

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем управления сложными системами
Российской академии наук»

На правах рукописи

Лада Александр Николаевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ
В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (промышленность)

**Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:
доктор технических наук,
Скобелев Петр Олегович

Самара – 2018

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	16
1.1 Общие проблемы управления мобильными ресурсами современных предприятий.....	16
1.2 Примеры типовых задач управления мобильными ресурсами	23
1.3 Задача построения маршрутов и существующие методы решения	25
1.4 Эвристические и метаэвристические методы	27
1.5 Анализ ограничений существующих методов и систем управления мобильными ресурсами.....	30
Краткий список основных систем управления мобильными ресурсами и применяемых в них методах приведен в Таблице 1.2.....	40
1.6 Мультиагентные методы	42
1.7 Задача получения и обработки событий реального времени	44
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	45
2 ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ.....	47
2.1 Предлагаемый подход к формализации задач управления мобильными ресурсами.....	47
2.2 Задача построения начального плана комплектных (FTL) грузоперевозок.....	51
2.3 Задача построения динамического плана комплектных (FTL) грузоперевозок по событиям реального времени.	60
2.4 Задача расчета себестоимости комплектных (FTL) грузоперевозок с учетом полного цикла перевозки «кругорейса»	71
2.5 Задача построения динамического плана работы сервисных бригад по событиям реального времени	82
2.6 Задача построения начального плана сборных (LTL) грузоперевозок.....	86
2.7 Задача построения динамического плана сборных (LTL) грузоперевозок в реальном времени	97
2.8 Задача построения динамического плана сборки и доставки (LTL) грузов для развозки покупателям интернет-магазинов в реальном времени	106
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	114
3 АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ.	116

3.1	Архитектура системы управления мобильными ресурсами.....	116
3.2	Исследование эффективности применения разработанных методов в адаптивных и неадаптивных моделях организации перевозок	119
3.3	Исследование эффективности применения разработанных методов в сравнении с лучшими известными аналогами.....	125
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3		128
4 ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ.		129
4.1	Система управления грузовыми FTL перевозками SmartTrucks.....	129
4.2	Система управления бригадами SmartTeams	134
4.3	Система управления сборкой и доставкой грузов интернет- магазинов Smart Assembly&Delivery.....	138
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....		141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		145
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		156
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		157
ПРИЛОЖЕНИЕ В. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		158
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		159
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		160
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ.....		161

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ПИСЬМО ООО «ТЕХНО ТРАНС» О ВНЕДРЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ	162
---	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ З. АКТ О ВНЕДРЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ БРИГАДАМИ В ООО «СВГК»	163
--	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ И. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В ООО «НПК «РАЗУМНЫЕ РЕШЕНИЯ»	165
---	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ К. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ЭКОНОМИКИ	166
---	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ Л. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ	167
---	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ М. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.....	168
---	------------

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПВ-сеть – сеть потребностей и возможностей.

НИР – научно-исследовательская работа.

ПНИ – прикладные научные исследования.

VRP – Vehicle Routing Problem, задача построения оптимальных маршрутов.

VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows, задача построения оптимальных маршрутов с временными окнами.

FTL – Full Truck Load, комплектные грузоперевозки.

LTL – Less than Truck Load, сборные грузоперевозки.

МАС – мультиагентная система.

МАТ – мультиагентная технология.

БД – база данных.

ERP-система – Enterprise Resource Planning.

KPI – Key Performance Indicator, ключевой показатель эффективности.

ТС – транспортное средство.

ГСМ – горюче-смазочные материалы.

ТО – техническое обслуживание.

СТО – станция технического обслуживания.

ДТП – дорожно-транспортное происшествие.

ПК – персональный компьютер.

АРМ – автоматизированное рабочее место.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Управление мобильными ресурсами предприятий в реальном времени – актуальная и значимая задача, решение которой необходимо для широкого круга применений: от управления грузовыми перевозками и сервисными бригадами газовиков, водоканала и энергетиков – до позаказного управления кораблями и самолетами, беспилотными аппаратами, курьерами, мерчендайзерами, медицинскими и социальными работниками и др.

Исследования и разработки методов решения такого рода задач начались со ставшей уже классической задачи коммивояжера, одно из первых решений которой для грузовых перевозок было предложено в работе Dantzig G.B., Ramser J.H. «The Truck Dispatching Problem» (1959). Эта работа положила начало созданию новой дисциплины в исследовании операций, посвященной решению задач построения оптимальных маршрутов и оптимизации транспортных ресурсов Vehicle Routing Problem (VRP) – можно найти десятки методов и программных решений, которые решают данную задачу в различных вариантах задания временных окон и при ряде упрощающих допущений.

Однако на текущий момент имеется множество практических постановок таких задач, не имеющих точных методов решений, т.к. на практике всегда возникает ряд предметных особенностей, которые не ясно как учитывать, часто используются совсем различные критерии выбора оптимальных решений, ограничения и предпочтения, требуется индивидуальный подход к каждому заказу и ресурсу и т.д. Так, в грузовых перевозках требуется учитывать класс перевозок FTL (комплектные) – будет ли один груз на всю машину (для междугородних перевозок) или LTL (сборные) – грузы меньше, чем вмещает грузовик (для внутригородских развозок товаров по магазинам), что потребует консолидации грузов по клиентам, направлениям, времени и т.д. Грузовики могут иметь разную грузоподъемность, вместимость и проходимость, могут

быть оборудованы рефрижератором для замороженных грузов или иметь особое оборудование для перевозки специальных грузов. Дополнительно существенно усложняет и расширяет постановку задачи необходимость решать ее в реальном времени, когда поток событий постоянно изменяет саму постановку задачи (приходят новые заказы, случаются поломки или задержки и т.д.), что требует перестроить решение за приемлемое время. Эти факторы требуют разработки новых моделей, методов и алгоритмов решения в каждом конкретном случае.

