточности построения маршрутов в пространстве и времени, это то, что в реальных в транспортных сетях оптимальный маршрут часто предсказуемо зависит от времени отправления. Например, некоторые дороги постоянно перегружены в часы пик, тогда формируется задача **времязависимого** кратчайшего пути, в которой назначается функцией продолжительности поездки до (некоторых) крайних точек с решением, представляющим время их прохождения их в любое время суток. Многие методы, описанные до сих пор, работают по этому сценарию, включая двунаправленный ALT [94,95], CH [96] или SHARC [97, 98, 99].

К сожалению, даже незначительное отклонение от модели времени в пути, когда совокупные затраты являются линейной комбинацией времени в пути и постоянных затрат, делает решение задачи трудноразрешимой за время, не превосходящее полинома от размера данных [100]. Решение первой задачи заключается в моделировании расписания для задействования алгоритмов, вычисляющих оптимальные маршруты. Поскольку задача кратчайшего пути хорошо изучена (подробный обзор этих решений приведен в [101]), поэтому рассмотрим более подробно **времярасширенные и времязависимые модели**.

Времярасширенная модель состоит из зависимых от времени событий, которые происходят в дискретные моменты времени и предполагают построение «событийным графа» [102]. Как правило, базовая версия модели содержит вершины для каждого отправления и прибытия, с последующими отправлениями и прибытиями, соединённые соединительными дугами [103,104]. Мюллер-Ханнеман и Вэйхэ [105] расширили модель для различения транспортных средств, чтобы оптимизировать число переходов (пересадок или перегрузок), принятых в ходе запросов посредством разделения каждой соединительной дуги новой вершиной с последующим соединением вершин на каждом маршруте.

Пайрга и соавт. [106] и Мюллер-Ханнеман и Шнии [107] расширили времярасширенную модель, включив минимальные изменения времени (заданного на входе), которые необходимы в качестве границы при изменении маршрутов в пути следования.

Полученная ими, так называемая реалистичная модель, вводит дополнительную переходную вершину для отправления, и соединяет каждую вершину прибытия с первой вершиной перенаправления, которая удовлетворяет минимальному изменению временных ограничений. Эта модель была доработана [108] так, чтобы уменьшить количество дуг, которые были “избыточно” исследованы во время запросов.

Главным недостатком времязависимой модели является то, что итоговые графы довольно сложны для обработки данных [106].

Времязависимый подход, напротив, создаёт значительно менее трудоёмкие графы (в плане количества вершин и дуг). Вместо этого кодируются временные зависимости функциями времени в пути на дугах, которые соединяют время отправления со временем на маршруте. Оценка «затрат» дуги, затем зависит от времени, в которое она проложена. Общий анализ время-зависимых кратчайших путей для различных ограничений ожидания выполнен Ордой и Ромом [109, 110]. Оказывается, что задача кратчайшего пути может быть эффективно решена, если функции времени в пути неотрицательны, и используется правило первый-вошёл-первый-вышел (что подразумевает, что ожидание никогда не окупается). Времязависимый подход был рассмотрен Бродалом и Джакобом [111]. Точное время отправления и прибытия кодируются функцией времени в пути. Пайрга и соавт. [106] далее расширили эту базовую модель для обеспечения минимального изменения времени, создавая для каждого маршрута, который обслуживает вершину (p) . Вершины маршрута в (p) соединяются с общей вершиной остановки по дугам постоянных «затрат», отображающих минимальное изменение времени (p) . Поездки распределяются по маршрутным дугам, соединяющим последующие вершины маршрута, как показано на рисунке 2.8.

Для некоторых приложений можно объединять маршрутные вершины, переходы между которыми не нарушают минимальное изменение времени [112].

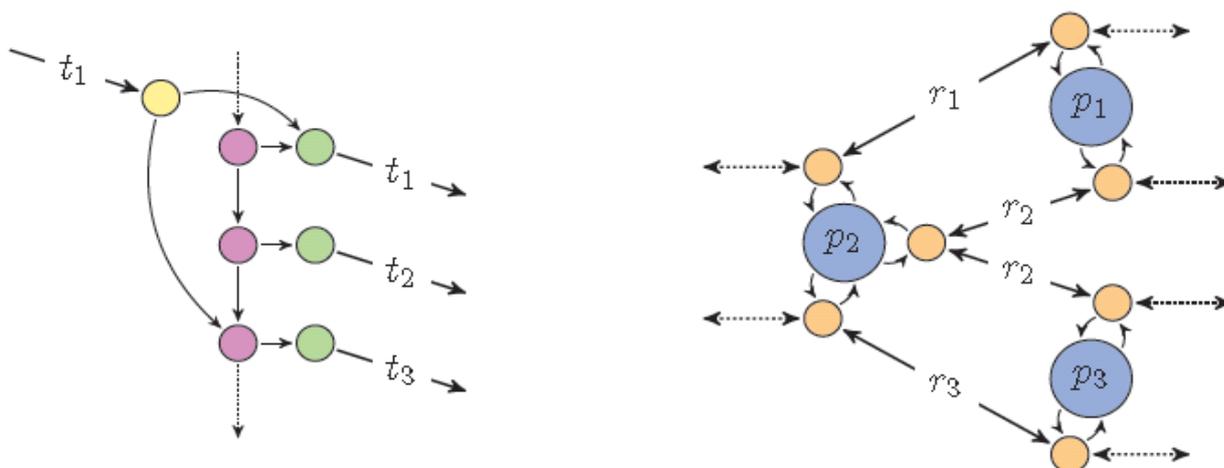


Рисунок 2.8 - Реалистичные времярасширенная (слева) и времязависимая (справа) модели: соединяющие дуги во времярасширенной модели - t_i , а маршрутные дуги во времязависимой модели – маршрутами r_i .

Естественным решением описанных выше задач является рассмотрение функций нескольких «затрат», выполнив поиск по множеству критериев. В таком поиске цель-найти множество Парето. Алгоритм Дейкстры можно расширить для расчета множеств Парето, и он достаточно эффективен, пока эти множества не велики [105], но что ряд зарубежных источников говорит о значительных трудностях вычислительного характера, когда критериев эффективности достаточно много [113,114]. Поэтому нередко данную задачу упрощают, сведя её однокритериально или двух критериальной [115, 116]. Между тем полноценная многокритериальная задача и необходимость в этом случае получать значения множества Парето достаточно хорошо изучена.

Вычисление множества Парето кратчайших путей в (основном) графе можно выполнить расширениями алгоритма Дейкстры [120] для обзора комбинаторной оптимизации множества критериев. С применением алгоритма **Установки Обозначений Множества Критериев (MLS)** [117,118,103,119]. Данный алгоритм расширяет алгоритм Дейкстры, сохраняя для каждой вершины, но при этом выполняется большое количество вычислений, связанных с комбинаторным принципом решений.

Хансен [117] отмечает, что множества Парето могут содержать экспоненциально много решений, даже для ограниченного случая двух критериев оптимизации. На практике множеств Парето гораздо меньше, но их все еще может быть достаточно много, чтобы быть узким местом при вычислениях [105]. Чтобы ускорить запрос, можно вычислять приближенные решения, например, посредством ослабления доминирования (тем самым сокращая количество критериев). В частности, множества Парето $(1 + \varepsilon)$ доказуемо имеют полиномиальную размерность [123] и могут быть эффективно вычислены [121,122].

Оригинальный подход, позволяющий значительно сократить количество вычислений при значительном количестве критериев был реализован при выполнении научно-технической работы «Разработка цифровых объектно-ориентированных моделей управления в транспортно-логических системах и прототипов программного обеспечения на их основе», ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», 2020-2021 гг. Листинг ПО для расчёта алгоритма Дейкстры для нескольких критериев эффективности приведен в **Приложении Б**. Его особенностью является то, что данная задача может быть успешно решена для достаточно большого количества критериев эффективности.

Большинство рассмотренных алгоритмов были разработаны ввиду необходимости их практического применения. Почти все исследованные нами методы являются достаточно точными: они доказуемо определяют кратчайший путь, однако их производительность (в плане предварительной обработки и запросов) значительно меняется в зависимости от сложности исследуемого входного графа. Большинство алгоритмов хорошо работают для реальных дорожно-транспортных сетей, но имеют некоторую степень свободы во время предварительной обработки (такие, как разбиение, порядок вершин или выбор ориентиров). Очевидный вопрос заключается в том, можно ли эффективно определить лучшие варианты таких выборов для конкретного входного сигнала так, чтобы минимизировать пространство поиска запроса (естественное опосредование числа запросов).

Например, в [124] установлено, что нахождение оптимальных ориентиров для ALT является сложными за время, не превосходящее полинома от размера данных. То же самое касается метода «Флагов Дуг» (с учетом разбиения), «SHARC» (с учетом порядка ярлыков), «Графов Многоуровневого Наложения» (с учетом сепаратора). В действительности сведение к минимуму количества «ярлыков» для СН является сложной задачей на уровне аппроксимированных алгоритмов полиномиальной сложности с постоянным коэффициентом аппроксимации [124,125]. Однако в методе «SHARC» существует алгоритм аппроксимации по фактору (k) [126]. Решение о том, какие (k) – текущие ситуации «ярлыки» добавлять в графы в целях минимизации пространства поиска решений является трудоёмким за время, не превосходящее полинома от размера данных [126]. В [127] показано, что нахождение оптимального (k) - разбиения является сложной задачей, требующей обработки больших объемов данных. То есть существуют теоретические пределы производительности алгоритмов для эффективной реализации их на практике. Таким образом, поиск решения задач в ДТС мотивируют необходимость большого объема теоретической работы по разработке новых методик, моделей и алгоритмов [118,129], реализуемых в разрабатываемой концепции организации ГАП (рисунок 2.9).

Выводы по второй главе

Во второй главе разработана концепция организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления. Основой разработанной концепции являются активно развивающиеся в современных интеллектуальных транспортных системах организационные, технологические и научно-методологические достижения и разработки:

1. ЦС в настоящее время является самостоятельным инновационным продуктом, основанным на информационной деятельности. ЦС не только способствует повышению эффективности существующих бизнес-процессов, освобождая их от рисков и затрат, связанных с обслуживанием, но и является самостоятельной бизнес-услугой, реализованной с использованием ИКТ. Наиболее эффективная организация производства с применением ЦС – сервисно-ориентированные модели управления. Главное преимущество системной сервисной модели (ССМ) заключается в возможности пользоваться определенной функцией управления ГАП, а именно расчётом производственной программы по эксплуатации АТС, обладающей свойством объективно обрабатывать и анализировать заданные и полученные параметры для достижения заданной цели повышения эффективности ГАП.
2. Современные облачные технологии (технологии облачных вычислений и технологий виртуализации) обеспечивают возможность сетевого доступа по требованию эксплантатов (потребителей) ССМ к общему ресурсу вычислительных ресурсов.): IaaS (Infrastructure as a Service) - «Инфраструктура как услуга»; PaaS (Platform as a Service) - «Платформа как услуга»; SaaS (Software as a Service) - «Программное обеспечение как услуга»; CaaS (Communication as a Service) - «Коммуникация как услуга»
3. Актуальные модели решения многокритериальных задач маршрутизации в динамических транспортных сетях, основанные на «время-зависимом» подходе, как наименее затратном по количеству вычислительных процедур, кодирующим временные зависимости **«функциями времени в пути»** на (участках маршрута), которые агрегируют в один вычислительный ресурс время отправления со временем на маршруте. Оригинальный пример данного подхода был реализован при выполнении научно-технической работы «Разработка цифровых объектно-ориентированных моделей управления в транспортно-логических системах и прототипов программного обеспечения на их основе», ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», 2020–2021 гг.

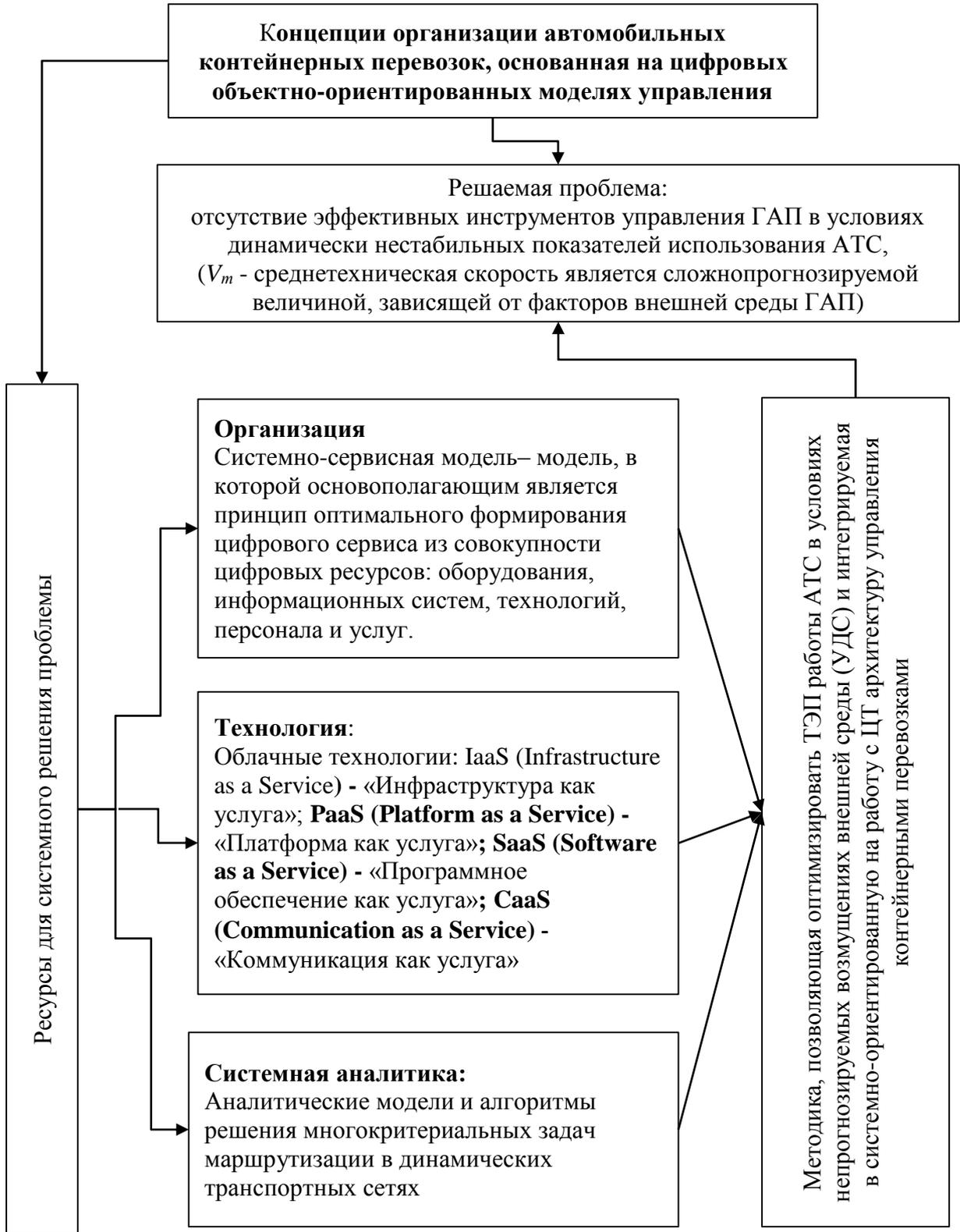


Рисунок 2.9 – Схема реализации концепции организации автомобильных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления

3. РАЗРАБОТКА СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

3.1 Определение требований к модели управления грузовыми перевозками, основанных на цифровых сервисах

Обязательные требования, которые должны быть учтены при разработке модели управления грузовыми контейнерами перевозками, основанной на цифровых сервисах, определены опираясь на данные транспортной компании ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПБ».

«Он-лайн» контроль движения АТС:

- 1) Возможность применения функции «поминутный контроль местоположения АТС и груза» – точное определение географических координат, скорости и направления движения.
- 2) Использование в модели данных фиксации месторасположения АТС на электронной карте.
- 3) Регулярное обновление показателей использования и результативных показателей на основе получения «Он-лайн»-данных о параметрах (ТЭП) и техническом состоянии АТС.

Оперативно-производственное управление:

- 1) Автоматизированная аналитическая обработка, полученной информации о маршруте АТС «он-лайн» режиме.
- 2) Возможность автоматизированного оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте.

Организация взаимодействия с водителем:

- 1) Обеспечение аналитическими данными для реализации функции «Оперативный вызов водителя при выявлении нецелевого использования АТС или отклонения от маршрутного задания и графика движения».

- 2) «Он-лайн» общение с водителем – видео (голосовая) связь и обмен SMS-сообщениями диспетчером (системой) с обязательным сохранением информации в базе данных.

Функции обеспечения безопасного движения

- 1) Обеспечение аналитическими данными для реализации функции «Оперативное реагирование при срабатывании контрольных датчиков, предупреждающих о сходе с маршрута или выходе АТС из зоны маршрутного задания и др.
- 2) Обеспечение аналитическими данными для реализации функции «Обеспечение контроля режима эксплуатационной и допустимой скорости движения АТС».

Функции определения и контроля результативных ТЭП:

- 1) Определение фактического пробега АТС;
- 2) Определение фактического времени выполнения маршрутных заданий;
- 3) Контроль времени доставки грузов, в соответствии со стратегией "точно-в-срок";
- 4) Обеспечение аналитическими данными для реализации функции «Контроль времени проведения ПРР»;
- 5) Формирование результативных ТЭП в виде данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду.

Специализированные решения могут отличаться для различных категорий перевозок: внутригородские перевозки, включая крупные города и мегаполисы с их агломерациями и междугородние перевозки. Это могут быть системы с завершением маршрута в среднем в течение одного дня и такие системы рассчитаны на большой поток входных данных при взаимодействии с большим количеством физических лиц и малым бизнесом, а во втором случае это магистральные перевозки, привязанные к терминалам, как к пунктам производства ПРР и т. д.

Во втором случае это, как правило, контейнерные перевозки и перевозки крупногабаритных грузов, длительность движения АТС, на которых может составлять несколько недель. В таблице 3.1 приведены данные предприятия ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПБ» (в редакции предприятия), подтверждающие актуальность различного целеполагания, как критериев в системе организации перевозок.