В начале 2000-х годов М. Вулдридж (M.Wooldridge), Н. Дженнингс (N.Jannings) и В. Городецкий показали возможность применения мультиагентных технологий для решения такого рода задач. В работах Г. Ржевского (G. Rzevski), В.Виттиха и П. Скобелева были предложены модель ПВ-сети и виртуального рынка транспортного предприятия и метод адаптивного построения расписаний, а также созданы первые прототипы и промышленные системы управления грузовыми перевозками. В 2004-2008 гг. близкие работы по управлению грузовыми перевозками были выполнены В. Мареком (V.Marik) и П. Вербой (P.Verba) и рядом других исследователей, что экспериментально показало возможность получения качественных расписаний, сопоставимых с работой опытного диспетчера, при решении отдельных задач. В части развития теории в 2010 году Д. Эшли (D.Easley) и Д. Клейнбергом (J.Kleinberg) в развитие метода А. Сандхольма (A.Sandholm) была доказана теорема, устанавливающая эквивалентность задачи о назначениях и итерационных аукционов на виртуальном рынке и подтверждены важные преимущества этого подхода, включая интуитивную понятность для пользователей, устойчивость к вводу новых бизнес-требований, возможность параллельной обработки и т.д. В 2014 году О. Граничиным для задачи вычислений на grid-сетях была доказана возможность подобного решения NP-hard проблем планирования квази-оптимально и за полиномиальное время. В 2010-2017 гг. П. Скобелевым и И. Майоровым был предложен ситуационный подход к управлению ресурсами и

разработана мультиагентная платформа для создания интеллектуальных систем, сохраняющая в сценах контекст ситуации для повышения качества и эффективности планирования в ходе изменения ситуации по событиям.

Вместе с тем в указанных работах не рассматривается возможность применения гибридных методов решения задачи, использующих одновременно преимущества классической оптимизации и динамического перепланирования по событиям реального времени. С развитием современных технологий большое значение получает возможность прямого информационно-коммуникационного взаимодействия с пользователями через планшеты и сотовые телефоны и требуются методов обработки этой информации. Очевидно, что возможность адаптации расписаний по событиям «здесь и сейчас» в ходе коммуникации с участниками процесса планирования в темпе поступления событий и с учетом контекста ситуации, которая складывается в реализации имеющихся заказов имеющимися ресурсами, могла бы существенно усилить оперативность и гибкость в принятии решений и повысить эффективность ресурсов.

В этой связи становится актуальной и значимой задача разработки моделей, методов и средств для создания гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами нового класса, которые бы позволяли строить начальные планы с использованием классических подходов, и далее применять методы адаптивного планирования по событиям в сочетании со средствами коммуникации с пользователями на базе мобильных ПК.

Цель и задачи исследования. Целью является разработка методов и средств создания гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами, сочетающих преимущества классического и мультиагентного подходов для планирования ресурсов, и развития информационно-коммуникационного взаимодействия с пользователями, формирующими и исполняющими планы в реальном времени.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- провести системный анализ и выявить требования к решению современных задач управления мобильными ресурсами на предприятиях грузовых FTL и LTL перевозок, сервисных бригад газовиков и водоканала и доставок товаров из интернет-магазинов;
- формализовать постановку задачи управления мобильными ресурсами как для формирования начального плана, так и для дальнейшего адаптивного перестроения плана по внешним событиям;
- исследовать применимость существующих классических методов оптимизации и выбрать наиболее подходящие для построения начального плана в рассматриваемых задачах;
- разработать методы и средства управления мобильными ресурсами с использованием информационно-коммуникационных взаимодействий с лицами, формирующими и исполняющими план в реальном времени;
- разработать функции и архитектуру гибридной мультиагентной системы управления мобильными ресурсами;
- провести моделирование и экспериментальное исследование применимости разработанных методов и средств для повышения оперативности, гибкости и эффективности использования ресурсов в задачах управления мобильными ресурсами.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются процессы управления мобильными ресурсами для выбранных классов предприятий (грузовые перевозки, мобильные бригады и интернет-доставки). Предметом исследования являются методы и средства управления мобильными ресурсами в реальном времени для повышения эффективности деятельности предприятий.

Методы исследования. В качестве методологической основы решения указанных задач в диссертационной работе использовалась теория расписаний,

метод сопряженных взаимодействий в ПВ-сетях, методы системного анализа, методы исследования операций и дискретной оптимизации, методы виртуального рынка на основе мультиагентных технологий. Для подтверждения теоретических результатов применялись методы математического и имитационного моделирования, а также экспериментальных исследований.

Достоверность результатов обеспечивается применением методологии системного анализа и исследования операций, сравнением результатов исследований с результатами планирования транспортных задач при использовании традиционных методов и средств, практическим применением разработанных промышленных систем в работе предприятий, управляющих грузоперевозками, сервисными бригадами и интернет-магазином в части сборки и развозки товаров.

Научная новизна результатов работы состоит в следующем:

1) проведен системный анализ и предложен подход к формализации задач управления мобильными ресурсами для трех промышленных применений: грузовые перевозки, сервисные бригады и интернет-доставки;

2) на основе Венгерского алгоритма решения задачи о назначениях, модели ПВ-сети и метода сопряженных взаимодействий, предложен гибридный метод построения начального плана и его дальнейшей адаптации по событиям в реальном времени, позволяющий вести расчет себестоимости полного цикла (кругорейса) для задачи грузоперевозок;

3) разработана архитектура гибридной мультиагентной системы управления мобильными ресурсами с информационно-коммуникационным взаимодействием с пользователями и принятием решений «здесь и сейчас» для минимизации времени реакции на фактические события.

4) проведены экспериментальные исследования, показывающие рост эффективности ресурсов при использовании гибридного метода за счет

сочетания классического подхода и адаптивного информационно коммуникационного взаимодействия с пользователями.

Практическая значимость:

1. Разработанные методы и средства позволяют решать широкий круг задач управления мобильными ресурсами в реальном времени.

2. На основе разработанных методов и алгоритмов созданы и внедрены в промышленности мультиагентные системы (МАС) для управления:

- МАС Smart Trucks – для управления грузовыми перевозками;
- МАС Smart Services – для управления сервисными бригадами;
- МАС Smart Delivery – для управления развозками товаров из интернет-магазинов.

3. Результаты исследований и внедрения показывают прирост эффективности использования мобильных ресурсов на 15-40%.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обобщенная формализованная постановка различных задач управления мобильными ресурсами на основе классического и мультиагентного подходов.
2. Гибридный метод, состоящий в построении начального плана Венгерским алгоритмом, и мультиагентные алгоритмы для адаптивной перестройки плана по мере прихода событий для задач управления мобильными ресурсами на основе классического и мультиагентного подходов.
3. Средства информационно - коммуникационного взаимодействия мультиагентной системы с операторами ресурсов на базе мобильных ПК для повышения адаптивности управления мобильными ресурсами.
4. Новые теоретические и экспериментальные результаты исследований на основе разработанных методов и средств, позволяющих повысить среднее число заказов, выполненных мобильными ресурсами на 15-40% за счет

оптимизации начального плана и адаптации его по событиям в реальном времени.

Научная значимость исследований заключается в развитии методов адаптивного планирования в реальном времени на основе мультиагентных технологий в применении к системам управления мобильными ресурсами.

Личный вклад автора:

1. Формализация задачи управления мобильными ресурсами на основе классической задачи о назначениях и современной концепции потребностей и возможностей. Расширение класса базовых агентов ПВ-сети и протоколов их взаимодействия применительно к задаче управления мобильными ресурсами.

2. Формализация задачи расчета себестоимости полного цикла комплектных грузоперевозок (кругорейса). Разработка алгоритма вычисления базовых параметров кругорейса. Предложен гибридный метод для решения комплексной задачи управления кругорейсами, на базе Венгерского алгоритма для задачи о назначениях и модификации результата в реальном времени мультиагентным методом на базе ПВ-сети.

3. Разработка архитектуры для систем управления мобильными ресурсами с информационно-коммуникационными компонентами для взаимодействия с исполнителями и корректировкой решений по факту выполнения.

4. Разработка промышленных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени для управления грузовыми перевозками (Smart Trucks), сервисными бригадами (Smart Services), развозками товаров интернет-магазинов (Smart Delivery).

Реализация результатов работы. Результаты исследования использованы при создании систем управления грузоперевозками, сервисными бригадами и развозками товаров интернет-магазинов. Имеется акт внедрения научных результатов в ООО «НПК «Разумные решения» при выполнении контрактов с

компаниями «Пролоджикс», «Лорри», «Монополия», «СВГК», «Ресурс-Транс», «Инстамарт», «Траско» и рядом других. Результаты были использованы в НИРах Минобрнауки РФ «Разработка прототипа SaaS версии интеллектуальной системы управления сборными грузовыми перевозками, интегрированной с интеллектуальным терминалом водителя и информационно-аналитической подсистемой расчета показателей эффективности грузоперевозок в реальном времени» по государственному контракту № 14.514.11.4080 в 2013 году, «Разработка сетецентрической модели взаимодействия адаптивных планировщиков ресурсов для поддержки согласованной работы федерации (группы) региональных транспортных компаний и повышения эффективности междугородних грузовых перевозок» по государственному контракту № 14.576.21.0014 в 2015 году, выполнявшихся в ООО "НПК "Разумные решения", а также в проекте Минобрнауки РФ и СамГТУ по государственному контракту № 14.574.21.0183 в 2017 году по созданию цифровой платформы для управления бригадами механизаторов предприятия растениеводства. Получены свидетельства РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ:

- 1) № 2009616690 от 02.12.2009 «Мультиагентная система управления транспортными ресурсами».
- 2) № 2012611092 от 26.01.2012 «Мультиагентная система управления грузоперевозками в реальном времени Smart Truck».
- 3) № 2016611179 от 27.01.2016 «Мультиагентная система Smart Logistics для управления сборными грузоперевозками».
- 4) № 2016612708 от 09.03.2016 «Сетецентрическая платформа взаимодействия адаптивных планировщиков ресурсов для поддержки согласованной работы региональных транспортных компаний».

- 5) № 2017615072 от 03.05.2017 «Интеллектуальная система Smart Trucks для управления внутригородскими, междугородними и международными грузоперевозками».
- 6) № 2017615344 от 12.05.2017 «Интеллектуальная система Smart Teams для управления мобильными бригадами и специальной техникой».

Результаты разработок используются в проекте Программы Президиума РАН по теме «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации», в учебном процессе ФГБОУ ВО ПГУТИ в лекционном курсе и лабораторном практикуме по дисциплине «Методология управления», в учебном процессе Самарского университета в лекционном курсе «Моделирование информационных систем», а также в программе научно-исследовательских семинаров по дисциплине «Информационно-аналитические решения в логистике» НИУ «Высшая школа экономики» г. Москва.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались автором на Международной конференции по агентам и искусственному интеллекту (5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART'2013), February 15-18, 2013, Barcelona, Spain); Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (2014 г., Самара); Всероссийской конференции «Реализация прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по приоритетному направлению «Транспортные и космические системы» (2014 г., Москва), на 19-й Международной конференции по информационным системам, кибернетике и информатике (19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2015), Orlando, Florida, USA, July 12-15, 2015); на Девятой международной конференции управление развитием крупномасштабных систем ((MLSD'2016), 2016 г., Москва); на 7-й

международной конференции по сервисам в холонических и мультиагентных системах (7th Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing (SOHOMA 2017), Nantes, France, October 19-20, 2017).

Основные публикации. Результаты диссертации опубликованы в 17 работах, из них 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК, включая 7 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus, 6 работ в трудах международных и всероссийских конференций, 1 учебное пособие.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 85 источников. Текст занимает 155 страниц основной части, содержит 29 рисунков, 22 таблицы и 12 приложений.

1 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1 Общие проблемы управления мобильными ресурсами современных предприятий

Множественные системные изменения, связанные с конвергенцией постиндустриального и информационного общества, которые происходят в настоящее время в области управления различными предприятиями и организациями в промышленности и транспорте, в большинстве своем связаны со стремительным ускорением технического прогресса и переходом к экономике реального времени, где цены могут динамически меняться и решающее значение приобретает возможность считать расходы по ситуации.

Основными характеристиками новых процессов принятия решений по управлению ресурсами в постиндустриальном информационном обществе можно считать следующие:

- сетевую организационную структуру, которая сместила иерархию, что вызвало появление таких новых предприятий как Uber (можно уже говорить о феномене «юберизации» ресурсов). Горизонтальная система таких малых организационных «бизнес-ячеек» (до уровня отдельных машин и водителей – как самостоятельных бизнес-элементов) оказывается более современной, чуткой и адаптивной, также в горизонтальной системе организационного строя высок процент взаимозаменяемости;
- самоорганизацию в качестве доминирующей методологической концепции эволюционного развития простейших малых объектов и их кооперации;
- уровень инфообмена, преобладающий в обществе - глобальный, взамен местного и регионального. Те структуры, которые не имеют свободного доступа к внешним глобальным ресурсам, как правило, не участвуют в управлении крупными предприятиями. Отчасти это связано также и с

невозможностью осуществлять постоянный мониторинг внутренних процессов в собственном же информационном пространстве.