Таблица - 3.1 Исходные данные предприятия ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПБ»

Тип перевозки	Критерий	Габариты (длина x ширина x высота) см	Вес груза (т)	Маршрут
Авто	Срок доставки.	1200x230x120	10,38	Санкт-Петербург — Ярославль
Смешанный (жд/авто)	Стоимость доставки	700x200x200	2,5	Таганрог-жд.ст.Томмот-доставка авто до Якутск
Авто	Возможность доставки	1500x720x600	130	Санкт-Петербург - Нефтяник, Ленинградская обл.
Жд	Низкая стоимость доставки при массе груза более 20 т.	1100x200x150	24	Санкт-Петербург — Челябинск
Смешанный (авто/море)	Стоимость доставки	5930x5930x32 60	87,71	Санкт-Петербург - Усть-Среднекан, Магаданская обл., Усть- Среднеканская ГЭС
Авто	Возможность перевозки.	1097x434x444	98,40	Санкт-Петербург (Россия) - Островец, Гродненская обл., Белорусская АЭС (Республика Беларусь)
Смешанный (авто/жд/море)	Возможность перевозки, стоимость.	590x313x324	118	Санкт-Петербург — Норильск, Красноярский край, Норильская ТЭЦ- 2
Смешанный (авто/река)	Возможность перевозки, стоимость.	452x452x292	74,63	Санкт-Петербург - Волжский, Волгоградская обл., Волжская ГЭС
Смешанный (авто/река)	Возможность перевозки, стоимость.	452x452x292	74,63	Санкт-Петербург - Чайковский, Пермский край, Воткинская ГЭС
Смешанный (река/море/авто)	Возможность перевозки, стоимость.	1105x240x248	87,33	Кладово, ГЭС Джердап (Сербия) - Санкт-Петербург (Россия)
Авто	Возможность перевозки, стоимость.	1167x385x414	82,15	Санкт-Петербург - порт Санкт- Петербурга
Смешанный (жд/авто)	Возможность перевозки, стоимость.	1440x215x229	73,945	Таганрог, Ростовская обл. - Свободный, Амурская обл., Амурская ТЭС
Авто	Срок доставки.	497x405x233	32,381	Лысьва, Пермский край - Верхнетуломский, Мурманская обл., Верхне-Туломская ГЭС

Смешанный (жд/авто)	Возможность перевозки, стоимость, сроки.	492x302x389	66,57	Санкт-Петербург - Заволжье, Нижегородская обл., Нижегородская ГЭС
Авто	Срок доставки.	593x340x187	16,04	Санкт-Петербург (Россия) - Айзкраукле, ГЭС Плявинас (Латвия)
Авто	Стоимость, сроки доставки.	400x255x160	2,54	Санкт-Петербург - Дивногорск, Красноярский край, Красноярская ГЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	490x264x313	22,00	Санкт-Петербург - Энергетик, Республика Башкортостан, Кармановская ГРЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки	828x285x188	12,93	Санкт-Петербург — Новочебоксарск, Чувашская Республика, Чебоксарская ГЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	610x245x255	4,2 т	Санкт-Петербург - Шарыпово, Красноярский край, Берёзовская ГРЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	115x115x86	0,7 т	Санкт-Петербург - Энергетик, Оренбургская обл. Ириклинская ГРЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	380x205x307	9,43	Санкт-Петербург — Рыбинск, Ярославская обл., Рыбинская ГЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	220x87x103	0,58	Нововоронеж, Воронежская обл. - Санкт-Петербург
Авто	Стоимость, сроки доставки.	195x145x93	1	Санкт-Петербург - Удомля, Тверская обл., Калининская АЭС
Авто	Стоимость, сроки доставки.	1768x350x295	35,50	Санкт-Петербург - Курчатова, Курская обл., Курская АЭС-2
Авто	Стоимость, срок доставки	125x105x45	0,304	Санкт-Петербург — Севастополь, республика Крым
Авто	Стоимость, срок доставки	961x375x239	18,359	Свистягино, Московская обл. - Таганрог, Ростовская обл.
Авто	Стоимость, срок доставки	1181x290x365	21,82	Лодейное поле, Ленинградская обл. - Сызрань, Самарская обл.
Авто	Стоимость, возможность перевозки	50x52x90	0,165	Москва — Омск
Авто	Стоимость, возможность перевозки	548x112x79	1,912	Сызрань, Самарская обл. - Верхнетуломский, Мурманская обл., Верхне-Тулумская ГЭС
Авто	Стоимость и срок доставки	426x111x85	5,5	Тольятти, Самарская обл. - Подольск, Московская обл.
Авто	Стоимость и срок доставки	50x50x70	0,05	Ярославль — Стерлитамак, Республика Башкортостан
Авто	Стоимость и срок доставки	941x240x347	8,423	Сызрань, Самарская обл. - Ваганово, Ленинградская обл.
Авто	Стоимость и срок доставки	649x218x92	2,606	Сызрань, Самарская обл. - Иркутск
Авто	Стоимость и срок доставки	90x85x51	0,09	Нижний Новгород - Североморск, Мурманская обл.
Смешанный (авто/жд/море)	Возможность перевозки, стоимость и срок доставки	520x250x85	12,037	Таганрог, Ростовская обл. - Норильск, Красноярский край, Норильская ТЭЦ- 2

При решении задач маршрутизации предприятию ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПб» и многим другим в современных сложных экономических условиях необходимо максимально точно и прогнозируемо определять показатели эффективности в каждом отдельном варианте доставки грузов (по каждой заявке). При этом формируется многокритериальная задача выбора эффективного варианта, где в качестве критериев эффективности могут выступать не только показатели стоимости (затрат) на перевозки, но времени доставки и показатели производительности работы подвижного состава.

3.2 Разработка аналитической модели определения показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий

3.2.1 Разработка аналитической модели определения коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя среднетехнической скорости

Схема реализации концепции организации автомобильных контейнерных перевозок, основанной на цифровых объектно-ориентированных моделях управления, невозможна без адаптации аналитической модели определения показателей эффективности ГАП, раскрывающей потенциал возможностей цифровых технологий. Существующий и далеко не всегда применяемый на практике методический подход к определению эффективности использования автомобилей при выполнении ГАП определяется рядом результативных показателей. Покажем недостаточную точность традиционной модели определения комплексных показателей ГАП на примере одного из показателей производительности работы, что, в свою очередь, не позволяет выполнять требования к модели управления грузовыми перевозками, основанных на цифровых сервисах:

Объем транспортной работы в т·км за один оборот АТС за установленное время в наряде T_n определяется по формуле:

$$P = Z_0 \cdot q \cdot \gamma \cdot l_{ге}, \quad (3.1)$$

где Z_0 – количество оборотов автомобиля на маршруте, ед.;

q – грузоподъемность или грузовместимость АТС, т;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

$l_{ге}$ – длина груженой ездки, км.

а, производительность работы грузового АТС по количеству перевозимого груза W_q (т/час) или выполненной АТС транспортной работе W_p (ткм/час) соответственно определяются как:

$$W_q = \frac{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_T}{l_{ге} + t_{пв} \cdot \beta \cdot V_T} \quad (3.2)$$

$$W_p = \frac{l_{ге} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_T}{l_{ге} + t_{пв} \cdot \beta \cdot V_T} \quad (3.3)$$

где β – коэффициент использования пробега на маршруте;

V_T – среднетехническая скорость, км/час;

$t_{пв}$ – время простоя АТС в пунктах погрузки (ПП) и разгрузки (ПР), час;

то есть, производительность работы грузового подвижного состава является детерминированной функцией ряда показателей:

$$P = f(T_n; l_{ге}; \beta; q; \gamma; t_{п-р}; V_T) \quad (3.4)$$

В приведенном функциональном ряду показатели: $T_n; l_{ге}; \beta; q; \gamma; t_{п-р}$ безусловно являются показателями с управляемыми, а соответственно

прогнозируемыми значениями, но показатель V_m (среднетехническая скорость) в современных условиях является сложно-прогнозируемой величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП. Это утверждение было обосновано в первой главе, где показано, что изменение показателя в течение суток V_m не подчиняется нормальному закону распределения случайных величин.

Среднетехническая скорость V_T – это средняя скорость движения транспортных средств на данном расстоянии с учётом простоев и задержек в движении в зависимости от внешних условий.

В первой главе было установлено, что V_T нередко под влиянием множественных факторов УДС является стохастической величиной подчиняющийся стандартным законам распределения случайных величин. То есть объективно существует значительная степень неопределенности при прогнозировании V_T . Как правило, V_T рассчитывают по формуле:

$$V_T = \frac{AL_{\text{общ}}}{AD_{\text{и}} \cdot \alpha_{\text{и}} \cdot 24 \cdot \beta \cdot \delta} \quad (3.5)$$

где $AL_{\text{общ}}$ - общий пробег всех АТС автомобилями, км;

β – коэффициент, учитывающий времена в тесчении суток, когда АТС находится на линии;

δ – коэффициент, учитывающий использование рабочего времени.

Коэффициент использования рабочего времени (δ):

$$T_{\text{н}} = t_{\text{д}} + t_{\text{пв}} + t_{\text{тп}} + t_{\text{оп}}, \quad (3.6)$$

где $t_{\text{д}}$ - часы движения АТС;

$t_{\text{пв}}$ - часы простоя АТС в ПП и ПР;

$t_{\text{тп}}$ - часы простоя АТС по техническим причинам;

$t_{\text{оп}}$ - часы простоя АТС, носящие организационный характер.

Для одной единицы АТС коэффициент использования рабочего времени состава определяется следующим образом:

$$\delta = \frac{t_d}{T_H}, \quad (3.7)$$

для всего количества АТС за исследуемый период времени:

$$\delta = \frac{At_d}{24 \cdot A_{Дн} \alpha_H \cdot \rho} \quad (3.8)$$

Коэффициент использования времени суток (ρ) определяется исходя из баланса времени, определяемого соотношением:

$$24A_{Дэ} = AT_H + (At_d) \quad (3.9)$$

Для одного АТС:

$$\rho = \frac{T_H}{24} \quad (3.10)$$

Для всех АТС в АТП за исследуемый период времени:

$$\rho = \frac{AT_H}{24 \cdot A_{Дн} \alpha_H} \quad (3.11)$$

Получается, что чогда производительность рабочего парка АТС определяется учитывая субъективные коэффициенты (ρ) и (δ).

$$W_u = \frac{\sum U_i}{AT_H} \quad (3.12)$$

При этом время (T_H) может выражено через соответствующий коэффициент (ρ)

$$AT_H = 24 \cdot AD_{и} \alpha_{и} \cdot \rho \quad (3.13)$$

Далее определяется транспортная работа:

$$\sum U_i = q \cdot AL_{ге} \cdot \gamma_d, \quad (3.14)$$

или

$$\sum U_i = q \cdot AL_{общ} \cdot \beta \cdot \gamma_d, \quad (3.15)$$

через общий пробег АТС ($AL_{общ}$) и с учётом среднетехнической скорости:

$$AL_{общ} = AL_d \cdot V_T, \quad (3.16)$$

Автомобиле-часы движения АТС также определяются через с учетом соответствующих коэффициенты:

$$AL_d = 24 \cdot AD_{и} \alpha_{и} \cdot \rho \cdot \delta, \quad (3.17)$$

тогда

$$AL_{общ} = 24 \cdot AD_{и} \alpha_{и} \cdot \rho \cdot \delta \cdot V_T, \quad (3.18)$$

Окончательное имеем:

$$\sum U_i = q \cdot 24 \cdot AD_{и} \alpha_{и} \cdot \rho \cdot \delta \cdot V_T \cdot \beta \cdot \gamma_d, \quad (3.19)$$

$$W_u = q \cdot \delta \cdot V_T \cdot \beta \cdot \gamma_d, \quad (3.20)$$

Объективно проанализировать производительность АТС по формулам (3.19) и (3.20) невозможно, поскольку показатели: расстояния перевозок и времени простоя АТС в ПРР скрыты в коэффициенте (δ).

Тогда, чтобы снять неопределенность определяют коэффициент (δ) следующим образом:

$$\delta = \frac{t_{\text{д}}}{T_{\text{н}}} = \frac{1}{1 + \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{д}}}}, \quad (3.21)$$

предполагая, что при правильной организации работы АТС:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{пв}}, \quad (3.22)$$

Естественно, что данное допущение отрицательно сказывается на объективности расчёта производственной программы по эксплуатации АТС:

Далее, выразив ($t_{\text{пв}}$) через время простоя в ПРР ($t_{\text{пв}}^1$) за одну езду, определяют время простоя в ПРР:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{пв}}^1 \cdot Z_{\text{е}}, \quad (3.23)$$

и время движения ($t_{\text{д}}$):

$$t_{\text{д}} = \frac{L_{\text{т}}}{\beta \cdot V_{\text{т}}} \quad (3.24)$$

$$t_{\text{д}} = \frac{L_{\text{ге}} \cdot Z_{\text{е}}}{\beta \cdot V_{\text{т}}} \quad (3.25)$$

Подставляя значения ($t_{п}$) и ($t_{д}$) в выражение (3.21), получим:

$$\delta = \frac{1}{1 + \frac{t_{пв}^1 \cdot Z_e}{L_{ге} \cdot Z_e} \cdot \frac{1}{\beta \cdot V_T}} \quad (3.26)$$

Подставив (δ) в выражение для определения производительности получают окончательную формулу производительности парка АТС, ткм/авт.-час.

$$W_u = \frac{q \gamma_d}{\left(\frac{1}{\beta \cdot V_T}\right) + \left(\frac{t_{пв}^1}{L_{ге}}\right)} \quad (3.27)$$

или

$$W_u^1 = \frac{\alpha_{и} \cdot \rho \cdot q \cdot \gamma_0}{\left(\frac{1}{\beta \cdot V_T}\right) + \left(\frac{t_{пв}^1}{L_{ге}}\right)} \quad (3.27)$$

На примере алгоритма расчёта по формулам (3.5 ... 3.27) мы показали, как при большом количестве последовательно выполняемых элементов увеличивается стохастическая неточность ТЭП, при чем больше интервалы времени (сутки, месяц, год), который служит расчётным циклом для определения результативных показателей работы АТС, тем значимее проявляется основная проблема применения современных методик расчёта производственной программы по коммерческой эксплуатации АТС.

Основной проблемой применения данной методики на практике является динамическая нестабильность показателей использования АТС, применяемых в формулах (3.5) и (3.27). Если ряд показателей достаточно хорошо прогнозируем и управляем (T_n ; $l_{ге}$; $t_{пв}$; q ; γ), то (V_m - среднетехническая скорость) в современных условиях является сложнопрогнозируемой величиной – стохастически неопределенной величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП.

Рассмотрим альтернативный аналитический метод уточнения показателей ТЭП, основанный на определении их ВКП в зависимости от сложившейся текущей информационной ситуации. Как известно, целевая направленность в любой системе отражена в виде некоторых технических условий (внешняя среда), которые в конечном счёте являются комплексом ограничений, накладываемых на основные варьируемые показатели.

В данном контексте показатель среднетехнической скорости движения автомобиля:

1. Может быть определен некоторым заранее известным интервалом, изменений времени во времени. То есть, когда и сверху, и снизу эти показатели ограничены возможностями их технической реализации. Тогда систему показателей x_j ($j = \overline{1, m}$) логично представить в виде m -мерного пространства, а значения ограничений, как выделение в этом пространстве некоторой области, которая является областью определения показателей x_j :

$$\begin{cases} x_1^* \leq x_{i1} \leq x_1^{**} \\ \dots \\ x_j^* \leq x_{ij} \leq x_j^{**} \\ \dots \\ x_m^* \leq x_{nm} \leq x_m^{**} \end{cases} \quad (3.28)$$

где n – номер варианта решения.

Если принять, что влияние показателя на качество на эффективность решения обратно пропорционально величине его колебаний в области (3.28), то коэффициенты значимости его могут быть найдены из соотношения:

$$\psi_j^{(1)} = \alpha \frac{x_j^{**}}{x_j^{**} - x_j^*} \quad (3.29)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

Полагая, что

$$\sum_{j=1}^m \bar{\psi}_j = 1 \quad (3.30)$$

Получим

$$\alpha = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{x_j^{**}}{x_j^{**} - x_j^*} \right)} \quad (3.31)$$

2. Возможно применение иного метода определения ВКП. Если значения искомых коэффициентов связаны с некоторыми номинальными значениями или предельно допустимыми, например, ограничение скорости движения автомобиля, грузоподъёмность автомобиля и т. д. Тогда для тех показателей, которые соответствуют повышению эффективности процесса следует применять выражение:

$$\psi_j^{(2)} = \frac{\frac{1}{x_j^0 - x_j^*}}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{x_j^0 - x_j^*} \right)} \quad (3.32)$$

Тогда для тех показателей, которые соответствуют понижению эффективности процесса следует применять выражение:

$$\psi_j^{(3)} = \frac{\frac{1}{x_j^{**} - x_j^0}}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{x_j^{**} - x_j^0} \right)} \quad (3.33)$$

где x_j^0 – номинальное значение показателя.

Тогда выражение (3.29) будет выглядеть следующим образом:

$$\psi_j^{(1)} = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{x_j^*} \right)} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{x_j^*} \right)} \quad (3.34)$$

Сравнивая выражения (3.29) и (3.34), можно увидеть, что основная разница в подходе к определению коэффициента «веса» состоит в том, что во втором случае значения коэффициентов обратно пропорциональны разностям соответствующих номинальных и предельно допустимых значений показателей, а в первом случае их значения обратно пропорциональны величине колебаний показателя в области определения и не зависят от текущего значения показателя.

К сожалению, как уже отмечалось выше, в настоящее время в исследованиях посвященных оптимизации процессов управления, доминируют эвристические методы, к которым относят все методы, полученные с учётом мнения специалистов (экспертов). Даже создан целый ряд рациональных процедур, с помощью которых математической обработке подвергается материал эвристического происхождения, при этом возможны различные подходы при определении весовых коэффициентов. Между тем численные методы поиска оптимальных значений управляющих коэффициентов, необходимых для прогнозирования ситуаций развития исследуемой системы, позволяют эффективно определять их значения. Применение численных методов при определении управляющих коэффициентов особенно значимо для формирования цифровых систем организации грузовых перевозок, в которых необходимо сводить к минимуму субъективизм принимаемых решений, получаемых при оперировании данными, оторванными от реальных производственных ситуаций, возникающих в практике реализации системы ГАП.

3.2.2 Обоснование необходимости «он-лайн» определения показателя среднетехническая скорость при формировании системы тарифообразования грузовых автомобильных перевозок

Себестоимость перевозок наряду с производительностью является основным показателем работы автомобильного транспорта. Себестоимость 1 $C_{\text{ТКМ}}$ (руб./т·км) при ГАП определяют по формуле:

$$C_{\text{ТКМ}} = \frac{\sum P_i}{\sum U_i}, \quad (3.34)$$

где $\sum U_i$ - объём выполненной транспортной услуги, т·км;

$\sum P_i$ - сумма расходов АТП на оказание транспортной услуги, руб.

Методика определения $\sum U_i$ была изложена выше при выводе уравнения производительности. Общая сумма всех расходов может быть представлена в следующем виде:

$$\sum P_i = P_{\text{пер}} + P_{\text{пос}} + P_{\text{пв}}, \quad (3.35)$$

где $P_{\text{пер}}$ - переменные расходы, руб; $P_{\text{пос}}$ - постоянные расходы, руб; $P_{\text{пв}}$ - расходы, связанные с погрузочно-разгрузочными работами, руб;

Из выражения себестоимости видно, что она тем ниже, чем больше транспортная работа $\sum U_i$. Подставим ранее полученное выражение транспортной работы в выражение себестоимости и получим аналитическую зависимость:

$$C_{\text{ТКМ}} = \frac{\sum P_i}{q \cdot 24 \cdot A_{\text{Дн}} \alpha_{\text{н}} \cdot \rho \cdot \delta \cdot V_{\text{т}} \cdot \beta \cdot \gamma_{\text{д}}}, \quad (3.35)$$

Исходя из (3.35) определяется основной стохастический показатель, влияющий на себестоимость перевозок, а соответственно на тарифы при планировании ГАП. Расчёты показателя себестоимости перевозок необходимы при планировании перевозок для формирования системы тарифообразования на предприятии.

В настоящее время система тарифообразования во многом определяется рыночной конъюнктурой и является гибким инструментом управления бизнес-процессами. Тарифы для одного и того же вида груза могут изменяться в зависимости от расстояния перевозки, грузоподъемности АТС, времени суток, состояния УДС, то есть исходя из условий перевозок. Поэтому объективное определение показателя себестоимости перевозок остаётся актуальной задачей, что подтверждается рядом исследований, посвященных данной теме. Например, в статье «О влиянии средней технической скорости движения на производственную себестоимость в совокупности микро автотранспортных систем перевозок грузов», [Айтбагина, Э.Р., Ветвицкий Е.Е., 130] исследуется зависимость влияния среднетехнической скорости автомобиля на себестоимость перевозок в изменение величины этого влияния в течение одного дня.

На рисунках 3.1 и 3.2 приведены полученные зависимости изменения величины себестоимости перевозок от среднетехнической скорости движения АТС для различных производственных ситуаций, определяемых различными временными интервалами в течение суток.

На основании полученных данных в [130] делается вывод о том, что показатель себестоимости в микро автотранспортных системах может адекватно описываться полиномиальными зависимостями третьей степени в интервале $V_T = 20-30$ км/ч. Но результаты анализа изменения значений среднетехнической скорости в течении суток, приведенные в главе 1, говорят о возможности изменения (V_T) в значительно больших интервалах, так как система ГАП является открытой сложной системой. Поэтому применение фиксированных регрессионных моделей даже с относительно высокими показателями коэффициента детерминации (0, 71...0,75) для прогнозирования исследуемого показателя в целях

планирования работы подвижного состава АТП может приводить к значительным ошибкам, как результат аппроксимационного «сглаживания» фактических значений исследуемых величин.