Перед большим количеством современных организаций встает необходимость решения вопроса эффективного управления ресурсами в режиме реального времени. В первую очередь речь ведется о тех организациях, которые располагают существенным количеством единиц ресурсов разного рода, находящихся в работе единовременно, выполняющих множество операций в течение дня, причем временные периоды заранее не определены, оперирующих на существенных территориях, зачастую на уровне национального масштаба, и ориентированных на удовлетворение заказов и требований различного плана. Эффективное решение возникающих задач для таких организаций является критическим, потому как без применения автоматизированных управленческих систем, нацеленных на планирование ресурсов, данные предприятия не способны развиваться, решать встающие перед ними вопросы и задачи, быть конкурентоспособными и эффективными.

Решение обозначенной задачи требует новых моделей и методов, алгоритмов и программных средств, которые дадут возможность оперативно создавать и гибко перестраивать расписания в режиме реального времени. Гибкость здесь предполагает автоматическую оперативную реакцию на незапланированные события с маневром по подбору или замене ресурсов (например, срочный заказ, форс-мажорные ситуации, незапланированные ремонтные работы, различные отказы со стороны инфраструктуры). При этом может браться во внимание множество разнообразных критериев: максимальная скорость удовлетворения заказа, минимальный холостой пробег, равномерная загрузка ресурсов, минимальные риски срыва сроков заказов и т.д. Часто необходимо учитывать непредвиденные события с условием минимизации отклонения движения транспорта от запланированного графика.

Основная часть традиционных подходов предполагает, что общий пул заказов (для планирования пассажиропотока или грузопотока) и ресурсов (имеющихся в наличии доступных подвижных составов, планов ведения ремонтных работы, инфраструктуры и т.п.), а также возможных предпочтений и ограничений заранее известен. Получаемый в результате применения классических методов решения задачи план работы ресурсы часто рассматривается как глобально оптимальный и статичный. Но на самом деле, получаемые планы не учитывают множества особенностей предметной области, которые просто «не вписываются» в рамки существующих методов и средств, т.к. часто задаются алгоритмически в виде правил и т.п. Более того, чтобы доработать такой план на 100 грузовиков и 1000 заказов вручную требует серьезных трудозатрат. Более того, в реальной работе порождаемый за ночь «оптимальный план» развозки на текущий день необходимо постоянно подгонять под реалии работы диспетчерской службы, где, например, нормой являются нечеткие сроки доставки, задержки в пути из-за пробок либо по причине поломок ресурсов, отказов заказчиков от ранее подтвержденных заказов, отгулы водителей, необходимости учитывать наличие и срок действия разрешительных документов на водителя и на транспортное средство, т.е., несоответствие построенного плана особенностям текущей ситуации, которая постоянно меняется, делает построенный план нежизнеспособным, а зачастую и вовсе не применимым, не нужным.

Помочь пользователям решать такие задачи могла бы интеллектуальная система, которая позволит диспетчерам в полуавтоматическом режиме интерактивно дорабатывать создаваемые расписания, а далее адаптировать составленный изначально план к новым событиям. В этом случае необходимо, чтобы каждое новое событие активировало обработку соответствующих ресурсов и заказов, запуская цепь операций перепланирования, которые могут достигать различной глубины в зависимости от различных факторов –

управление таким процессом вычислений должно стать одним из требований к рассматриваемым системам. В том случае, если имеется запас времени, можно подвергнуть расписание большей «оптимизации» и учесть больше интересов всех участников процесса, потому как каждый заказчик, ресурс или заказ, груз, водитель или транспортное средство могут обладать собственными специфическими критериями, предпочтениями и ограничениями. Для того, чтобы сократить перебор при решении данного вопроса, в ходе планирования можно использовать различные эвристики (комплексы правил, определяющих наилучшую альтернативу) и мета-эвристики (стратегия подбора эвристики), которые позволят обеспечить эффективные решения за приемлемое время, сокращая временные затраты на перебор и делая его более узким, осознанным и направленным. В число популярных эвристик входят "жадные методы", которые предполагают последовательное решение при помощи выбора на каждом этапе наилучшей альтернативы, учитывая то, что принятое решение не пересматривается. Куда более сложными можно считать методы локальной оптимизации, в которых полученное некоторым способом начальное приближение улучшается за счет локальных изменений. В том случае, если лучшее решение не найдено, можно активизировать новую начальную генерацию первого приближения и начать повторять процесс. Но такие методы перебора обычно требуют серьезных временных затрат на планирование и расчет – до десятка часов. К примеру, для расчета оптимального плана большой транспортной компании (сотни грузовиков и тысячи заказов), известному пакету программ требуется около восьми - десяти часов, за этот период, требуемый для обработки, ситуация может существенно измениться (в отношении объема заказов или наличия доступных ресурсов), что приведет к нецелесообразным временным затратам на повторное планирование. При этом и сам начальный план, по мнению опытных диспетчеров, оказывается в принципе не реализуемым за счет невозможности учесть ряд важных факторов (интересы супермаркетов,

требований по сбору обратной тары и т.д.). Это наглядно демонстрирует существующие ограничения применяемых методов и средств планирования, не способных работать в режиме реального времени, для которых гибкая адаптация на основе поступающих событий реализуется в основном ручными коррективами диспетчеров. По оценкам специалистов в настоящее время автоматически созданные расписания в среднем осуществимы лишь на 40%, это и приводит к необходимости содержать большой штат диспетчеров и других специалистов (логистов и т.д.), способных осуществлять ручное согласованное планирование. Данные обстоятельства существенно снижают эффективность применения имеющихся в наличии методов и средств, а также затрудняют их практическое применение. Ограничения традиционных алгоритмов становятся критичными в этих условиях высокой динамики событий, конфликтных ситуациях, в ходе появления нечетко определенных задач, к тому же меняющихся по ситуации. Эти задачи требуют разработки принципиально нового класса интеллектуальных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени.

В этой связи растет число теоретических и прикладных научных работ в части поддержки принятия решений по управлению мобильными ресурсами. Работа [1] охватывает вопросы разработки управленческих систем и взаимодействия экономических структур для построения конфликтно-устойчивых решений. Показывается, что появление глобальной сети Интернет принципиально изменило роль информации в различных сферах деятельности. Отмечается целесообразность создания интеллектуальных систем, которые призваны обеспечить системное накопление, обобщение и анализ различных сведений для принятия решений, и на данной основе – формирование оперативных предложений по решениям возникающих проблемных ситуаций.

Показывается и анализируется специфическая роль конфликтов среди участников принятия решения в ходе их взаимодействия. Отмечается, что

конфликтами является не только (и не столько) негативно окрашенное противостояние участников, сколько многоплановые системные явления, феноменология которых выражается такими аспектами, как специфическая форма взаимодействия двух и более автономных системных единиц; динамическая модель, в котором будущее не является составной частью прошлого; регулирующая область самоорганизации систем, которая обуславливает нелинейный, неустойчивый и, что важно, необратимый характер процессов взаимодействия и развития и т.д.

Все большее значение в этих условиях приобретает видение любого бизнеса мобильных ресурсов как сложной адаптивной системы [2], состоящей из почти полностью автономных частей, объединенных в открытую и гибкую сеть, непрерывно изменяющуюся в условиях априорной неопределенности внешней и внутренней среды и высокой динамики (турбулентности) непредвиденных событий, связанных с изменением спроса и предложения на рынке.

Управление таким бизнесом требует создания распределенных интеллектуальных систем нового поколения, автоматизирующих процессы принятия решений, построенных не как традиционные закрытые, централизованные, монолитные и последовательны ИТ системы, но как цифровые платформы «Искусственного интеллекта» (ИИ) и эко-системы умных сервисов, способных к автономному, асинхронному и параллельному функционированию, реагирующих на события, планирующих и согласовывающих свои действия в условиях наличия множества противоречивых интересов и ограниченных ресурсов, а также контролирующих исполнение намеченных планов в реальном времени.

Построение принципиально нового класса такого рода ИИ систем становится возможным на основе баз знаний, мультиагентных технологий и технологий машинного обучения, обеспечивающих возможность создания самоорганизующихся систем управления ресурсами с «эмерджентным

интеллектом», в которых агенты работают как одна команда и принимают решения в консенсусе интересов, извлекают знания из опыта, обучаются и эволюционируют подобно колонии муравьев или рою пчел в живой природе.

Ожидаемый результат для бизнеса: снижение сложности и трудоемкости процессов управления ресурсами в 2-3 раза, повышение эффективности использования ресурсов на 15-40%, повышение качества принятия управленческих решений на 60-80% за счет большей достоверности данных и точности расчетов, возможности сопоставления вариантов решений, моделирования и прогнозирования, сокращение на 60-90% зависимости от персонала и человеческого фактора и т.д.

В работе [3] предлагается системная модель ресурсного взаимодействия между различными субъектами рынка. Данная модель учитывает конфликтный характер решения этой задачи, представлен комплекс математических моделей, которые имитируют динамику взаимодействия субъектов и ресурсов по отношению к предмету исследования, представлены алгоритмы принятия решений и анализа эффективности обеспечения устойчивого к конфликтам ресурсного взаимодействия между субъектами как в структурно-параметрическом, так и в логико-лингвистическом представлении.

Работа [3] указывает на то, что изучение способа функционирования сложных адаптивных систем в реальных условиях дает возможность выявить требования к созданию такого рода самоорганизующихся и эволюционирующих организационно-технических систем, соответствующих организационным принципам построения систем в живой природе.

В работе отмечается, что такие важные свойства рассматриваемых систем как гибкость, модульность, робастность и способность к самоорганизации можно получить с использованием нескольких бионических подходов, например, мультиагентных технологий. Несмотря на кажущиеся серьезные различия многих подходов, рассмотренные в статье парадигмы объединены

общей точкой зрения на любую производственную систему как на автономную, адаптивную и распределенную сложную адаптивную систему.

1.2 Примеры типовых задач управления мобильными ресурсами

В качестве примеров характерных задач управления ресурсами для дальнейшего анализа были выбраны следующие:

1. Управление крупными комплектными грузоперевозками характеризуется следующими типичными значениями: более 100 крупнотоннажных грузовиков на линии, более 60 заказов в день, горизонт 1-5 дней, 150 точек развозки, время на заказ 15 мин, критерии – прибыль, выгодное направление для кругорейса, время перевозки и риски, равномерность пробега машин, режимы работы водителей, штрафы за опоздание, типы грузов и тары, время работы складов, времена стыковок и др.
2. Управление сборными грузоперевозками характеризуется следующими типичными значениями: не более 20 мелко и средне тоннажных грузовиков на линии, более 150 заказов в день, горизонт 1-2 дня, 350 точек развозки, время на заказ 2 мин, критерии – прибыль, выгодное расположение для подъезда, время перевозки и риски, типы грузов и тары, временные окна доставки и работы складов консолидации грузов.
3. Управление сервисными бригадами – число событий в день от 50 до 250 заявок, число ресурсов – 50 бригад; горизонт планирования соответствует текущей смене (8-12 часов); время на события – до 1 минуты, критерии – важность заявки (критическая, важная, средняя), максимизация количества выполненных заявок, минимальный пробег транспорта.
4. Управление сборкой и доставкой мелких товаров из интернет-магазинов характеризуется следующими типичными значениями: более 10 магазинов забора товаров по городу, 2-3 сборщика в каждом магазине, не более 20 курьеров по городу на автомашинах или пикапах, более 200 заказов в день,

горизонт текущий день, 450 точек развозки, время на заказ 2 мин, критерии – минимальное время сборки товара в ближайшем к клиенту магазине, попадание в желаемое клиентом временное окно с учетом сборки и доставки, минимальное число курьеров, минимальный пробег.

В ходе изучения данных задач были выявлены следующие важные особенности задач управления ресурсами в реальном времени (табл. 1.1):

Таблица 1.1 – Особенности задач управления ресурсами в реальном времени

Особенности задач управления транспортными ресурсами	Трудности на практике
Заказы и ресурсы на практике никогда не известны заранее	Заказы поступают в непредсказуемое время, имеются отказы ресурсов и т.д.
Планирование обычно рассматривается как сверху вниз централизованный пакетный процесс	На практике процесс непрерывный, распределенный и интерактивный, с многократными согласованиями
Задержки в обработке событий становятся причиной увеличивающегося разрыва между планами и реальностью	Приходится резервировать ресурсы и делать страховые запасы, что вызывает падение эффективности
Участники оперируют различными критериями, своей логикой, ограничениями и предпочтениями	Процессы принятия решений носят индивидуальный характер для каждого участника
Большое разнообразие объектов и отношений, факторов, ситуаций, заказов и ресурсов.	Необходимо полноценно учитывать весь контекст ситуации, включающий сотни и тысячи деталей.
Комбинаторный поиск вариантов является NP-трудной задачей и может потребовать много часов даже для малого бизнеса	Многие события требуют немедленной реакции (секунды и минуты), в противном случае деньги и время будут потеряны с уменьшением эффективности
Игнорируются многие конкретные частные критерии, предпочтения и ограничения для заказов, грузовиков и водителей	Нет одного «оптимального» решения для всех – в каждой ситуации ищется свой баланс