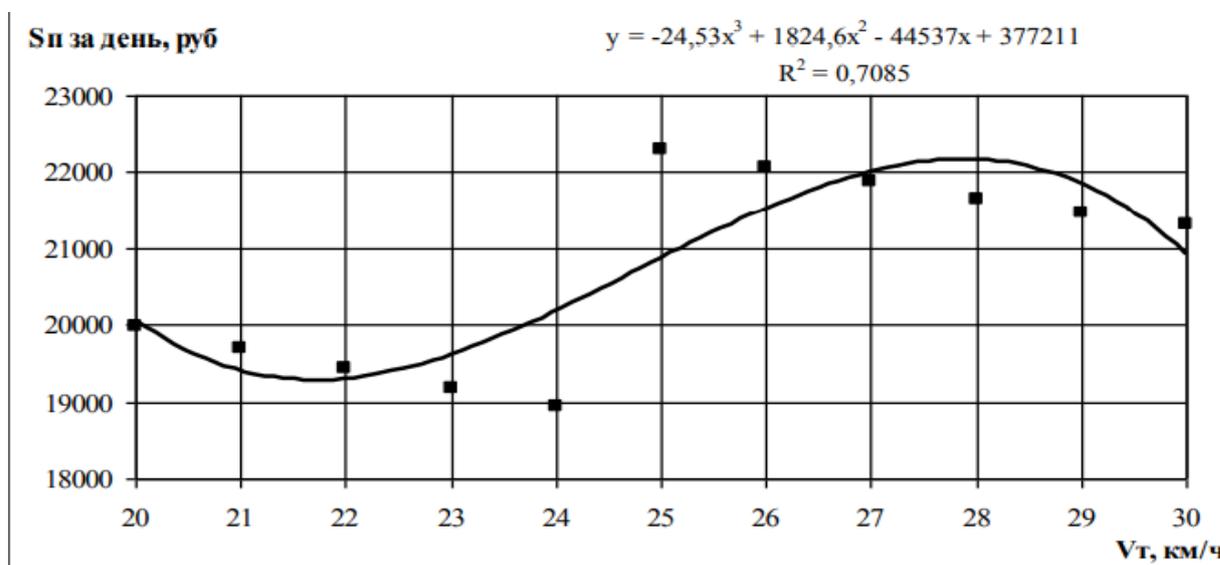


Рисунок 3.1 – График зависимости и уравнения регрессии, отражающие изменения величины себестоимости перевозок от среднетехнической скорости движения АТС [130]

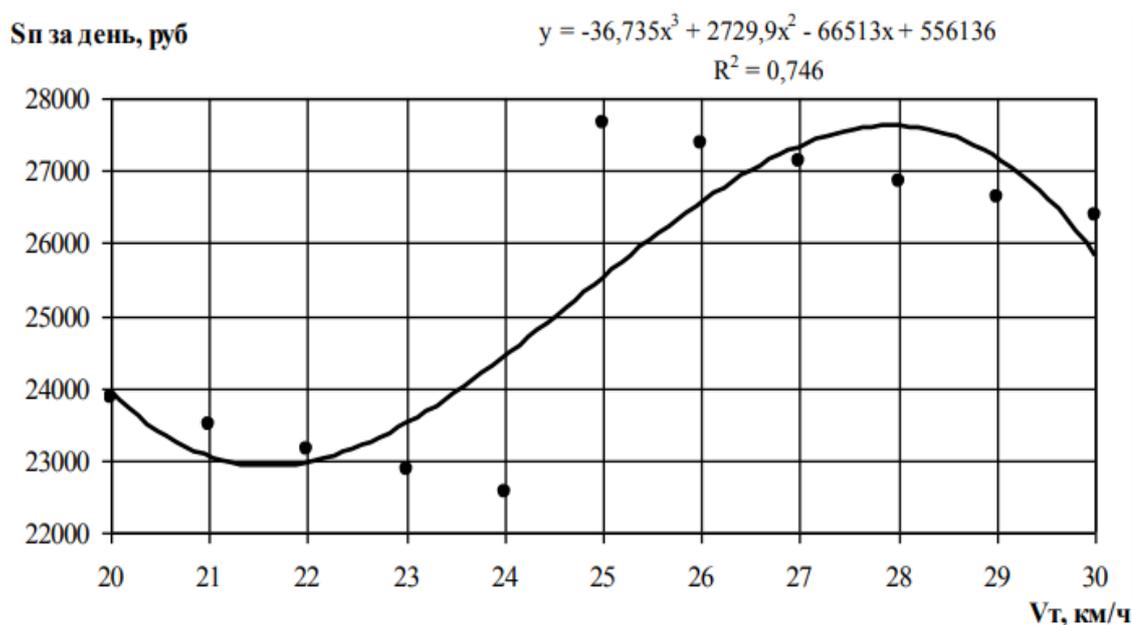


Рисунок 3.2 – График зависимости и уравнения регрессии, отражающие изменения величины себестоимости перевозок от среднетехнической скорости движения АТС [130]

В статье «Исследование влияния технико-эксплуатационных показателей на себестоимость грузовых автомобильных перевозок» [И.Ф. Шайхутдинов, Б.Ф. Ахтямов, 131] приведены результаты сопоставления фактических данных и данных, полученных на основании теоретических расчётов по известным и приведенным выше формулам (рисунок 3.3).

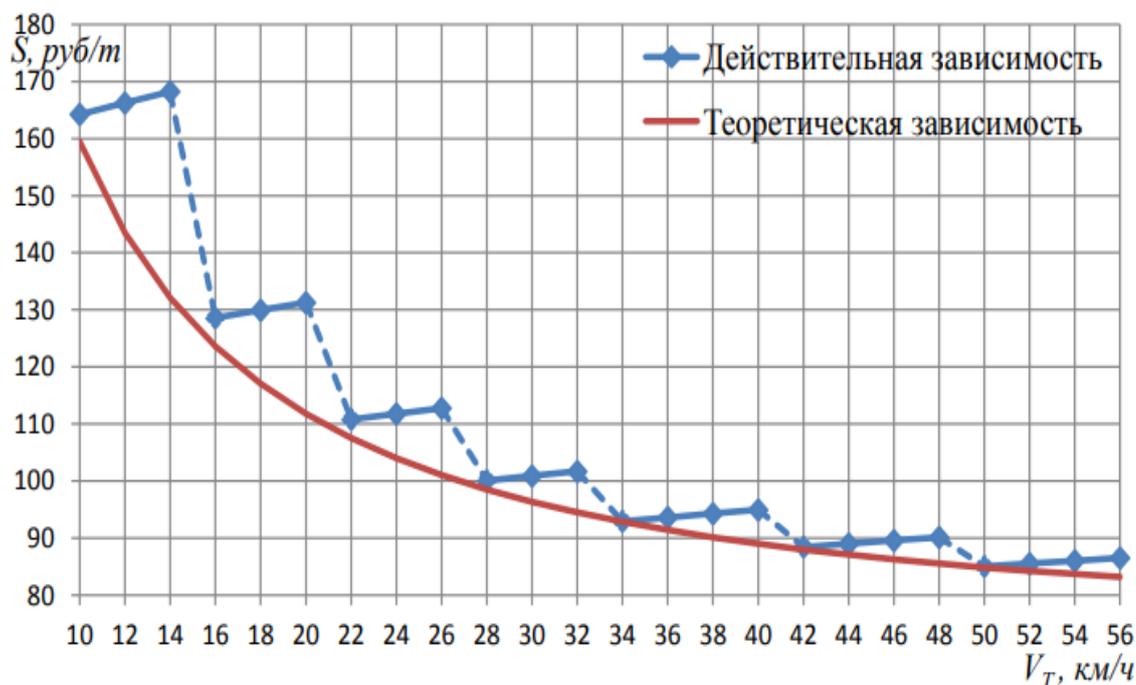


Рисунок 3.3 – Влияние среднетехнической скорости на себестоимость перевозки груза [131]

Обратим внимание на приведенные на рисунке 3.3 данные: для значения скорости 14 км/час отклонение фактических данных (170 руб./т) и расчётных (130 руб./т) составляет около 40 руб./т. Естественно, что величина данного отклонения фактических значений от расчётных, которые будут использованы, для планирования и прогнозирования результативных показателей работы АТС является недопустимым.

Очевидно, что (V_T) в значительной степени оказывает влияние на себестоимость, через входящие формулу ее определения коэффициенты δ .

3.3 Разработка алгоритма методики организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления

Основное назначение методики организации грузовых автомобильных и, в частности, контейнерных перевозок:

1. Формирование базы исходных данных показателей (входов в систему организации перевозок), позволяющих системно оценивать процесс эксплуатации АТС.
2. Производить расчёт результативных показателей эксплуатации АТС, максимально объективно отражающих эффективность ГАП, формирующих производственную программу по эксплуатации АТС.
3. Производить анализ определяемых результативных показателей ГАП с целью обеспечения возможности разработки мероприятий, повышающих эффективность организации перевозок с учётом установленного целеполагания.

Обязательным требованием перечисленных задач является наличие аналитического аппарата, позволяющего формировать структуру функциональных связей в системе, максимально снимающую факторы неопределенности или не допускающие «грубых» приближений или уточнений.

Этап 1. Формирование базы исходных данных показателей

Выполняется на основе разработанной методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок и реализующего его ПО (протокола маршрутизации), располагающая следующими уникальными свойствами:

- аналитический аппарат маршрутизатора предполагает возможность выбора эффективного действия при наличии стохастической неопределённости, когда отсутствует информация, гарантирующая обоснованное применение

известных законов распределения случайных величин (нормальный, логарифмически нормальный и др.).

- учитывает участки, где АТС прекращает движение в связи с необходимыми процедурами грузопереработки, но состояния сети, где происходит резкое изменение режимов движения АТС. [132].

Применение маршрутизатора, основанного объектно-ориентированном моделировании и цифровых сервисах хранения и передачи данных, позволяет сформировать базу данных с неограниченным количеством входов в систему. Поэтому появляется возможность в разрабатываемой методике дифференцированно учитывать временные показатели движения АТС на маршрутах: $t_d; t_{пв}; t_{тп}; t_{оп}$.

Этап 2. Формирование состава и расчет показателей методики

Производится трансформация традиционного состава показателей (3.4), определяющих производительность работы АТС:

$$P = f(T_n; l_{ге}; \beta; q; \gamma; t_d; t_{пв}; t_{тп}; t_{оп}; L_{общ},) \quad (3.36)$$

При этом исключается показатель среднетехническая скорость движения, но определяется фактическая средняя скорость движения АТС на каждом отдельном маршруте ($V_{ф}$). При расчёте производственной программы по эксплуатации АТС может применяться показатель средней фактической скорости движения АТС ($\bar{V}_{ф}$).

Далее формируются массивы данных по каждому показателю для каждого отдельного маршрута, исходя из значений фактических ограничений.

Приведем пример формирования базы данных ограничений, учитывающей все виды простоев АТС на маршруте - $t_{пj}$ ($j = \overline{1, m}$).

$$\left[\begin{array}{l} t_{pi1}^{min} \leq t_{pi1} \leq t_{pi1}^{max} \\ \dots \\ t_{pij}^{min} \leq t_{pij} \leq t_{pij}^{max} \\ \dots \\ t_{pnm}^{min} \leq t_{pnm} \leq t_{pnm}^{max} \end{array} \right], \quad (3.37)$$

Далее по формулам 3.29...3.31 определяются коэффициенты вкладов (α_{ij}) или весовые коэффициенты для каждого из показателей (ВКП), из которых формируется матрица эффективности ВКП для всех планируемых маршрутов в соответствии с существующими заявками на перевозки грузов (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Таблица ВКП

Показатель № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние на эффективность системы			
	t_d	$t_{пв}$...	$t_{пн}$
1	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}
2	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}
...
k	α_{ij}	α_{ij}	...	α_{ij}
Целеполагание в системе	max	min	min	opt

На основании данных таблица 3.1 формируется матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость перевозок ГАП (таблица 3.3)

Таблица 3.3 - Матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость ГАП

Показатель № маршрута	Матрица распределений пропорций влияния ВКП показателей на себестоимость ГАП			
	t_d	$t_{пв}$...	$t_{пн}$
1	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
2	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
...
k	s_{ij}	s_{ij}	...	s_{ij}
Целеполагание в системе	max	min	...	opt

На основании полученных данных определяется эффективность каждого маршрута в количественных оценках и производится аналитическая оценка влияния каждого показателя на общую эффективность системы.

Этап 3. Постановка задачи и решение многокритериальной задачи оптимизации анализируемой системы ГАП.

Полученное решение в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов будет искомым решением поставленной задачи оптимизации.

$$\|c_{ij}\| = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.38)$$

Постановка и решение задачи многокритериальной задачи оптимизации приведено в [133]

Постановка задачи линейного программирования для каждого сравниваемого варианта [134,135,136,137]:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1}. \end{cases} \quad (3.39)$$

Определяются значения коэффициентов, отвечающих за распределения управляемых ресурсов в системе ГАП:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, \text{ если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, \text{ если } j < k, \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, \text{ если } j > k \end{cases} \quad \text{где } \lambda = \frac{n-1}{n}. \quad (3.40)$$

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

Выводы по третьей главе

В третьей главе разработана аналитическая модель сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации ГАП. Основные требования к методике выявлены на основе результатов практической деятельности транспортной компаний ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПб». Основные из них:

- возможность применения в методике функции «по минутный контроль местоположения АТС и груза»;
- возможность регулярного обновления ТЭП на основе получения «Он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок;
- возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте;
- возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду и т. д.

На основе указанных требований разработан научно-методический подход к определению показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий, содержащая:

1. Аналитическую модель определения управляющих коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя среднетехническая скорость. Метод определения управляющих коэффициентов заключается в следующем: целевая направленность в системе ГАП отражается в виде технических условий, определяемых внешней средой.
2. Аналитическую модель применения комплекса ограничений, накладываемыми на варьируемые показатели на установленном интервале времени, определяемым периодом исследования.

3. Обоснования недопустимости применения показателя (V_T) при определении себестоимости перевозок, через входящие формулу ее определения коэффициента (δ), вносящего высокую степень неопределенности в характер исследуемого процесса. Приведены данные, показывающие, что для значения (V_T) =14 км/час отклонение фактических данных себестоимости перевозок (170 руб./т) и расчётных (130 руб./т) составляет около 40 руб./т, то есть более 30 %.

Предложенный научно-методический подход позволил разработать алгоритм, положенный в основу методики организации ГАП, позволяющий реализовать возможность цифровых технологий и состоящий из трех основных этапов:

1. Формирование базы исходных данных показателей на базе протокола маршрутизации и реализующего его ПО, предполагающего возможность применения «он-лайн»-данных о состоянии процесса при выборе эффективного действия и при наличии стохастической неопределённости исследуемых показателей.
2. Формирование состава показателей, исключая показатель среднетехническая скорость движения, но предполагающий расчёт фактическая средняя скорость движения АТС на каждом отдельном маршруте (V_f).
3. Постановка задачи и решение многокритериальной задачи оптимизации анализируемой системы ГАП в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов.

4. АПРОБАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК, ОСНОВАННАЯ НА ЦИФРОВЫХ ОБЪЕКТНО- ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ

4.1 Методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП

Методика предназначена для:

1. Определения количества автомобилей, необходимого для выполнения объема перевозок по планируемым заявкам, учитывая фактическую производительность конкретного автомобиля на каждом отдельном маршруте.
2. Установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.
3. Анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

На первом этапе планирования перевозок все ТЭП рассчитываются по каждому маршруту с учетом информации навигационного позиционирования:

Планируемое время, затрачиваемое на оборот на каждом маршруте:

$$t_{об} = t_{д} + t_{пв} + t_{п}^{BC}, \text{ час}, \quad (4.1)$$

где $t_{п}^{BC}$ – общее время простоев, определяемых совокупностью факторов внешней среды, как правило при планировании перевозок ($t_{п}^{BC} \rightarrow 0$), час;

$t_{пв}$ – время простоя в ПРР, час.;

$t_{д}$ – время движения АТС на маршруте, час.

Устанавливается заявленный объем перевозки по каждому маршруту: Q_m , т.

Определяется заказчиком срок выполнения перевозок в полном объеме: T_m , т.

Определяется количество возможных оборотов одного АТС на отдельном маршруте:

$$Z_{об} = \frac{T_m}{t_{об}}, \quad (4.2)$$

Определяется производительность одного АТС с учетом установленного срока выполнения заявки:

в тоннах:

$$W_{qт} = Z_{об} \cdot q_n \cdot \gamma_c, \quad (4.3)$$

в тонна-километрах

$$W_{qткм} = Z_{об} \cdot q_n \cdot \sum_i^n (l_{геi} \gamma_{ci}), \quad (4.4)$$

где q_n – номинальная грузоподъемность АТС

$l_{геi}$ – длина груженой ездки на i -том участке маршрута, км:

γ_{ci} – коэффициент статического использования грузоподъемности АТС на i -том участке маршрута, км

Определяется планируемое количество АТС в эксплуатации по каждому маршруту формуле:

$$A_{э} = \frac{Q_m}{W_{qт}}. \quad (4.5)$$

Устанавливается:

$L_{АТС м}$ - пробег автомобиля на маршруте, км;

$L_{гр м}$ - груженный пробег автомобиля на маршруте, км;

Определяется β_m – коэффициент использования пробега на маршруте.

Определяются фактические базы ограничений, учитывающей все виды простоев АТС на каждом маршруте - $t_{\pi j}$ ($j = \overline{1, m}$).

$$\left[\begin{array}{l} t_{\pi_{B1}}^{min} \leq t_{\pi_{i1}} \leq t_{\pi_{B1}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{Bij}}^{min} \leq t_{\pi_{ij}} \leq t_{\pi_{Bij}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{Bnm}}^{min} \leq t_{\pi_{nm}} \leq t_{\pi_{Bnm}}^{max} \end{array} \right], \quad (4.6)$$

$$\left[\begin{array}{l} t_{\pi_{i1}}^{min} \leq t_{\pi_{i1}} \leq t_{\pi_{i1}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{ij}}^{min} \leq t_{\pi_{ij}} \leq t_{\pi_{ij}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{nm}}^{min} \leq t_{\pi_{nm}} \leq t_{\pi_{nm}}^{max} \end{array} \right], \quad (4.7)$$

$$\left[\begin{array}{l} t_{\pi_{d1}}^{min} \leq t_{\pi_{i1}} \leq t_{\pi_{d1}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{dij}}^{min} \leq t_{\pi_{ij}} \leq t_{\pi_{dij}}^{max} \\ \dots \\ t_{\pi_{dnm}}^{min} \leq t_{\pi_{nm}} \leq t_{\pi_{dnm}}^{max} \end{array} \right], \quad (4.8)$$

Определяем влияние временных показателей на эффективность АТС на каждом маршруте обратно пропорционально величине его колебаний в областях: 4.6, 4.7 и 4.8.

$$\alpha_i = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{t_j^{max}}{t_j^{max} - t_j^{min}} \right)} \quad (4.10)$$

Определяется средняя фактическая скорость автомобиля на каждом маршруте определяется по формуле: (\bar{V}_Φ)

$$\bar{V}_\Phi = L_{\text{АТС } M} / T_M, \text{ км/ч.} \quad (4.11)$$

При необходимости и исходя из условий перевозки определяются фактические базы ограничений по величине фактической скорости движения (для каждого маршрута), и номинальной грузоподъемности автомобиля (для каждого автомобиля) по формулам 3.32 ... 3.34.

Формируются таблицы весовых коэффициентов распределения вкладов в эффективность системы для каждого показателя (таблица 4.1 ... 4.3).