	интересов для участников и должен быть найден консенсус между ними
Взаимосвязанность решений может вызвать длинные волновые эффекты перестройки расписаний	Трудно рассчитать полную реконструкцию маршрутов, планов и расписаний на каждое событие
Ситуативность: количество и значение критериев зависят от результатов и изменяются в процессе вычислений	Новые события могут изменить критерии, предпочтения и ограничения для создания и пересмотра расписаний
Знания предметной области, как правило, скрыты и непрерывно изменяются с течением времени	Трудно выявлять важные знания и учиться из опыта, включая переопределение ограничений.
Часть знаний для принятия решений в настоящее время доступны только в виде накопленного опыта сотрудников (логистов, диспетчеров, водители и др.)	Требуется непрерывное согласованное взаимодействие для принятия решений не только с руководителями, но и с конкретными исполнителями процесса перевозки.

Анализ выявленных особенностей рассматриваемых задач показывает, что требуется новая парадигма в разработке интеллектуальных систем управления мобильными ресурсами, более отвечающая представлению о сложных адаптивных системах в бизнесе.

1.3 Задача построения маршрутов и существующие методы решения

Одной из главных задач в управлении транспортными ресурсами является задача построения маршрутов доставки. В зарубежной литературе данная проблема известна под названием VRP (Vehicle Routing Problem), впервые описанная в работе [4], является одной из актуальных и значимых задач современной теории оптимизации. Первоначальная постановка восходит к известной задаче коммивояжера [5], а множество модификаций учитывает разнообразие практических задач, классификация которых приведена в [6, 7]. Чаще всего в задачах VRP необходимо учитывать временные окна прибытия грузовика на погрузку, что приводит к разновидности задачи VRPTW (Vehicle

Routing Problem with Time Windows), которые рассматриваются в [8]. Общее во всех постановках – наличие требований минимизации длины маршрута, времени движения с учетом различных ограничений: временные окна загрузки и доставки, ограничения на объем и тип перевозимых грузов.

Традиционные подходы к решению задач распределения транспортных ресурсов основаны на применении комбинаторных методов, в которых ищется решение оптимизационных задач модификациями порядка перебора вариантов в пространстве допустимых решений. В худшем случае, если не удастся как-то отбросить заведомо неоптимальные варианты, для нахождения оптимального решения приходится перебирать все допустимые варианты решений (используя так называемый «brute force» -метод грубой силы). К классическим относится линейное программирование, основы которого разработаны в работах Л. Канторовича и Д. Данцига [9]. Применяются также методы динамического программирования, путем уменьшения числа ограничений за счет сведения к нелинейным задачам [10,11].

Среди точных методов решения отдельно стоит выделить метод ветвей и границ [12], суть которого сводится к построению подзадач на подмножествах допустимых решений с помощью рекурсии. Строится дерево поиска оптимального решения. Подсчитываются верхние и нижние оценки каждой подзадачи, что позволяет отбрасывать заведомо неперспективные варианты. Однако в общем случае сложность вычислений растет экспоненциально с ростом размерности задач оптимизации. Так, например, данный метод находит точное решение задачи при условии, что количество заказов не будет превышать некоторого лимита в (80-100 единиц).

При большем количестве заказов время, необходимое на нахождение решения, резко увеличивается и использование его в реальных системах планирования не представляется возможным.

Более детальный анализ сложностей классических алгоритмов приведен в работе П. Брукера [13].

1.4 Эвристические и метаэвристические методы

Большое распространение в задачах планирования транспортных ресурсов получили эвристические методы [14-16], где строится приближенное решение на основе применения разнообразных эмпирических правил. Эвристические методы производят относительно ограниченный поиск по пространству решений, и обычно находят хорошие решения за приемлемое время. Метаэвристические методы делают упор на тщательном изучении наиболее перспективных частей пространства решений. Качество получаемых решений получается выше, чем у полученных классическими эвристиками. Эвристические и метаэвристические методы являются более подходящими для решения поставленной задачи с точки зрения практического использования в системах планирования реального времени, но только в задачах построения начального плана. Однако результаты их работы бывают далеки от оптимальных [17].

Генетические алгоритмы управления ресурсами

Генетический алгоритм (ГА) – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли

скрещивания в живой природе. Д. Голдберг [18] рассмотрел наиболее распространенные генетические алгоритмы. Использование генетического алгоритма в задачах управления мобильными ресурсами рассмотрено в [19]. Классический генетический алгоритм (также называемый элементарным или простым генетическим алгоритмом) состоит из следующих шагов:

- инициализация, или выбор исходной популяции хромосом;
- оценка приспособленности хромосом в популяции – расчет функции приспособленности для каждой хромосомы;
- проверка условия остановки алгоритма;
- селекция хромосом – выбор тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции;
- применение генетических операторов – мутации и скрещивания;
- формирование новой популяции;
- выбор «наилучшей» хромосомы.

Главным недостатком генетического алгоритма в решении задачи VRP является частая сходимость к локальному оптимуму, вместо нахождения глобального оптимума. И задача получения приемлемого расписания данным алгоритмом в реальном времени становится тяжело достижимой.

Табу-поиск

Метод табу-поиска (Tabu-search) подразумевает локальный поиск в дереве решений и может комбинироваться с другими подходами первичного построения плана и кластеризации точек объезда [20]. В отличие от простого локального поиска решений, данный алгоритм запоминает не только оптимальное решение, но и не оптимальные, пытаясь достичь глобального оптимума. Недостатком метода является требование к памяти, для хранения оптимальных и неоптимальных решений, а также применимость данного метода

только в комплексе с каким-либо другим подходом первичного построения плана. Тем не менее, данный метод позволяет получить весьма точные и качественные результаты.