- α_{ij} – ВКП, учитывающие временные показатели;
- β_{ij} – ВКП учитывающие возможные ограничения скорости движения;
- γ_{ij} – ВКП учитывающие ограничения грузоподъемности автомобиля;

Таблица 4.1 – ВКП, учитывающие временные показатели

Показатель № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние на эффективность системы			
	t_d	$t_{пв}$...	$t_{пн}$
1	α_{11}	α_{12}	...	α_{1n}
2	α_{21}	α_{22}	...	α_{2n}
...
k	α_{m1}	α_{m2}	...	α_{nm}
Целеполагание в системе	max	min	min	opt

Таблица 4.2 – ВКП, учитывающие возможные ограничения скорости движения по различным видам УДС с учетом существующих постоянных и временных ограничений

Показатель № маршрута	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние на эффективность системы			
	$\bar{V}_\phi < 30$ км/ч	$\bar{V}_\phi < 50$ км/ч	...	$\bar{V}_\phi < 120$ км/ч
1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1n}
2	β_{21}	β_{22}	...	β_{2n}
...
k	β_{m1}	β_{m2}	...	β_{nm}
Целеполагание в системе	max	max	max	max

Таблица 4.3 – ВКП, учитывающие возможные ограничения грузоподъемности АТС по конструктивным характеристикам или с учетом существующих постоянных и временных ограничений УДС

Показатель № маршрута Тип АТС	ВКП, отражающие вклад в систему ГАП, отражающие влияние на эффективность системы			
	$\gamma_T < 3 \text{ т}$	$\gamma_T < 6 \text{ т}$...	$\gamma_T < 20 \text{ т}$
1	γ_{T11}	γ_{T12}	...	γ_{T1n}
2	γ_{T21}	γ_{T22}	...	γ_{T2n}
...
k	γ_{Tm1}	γ_{Tm2}	...	γ_{Tnm}
Целеполагание в системе	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>

Далее по известным методикам и с учетом фактических данных о времени оборота рассчитываются фактические показатели использования подвижного состава по каждому маршруту и результативные показатели ГАП (таблица 4.4 и 4.5)

Таблица 4.4 – ТЭП работы АТС по каждому маршруту (форма 1)

Наименование показателей	Значение показателей			
	1	2	...	n
1. Номер маршрута				
2. Время оборота, ч/об				
3. Количество оборотов, ед				
4. Производительность автомобиля, т/сут				
5. Производительность автомобиля, т.км/сут.				
6. Пробег автомобиля, км/сут.				
7. Грузёный пробег автомобиля, км/сут.				
8. Коэффициент использования пробега				
9. Время заявки, ч/сут.				
10. Фактическая скорость, км/ч				
11. Количество автомобилей в эксплуатации, ед				
12. Автомобиле-часы в наряде, а-ч/сут.				
13. Автомобиле-дни в эксплуатации, а-д/год.				
14. Общий пробег автомобилей, км/год.				
15. Грузёный пробег автомобилей, км/год.				
16. Объём перевозок, т/год.				
17. Грузооборот, т/год.				

Таблица 4.5 – Результативные ТЭП работы АТС (форма 2)

Наименование показателей	Значение показателей
1. Количество автомобилей в эксплуатации, ед	
2. Списочное количество автомобилей, ед.	
3. Автомобиле-дни в эксплуатации, а-д/год	
4. Автомобиле-часы в наряде, а-ч/сут.	
5. Среднее фактическое время в наряде, а-ч/сут.	
6. Общий пробег автомобилей, км/год	
7. Грузёный пробег автомобилей, км/год	
8. Коэффициент использования пробега	
9. Объём перевозок, т/год	
10. Грузооборот, т/год	
11. Среднесуточный пробег автомобилей, км/сут.	
12. Автомобиле-часы в эксплуатации, а-ч/год	
13. Производительность автомобиля, т/сут	
14. Производительность автомобиля, т.км/год	

По сформированным таблицам весовых коэффициентов распределения вкладов отдельных показателей определяется эффективность каждого маршрута в заданной системе ограничений и целеполагания (таблица 4.1 ... 4.3) по формуле 3.39. Таким образом, формализуется первый иерархический уровень в системе оценки влияния фактических показателей работы АТС на эффективность ГАП:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|\mathcal{E}_i^\alpha\| = \begin{pmatrix} \mathcal{E}_1^\alpha \\ \mathcal{E}_\dots^\alpha \\ \mathcal{E}_m^\alpha \end{pmatrix} \\ \|\mathcal{E}_i^\beta\| = \begin{pmatrix} \mathcal{E}_1^\beta \\ \mathcal{E}_\dots^\beta \\ \mathcal{E}_m^\beta \end{pmatrix} \\ \|\mathcal{E}_i^\gamma\| = \begin{pmatrix} \mathcal{E}_1^\gamma \\ \mathcal{E}_\dots^\gamma \\ \mathcal{E}_m^\gamma \end{pmatrix} \end{array} \right. \quad (4.12)$$

Решение первой задачи позволяет формализовать второй уровень иерархической системы определения эффективности ГАП. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования АТС может решаться не только по трём видам ограничений, накладываемых внешней средой, но учитывать их достаточно большое количество:

$$\| \mathcal{E}_i^{\alpha, \beta, \dots, \gamma} \| = \begin{pmatrix} \mathcal{E}_1^\alpha & \mathcal{E}_1^\beta & \dots & \mathcal{E}_1^\gamma \\ \mathcal{E}_2^\alpha & \mathcal{E}_2^\beta & \dots & \mathcal{E}_2^\gamma \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathcal{E}_m^\alpha & \mathcal{E}_m^\beta & \dots & \mathcal{E}_m^\gamma \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

Аналитическое решение многокритериальных задачи первого и второго уровня аналогично и выполняются с применением методов векторной оптимизации по формуле (3.40). Принципиальным отличием между уровнями решения является следующее: на первом уровне определяются дифференцированные оценки по отдельным измерителям (время, скорость, грузоподъёмность АТС и т. д), а на втором уровне производится комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров. Решение оформляется в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов, которые оценивают величину негативного и/или позитивного влияния исследуемого показателя.

$$\| c_{ij}^{\text{II}} \| = \begin{pmatrix} c_{11}^{\text{II}} & c_{12}^{\text{II}} & \dots & c_{1n}^{\text{II}} \\ c_{21}^{\text{II}} & c_{22}^{\text{II}} & \dots & c_{2n}^{\text{II}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1}^{\text{II}} & c_{m2}^{\text{II}} & \dots & c_{mn}^{\text{II}} \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

Разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисной-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

4.2 Апробация методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС, основанной на фактическом определении значений технико-эксплуатационных показателей

Апробация методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС производилась на маршрутах контейнерных перевозок, опираясь на данные ООО «БЭДФОРД ГРУПП СПБ», в целях исследования эффективности разработанной модели определения ТЭП. В таблице 4.6 приведены исходные данные для планирования ТЭП работы АТС, сформированные с применением традиционных моделей расчета производственной программы по эксплуатации АТС.

Таблица 4.6 – Исходные данные для планирования ТЭП работы АТС с применением традиционных моделей расчета производственной программы по эксплуатации АТС

Наименование показателей, ед. изм.	Значение показателей по маршрутам						
	№ 1	№ 2	№3	№4	№5	№6	№7
1. Суточный объём перевозок, т/сут.	53	52	53	52	53	52	53
2. Время в наряде, ч/сут.	8	8	8	8	8	8	8
3. Среднетехническая скорость, км/ч	25	25	25	25	25	25	25
4. Время простоя под погрузкой, ч/езд.	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
5. Время простоя под разгрузкой, ч/езд.	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
6. Длина маршрута, км	30	54	94	50	26	4	76
7. Первый нулевой пробег, км	6	6	6	6	6	6	6
8. Второй нулевой пробег, км	11	27	47	25	9	7	37
9. Коэффициент выпуска на линию	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
10. Дни в эксплуатации, дн./год	256	256	256	256	256	256	256
11. Номинальная грузоподъёмность автомобиля, т	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
12. Коэффициент использования грузоподъёмности	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
13. Пробег с грузом	15	27	47	25	13	2	38
14. Длина порожнего пробега	15	27	47	25	13	2	38

В таблице 4.7 приведена форма исходных данных для планирования ТЭП работы АТС с применением разработанной модели расчета производственной программы по эксплуатации АТС с учетом следующих особенностей:

1. Производится регистрация фактических данных о состоянии показателей использования ТЭП: $P = f(T_{н}; l_{ге}; \beta; q; \gamma; t_{д}; t_{пв}; t_{тп}; t_{оп}; L_{общ.})$.
2. Формируется система ограничений ТЭП для определения весовых коэффициентов распределения вкладов отдельных показателей в эффективность маршрута в заданной структуре целеполагания.

Таблица 4.7 – Исходные данные для планирования ТЭП работы АТС с применением разработанной модели расчета производственной программы по эксплуатации АТС

Наименование показателей, ед. изм.	Значение показателей						
	№ 1	№ 2	№3	№4	№5	№6	№7
1. Заявленный объем перевозок, т/сут.	43	65	45	57	45	61	49
2. Срок доставки заявленного объема, час.	24	48	45	30	17	26	28
3. Средняя фактическая скорость, км/час.	23	21	18	26	38	24	46
4. Время простоя под погрузкой, ч/езд.	2,4	3	1,6	2,1	2,4	2,1	1,8
5. Время простоя под разгрузкой, ч/езд.	0,6	1	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6
6. Длина маршрута, км	30	54	94	50	26	4	76
7. Первый нулевой пробег, км	6	6	6	6	6	6	6
8. Второй нулевой пробег, км	11	27	47	25	9	7	37
9. Коэффициент выпуска на линию	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
10. Дни в эксплуатации, дн./год	256	256	256	256	256	256	256
11. Номинальная грузоподъемность автомобиля, т	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
12. Коэффициент использования грузоподъемности	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
13. Пробег с грузом	15	27	47	25	13	2	38
14. Длина порожнего пробега	15	27	47	25	13	2	38

В таблице 4.8 приведены расчёты результативных показателей ТЭП работы АТС с применением традиционных моделей расчета производственной программы по эксплуатации АТС, когда показатель V_m (среднетехническая скорость) является сложнопрогнозируемой величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП, а его изменение не подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. То есть не учитываются фактические простои и задержек в движении в зависимости от внешних условий УДС.

Таблица 4.8 – Расчет результативных показателей ТЭП работы АТС с применением традиционных моделей расчета производственной программы по эксплуатации АТС

Наименование показателей, ед. изм.	Значение показателей						
	1	2	3	4	5	6	7
Время оборота	5,4	6,36	7,96	6,2	5,24	4,36	7,24
Количество оборотов	3	2	2	2	4	6	2
Производительность, т.	22,95	15,3	15,3	15,3	30,6	45,9	15,3
Производительность, т-км.	344,25	413,1	719,1	382,5	397,8	91,8	581,4
Суточный пробег, км	92	114	194	106	106	35	157
Груженный пробег, км.	45	54	94	50	52	12	76
Коэффициент использования пробега	0,49	0,47	0,48	0,47	0,49	0,34	0,48
Время в наряде, час.	16,28	12,96	16,16	12,64	21,04	26,6	14,68
Эксплуатационная скорость, км/час.	5,65	8,80	12,00	8,39	5,04	1,32	10,69
Количество автомобилей в эксплуатации, ед.	2,29	3,40	3,46	3,40	1,73	1,13	3,46
Автомобиле-часы в наряде, час.	37,31	44,05	55,98	42,96	36,44	30,14	50,85
Автомобиле-дни в эксплуатации	586,74	870,07	886,80	870,07	443,40	290,02	886,80
Общий пробег, км/сут.	53979	99187	172038	92226	47000	10150	139227
Груженный пробег, км/сут.	26403	46983	83358	43503	23056	3480	67396
Объем перевозки, т.	13465	13312	13568	13312	13568	13312	13568
Грузооборот, т-км.	201984	359424	637696	332800	176384	26624	515584

В таблице 4.9 приведены результаты показателей ТЭП работы АТС с применением разработанной модели расчета производственной программы по эксплуатации АТС. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования АТС по трём видам ограничений, накладываемых внешней средой. Аналитическое решение многокритериальной задачи выполняется с применением методов векторной оптимизации. Примеры расчёта приведены в **Приложении В**.

Таблица 4.9 – Расчет результативных показателей ТЭП работы АТС с применением разработанной модели расчета производственной программы по эксплуатации АТС

Наименование показателей, ед. изм.	Значение показателей						
	1	2	3	4	5	6	7
Время оборота	4,3	6,5	7,4	4,6	3,7	2,8	4,05
Количество оборотов	3	2	2	2	4	6	2
Производительность, т.	34,42	22,9	22,9	22,9	45,9	68,85	22,95
Производительность, т-км.	516,37	619,65	1078,6	573,75	596,7	137,7	872,1
Суточный пробег, км	92	114	194	106	106	35	157
Груженный пробег, км.	45	54	94	50	52	12	76
Коэффициент использования пробега	0,49	0,47	0,48	0,47	0,49	0,34	0,48
Время в наряде, час.	13	13,42	15,17	9,47	15,18	17,6	8,21
Эксплуатационная скорость, км/час.	7,08	8,49	12,78	11,19	6,98	1,98	19,12
Количество автомобилей в эксплуатации, ед.	1,25	2,83	1,96	2,48	0,98	0,89	2,14
Автомобиле-часы в наряде, час.	16	38	29	23	14	15	17
Автомобиле-дни в эксплуатации	319	725	501	635	250	226	546
Общий пробег, км/сут.	29418	82656	97380	67396	26603	7938	85812
Груженный пробег, км/сут.	14389	39152	47184	31790	13050	2721	41540
Объем перевозки, т.	11008	16640	11520	14592	11520	15616	12544
Грузооборот, т-км.	165120	449280	541440	364800	149760	31232	476672

В таблице 4.10 и на рисунке 4.1 приведены данные позволяющие судить о преимуществе в применении разработанной сервисно-ориентированной модели расчёта производственной программы по эксплуатации ГАП в целях оптимального планирования. Принципиальным отличием между приведенными решениями является следующее: во втором случае (ряд 2 на рисунке 4.1) определяются дифференцированные оценки по отдельным измерителям (время, скорость, грузоподъёмность АТС и т. д) и производится комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров. Решение оформляется в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов, которые позволяют оценить величину негативного и/или позитивного влияния исследуемого показателя и перераспределить провозные возможности АТП в соответствии с фактической ситуацией на УДС.

Таблица 4.10 – Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели.

Показатель	Значение показателя	
	Аналог	Проект
Количество АТС в эксплуатации, ед.	18	13
Автомобиле-дни в эксплуатации, (а-д) · 10 ²	48,3	32,07
Автомобиле-часы в наряде, (а-ч) · 10 ¹	29,7	15,56
Среднее фактическое время в наряде, час	15,77	12,42
Общий пробег, км · 10 ⁵	6,13	3,97
Груженный пробег, км · 10 ⁵	2,94	18,98
Коэффициент использования пробега, · 10 ⁻¹	4,8	4,8
Возможный объем перевозки, (т/год) · 10 ⁴	9,41	9,34
Возможный грузооборот, (т/год) · 10 ⁵	22,50	21,78
Среднесуточный пробег, км. · 10 ¹	12,6	12,3
Планируемые автомобиле-часы, (а-ч/год) · 10 ³	76,21	39,84
Суточная производительность, т.	19,47	29,14
Суточный грузооборот, т-км. · 10 ¹	46,5	67,9

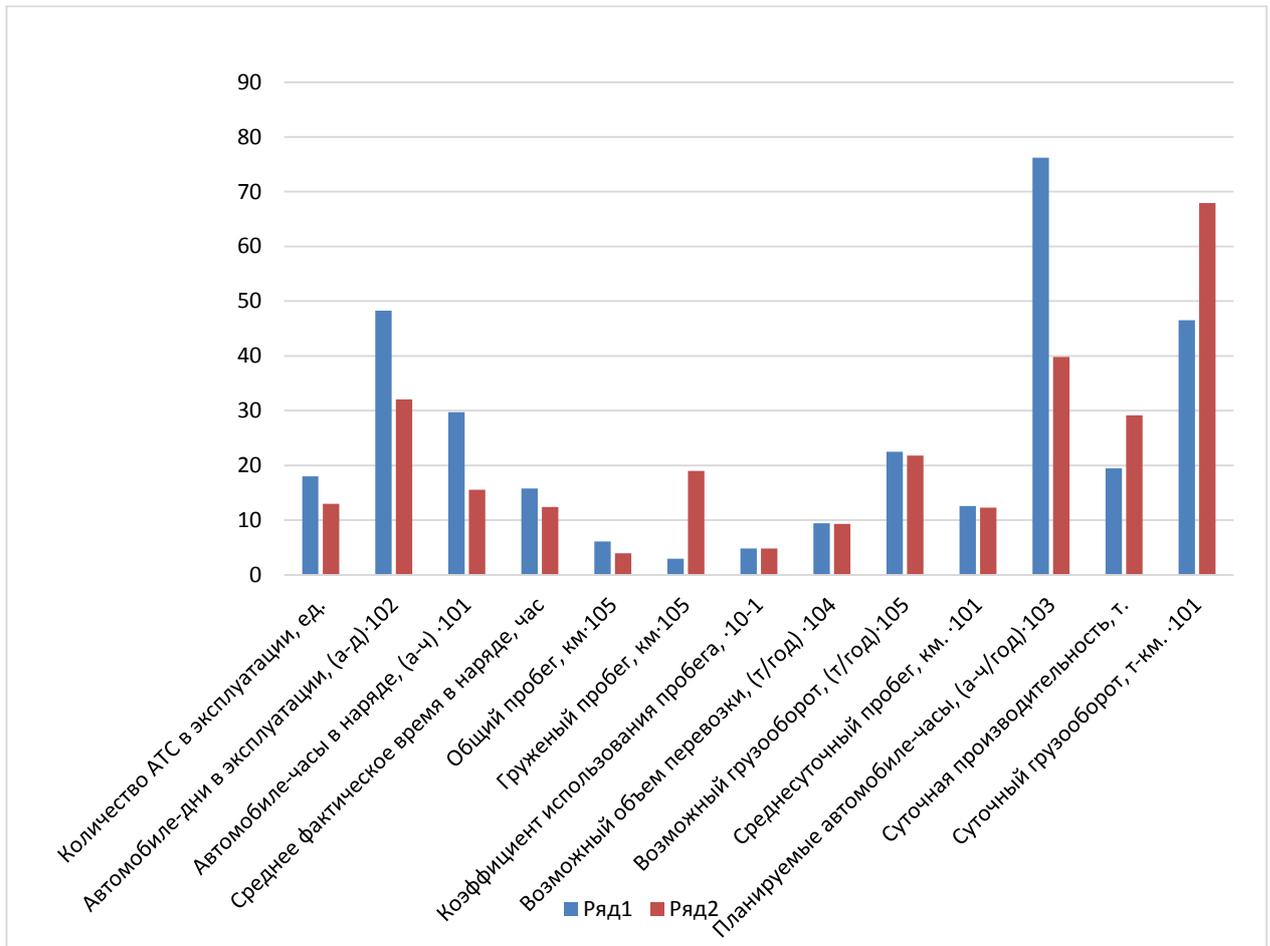


Рисунок 4.1 – Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели.

Выводы по четвёртой главе

В четвёртой главе была апробирована разработанная методика расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП. Методика предназначена для:

1. Определения количества автомобилей, необходимого для выполнения объема перевозок по планируемым заявкам, учитывая фактическую

производительность конкретного автомобиля на каждом отдельном маршруте.

2. Установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.
3. Анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

В целях оптимального планирования ГАП и исходя из условий перевозки определяются фактические базы ограничений по величине фактической скорости движения (для каждого маршрута), и номинальной грузоподъемности автомобиля (для каждого автомобиля). Для достижения поставленной цели формируются таблицы весовых коэффициентов распределения вкладов в эффективность системы для каждого показателя:

- α_{ij} – ВКП, учитывающие временные показатели;
- β_{ij} – ВКП, учитывающие возможные ограничения скорости движения;
- γ_{ij} – ВКП, учитывающие ограничения грузоподъемности автомобиля;

По сформированным таблицам весовых коэффициентов распределения вкладов отдельных показателей определяется эффективность каждого маршрута в заданной системе ограничений и целеполагания. Таким образом, формализуется первый иерархический уровень в системе оценки влияния фактических показателей работа АТС на эффективность ГАП.

Решение первой задачи позволяет формализовать второй уровень иерархической системы определения эффективности ГАП. При этом задача определения оценки влияния фактических показателей использования АТС может решаться не только по трём видам ограничений, накладываемых внешней средой, но учитывать их достаточно большое количество: аналитическое решение многокритериальных задачи первого и второго уровня аналогично и выполняются с применением методов векторной оптимизации. Принципиальным отличием между уровнями решения является следующее: на первом уровне определяются

дифференцированные оценки по отдельным измерителям (время, скорость, грузоподъёмность АТС и т. д), а на втором уровне производится комплексная оценка эффективности организации процесса перевозок по совокупности исследуемых параметров.

Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели показало возможность повышения производительности работы АТС на 25...30 % в зависимости от внешних условий применения. Данное обстоятельство позволяет рекомендовать данную методику для распределения провозных возможностей АТП с максимальной степенью эффективности.

Разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисной-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния и темпов развития в современных условиях ГАП позволил установить, что применяемые в настоящее время методики управления ГАП не решают вопрос возможности активного или проактивного управления ГАП

Установлено, что для того чтобы приблизиться к объективному распределению провозных возможностей ГАП в сложных динамических системах необходимо производить планирование на основе анализа конкретных отдельных заявок на транспортное обслуживание, исходя из конкретных условий перевозок по каждой заявке: расстояний доставки грузов, времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями, а также прогноза состояния парка и выпуска машин, показателей использования грузоподъемности, пробега и других эксплуатационных показателей. Поэтому переход на новые централизованные методы цифрового управления перевозочным процессом, обязательными элементами которого являются использование в процессе управления современного ПО, автоматизирующего процедуры принятия решений при регулировании перевозочного процесса.

Обосновано, что основной проблемой перехода на цифровые модели управления является отсутствие эффективных инструментов управления ГАП в условиях динамически нестабильных показателей использования АТС, именно V_m (среднетехническая скорость) в современных условиях является сложнопрогнозируемой величиной, зависящей от факторов внешней среды ГАП. Данный класс задач решается с теории информационного взаимодействия в сложных динамических системах.

Для достижения цели исследования, направленной на решение указанных проблем при планировании ГАП были решены следующие задачи.

Разработана концепция организации автомобильных контейнерных перевозок, основанная на цифровых объектно-ориентированных моделях управления. Основой разработанной концепции являются активно развивающиеся

в современных интеллектуальных транспортных системах организационные, технологические и научно-методологические достижения и разработки. Главное преимущество системной сервисной модели (ССМ) заключается в том, что продуктом деятельности ЦТ, предоставляемым бизнесу, является не набор ЦТ-компонентов, не информационная система, а возможность пользоваться определенной функцией, обладающей заданными характеристиками (уровнями сервиса) и содействующей достижению заданной цели.

Разработана аналитическая модель сервисно-ориентированной методики определения технико-эксплуатационных показателей при организации ГАП с учетом актуальных требований:

- возможность применения в методике функции «поминутный контроль местоположения АТС и груза»;
- возможность регулярного обновления ТЭП на основе получения «Он-лайн»-данных о состоянии процесса перевозок;
- возможность автоматизированной аналитической обработки и оперативного изменения маршрутных заданий с автоматическим пересчётом ТЭП в процессе движения АТС на маршруте;
- возможность формирования результативных ТЭП в виде баз данных, позволяющих анализировать результативные ТЭП выполнения транспортной работы в различных форматах по любому интересующему периоду и т. д.

Разработан научно-методический подход к определению показателей эффективности ГАП, предполагающей применение возможностей цифровых технологий и содержащей:

- аналитическую модель определения управляющих коэффициентов, учитывающих стохастический характер показателя среднетехническая скорость;

- аналитическую модели применения комплекса ограничений, накладываемыми на варьируемые показатели на установленном интервале времени, определяемым периодом исследования.

Предложенный научно-методический подход позволил разработать алгоритм, положенный в основу методики организации ГАП, позволяющий реализовать возможность цифровых технологий и состоящий из трех основных этапов:

- Формирование базы исходных данных показателей на базе протокола маршрутизации и реализующего его ПО, предполагающего возможность применения «он-лайн»-данных о состоянии процесса при выборе эффективного действия и при наличии стохастической неопределённости исследуемых показателей.
- Формирование состава показателей, исключая показатель среднетехническая скорость движения, но предполагающий расчёт фактической средней скорости движения АТС на каждом отдельном маршруте (V_{ϕ}).
- Постановка задачи и решение многокритериальной задачи оптимизации анализируемой системы ГАП в виде матрицы коэффициентов распределения управляемых ресурсов.

Произведена апробация разработанной методики расчёта производственной программы по эксплуатации АТС при сервисно-ориентированной организации ГАП, предназначенной для:

- Определения количества автомобилей, необходимого для выполнения объема перевозок по планируемым заявкам, учитывая фактическую производительность конкретного автомобиля на каждом отдельном маршруте.
- Установления фактических показателей использования АТС на маршрутах с учетом влияния внешних условий перевозки.

- Анализа информационных ситуаций влияния внешней среды на результативные показатели и оперативного корректирования оцениваемой эффективности процессов эксплуатации АТС.

Сравнение результативных показателей работы АТС при применении традиционной модели определения производственной программы и разработанной сервисно-ориентированной модели показало возможность повышения производительности работы АТС на 25...30 % в зависимости от внешних условий применения. Данное обстоятельство позволяет рекомендовать данную методику для распределения провозных возможностей АТП с максимальной степенью эффективности.

Разработанный научно-методический подход к исследованию показателей ГАП позволит реализовать важнейшее средство достижения эффективности сервисно-ориентированной модели управления – производить объективную оценку организации ГАП и управлять ресурсами системы для повышения её эффективности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АТ – автомобильный транспорт

АТП – автотранспортное предприятие

АТС – автотранспортное средство

ГАП – грузовые автомобильные перевозки

ГАПТ – грузовое автотранспортное предприятие

ГО – грузоотправитель

ГП - грузополучатель

ДСУ – динамическая система управления

ИС – информационная система

ИСУ – интеллектуальная система управления

КАД – кольцевая автомобильная дорога

ЛПР – лицо, принимающее решение

МАПП – международные автомобильные пункты пропуска

ПРП – погрузочно-разгрузочный пункт

САСПГ – средняя автотранспортная система перевозок грузов

СОА – сервисно-ориентированная архитектура

ССМ – системная сервисная модель

СПР – стратегия принятия решений

ТЭА – техническая эксплуатация автомобилей

ТЭП – технико-эксплуатационные показатели

УДС – улично-дорожная сеть

ЦТ – цифровая технология

ЦС – цифровой сервис

ЦАТС – цифровая автотранспортная система

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин, А.В. Теория транспортных процессов и систем: Учебное пособие / А.В. Вельможин, В. А. Гудков, Л.Б. Миротин. - М.: Транспорт, 1998. – 167 с.
2. Вельможин, А.В. Технология, организация и управление грузовыми автомобильными перевозками: Учебник для вузов. / А.В. Вельможин, В. А. Гудков, Л.Б. Миротин. – Волгоград: ВГТУ, 1999. – 296 с.
3. Витвицкий, Е.Е. Грузовые автомобильные перевозки: Учебное пособие / Е.Е. Витвицкий, В. И. Николин, С. М. Мочалин. – Омск: “Вариант-Сибирь”, 2004. – 480 с.
4. Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки: Учебное пособие, 2-е изд., перераб, и доп. / А.И. Воркут. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 447 с.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, изменения в которую утверждены Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. N 1032-р.
6. Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 319.
7. Гаджинский, А.М. Логистика: Учебник / А.М. Гаджинский. - М.: Транспорт, 1999.- 227 с.
8. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: Учебное пособие / А.Э. Горев. - СПб.: СПбГАСУ, 2010. - 214 с.
9. Гранберг, А.Г. Основы региональной экономики: Учебник для вузов / А.Г. Гранберг. - М.: ГУ ВШЭ, 2000. - 495 с/
10. Ларин, О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона / О. Н. Ларин, Л.Б. Миротин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. - № 5.- С. 20–21.

11. Ларин, О. Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: Монография / О. Н. Ларин. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – 2007. - 207 с.
12. Литвинов, А.В. Логистические подходы к организации грузовых автомобильных перевозок в городах. / А. В. Литвинов, В. А. Гудков, А.В. Вельможин // Автотранспортное предприятие. – 2009.- №8. – С. 15–18.
13. Литвинов, А. В. Моделирование потоков грузового автомобильного транспорта в городах / А. В. Литвинов, А. С. Банное, А. В. Вельможин, В. А. Гудков // Вестник транспорта. – 2008.- № 2. - С. 26–29.
14. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах: Учебное пособие / Л.Б. Миротин, В. И. Сергеев, В. В. Иванов, А. А. Колобов, В. А. Гудков, В. М. Курганов и др. Под ред. д.т.н., проф. Л.Б. Миротина. - М.: Юристъ, 2002.
15. Ляпин, С.А. Повышение эффективности управления процессами перевозок в открытых автотранспортных системах. Автореферат доктора техн. наук: 05.22.10, Москва, 2008. – 39 с.
16. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинскогo. - СПб.: Питер, 2003. - 176 с.
17. Миротин, Л.Б. Логистический подход - кардинальный путь диверсификации товаропроводящей системы России / Л.Б. Миротин, М. П. Гордон, В. И. Сергеев // Трансп. Экспедирование и логистика. -2001. - N 2. - С. 22–27.
18. Миротин, Л.Б. Логистика интегрированных цепочек поставок: Учебник / Л.Б. Миротин, А. Г. Некрасов. - М.: Издательство «Экзамен», 2003. - 256 с.
19. Фасхиев, Х.А. Организация линейных перевозок на автомобильном транспорте в международном сообщении / Х.А. Фасхиев, А. А. Зарипова, В.А. Яматина // Матер. межд. науч.-технич. конф. “Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств”. - Пенза. - 2012. - С 124–129.
20. Хмельницкий, А.Д. Организационно-экономические методы управления хозяйственными связями на рынке грузовых автотранспортных услуг: Монография / А. Д. Хмельницкий. – М.: Трансконсалтинг. – 2006. – 480 с.

21. Вельможин, А.В. Об особенностях функционирования транспорта в условиях рынка / А.В. Вельможин, В. А. Гудков// Бизнес и логистика-2003: матер. V Московского межд. логистического форума, Москва. - 2003.- С.144 – 146.
22. Корчагин, В.А. Модель функционирования транспортно-логистической системы региона / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева, Т. В. Корчагина // Киев: Вестник НТУ. - 2012. - № 25. – С. 310–313.
23. Корчагин, В.А. Сбалансированное взаимодействие общества и биосферы при использовании автомобилей / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева // Проблемы качества и эксплуатации АТС: матер. III межд. науч. конф., Пенза. - 2004. - С. 252–263.
24. Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Монография / В.Н. Луканин, А. П. Буслаев, Ю. В. Трофименко, М. В. Яшина. – М.: инфра, 1998. – 408 с.
25. Лукинский, В.С. Логистика автомобильного транспорта: концепции, методы, модели: Учебник для вузов / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная, И.А. Цвиринько. - М: Финансы и статистика, 2000. – 280 с.
26. Витвицкий, Е.Е. Автомобильные перевозки строительных грузов в городах / Е.Е. Витвицкий // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2005. - № 2. – С. 53–67
27. Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки: Учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Воркут. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 447 с.
28. Гудков, В.А. Обеспечение безопасности и эффективности межрегиональных автомобильных перевозок / В. А. Гудков, Е. Ю. Серова // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Матер. межд. науч.-техн. конф., Пенза: ПГУАС. - 2012. - С. 45–49.
29. Пугачев, И.Н. Методология развития эффективного и безопасного функционирования транспортных систем городов: Монография / И. Н. Пугачев. - Владивосток: Дальнаука, 2009. – 260 с.
30. Рассоха, В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами (Ч. 1. Системная эффективность эксплуатации автомобильного транспорта) / В.И.

- Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета (ОГУ). - 2009. - № 9. - С. 148–153.
31. Рассоха, В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами (Ч. 2. Синтез системы управления) / В.И. Рассоха // Вестник ОГУ. - 2009. - № 10. - С. 144–150.
 32. Варакин, В.В. Совершенствование сменно-суточного планирования работы подвижного состава грузового автомобильного транспорта: автореф. дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10/Варакин Владислав Владимирович. – Омск 2012, - 20 с.
 33. Войтенков С. С. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправлениями в городах: дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10/ Войтенков Сергей Сергеевич. – Иркутск 2011, - 233 с.
 34. Менухова Т. А. Оптимизация оперативного планирования междугородных грузовых автомобильных перевозок: дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10/ Менухова Татьяна Анатольевна. – Санкт-Петербург, -124 с.
 35. Ёлкин А. В. Оптимизация парка автотранспортных и погрузочных средств на предприятиях пивоваренной отрасли с учетом неравномерности потребления готовой продукции: дис. ... к-та. техн. наук: 05.13.10/ Ёлкин Андрей Вячеславович. - Тверь, 2006–136 с.
 36. Котова И. В. Динамическая оптимизация величины и структуры парка подвижного состава для отгрузки готовой продукции металлургического комбината: дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.01, Котова Ирина Викторовна. – Липецк, 2015, - 185 с.
 37. Шаповал Д.В. Совершенствование оперативного планирования перевозок мелкопартионных грузов автомобилями на радиальных маршрутах в городах. дис. ... к-та. техн. наук: 05.22.10/ Шаповал Дмитрий Владимирович. –Омск, 2012, - 138 с.
 38. Николин В. И. Грузовые автомобильные перевозки / В. И. Николин, Е. Е. Витвицкий, С. М. Мочалин. – Омск: Вариант-Сибирь, 2004. – 480 с.

39. Миротин Л.Б. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов. / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев, В. А. Гудков, под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 512 с.
40. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие. 5-е изд. /А.Э. Горев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
41. Никаноров В. М. Математические методы решения задачи маршрутизации мелкопартионных перевозок/ Научно-технические ведомости. Экономические науки. СПбГПУ, №6. 2011, С 222–226.
42. Комплексная схема организации дорожного движения г. Санкт-Петербурга. ООО «Стройинвспроект». Москва 2018 г. – 153 с.
43. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Издательство «Мир», 1980. - 610 с.
44. Сидняев Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н.И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 463 с.
45. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. - М.: Высш. шк., 2001. - 479 с.
46. Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models // *Transpn. Res.* 1967. V. 1. P. 253–270.
47. Wilson A. G. *Entropy in urban and regional modelling.* London: Pion, 1970.
48. Wilson A. G. A family of spatial interaction models and associated developments // *Envir. & Plan. A.* 1971. V. 3. P. 255–282.
49. Harris B., Wilson A. G. Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models // *Envir. & Plan. A.* 1978. V. 10. P. 371–388.
50. Popkov Yu. S. *Macrosystems theory and its applications.* Berlin: Springer Verlag, 1995.
51. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков/ В.И. Швецов// *Автоматика и Телемеханика* 2003, № 11, с. 3–46.

52. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика/ В.В. Комаров, С.А. Гараган // – М.: НТБ «Энергия», 2012. – 352 с. ISBN 978-5-903954-06-3
53. Комаров, В.В. Методические особенности разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем / В. В. Комаров // Известия Московского государственного технического университета (МАМИ). -2012. - №1. Том.1 – с. 130–138.
54. Кочерга, В.Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.22.01/ Кочерга Виктор Григорьевич. / Моск. автомобильно-дорож. ин-т. - Москва, 2001. - 36 с.
55. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 395 с.
56. Quali management system – Fundamentals and vocabulary. [Электронный ресурс] URL: http://www.belgiss.org.by/rassian/qualiti/iso/iso_9000_2005_e.pdf (Дата обращения 11.12 19).
57. Мезоэкономика развития/ Под редакцией члена-корреспондента РАН Г.Б. Клейнера. // ЦЭМИ РАН. Серия экономическая наука современности – М.: Наука, 2011 г.
58. Козырев, А.Н. Цифровая экономика и цифровизация в исторической ретроспективе /А. Н. Козырев// [Электронный ресурс]. URL: <http://Medium.comCEMI-RAS>, Ноябрь, № 11, 2017 г. (дата обращения: 10.05.2019).
59. Negroponte N. Being Digital / N. Negroponte. — NY: Knopf, 1995 [Электронный ресурс]. URL: <http://inance.ru/2017/09/cifrovaya-ekonomika/> (дата обращения: 11.05.2019).
60. В. Г. Халин. Цифровизация и её влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски/ В. Г. Халин, Г. В. Чернова//Власть и экономика: управление и риски. №10, 2018 г. С. 46–63

61. «Глобальный отчет по информационным технологиям» (The Global Information Technology Report) / [Электронный ресурс]. URL: <http://gtmarket.ru/ratings/networked-readiness-index/networkedreadiness-index-info> (дата обращения: 19.12.2018).
62. Индекс цифровизации экономики и общества DESI (Digital Economy and Society Index) [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> (дата обращения: 10.05.2018)
63. «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», утверждена Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 2032/ [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/112831/> (дата обращения: 11.05.2019)
64. «Цифровая экономика Российской Федерации», Государственная программа, принята распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р/ [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/112831/> (дата обращения: 23.10.2019).
65. Grönroos, C. On Value and Value Creation in Service: A Management Perspective [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2394964317727196> (дата обращения: 30.08.2019)
66. Chu Z, Wang Q., Lado A. Customer orientation, relationship quality, and performance: The third-party logistics provider's perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 2016, I. 27 (sn3), pp. 738-754.
67. Green Carmichael, S. The Flash Report: The Global Digital Economy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hbr.org/2016/04/the-flash-report-the-global-digital-economy> (дата обращения: 22.08.2019).
68. Heinonen, K. Reconceptualizing customer value: The value of time and place. *Managing Service Quality*, 2004, I. 14 (sn2-3), pp. 205-215.
69. ITIL «Service Strategy». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smlogic.ru/g-it-s/itil/s-strat/> (дата обращения 25.12.2020).

70. Зараменских, Е.П. Цифровые сервисы: их атрибуты и связь с архитектурой предприятия/ Е.П. Зараменских//Стратегии и инновации. Вестник финансового университета при Правительстве РФ. №10, 2018 г. – С.36-42.
71. Schrage, M. Rethinking the Value of Customers in a Digital Economy. April 11, 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sloanreview.mit.edu/article/rethinking-the-value-of-customers-in-a-digital-economy/> (дата обращения 15.12.2020).
72. Vargo S. L., Maglio P. P., & Akaka M. A. On value and value creation: a service systems and service logic perspective // European Management Journal. – 2008. – I. 26(sn3). – Pp. 145-152.
73. Wessel, M. Creating Value in a digital economy. 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hbr.org/webinar/2017/01/creating-value-in-a-digital-economy> (дата обращения: 15.08.2018).
74. Engelsman, W., Iacob, M. E., Franken, H. M. Architecture-driven requirements engineering, in Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing (SAC '09). – Honolulu, Hawaii, 2009. – Pp. 285-286.
75. Скэнтлбери, С. Проектирование цифровых организаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bcg.com/ru-ru/about/bcg-review/design-of-digital-organizations.aspx> (дата обращения: 24.11.2019).
76. Щелканов, В. TOGAF: основные структурные элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dataved.ru/2014/04/togaf_26.html (дата обращения: 12.03.2020).
77. Bharadwaj A. E., Sawy O. A., Pavlou P. A, & Venkatraman N. Digital business strategy: Toward a next generation of insights // MIS Quarterly. – 2013. – I.37 (sn2). – Pp. 471-482.
78. Richardson, C., Blogs, F. Design Thinking Reshapes EA For Dynamic Business, (2013) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.businessprocessincubator.com/content/design-thinking-reshapes-ea-for-dynamic-business/> (дата обращения: 11.01.2020).

79. Saunila, M., Ukko, J. Characteristics of customer value creation in digital services // Journal of Service Science Research December. – 2017. – V. 9, I. 2. – Pp. 239-258.
80. РБК + Транспортная логистика (выпуск 18 апреля 2017 г.).
81. Концепции облачных технологий IaaS, PaaS, SaaS, MaaS, CaaS и XaaS/ZEL-Услуги/ Электронный ресурс/Режим доступа: <https://www.zeluslugi.ru/info-czentr/stati/iaas-paas-saas-maas-caas-xaas>. Дата обращений 24.04.2020
82. Al-Debei, M. M., El-Haddadeh, R., & Avison, D. (2008). Defining the business model in the new world of digital business. In Proceedings of the Americas Conference on Information Systems (AMCIS) (Vol. 2008, pp. 1-11).
83. Brady, T., Davies, A., Gann, D. 2005. Can integrated solutions business models work in construction? Building Research & Information 33(6), pp.571-579.
84. Кочерга, В.Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.22.01/ Кочерга Виктор Григорьевич. / Моск. автомобильно-дорож. ин-т. - Москва, 2001. - 36 с.
85. Курбатова, А.В. О продукции транспорта, транспортных рынках и оптимизации перевозок / А. В. Курбатова // Вестник Университета (Государственный университет управления). -2016. - №4. – с. 84–89.
86. Dorothea Wagner, Thomas Willhalm, and Christos Zaroliagis. Geometric containers for efficient shortest-path computation. ACM Journal of Experimental Algorithmics, 10(1.3):1–30, 2005.
87. Daniel Delling and Dorothea Wagner. Landmark-based routing in dynamic graphs. In Proceedings of the 6th Workshop on Experimental Algorithms (WEA'07), volume 4525 of Lecture Notes in Computer Science, pages 52–65. Springer, June 2007.
88. Gianlorenzo D'Angelo, Mattia D'Emidio, Daniele Frigioni, and Camillo Vitale. Fully dynamic maintenance of arc-flags in road networks. In Proceedings of the 11th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA'12), volume 7276 of Lecture Notes in Computer Science, pages 135–147. Springer, 2012.