Метод сбережений Кларка-Райта

Метод Кларка-Райта был разработан двумя британскими учеными Г. Кларком (G. Clarke) и Дж.В. Райтом (J.W. Right) [21]. Несмотря на давность разработки (метод опубликован в 1963 г.), он до сих пор остается самым популярным методом для решения VRP задач, о чем свидетельствует практика его применения. Метод Кларка-Райта относится к числу приближенных, итерационных методов и предназначается для компьютерного решения задачи развозки. Погрешность решения не превосходит в среднем 5-10%. Достоинствами метода являются его простота, надежность и гибкость, что позволяет учитывать целый ряд дополнительных факторов, влияющих на конечное решение задачи. Так, например, для задачи построения начального плана, когда имеются все исходные точки он состоит из следующих этапов:

1. Построение начального плана, когда имеются все исходные точки. Для каждой точки строится маршрут доставки с условием, что в этом маршруте не будут осуществляться заезд в другие точки.
2. Рассчитывается выигрыш для все попарных объединений маршрутов, который определяется как сокращение пробега ресурсов для выполнения заказов в консолидированном маршруте.
3. Попарное объединение маршрутов с максимальной прибылью. Если максимальный выигрыш нулевой или отрицательный, то алгоритм завершается.
4. Оценивается возможность объединения маршрутов с учетом наличия транспортных средств необходимой вместимости и выполнения других заданных ограничений. Для этого необходимо рассчитать общий объем

перевозимого ресурса как сумму ресурсов объединяемых маршрутов. Если объединение невозможно, то переход к шагу 5.

5. Производится корректировка текущих значений параметров в связи с объединением маршрутов.

6. Реальное значение выигрыша от объединения заменяется отрицательным для сходимости алгоритма.

7. Переход к п. 3 – до тех пор больше нет решений.

Приведенный алгоритм показывает характерные особенности целого класса современных алгоритмов, особенностью которых является наличие одной целевой функции (фитнес функции), которая оптимизируется.

Как будет показано далее, мультиагентные подходы позволяют создавать агентов с собственными фитнес-функциями и обеспечивать их переговоры с уступками для улучшения расписания по согласию всех сторон участников.

1.5 Анализ ограничений существующих методов и систем управления мобильными ресурсами

К настоящему времени рядом компаний разработаны различные информационные системы управления ресурсами, реализующих концепции ERP и MES [22].

Лидерами на мировом рынке, в том числе применительно к транспортным предприятиям, являются SAP, Oracle, Microsoft и некоторые другие. Рассмотрим наиболее популярные системы управления транспортными ресурсами на рынке РФ.

SAP SE – германская компания, производитель программного обеспечения для организаций [23]. Компания занимается разработкой автоматизированных систем управления такими внутренними процессами предприятия, как бухгалтерский учет, торговля, производство, финансы, управление персоналом,

управление складами и т. д. Самый известный продукт компании – ERP-система SAP ERP ECC (enterprise central component), ориентированная на крупные и средние предприятия, разрабатываемая и продаваемая компанией более 20 лет. В планировании транспортных задач SAP использует планировщик SAP Transport Management (SAP TM). Этот модуль использует последние достижения в теории оптимизации, такие, например, как теория ограничений и различные оптимизационные библиотеки. Оптимизация производится с помощью математического программирования, программирования ограничений и генетических алгоритмов.

1С: Предприятие 8. Управление автотранспортом – российская разработка, популярность которой связана с широко распространенными решениями 1С [24]. Программный продукт предназначен для автоматизации управленческого и оперативного учета в автотранспортных предприятиях и организациях, а также в автотранспортных подразделениях торговых, производственных и прочих предприятиях, использующих автотранспорт для собственных нужд. Система обеспечивает следующие основные возможности:

- оформление заказов на транспортные средства, формирование суточной разнарядки и маршрутных листов;
- выписка и обработка путевых листов грузовых и легковых автомобилей, специальной техники;
- настройка норм расхода ГСМ, учет поступления и выдачи ГСМ;
- учет ремонтов и планового технического обслуживания автотранспорта;
- учет установленных шин, аккумуляторов, аптечек и произвольного оборудования;

- контроль окончания сроков действия документов, выданных на водителей и транспортные средства (медицинские справки, полисы ОСАГО, талон ТО и др.);
- ведение прейскурантов и тарифов на транспортные услуги, расчет их стоимости, формирование счетов и актов;
- начисление заработной платы водителей, формирование табеля учета рабочего времени;
- учет прямых и косвенных затрат.

В подсистеме планирования реализованы возможности создания планов работы автотранспорта и дальнейшего план-фактного анализа. Планы работы можно задавать с периодичностью от одного дня до года и настраивать в следующих разрезах:

- автомобили;
- модели автомобилей;
- типы автомобилей;
- номенклатура;
- номенклатурные группы.

Фактические данные формируются на основании обработанных путевых листов. На основании введенных планов и закрытых путевых листов можно сформировать отчет по план-фактному анализу. Система вышла на рынок в 2010 году. Данные о том какие методы оптимизации или оптимизационные библиотеки используются в системе планирования разработчик системы не разглашает.

AXELOT: TMS Управление транспортом и перевозками – российская TMS система (Transportation Management System) разработана на платформе 1С, предназначена для комплексной автоматизации процессов управления

транспортом и перевозками грузов [25]. Программный продукт может использоваться как в компаниях, выполняющих перевозки для собственных нужд, так и в транспортных предприятиях, оказывающих услуги по перевозке грузов. Перевозки могут осуществляться как с помощью собственного, так и с помощью привлеченного транспорта. Система состоит из ряда функциональных модулей:

- «Управление автотранспортом»,
- «Управление перевозками»,
- «Спутниковый мониторинг»,
- «Android-клиент для водителей».

Перевозки могут выполняться в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. Планирование рейсов выполняется в три шага:

- геокодирование адресов;
- выбор транспортных средств или типов транспортных средств, которые будут участвовать в планировании;
- формирование рейсов.

Система вышла на рынок в 2010 году. Данные о том какие методы оптимизации или оптимизационные библиотеки используются в системе планирования разработчик системы не разглашает.

ОПТИМУМ ГИС – российская TMS система предназначена для автоматизации транспортной логистики (планирования маршрутов доставки грузов), спутникового GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта, формирования маршрутов и GPS/ГЛОНАСС мониторинга выездного персонала, любых мобильных сотрудников (торговых представителей, мерчендайзеров, оперативных ремонтных бригад, сервисных инженеров, банковских агентов и т.п.) [26]. Основные возможности:

- автоматическое и ручное планирование оптимальных маршрутов с помощью электронной карты, включая генерацию пути с учетом направлений, проходимости дорог, транспортных развязок и удаленности объектов друг от друга;
- оперативная передача информации на мобильное устройство сотрудника и с маршрута в офис;
- создание и распечатка сопроводительных документов, подробного плана по дневному маршруту водителя-экспедитора;
- контроль нецелевого использования и оптимизация работы автотранспорта с помощью таких возможностей, как:
 - ✓ GPS ГЛОНАСС мониторинг транспорта, контроль расхода топлива и т.д;
 - ✓ передача данных мониторинга в офис для последующего анализа;
 - ✓ учет при составлении маршрутов территориального деления сотрудников и подконтрольных им объектов;
 - ✓ учет времени работы на объекте при расчете времени маршрута.