89. Robert Geisberger, Peter Sanders, Dominik Schultes, and Christian Vetter. Exact routing in large road networks using contraction hierarchies. *Transportation Science*, 46(3):388–404, August 2012
90. Dominik Schultes and Peter Sanders. Dynamic highway-node routing. In *Proceedings of the 6th Workshop on Experimental Algorithms (WEA'07)*, volume 4525 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 66–79. Springer, June 2007.
91. Alexandros Efentakis and Dieter Pfoser. Optimizing landmark-based routing and preprocessing. In *Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science*, pages 25:25–25:30. ACM Press, November 2013.
92. Tim Zeitz. Weak contraction hierarchies work! Bachelor thesis, Karlsruhe Institute of Technology, 2013
93. Daniel Delling, Andrew V. Goldberg, Thomas Pajor, and Renato F. Werneck. Customizable route planning in road networks. submitted for publication, 2013
94. Daniel Delling and Giacomo Nannicini. Core routing on dynamic time-dependent road networks. *Inform Journal on Computing*, 24(2):187–201, 2012
95. Giacomo Nannicini, Daniel Delling, Leo Liberti, and Dominik Schultes. Bidirectional A* search on time-dependent road networks. *Networks*, 59:240–251, 2012.
96. Gernot Veit Batz, Robert Geisberger, Peter Sanders, and Christian Vetter. Minimum time-dependent travel times with contraction hierarchies. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 18(1.4):1–43, April 2013.
97. Daniel Delling. Time-dependent SHARC-routing. *Algorithmica*, 60(1):60–94, May 2011
98. Edith Brunel, Daniel Delling, Andreas Gemsa, and Dorothea Wagner. Space-efficient sharcrouting. In *Proceedings of the 9th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA'10)*, volume 6049 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 47–58. Springer, May 2010.
99. Robert Geisberger and Peter Sanders. Engineering time-dependent many-to-many shortest paths computation. In *Proceedings of the 10th Workshop on Algorithmic*

- Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems (ATMOS'10), volume 14 of OpenAccess Series in Informatics (OASICs), 2010.
100. Gernot Veit Batz and Peter Sanders. Time-dependent route planning with generalized objective functions. In Proceedings of the 20th Annual European Symposium on Algorithms (ESA'12), volume 7501 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2012
 101. Matthias Müller–Hannemann, Frank Schulz, Dorothea Wagner, and Christos Zaroliagis. Timetable information: Models and algorithms. In Algorithmic Methods for Railway Optimization, volume 4359 of Lecture Notes in Computer Science, pages 67–90. Springer, 2007
 102. Stefano Pallottino and Maria Grazia Scutellà. Shortest path algorithms in transportation models: Classical and innovative aspects. In Equilibrium and Advanced Transportation Modelling, pages 245–281. Kluwer Academic Publishers Group, 1998.
 103. Rolf H. Möhring. Verteilte Verbindungssuche im öffentlichen Personenverkehr – Graphentheoretische Modelle und Algorithmen. In Angewandte Mathematik insbesondere Informatik, Beispiele erfolgreicher Wege zwischen Mathematik und Informatik, pages 192–220. Vieweg, 1999.
 104. Dominik Schultes. Route Planning in Road Networks. PhD thesis, Universität Karlsruhe (TH), February 2008.
 105. Matthias Müller–Hannemann and Karsten Weihe. Pareto shortest paths is often feasible in practice. In Proceedings of the 5th International Workshop on Algorithm Engineering (WAE'01), volume 2141 of Lecture Notes in Computer Science, pages 185–197. Springer, 2001.
 106. Evangelia Pyrga, Frank Schulz, Dorothea Wagner, and Christos Zaroliagis. Efficient models for timetable information in public transportation systems. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 12(2.4):1–39, 2008.
 107. Matthias Müller–Hannemann and Mathias Schnee. Finding all attractive train connections by multi-criteria pareto search. In Algorithmic Methods for Railway

- Optimization, volume 4359 of Lecture Notes in Computer Science, pages 246–263. Springer, 2007.
108. Daniel Delling, Thomas Pajor, and Dorothea Wagner. Engineering time-expanded graphs for faster timetable information. In *Robust and Online Large-Scale Optimization*, volume 5868 of Lecture Notes in Computer Science, pages 182–206. Springer, 2009.
 109. Ariel Orda and Raphael Rom. Shortest-path and minimum delay algorithms in networks with time-dependent edge-length. *Journal of the ACM*, 37(3):607–625, 1990.
 110. Ariel Orda and Raphael Rom. Minimum weight paths in time-dependent networks. *Networks*, 21:295–319, 1991.
 111. Gerth Brodal and Riko Jacob. Time-dependent networks as models to achieve fast exact time-table queries. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ATMOS’03)*, volume 92 of *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, pages 3–15, 2004.
 112. Daniel Delling, Bastian Katz, and Thomas Pajor. Parallel computation of best connections in public transportation networks. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 17(4):4.1–4.26, July 2012.
 113. Annabell Berger, Daniel Delling, Andreas Gebhardt, and Matthias Müller-Hannemann. Accelerating time-dependent multi-criteria timetable information is harder than expected. In *Proceedings of the 9th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems (ATMOS’09)*, *OpenAccess Series in Informatics (OASICs)*, 2009.
 114. Daniel Delling and Dorothea Wagner. Pareto paths with SHARC. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA’09)*, volume 5526 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 125–136. Springer, June 2009.
 115. Robert Geisberger, Dennis Luxen, Peter Sanders, Sabine Neubauer, and Lars Volker. Fast detour computation for ride sharing. In *Proceedings of the 10th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization,*

- and Systems (ATMOS'10), volume 14 of OpenAccess Series in Informatics (OASICs), pages 88–99, 2010.
116. Stefan Funke and Sabine Storandt. Polynomial-time construction of contraction hierarchies for multi-criteria objectives. In Proceedings of the 15th Meeting on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX'13), pages 31–54. SIAM, 2013.
 117. Pierre Hansen. Bricriteria path problems. In Multiple Criteria Decision Making – Theory and Application –, pages 109–127. Springer, 1979.
 118. Ernesto Queiros Martins. On a multicriteria shortest path problem. *European Journal of Operational Research*, 26(3):236–245, 1984.
 119. Dirk Theune. Robuste und effiziente Methoden zur Lösung von Wegproblemen. PhD thesis, Universität Paderborn, 1995.
 120. Matthias Ehrgott and Xavier Gandibleux, editors. Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys. Kluwer Academic Publishers Group, 2002.
 121. P Loridan. ϵ -solutions in vector minimization problems. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 43(2):265–276, 1984.
 122. Douglas J White. Epsilon efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 49(2):319–337, 1986.
 123. Christos H. Papadimitriou and Mihalis Yannakakis. On the approximability of trade-offs and optimal access of web sources. In Proceedings of the 41st Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS'00), pages 86–92, 2000.
 124. Reinhard Bauer, Tobias Columbus, Bastian Katz, Marcus Krug, and Dorothea Wagner. Preprocessing speed-up techniques is hard. In Proceedings of the 7th Conference on Algorithms and Complexity (CIAC'10), volume 6078 of Lecture Notes in Computer Science, pages 359– 370. Springer, 2010.

125. Nikola Milosavljević. On optimal preprocessing for contraction hierarchies. In Proceedings of the 5th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science, pages 33–38. ACM Press, 2012.
126. Reinhard Bauer, Gianlorenzo D’Angelo, Daniel Delling, Andrea Schumm, and Dorothea Wagner. The shortcut problem – complexity and algorithms. *Journal of Graph Algorithms and Applications*, 16(2):447–481, 2012.
127. Reinhard Bauer, Moritz Baum, Ignaz Rutter, and Dorothea Wagner. On the complexity of partitioning graphs for arc-flags. *Journal of Graph Algorithms and Applications*, 17(3):265–299, 2013.
128. Richard J. Lipton, Donald J. Rose, and Robert Tarjan. Generalized nested dissection. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 16(2):346–358, April 1979.
129. Richard J. Lipton and Robert E. Tarjan. A separator theorem for planar graphs. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 36(2):177–189, April 1979.
130. Айтбагина, Э.Р. «О влиянии средней технической скорости движения на производственную себестоимость в совокупности микро автотранспортных систем перевозок грузов» / Э.Р. Айтбагина, Е.Е. Витвицкий// [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyanii-sredney-tehnicheskoy-skorosti-dvizheniya-na-proizvodstvennuyu-sebestoimost-v-sovokupnosti-mikro-avtotransportnyh-sistem/viewer> (дата обращения: 10.09.2020).
131. Шайхутдинов, И.Ф. Исследование влияния технико-эксплуатационных показателей на себестоимость грузовых автомобильных перевозок/ И.Ф. Шайхутдинов, Б.Ф. Ахтямов //Сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2018. Изд-во МЦНС «Наука и просвещение», С 57–60.
132. Андреев А. Ю. Алгоритмы маршрутизации в дорожно-транспортной системе/ А. Ю. Андреев, В. Д. Егоров, А. В. Терентьев// Вестник гражданских инженеров. 2021. №2 (85). С. 181–188.
133. Терентьев, А.В. Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах/ Терентьев А.В. Арифуллин И.В.,

Андреев А.Ю., Егоров В.Д.// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1(64). С. 106–113.

134. Косоруков, О.А. Исследование операций: учебник для ВУЗов / О. А. Косоруков, А. В. Мищенко. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.
135. Терентьев, А.В. Методы решения автотранспортных задач/А. В. Терентьев. Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/125-19863>.
136. Терентьев А. В. Векторная оптимизация / А. В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Материалы 2-й международной научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. –СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014, – С. 64–66.
137. Терентьев А. В. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды»/ А. В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции (26–27 мая 2016) СПбГАСУ. – СПб., 2016. С. 145–149.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Описание существующего процесса планирования и контроля доставки грузов при применении ПО ANTOR LM

Цель: оперативная и контролируемая доставка заказов клиентам.

Задачи:

- внесение необходимых для планирования данных по заявкам в корпоративную УС;
- подготовка и экспорт заявок с данными из УС в ПО ANTOR LM;
- привязка адресов заявок к карте в ПО ANTOR LM;
- создание рейсов в ПО ANTOR LM без назначенных ТС;
- распределение заявок клиентов по ТС (планирование доставки);
- импорт данных по рейсам из ПО ANTOR LM в УС и передача информации о заказах в рейсах на склад;
- назначение водителей (ТС) на рейсы в ПО ANTOR LM;
- экспорт данных о сформированных рейсах из ПО ANTOR LM в ПО ANTOR TM и присвоение учетных данных каждому водителю;
- комплектация заказов на складе согласно спланированных рейсов;
- установка мобильного приложения ANTOR TM каждым водителем на свое устройство;
- загрузка всех спланированных заказов в ТС и доставка согласно временным окнам;
- передача информации от водителей в УС о выполнении доставки (отметка в мобильном приложении ANTOR TM).

Планирование рейсов выполняется в ПО ANTOR LM версии 8.2.2.1 с картой ЦФО от 08.2019 г.

Таблица П1. Описание процесса планирования доставки региональных заказов

№ п/п	Наименование операции	Выявленная проблема
1.	Поступление (внесение) заявок от клиентов в УС.	
2.	Подготовка (отбор) диспетчером «своих» заявок в УС и их экспорт в ПО ANTOR LM	Ручная операция
3.	Загрузка ПО ANTOR LM и импорт заявок из УС (03.09.19 – 166 заявок)	
4.	Привязка адресов заявок клиентов к карте Антор в ПО ANTOR LM	20 непривязанных заявок из 166 (03.09.2019)
5.	Привязка адресов заявок клиентов через интернет-карту в ПО ANTOR LM	
6.	Объединение заявок по адресам (было 166, стало 107)	
7.	Проверка привязки адресов доставки и выявление ошибочных, корректировка	Некоторые региональные заявки привязываются не к тому региону.
8.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Тверь-Торжок-Вышний Волочек 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
9.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Ярославль — Вологда-Череповец 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время	Детальная ручная операция

	подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	
10.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Киржач-Иваново 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
11.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Муром-Гусь-Хрустальный-Саранск 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
12.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Тула — Орел-Курск 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
13.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Калуга 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
14.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Саранск — Пенза 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция.
15.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Воронеж 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
16.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Воронеж 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс (2-й рейс в Воронеж)	Детальная ручная операция
17.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Старый Оскол-Белгород 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
18.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Старый Оскол-Белгород 1,5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
19.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Чебоксары-Йошкар-Ола 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и	Детальная ручная операция

	время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	
20.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Нижний Новгород — Чебоксары-Йошкар-Ола 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
21.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Владимир — Казань 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
22.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Рязань — Тамбов — Липецк 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
23.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Тамбов — Липецк 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
24.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Иваново — Киров 5т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
25.	Создание вручную пустого рейса (без машины) с внесением названия «Резерв 3т» в поле «Комментарий», внесение в поле «Время подачи» дату и время начала погрузки ТС на складе, ручное распределение заявок на рейс	Детальная ручная операция
26.	Пересчет всех рейсов (18 рейсов)	После пересчета, в некоторых рейсах некорректно спланирован порядок объезда ТТ, т.е. не по ходу движения ТС по маршруту, а с пропуском ТТ и последующим возвратом на них.
27.	Повторная подготовка (отбор) региональных заявок в УС и их экспорт в ПО ANTOR LM (заявки, поступившие в УС после 16:00)	Ручная операция, аналогичная п. 2.
28.	Привязка адресов вновь поступивших заявок к карте Антор в ПО ANTOR LM	Проблема, аналогична п. 4.
29.	Привязка адресов заявок клиентов через интернет-карту в ПО ANTOR LM	
30.	Объединение заявок по адресам (было 146, стало 137, 31 нераспределенная)	
31.	Дораспределение заявок по рейсам вручную	Ручная операция

32.	Пересчет рейсов (время старта – фиксированное, минимизировать – время прибытия к последнему клиенту)	
33.	Проверка и корректировка очередности объезда ТТ во всех рейсах	После пересчета, в некоторых рейсах некорректно спланирован порядок объезда ТТ, т.е. не по ходу движения ТС по маршруту, а с пропуском ТТ и последующим возвратом на них.
34.	Повторный пересчет всех рейсов с установкой отметки «Не менять очередность заявок в рейсах»	Ручная операция
35.	Корректировка времени прибытия на ТТ (в многодневных рейсах)	Неправильный расчет времени прибытия на ТТ в ПО ANTOR LM в многодневных рейсах
36.	Импорт готовых рейсов в УС из ПО ANTOR LM	
37.	Назначение водителей на рейсы в ПО ANTOR LM вручную по информации из УС	Ручная операция
38.	Пересчет всех рейсов (время старта – фиксированное, очередность – не менять очередность заявок в рейсах, минимизировать – время прибытия к последнему клиенту)	Детальная операция
39.	Корректировка времени прибытия на ТТ (в многодневных рейсах)	Неправильный расчет времени прибытия на ТТ в ПО ANTOR LM в многодневных рейсах
40.	Экспорт готовых рейсов из ПО ANTOR LM в ПО ANTOR ТМ	
41.	Удаление предыдущих заданий в ПО ANTOR ТМ для всех мобильных устройств ANTOR ТМ	
42.	Присвоение логина и пароля в ПО ANTOR ТМ вручную каждому водителю для работы с мобильным устройством	

Процесс планирования доставки региональных заказов состоит из 42 операций общей продолжительностью 3 часа 50 мин.

Листинг ПО для расчёта по алгоритму Декстры с тремя критериями эффективности

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Globalization;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp2
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Calculation1MainCalculation = new Calculation1();
        Criterions MainCriterions = new Criterions();
        public int[,] Connection; // массив вершин связей (с нулями в последствии)
        public int[] ConnectionValue; // массив значений связей
        TaskCompletionSource<bool> _tcs;
        bool button3Visible = true; // видимость кнопки "занести данные"
        bool isColumnAdded = true; // добавление третьего столбца в dataGridView1
        bool CalculationButtonVis = true; // видимость кнопки "выбрать"
        bool button11Vis = true; // видимость кнопки "след связь"
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e) // ввод количества вершин
        {
            ReadInputValues();
        }
        private void ReadInputValues() // считывает введенное количество вершин
        {
            int temp;
            try
            {
                temp = int.Parse(textBox1.Text);
            }
            catch (FormatException)
            {
                MessageBox.Show("Количество вершин должно быть целым числом");
                return;
            }
            catch (NullReferenceException)
            {
                MessageBox.Show("Значение коэффициента не может быть пустым");
                return;
            }
            catch (ArgumentNullException)
            {
                MessageBox.Show("Значением коэффициента не может быть пустым");
                return;
            }
            MainCalculation.SetVerteks(temp);
        }
        private void CreateTableFor Conect (int M) // создание таблицы, M - количество вершин
        {

```

```

dataGridView1.ColumnCount = 1;
if (M == 1)
{
    MessageBox.Show("Количество вершин не может быть меньше 2");
    M++;
}
if (M == 0)
{
    MessageBox.Show("Количество вершин не может быть меньше 2");
    M += 2;
}
dataGridView1.RowCount = Convert.ToInt32(MainCalculation.Factorial_ForConect(M) /
(MainCriteriaions.Factorial(2) * MainCalculation.Factorial_ForConect(M-2)));
dataGridView1.RowHeadersWidth = 80;
dataGridView1.Columns[0].HeaderText = "Вершины";
dataGridView1.Rows[0].DefaultCellStyle.Alignment =
DataGridviewContentAlignment.MiddleCenter;
dataGridView1.Columns[0].DefaultCellStyle.Alignment =
DataGridviewContentAlignment.MiddleCenter;

int[] arr = null;
int[] set = new int[dataGridView1.RowCount * 2];
Connection = new int[dataGridView1.RowCount, 2]; // массив связей
string testoutput = "";
int k = 0;
while ((arr = MainCalculation.generateCombinations(arr, M)) != null)
{
    for (int i = 0; i < 2; i++)
        set[i + k] = arr[i];
    k = k + 2;
}
k = 0;
for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount; i++)
{
    for (int j = 0; j < 2; j++)
    {
        testoutput += Convert.ToString(set[j + k]) + " ";
        Connection[i, j] = set[j + k];
    }

    dataGridView1[0, i].Value = testoutput;
    testoutput = "";
    k = k + 2;
}
MainCalculation.SetConnectionVerteks(Connection);
dataGridView1.AllowUserToAddRows = false;
dataGridView1.RowHeadersVisible = false;
DataGridViewCheckBoxColumn col1 = new DataGridViewCheckBoxColumn(); // добавление
чекбоксов в таблицу
col1.DataPropertyName = "field1_name";
dataGridView1.Columns.Add(col1);
col1.Width = 30;
for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount; i++)
    dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value = false;
}
private void button1_Click(object sender, EventArgs e) // кнопка ОК
{
    MainCalculation.SetCOUNT_connectArr(0);
    MainCalculation.SetZeroCOUNT_M(0);
    MainCalculation.SetZerorowIter(0);
    isColumnAdded = true;
    button3Visible = true;
    button3.Visible = true;
    CalculationButtonVis = true;
}

```

```

CalculationButton.Visible = true;
button11Vis = true;
button11.Visible = true;
AlldataGridView.Rows.Clear();
OutputGridView.Rows.Clear();
dataGridView2.Rows.Clear();
ReadInputValues();
CreateTableForConect(MainCalculation.GetV());
}
private void button2_Click(object sender, EventArgs e) // кнопка рассчитать путь
{
    var g = new Graf();
    int[] arr = null;
    int[] set = new int[dataGridView1.RowCount * 2];
    Connection = new int[dataGridView1.RowCount, 2]; // массив связей
    string testoutput = "";
    int k = 0;
    while ((arr = MainCalculation.generateCombinations(arr, MainCalculation.GetV())) !=
null)
    {
        for (int i = 0; i < 2; i++)
            set[i + k] = arr[i];
        k = k + 2;
    }
    k = 0;
    for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount; i++)
    {
        for (int j = 0; j < 2; j++)
            Connection[i, j] = set[j + k];
        k = k + 2;
    }
    GetConnectionValue();
    int[] tempValue = new int[ConnectionValue.GetLength(0)];
    for (int i = 0; i < ConnectionValue.GetLength(0); i++)
    {
        tempValue[i] = 10000 - ConnectionValue[i];
    }
    for (int i = 1; i <= MainCalculation.GetV(); i++)
        g.AddVerteks(Convert.ToString(i));

    for (int i = 0; i < MainCalculation.GetConnectionVerteks().GetLength(0); i++)
    {
        if (tempValue[i] == 10000) tempValue[i] = 100000000;
        g.AdEdge(Convert.ToString(Connection[i, 0]), Convert.ToString(Connection[i,
1]), tempValue[i]);
    }
    var dijkstra = new Dijkstra(g);
    var path = dijkstra.FindShortestPath("1", MainCalculation.GetV().ToString());
    int sum = dijkstra.SUM;
    int counter = dijkstra.COUNTER;

    if (sum != 100000000)
    {
        double result = - (sum * 0.0001 - counter);
        MessageBox.Show("Наилучший путь" + '\n' + path + '\n' + "Значение" + '\n' +
Convert.ToString(result));
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Связи между вершинами не определены");
    }
}
}

```

```

private void dataGridView1_CellClick(object sender, DataGridViewCellEventArgs e) //
обработка нажатия кнопок "определить связь"
{
    for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount; i++)
        if ((e.ColumnIndex == 1) && (e.RowIndex == i))
            {
                MainCriteriaions.SetN();
                int k = 0;
                MainCriteriaions.SetCOUNTER(k);
            }
}

private void CreateTableForValues(int M, int N)
{
    InputGridView.Rows.Clear();
    InputGridView.RowCount = M;
    InputGridView.ColumnCount = N;
    for (int i = 0; i < InputGridView.RowCount; i++)
        InputGridView.Rows[i].HeaderCell.Value = "D" + (i + 1).ToString();
    InputGridView.RowHeadersWidth = 90;
    for (int i = 0; i < InputGridView.ColumnCount; i++)
        InputGridView.Columns[i].HeaderCell.Value = "K" + (i + 1).ToString();
}

private void CreateTableForAllData() // создание общей таблицы для нормализации
{
    int count = MainCriteriaions.GetM();
    MainCalculation.SetCOUNT_M(count);
    AlldataGridView.ColumnCount = 3;
    AlldataGridView.RowHeadersWidth = 90;
    for (int i = 0; i < AlldataGridView.ColumnCount; i++)
        AlldataGridView.Columns[i].HeaderCell.Value = "K" + (i + 1).ToString();
    int[,] ConnectArrey = MainCalculation.DeleteRow(Connection);
    int COUNT_connect = 0;
    COUNT_connect = MainCalculation.GetCOUNT_connectArr();
    for (int j = 0; j < InputGridView.RowCount; j++)
        AlldataGridView.Rows.Add();
    AlldataGridView.TopLeftHeaderCell.Value = "Вершины";
    AlldataGridView.Rows[MainCalculation.GetCOUNT_M() -
InputGridView.RowCount].HeaderCell.Value = ConnectArrey[COUNT_connect, 0].ToString() + " " +
ConnectArrey[COUNT_connect, 1].ToString();

    if (COUNT_connect == ConnectArrey.GetUpperBound(0))
        button3Visible = false; // видимость кнопки "занести данные"
    else button3Visible = true;

    COUNT_connect++;
    MainCalculation.SetCOUNT_connectArr(COUNT_connect);
    Random random = new Random();
    int rand1 = 255 - random.Next(50);
    int rand2 = 255 - random.Next(50);
    int rand3 = 255 - random.Next(50);
    for (int i = 0; i < InputGridView.ColumnCount; i++)
        for (int j = 0; j < InputGridView.RowCount; j++)
            {
                AlldataGridView[i, MainCalculation.GetCOUNT_M() - j - 1].Value =
double.Parse(InputGridView[i, j].Value.ToString());
                AlldataGridView[i, MainCalculation.GetCOUNT_M() - j - 1].Style.BackColor =
Color.FromArgb(rand1, rand2, rand3);
            }
}

private void CalculationButton_Click(object sender, EventArgs e) // приоритет критериев
{
    if (CalculationButtonVis == true) CalculationButton.Visible = true;
}

```

```

if (isColumnAdded == true)
{
    dataGridView1.Columns.Add("newColumnName", "Значение связи");
    dataGridView1.Columns[2].Width = 75;
    for (int j = 0; j < Connection.GetLength(0); j++)
        dataGridView1[2, j].Value = 0;
    if (dataGridView2.CurrentCell.ColumnIndex == 2)
    {
        for (int i = 0; i < 6; i++)
            dataGridView2.Rows[i].Cells[2].Value = false;
        dataGridView2.Rows[dataGridView2.CurrentCell.RowIndex].Cells[2].Value =
true;
MainCalculation.SetIndexOfCriteria(dataGridView2.Rows[dataGridView2.CurrentCell.RowIndex].Index);
    }
    isColumnAdded = false;
}
else
{
    if (dataGridView2.CurrentCell.ColumnIndex == 2)
    {
        for (int i = 0; i < 6; i++)
            dataGridView2.Rows[i].Cells[2].Value = false;

        dataGridView2.Rows[dataGridView2.CurrentCell.RowIndex].Cells[2].Value =
true;
MainCalculation.SetIndexOfCriteria(dataGridView2.Rows[dataGridView2.CurrentCell.RowIndex].Index);
    }
    isColumnAdded = true;
}
MainCalculation.SetZerorowIter(0);
MainCalculation.SetCOUNT_connectArr(0);
int count = 0;
int temp = 1;

int strcount = 0;

for (int n = 0; n < MainCalculation.GetV() - 1; n++) // по количеству вершин
{
    for (int i = 0; i < Connection.GetUpperBound(0) + 1; i++) //цикл по строкам
        if (Connection[i, 0] == temp)
            count++;
    int k = count;
    while (k != 0)
    {
        MainCriteriaions.SetM(count);
        MainCriteriaions.SetN();
        double[,] temparr = new double[MainCriteriaions.GetM(),
MainCriteriaions.GetN()];
        int temp1 = 0;
        for (int i = strcount; i < (strcount + count); i++)
        {
            for (int j = 0; j < AlldataGridView.ColumnCount; j++)
            {
                temparr[temp1, j] = double.Parse(AlldataGridView[j,
i].Value.ToString());
            }
            temp1++;
        }
        MainCriteriaions.SetValueArray(temparr);
        MainCriteriaions.Algorithm();
    }
}

```

```

        double[,] decisionArr = MainCriteriaions.GetDecisionCoefficientArry();
        double[] decisionArrROW = new double[decisionArr.GetLength(1)];
        for (int i = 0; i < decisionArr.GetLength(1); i++)
            decisionArrROW[i]
decisionArr[MainCalculation.GetIndexOfCriteria(), i];
        double maxValue = decisionArrROW.Max<double>();
        int[,] teeemp = GetConnection();
        for (int i = 0; i < teeemp.GetLength(0); i++)
            if (teeemp[i, 0] != 0)
            {
                dataGridView1[2, i].Value = maxValue;
                teeemp[i, 0] = 0;
                break;
            }
        dataGridView1.Columns[2].DefaultCellStyle.Alignment
DataGridViewContentAlignment.MiddleCenter;
        strcount += count;
        k--;
    }
    count = 0;
    temp++;
}
CalculationButtonVis = false;
}
if (CalculationButtonVis == false) CalculationButton.Visible = false;
ConnectionValue = new int[Connection.GetLength(0)];
for (int i = 0; i < Connection.GetLength(0); i++)
    ConnectionValue[i] = Convert.ToInt32(Math.Round(double.Parse(dataGridView1[2,
i].Value.ToString()) * 10000, 0));
}
private void OutputAllData() // вывод решений
{
    int[,] probabilityArr = MainCriteriaions.GetProbabilityArray();
    double[,] decisionArr = MainCriteriaions.GetDecisionCoefficientArry();
    int[] finalDArr = MainCriteriaions.GetFinalDArray();
    OutputGridView.ColumnCount = 4;
    int rowCount = MainCriteriaions.GetFactorialN() < MainCriteriaions.GetM() ?
MainCriteriaions.GetM() : MainCriteriaions.GetFactorialN();
    int rowIter = 0;
    for (int j = 0; j < rowCount; j++)
        OutputGridView.Rows.Add();
    rowIter = MainCalculation.GetrowIter();
    for (int i = 0; i < MainCriteriaions.GetFactorialN(); i++)
    {
        OutputGridView[0, rowIter + i].Value = i + 1;
        for (int j = 0; j < MainCriteriaions.GetN(); j++)
        {
            OutputGridView[1, rowIter + i].Value += "K" + probabilityArr[i, j] + ">";
        }
        OutputGridView[1, rowIter + i].Value = OutputGridView[1, rowIter +
i].Value.ToString().Substring(0, OutputGridView[1, rowIter + i].Value.ToString().Length - 1);
        string tempDvalue = "";
        for (int j = 0; j < MainCriteriaions.GetM(); j++)
            tempDvalue += "D" + (j + 1).ToString() + "=" + decisionArr[i, j] + "; ";
        tempDvalue += "\t\t";
        OutputGridView[2, rowIter + i].Value = tempDvalue + finalDArr[i];
    }
    Random random = new Random();
    int rand1 = 255 - random.Next(30);
    int rand2 = 255 - random.Next(30);
    int rand3 = 255 - random.Next(30);
    for (int i = 0; i < OutputGridView.ColumnCount; i++)
        for (int j = rowIter; j < OutputGridView.RowCount; j++)
            {

```

```

        OutputGridView[i, j].Style.BackColor = Color.FromArgb(rand1, rand2, rand3);
    }
    int[,] ConnectArrey = MainCalculation.DeleteRow(Connection);
    int COUNT_connect = 0;
    COUNT_connect = MainCalculation.GetCOUNT_connectArr();
    OutputGridView.RowHeadersWidth = 80;
    OutputGridView.TopLeftHeaderCell.Value = "Вершины";
    OutputGridView.Rows[rowIter].HeaderCell.Value = ConnectArrey[COUNT_connect,
0].ToString() + " " + ConnectArrey[COUNT_connect, 1].ToString();
    COUNT_connect++;
    MainCalculation.SetCOUNT_connectArr(COUNT_connect);
    MainCalculation.SetrowIter(6);
}
private void ChoosingK() // выбор приоритета вероятностей
{
    int[,] probabilityArr = MainCriteriaions.GetProbabilityArray();
    dataGridView2.Rows.Clear();
    dataGridView2.RowCount = MainCriteriaions.GetFactorialN() < MainCriteriaions.GetM() ?
MainCriteriaions.GetM() : MainCriteriaions.GetFactorialN();
    dataGridView2.ColumnCount = 2;
    for (int i = 0; i < MainCriteriaions.GetFactorialN(); i++)
    {
        dataGridView2[0, i].Value = i + 1;
        for (int j = 0; j < MainCriteriaions.GetN(); j++)
        {
            dataGridView2[1, i].Value += "K" + probabilityArr[i, j] + ">";
        }
        dataGridView2[1, i].Value = dataGridView2[1, i].Value.ToString().Substring(0,
dataGridView2[1, i].Value.ToString().Length - 1);
    }
    dataGridView2.AllowUserToAddRows = false;
    dataGridView2.RowHeadersVisible = false;
    DataGridViewCheckBoxColumn col1 = new DataGridViewCheckBoxColumn(); // добавление
чекбоксов в таблицу
    col1.DataPropertyName = "field1_name";
    dataGridView2.Columns.Add(col1);
    col1.Width = 30;
}
private void NormalizeButton_Click(object sender, EventArgs e) // нормализовать
{
    for (int i = 0; i < InputGridView.ColumnCount; i++)
    {
        if (!(AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "max"
|| AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "min"))
        {
            MessageBox.Show("Не все связи занесены в таблицу нормализации");
            return;
        }
    }
}
try
{
    for (int i = 0; i < AlldataGridView.ColumnCount; i++)
    {
        for (int j = 0; j < AlldataGridView.RowCount - 1; j++)
        {
            double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString());
        }
    }
}
catch (FormatException)
{
    MessageBox.Show("Значением коэффициента может быть целое либо дробное число,
разделенное знаком 'запятая'");
    return;
}

```

```

    }
    catch (NullReferenceException)
    {
        MessageBox.Show("Значением коэффициента не может быть пустым");
        return;
    }
    catch (ArgumentNullException)
    {
        MessageBox.Show("Значением коэффициента не может быть пустым");
        return;
    }
    for (int i = 0; i < AlldataGridView.ColumnCount; i++)
    {
        double maxvalue = 0;
        double minvalue = Int32.MaxValue;
        for (int j = 0; j < AlldataGridView.RowCount - 1; j++)
        {
            if (maxvalue < double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString()) &&
                AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "max")
            {
                maxvalue = double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString());
            }
            if (minvalue > double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString()) &&
                AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "min")
            {
                minvalue = double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString());
            }
        }
        double sum = 0;
        if (AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "max")
        {
            for (int j = 0; j < AlldataGridView.RowCount - 1; j++)
            {
                sum += double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString()) / maxvalue;
                AlldataGridView[i, j].Value = (double.Parse(AlldataGridView[i,
j].Value.ToString()) / maxvalue).ToString("F3");
            }
        }
        if (AlldataGridView[i, AlldataGridView.RowCount - 1].Value.ToString() == "min")
        {
            for (int j = 0; j < AlldataGridView.RowCount - 1; j++)
            {
                sum += minvalue / double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString());
                AlldataGridView[i, j].Value = (minvalue /
double.Parse(AlldataGridView[i, j].Value.ToString())).ToString("F3");
            }
        }
        for (int j = 0; j < AlldataGridView.RowCount - 1; j++)
        {
            AlldataGridView[i, j].Value = (double.Parse(AlldataGridView[i,
j].Value.ToString()) / sum).ToString("F3");
        }
    }
}
private void button4_Click(object sender, EventArgs e) // Кнопка "определить связи
{
    int[,] ConnectionArr = GetConnection();
    button3Visible = true;
    for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount; i++)
    {
        bool isCellChecked = (bool)dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value;
        if (isCellChecked == false)
        {
            ConnectionArr[i, 0] = 0;
        }
    }
}

```

```

        ConnectionArr[i, 1] = 0;
    }
}
SetConnection(ConnectionArr);
Foo();
}
async Task Foo()           // асинхронный метод послед решения многокритериальной задачи
{
    int count = 0;
    int temp = 1;
    int[,] ConnectArrey = MainCalculation.DeleteRow(Connection); //массив связей(без 0)
    int countConect = 0;                                         // счетчик строк
    массива ConnectArrey
    for (int j = 0; j < MainCalculation.GetV() - 1; j++)
    {
        for (int i = 0; i < Connection.GetUpperBound(0) + 1; i++)           if
        (Connection[i, 0] == temp)
            count++;
        int k = count;
        while (k != 0)
        {
            InputGridView.Refresh();
            MainCriteriaions.SetM(count);
            MainCriteriaions.SetN();
            label4.Text = "Определение связи между вершинами " +
            ConnectArrey[countConect, 0] + " " + ConnectArrey[countConect, 1];
            CreateTableForValues(MainCriteriaions.GetM(), MainCriteriaions.GetN());
            _tcs = new TaskCompletionSource<bool>(); // продолжение работы цикла после
            нажатия "След связь"
            await _tcs.Task;
            countConect++;
            k--;
        }
        count = 0;
        temp++;
    }
}
public void SetConnection(int [,] arrey)
{
    Connection = arrey;
}
public int[] GetConnectionValue()
{
    return ConnectionValue;
}
public int[,] GetConnection()
{
    return Connection;
}
private void button11_Click(object sender, EventArgs e) // определить след связь
{
    _tcs.SetResult(false);
}
private void button3_Click(object sender, EventArgs e) //занести данные в таблу норм-
ии
{
    try
    {
        for (int i = 0; i < InputGridView.ColumnCount; i++)
            for (int j = 0; j < InputGridView.RowCount; j++)
                double.Parse(InputGridView[i, j].Value.ToString());
    }
    catch (FormatException)
    {

```

```

        MessageBox.Show("Значением коэффициента может быть целое либо дробное число,
разделенное знаком 'запятая'");
        return;
    }
    catch (NullReferenceException)
    {
        MessageBox.Show("Значением коэффициента не может быть пустым");
        return;
    }
    catch (ArgumentNullException)
    {
        MessageBox.Show("Значением коэффициента не может быть пустым");
        return;
    }
    CreateTableForAllData();
    if (button3Visible == true) button3.Visible = true;
    if (button3Visible == false)
    {
        button3.Visible = false;
        button11.Visible = false;
        AlldataGridView.Rows.Add();
        AlldataGridView.Rows[AlldataGridView.RowCount - 1].HeaderCell.Value = "min-
max";

        AlldataGridView[0, AlldataGridView.RowCount - 1].Value = "min";
        AlldataGridView[1, AlldataGridView.RowCount - 1].Value = "min";
        AlldataGridView[2, AlldataGridView.RowCount - 1].Value = "min";
        MessageBox.Show("Измените в таблице нормализации 'min' на 'max' при
необходимости");
    }
    else button3Visible = true;
}
private void button5_Click(object sender, EventArgs e) // расчет, решение массива
многокритериальных задач
{
    MainCalculation.SetZerorowIter(0);
    OutputGridView.Rows.Clear();
    MainCalculation.SetCOUNT_connectArr(0);
    int count = 0;
    int temp = 1;
    int[,] ConnectArrey = MainCalculation.DeleteRow(Connection); // массив(без нулей)
    int strcount = 0;
    for (int n = 0; n < MainCalculation.GetV() - 1; n++) // по количеству вершин
    {
        for (int i = 0; i < Connection.GetUpperBound(0) + 1; i++) if
(Connection[i, 0] == temp)
            count++;
        int k = count;
        while (k != 0)
        {
            MainCriterions.SetM(count);
            MainCriterions.SetN();
            double[,] temparr = new double[MainCriterions.GetM(),
MainCriterions.GetN()];
            int temp1 = 0;
            for (int i = strcount; i < (strcount + count); i++)
            {
                for (int j = 0; j < AlldataGridView.ColumnCount; j++)
                    temparr[temp1, j] = double.Parse(AlldataGridView[j,
i].Value.ToString());
                temp1++;
            }
            MainCriterions.SetValueArray(temparr);
            MainCriterions.Algorithm();
            OutputAllData();
        }
    }
}

```

```

        ChoosingK();
        strcount += count;
        k--;
    }
    count = 0;
    temp++;
}
}
private void dataGridView2_CellClick(object sender, DataGridViewCellEventArgs e)
{
    if (e.RowIndex != -1)
        if (dataGridView2.Rows[e.RowIndex].Cells[0].Value != null &&
            dataGridView2.CurrentRow.ColumnIndex == 0) //null check
            if (e.ColumnIndex == 2)
                if (((bool)dataGridView2.Rows[e.RowIndex].Cells[0].Value == true))
                    for (int k = 0; k <= 4; k++)
                        if (k == dataGridView2.CurrentRow.Index)
                            dataGridView2.Rows[k].Cells[0].Value = false;
}
}
}
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

/// <summary>
/// Многокритериальность
/// </summary>
namespace WindowsFormsApp2
{
    class Criterions
    {
        private int M; // количество решений i
        private int N; // количество критериев j
        private int COUNTER; // переход на след строку занесения данных в матрицу A
        private double[,] ValueArray; // полный массив данных (матрица A)
        private int[,] ProbabilityArray; //массив всех вариантов распределения вероятностей
        private double[,] CoefficientArray; // массив коэффициентов при значениях (в зависимости
от K 1/K)
        private double[,] DecisionCoefficientArray; // массив коэффициентов решений ( D)
        // public double[] LaplaceCoefficientArray { get; set; }
        private int[] FinalDArray; // конечный массив лучших решений
        private int FactorialN;
        private int[] Darea; // массив D подсчет областей, принадлежащих каждому решению
        private double[] DecisionCoefficientArrayRow; // строка значений D лучшего решения

        public void SetM(int m)
        {
            M = m;
        }
        public void SetN()
        {
            N = 3;
            FactorialN = Factorial(N);
        }
        public void SetCOUNTER(int k)
        {
            COUNTER = k;
        }
        public void SetValueArray(double[,] temparr)
        {

```

```

ValueArray = new double[M, N];
CoefficientArray = new double[M, N];

for (int i = 0; i < M; i++)
{
    for (int j = 0; j < N; j++)
    {
        ValueArray[i, j] = temparr[i, j];
        CoefficientArray[i, j] = 0;
    }
}
}
public void Algorithm()
{
    FindProbabilityArray();
    CalculationCoefficientsArray();
    CalculationDecisionCoefficientsArray();
    FindFinalDArray();
}
private void FindFinalDArray()
{
    FinalDArray = new int[FactorialN];
    for (int i = 0; i < FactorialN; i++)
    {
        double tempdoub = 0.0;
        int tempint = 0;
        for (int j = 0; j < M; j++)
        {
            if (DecisionCoefficientArray[i, j] > tempdoub)
            {
                tempdoub = DecisionCoefficientArray[i, j];
                tempint = j + 1;
            }
        }
        FinalDArray[i] = tempint;
    }
}
private void CalculationDecisionCoefficientsArray()
{
    DecisionCoefficientArray = new double[FactorialN, M];
    for (int i = 0; i < FactorialN; i++)
        for (int j = 0; j < M; j++)
            for (int k = 0; k < N; k++)
                DecisionCoefficientArray[i, j] += (double)CoefficientArray[j, k] *
ValueArray[j, ProbabilityArray[i, k] - 1];
}
private void CalculationCoefficientsArray()
{
    for (int i = 0; i < M; i++)
    {
        double temp = 0.0;
        int tempj = 0;
        for (int j = 0; j < N; j++)
        {
            if (ValueArray[i, j] > temp)
            {
                tempj = j + 1;
                temp = ValueArray[i, j];
            }
        }
        for (int j = 0; j < tempj; j++)
        {
            CoefficientArray[i, j] = (double)1 / tempj;
        }
    }
}

```

```

    }
}

private void FindProbabilityArray() // нахождение всех комбинаций вероятностей
(c1<c2<c3)
{
    ProbabilityArray = new int[FactorialN, N];
    int[] initialdata = new int[N];
    for (int i = 0; i < N; i++)
    {
        initialdata[i] = i + 1;
    }
    int icountforprobabilityarray = 0;
    Generate(0, N, initialdata, ref ProbabilityArray, ref icountforprobabilityarray);
}

private void Generate(int k, int n, int[] initialdata, ref int[,] probarr, ref int
icountforprobabilityarray)
{
    if (k == n - 1)
    {
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            probarr[icountforprobabilityarray, i] = initialdata[i];
        }
        icountforprobabilityarray++;
    }
    else
    {
        for (int j = k; j < n; ++j)
        {
            Swap(ref initialdata[k], ref initialdata[j]);
            k++;
            Generate(k, n, initialdata, ref probarr, ref icountforprobabilityarray);
            k--;
            Swap(ref initialdata[k], ref initialdata[j]);
        }
    }
}

public string GetAreaSolution()
{
    string temp = "";
    int[] temparr = new int[M];
    Array.Clear(temparr, 0, M);
    for (int i = 0; i < FactorialN; i++)
        temparr[FinalDArray[i] - 1]++;

    for (int i = 0; i < M; i++)
        temp += "D" + (i + 1).ToString() + "=" + temparr[i] + '\n';

    Darea = new int[9];

    for (int i = 0; i < Darea.Length; i++)
        Darea[i] = temparr[i];

    int maxValue = Darea.Max(); //
нахождение максимального элемента
    int index = Array.FindLastIndex(Darea, delegate (int i) { return i == maxValue; });
// нахождение индекса макс элемента

    DecisionCoefficientArrayRow = new double[9];
    for (int i = 0; i < Darea.Length; i++)
        DecisionCoefficientArrayRow[i] = DecisionCoefficientArray[index, i];
}

```

```

        string testoutput = "";
        for (int i = 0; i < Darea.Length; i++)
        {
            testoutput = testoutput +
Convert.ToString(DecisionCoefficientArrayRow[i]) + " ";
            testoutput += '\n';
        }
        MessageBox.Show(testoutput);

        return temp;
    }
    private void Swap(ref int a, ref int b)
    {
        int temp = 0;
        temp = a;
        a = b;
        b = temp;
    }

    public int Factorial(int num)
    {
        return (num == 0) ? 1 : num * Factorial(num - 1);
    }

    public double[,] GetDecisionCoefficientArray()
    {
        return DecisionCoefficientArray;
    }
    public int[,] GetProbabilityArray()
    {
        return ProbabilityArray;
    }
    public int[] GetFinalDArray()
    {
        return FinalDArray;
    }
    public int GetFactorialN()
    {
        return FactorialN;
    }
    public int GetM()
    {
        return M;
    }
    public int GetN()
    {
        return N;
    }
    public int GetCOUNTER()
    {
        return COUNTER;
    }
}
}
/// <summary>
/// Часть вычислений
/// </summary>

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

```

```

namespace WindowsFormsApp2
{
    class Calculation1
    {
        private int V; // количество вершин
        private int COUNT_M; // запоминает число строк в общей таблице для нормализации
        private int[,] VerteksArrey; // массив вершин
        private int COUNT_connectArr; // количество ненулевых связей (число строк в
[, ]ConnectArrey)

        private int rowIter; // для запоминани число строк в таблице OutputGridView
        private int IndexOfCriteria;
        private int[,] ConnectionVerteks;
        public void SetIndexOfCriteria(int temparr)
        {
            IndexOfCriteria = temparr;
        }
        public void SetrowIter(int temparr)
        {
            rowIter += temparr;
        }
        public void SetZerorowIter(int temparr)
        {
            rowIter = temparr;
        }
        public void SetCOUNT_M(int temparr)
        {
            COUNT_M += temparr;
        }
        public void SetZeroCOUNT_M(int temparr)
        {
            COUNT_M = temparr;
        }
        public void SetVerteks(int temparr)
        {
            V = temparr;
        }
        public void SetCOUNT_connectArr(int temparr)
        {
            COUNT_connectArr = temparr;
        }
        public void SetConnectionVerteks(int[,] arrey)
        {
            ConnectionVerteks = arrey;
        }

        public int[,] DeleteRow(int[,] table) // удаление ненулевых строк из массива
        {
            int countemp = 0;
            for (int i = 0; i < table.GetUpperBound(0) + 1; i++)
                if (table[i, 1] != 0) countemp++;

            if (countemp == 0) MessageBox.Show("Установите связи");

            int[,] temp = new int[countemp, 2];
            int k = 0;
            for (int i = 0; i < table.GetUpperBound(0) + 1; i++)
                if (table[i, 1] != 0)
                {
                    temp[k, 0] = table[i, 0];
                    temp[k, 1] = table[i, 1];
                    k++;
                }
            return temp;
        }
    }
}

```

```

    }
    public int[] generateCombinations(int[] arr, int N) // число сочетаний из N по 2 (связи
между вершинами)
    {
        if (arr == null)
        {
            arr = new int[2];
            for (int i = 0; i < 2; i++)
                arr[i] = i + 1;
            return arr;
        }
        for (int i = 1; i >= 0; i--)
            if (arr[i] < N - 2 + i + 1)
            {
                arr[i]++;
                for (int j = i; j < 2 - 1; j++)
                    arr[j + 1] = arr[j] + 1;
                return arr;
            }
        return null;
    }
    public long Factorial_ForConect(int x) // вычисление факториала числа
    {
        if (x == 0)
        {
            return 1;
        }
        else
        {
            return x * Factorial_ForConect(x - 1);
        }
    }
    public int GetV()
    {
        return V;
    }
    public int GetCOUNT_M()
    {
        return COUNT_M;
    }
    public int GetCOUNT_connectArr()
    {
        return COUNT_connectArr;
    }
    public int GetrowIter()
    {
        return rowIter;
    }
    public int GetIndexOfCriteria()
    {
        return IndexOfCriteria;
    }
    public int[,] GetConnectionVerteks()
    {
        return ConnectionVerteks;
    }
}
}
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

```

```

namespace WindowsFormsApp2
{
    // Алгоритм Нахождения наилучшего пути
    class Dijkstra
    {
        public int SUM = 0;
        public int COUNTER = 0;
        Graf Graf;
        List<GrafVerteksInfo> infos;
        public Dijkstra(Graf Graf)
        {
            this.Graf = Graf;
        }
        void InitInfo()
        {
            infos = new List<GrafVerteksInfo>();
            foreach (var v in Graf.Verteces)
                infos.Add(new GrafVerteksInfo(v));
        }
        GrafVerteksInfo GetVerteksInfo(GrafVerteks v)
        {
            foreach (var i in infos)
            {
                if (i.Verteks.Equals(v))
                    return i;
            }
            return null;
        }
        public GrafVerteksInfo FindUnvisitedVerteksWithMinSum()
        {
            var minValue = int.MaxValue;
            GrafVerteksInfo minVerteksInfo = null;
            foreach (var i in infos)
            {
                if (i.IsUnvisited && i.EdgesWeightSum < minValue)
                {
                    minVerteksInfo = i;
                    minValue = i.EdgesWeightSum;
                }
            }
            return minVerteksInfo;
        }
        public string FindShortestPath(string startName, string finishName)
        {
            return FindShortestPath(Graf.FindVerteks(startName), Graf.FindVerteks(finishName));
        }
        public string FindShortestPath(GrafVerteks startVerteks, GrafVerteks finishVerteks)
        {
            InitInfo();
            var first = GetVerteksInfo(startVerteks);
            first.EdgesWeightSum = 0;
            while (true)
            {
                var current = FindUnvisitedVerteksWithMinSum();
                if (current == null) break;
                SetSumToNextVerteks(current);
            }
            return GetPath(startVerteks, finishVerteks);
        }
        void SetSumToNextVerteks(GrafVerteksInfo info)
        {
            info.IsUnvisited = false;
            foreach (var e in info.Verteks.Edges)

```

```

    {
        var nextInfo = GetVerteksInfo(e.ConnectedVerteks);
        var sum = info.EdgesWeightSum + e.EdgeWeight;
        if (sum < nextInfo.EdgesWeightSum)
        {
            nextInfo.EdgesWeightSum = sum;
            nextInfo.PreviousVerteks = info.Verteks;
            SUM = sum;
        }
    }
}
public int GetSUM()
{
    return SUM;
}
public int GetCOUNTER()
{
    return COUNTER;
}
string GetPath(GrafVerteks startVerteks, GrafVerteks endVerteks)
{
    var path = endVerteks.ToString();
    while (startVerteks != endVerteks)
    {
        endVerteks = GetVerteksInfo(endVerteks).PreviousVerteks;
        path = endVerteks.ToString() + " " + path;
        COUNTER++;
    }
    return path;
}
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace WindowsFormsApp2
{
    class Graf
    {
        // Список вершин графа

        public List<GrafVerteks> Verteces { get; }
        public Graf()
        {
            Verteces = new List<GrafVerteks>();
        }
        public void AddVerteks(string verteksName)
        {
            Verteces.Add(new GrafVerteks(verteksName));
        }

        public GrafVerteks FindVerteks(string verteksName)
        {
            foreach (var v in Verteces)
            {
                if (v.Name.Equals(verteksName))
                {
                    return v;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    }
    return null;
}

public void AdEdge(string firstName, string secondName, int weight)
{
    var v1 = FindVerteks(firstName);
    var v2 = FindVerteks(secondName);
    if (v2 != null && v1 != null)
    {
        v1.AdEdge(v2, weight);
        v2.AdEdge(v1, weight);
    }
}
}
}
// Ребро графа

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace WindowsFormsApp2
{
    public class GrafEdge
    {
        public GrafVerteks ConnectedVerteks { get; }
        public int EdgeWeight { get; }
        public GrafEdge(GrafVerteks connectedVerteks, int weight)
        {
            ConnectedVerteks = connectedVerteks;
            EdgeWeight = weight;
        }
    }
}
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace WindowsFormsApp2
{
    // Верш графа
    public class GrafVerteks
    {
        public string Name { get; }
        public List<GrafEdge> Edges { get; }
        public GrafVerteks(string verteksName)
        {
            Name = verteksName;
            Edges = new List<GrafEdge>();
        }
        public void AdEdge(GrafEdge newEdge)
        {
            Edges.Add(newEdge);
        }
        public void AdEdge(GrafVerteks verteks, int edgeWeight)
        {
            AdEdge(new GrafEdge(verteks, edgeWeight));
        }
        public override string ToString() => Name;
    }
}

```

```
    }  
}  
  
using System;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Linq;  
using System.Text;  
using System.Threading.Tasks;  
  
namespace WindowsFormsApp2  
{  
    class GrafVerteksInfo  
    {  
        // Вершина  
        public GrafVerteks Verteks { get; set; }  
        public bool IsUnvisited { get; set; }  
        public int EdgesWeightSum { get; set; }  
        public GrafVerteks PreviousVerteks { get; set; }  
        public GrafVerteksInfo(GrafVerteks verteks)  
        {  
            Verteks = verteks;  
            IsUnvisited = true;  
            EdgesWeightSum = int.MaxValue;  
            PreviousVerteks = null;  
        }  
    }  
}
```

Решение оптимизационной задачи определения значений эффективности распределения вкладов показателей ТЭП в систему ГАП

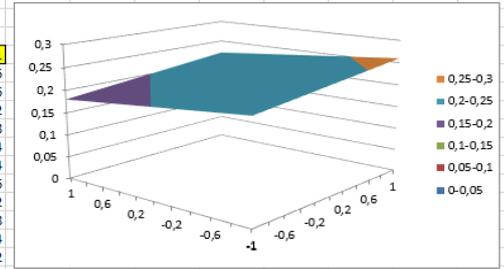
M1	0,1	0,9	0,204
M2	0,3	0,4	0,218
M3	0,6	0,4	0,224

$$\begin{matrix} x-0,1 & y-0,9 & z-0,204 \\ 0,2 & -0,5 & 0,014 \\ 0,5 & -0,5 & 0,02 \end{matrix} = (x-0,1)*(-0,5*0,02-(-0,5*0,014))- (y-0,9)*(0,2*0,02-0,5*0,014)+(z-0,204)*(0,2*(-0,5)-0,5*(-0,5)) = -3x+3y+150z-33 = 0$$

$$-3x+3y+150z=33$$

$$z=(3x-3y+33)/150$$

z\y	x→	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
-1	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	0,244	0,248	0,252	0,256	0,26	
-0,8	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	0,244	0,248	0,252	0,256	
-0,6	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	0,244	0,248	0,252	
-0,4	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	0,244	0,248	
-0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	0,244	
0	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	0,24	
0,2	0,196	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	0,236	
0,4	0,192	0,196	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	0,232	
0,6	0,188	0,192	0,196	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	0,228	
0,8	0,184	0,188	0,192	0,196	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	0,224	
1	0,18	0,184	0,188	0,192	0,196	0,2	0,204	0,208	0,212	0,216	0,22	



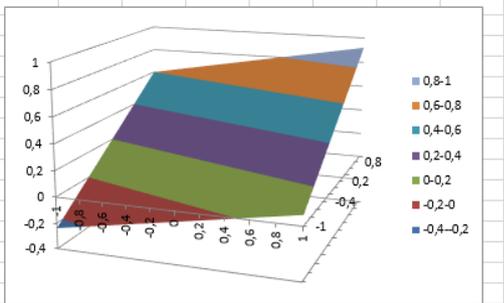
M1	0,1	0,9	0,702
M2	0,3	0,4	0,46
M3	0,6	0,4	0,412

$$\begin{matrix} x-0,1 & y-0,9 & z-0,702 \\ 0,2 & -0,5 & -0,242 \\ 0,5 & -0,5 & -0,29 \end{matrix} = (x-0,1)*(-0,5*(-0,29)-(-0,5*(-0,242)))- (y-0,9)*(0,2*(-0,29)-0,5*(-0,242))+ (z-0,702)*(0,2*(-0,5)-0,5*(-0,5)) = -24x-63y+150z-51 = 0$$

$$-24x-63y+150z=51$$

$$z=(24x+63y+51)/150$$

z\y	x→	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
-1	-0,24	-0,208	-0,176	-0,144	-0,112	-0,08	-0,048	-0,016	0,016	0,048	0,08	
-0,8	-0,156	-0,124	-0,092	-0,06	-0,028	0,004	0,036	0,068	0,1	0,132	0,164	
-0,6	-0,072	-0,04	-0,008	0,024	0,056	0,088	0,12	0,152	0,184	0,216	0,248	
-0,4	0,012	0,044	0,076	0,108	0,14	0,172	0,204	0,236	0,268	0,3	0,332	
-0,2	0,096	0,128	0,16	0,192	0,224	0,256	0,288	0,32	0,352	0,384	0,416	
0	0,18	0,212	0,244	0,276	0,308	0,34	0,372	0,404	0,436	0,468	0,5	
0,2	0,264	0,296	0,328	0,36	0,392	0,424	0,456	0,488	0,52	0,552	0,584	
0,4	0,348	0,38	0,412	0,444	0,476	0,508	0,54	0,572	0,604	0,636	0,668	
0,6	0,432	0,464	0,496	0,528	0,56	0,592	0,624	0,656	0,688	0,72	0,752	
0,8	0,516	0,548	0,58	0,612	0,644	0,676	0,708	0,74	0,772	0,804	0,836	
1	0,6	0,632	0,664	0,696	0,728	0,76	0,792	0,824	0,856	0,888	0,92	



M1	0,1	0,9	0,242
M2	0,3	0,4	0,39
M3	0,6	0,4	0,552

$$\begin{matrix} x-0,1 & y-0,9 & z-0,242 \\ 0,2 & -0,5 & 0,148 \\ 0,5 & -0,5 & 0,31 \end{matrix} = (x-0,1)*(-0,5*0,31-(-0,5*0,148))- (y-0,9)*(0,2*0,31-0,5*0,148)+(z-0,242)*(0,2*(-0,5)-0,5*(-0,5)) = -81x+12y+150z-39 = 0$$

$$-81x+12y+150z=39$$

$$z=(81x-12y+39)/150$$

z\y	x→	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
-1	-0,2	-0,092	0,016	0,124	0,232	0,34	0,448	0,556	0,664	0,772	0,88	
-0,8	-0,216	-0,108	0	0,108	0,216	0,324	0,432	0,54	0,648	0,756	0,864	
-0,6	-0,232	-0,124	-0,016	0,092	0,2	0,308	0,416	0,524	0,632	0,74	0,848	
-0,4	-0,248	-0,14	-0,032	0,076	0,184	0,292	0,4	0,508	0,616	0,724	0,832	
-0,2	-0,264	-0,156	-0,048	0,06	0,168	0,276	0,384	0,492	0,6	0,708	0,816	
0	-0,28	-0,172	-0,064	0,044	0,152	0,26	0,368	0,476	0,584	0,692	0,8	
0,2	-0,296	-0,188	-0,08	0,028	0,136	0,244	0,352	0,46	0,568	0,676	0,784	
0,4	-0,312	-0,204	-0,096	0,012	0,12	0,228	0,336	0,444	0,552	0,66	0,768	
0,6	-0,328	-0,22	-0,112	-0,004	0,104	0,212	0,32	0,428	0,536	0,644	0,752	
0,8	-0,344	-0,236	-0,128	-0,02	0,088	0,196	0,304	0,412	0,52	0,628	0,736	
1	-0,36	-0,252	-0,144	-0,036	0,072	0,18	0,288	0,396	0,504	0,612	0,72	