Система вышла на рынок в 2009 году. Данные о том какие методы оптимизации или оптимизационные библиотеки используются в системе планирования разработчик системы не разглашает.

Система управления транспортом ANTOR IDP – российская программа для грузоперевозок [27] помогает логисту определить оптимальный путь следования машины с порядком остановок, учитывая более 50 параметров, значимых при перевозке на большие расстояния:

- объем кузова;
- грузоподъемность тягача/прицепов;
- габариты и вес груза;

совместимость категорий грузов;

дорожная сеть;

рабочее время водителя и т.д.

Система вышла на рынок в 2004 году. Данные о том какие методы оптимизации или оптимизационные библиотеки используются в системе планирования разработчик системы не разглашает

ГИС "СИТИ-Доставка/ЭРМА СОФТ" – российская программа предназначена для планирования ежедневных рейсов доставки продукции клиентам в большом городе /регионе [28]. Основные возможности:

- ввод и отображение на электронной картографической основе ежедневных заявок на доставку продукции;
- планирование рейсов доставки продукции со складов Заказчикам, включающее:
 - автоматизированные режимы предварительного распределения заявок по машинам (рейсам), обеспечивая по возможности максимальную загрузку автомобилей по весу/объему, минимизацию суммарного пробега по маршрутам, не превышая заданную для каждого автомобиля грузоподъемность и дополнительные ограничения;
 - режимы, позволяющие учитывать при планировании: географические зоны, категории транспорта и заказов, фиксированные рейсы.
- прокладка маршрутов, создание оптимального порядка объезда точек доставки;
- визуализация рейсов на картографической основе, расчет параметров: пробег, временной график, расход топлива, стоимость доставки;

- печать отчетных документов (заявок, маршрутных листов, фрагментов карты), создание дополнительных отчетов по заданному пользователем шаблону;
- интеграция с корпоративной системой заказчика: 1С, BASIS, Ахapta, Галактика, Парус и другими системами, работающими на базе Access, Excel, MS SQL Server, Oracle, Sybase;
- ведение справочников: точки маршрутов (клиенты), автомобили, водители, склады, зоны и др.

Результаты планирования:

- перечень маршрутов на указанную дату с перечислением пунктов доставки и порядка следования в виде маршрутного листа;
- сводные документы и отчеты по заданному пользователем шаблону.

Система вышла на рынок в 2013 году. Данные о том какие методы оптимизации или оптимизационные библиотеки используются в системе планирования разработчик системы не разглашает.

Система управления транспортом «Smart Trucks» – первая российская TMS система для управления транспортными ресурсами в реальном времени на основе мультиагентных технологий [29]. Основные функциональные возможности:

- основной web-интерфейс системы:
 - быстрый ввод нужных данных;
 - поддержка неограниченного количества точек погрузки / разгрузки в рамках заказа;
 - контроль правильности ввода данных;

- адаптивное распределение, планирование и оптимизация процессов исполнения заказов;
- автоматическое, полуавтоматическое и ручное размещение заказов на ресурсы с учетом их положения и состояния, планов поездок и периодов их недоступности;
- возможность самостоятельно выбрать любой альтернативный, из множества проанализированных системой вариантов размещения ресурсов на заказе;
- постоянная оптимизация ресурсов до момента фиксации распределения и планирования заказов;
- расчет индивидуальной экономики каждого заказа, ресурса, кругорейса;
- использование контекста ситуации в ходе планирования, учитывающего особенности заказов и ресурсов, положение машин и их планы;
- автоматическое перепланирование в реальном времени с учетом фактических данных о прибытии на погрузку / разгрузку (прибытие раньше, опоздание по причине ДТП, поломки и т.д.);
- согласование исполнения заказов через Интернет или сотовые телефоны водителей (через АРМ водителя - мобильное приложение).
- АРМ водителя (мобильное приложение Android):
 - передача заказа на мобильное устройство;
 - подтверждение приема заказа;
 - отметка выполнения операции;
 - ввод непредвиденных событий;
 - мессенджер для коммуникации с диспетчером.
- мониторинг и контроль выполнения заказов:

- определение фактического времени выполнения каждой операции на основе данных, полученных:
 - напрямую от водителя, через мобильное устройство;
 - по отметкам диспетчера;
 - по данным GPS грузовика.
- мониторинг местоположения ресурсов по плану (по данным системы планирования) и фактического (по данным GPS) на электронной карте;
- отображение векторов движения и ближайшего пункта остановки для каждого отдельного ресурса;
- просмотр истории движения ресурса как по плановому, так и по фактическому маршруту за любой промежуток времени;
- определение, обновление и контроль состояния ресурсов (порожний пробег, погрузка, транспортировка, разгрузка, свободен);
- контроль выполнения заказов с учетом заданных параметров;
- мониторинг расписания ресурсов на временной оси состояния в форме диаграммы Ганта.
- заблаговременная выдача предупреждений или рекомендаций в случаях, когда: грузовик отклоняется от запланированного маршрута, подъезжает близко к точке погрузки/выгрузки, после текущей заявки на грузовик больше ничего не запланировано, введена заявка с портала заказчика и др.

Система вышла на рынок в 2009 году. Система была спроектирована и реализована в программном коде при непосредственном участии автора работы, о чем имеются свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, в приложении. В настоящее время на рынке представлено уже третье поколение данной системы. В качестве методов и алгоритмов оптимизации в данной системе успешно применяются методы и алгоритмы, разработанные в рамках данной диссертационной работы.

Система управления персоналом мобильных подразделений предприятия «SmartTeams» – система для управления мобильными бригадами в реальном времени на основе мультиагентных технологий [30]. Основные функциональные возможности:

- основной web-интерфейс системы:
 - автоматическое, полуавтоматическое и ручное размещение заявок;
 - постоянная оптимизация ресурсов до момента фиксации распределения и планирования заявок;
 - автоматическое перепланирование в реальном времени с учетом внешних изменений;
 - расчет экономических показателей по каждой заявке и исполнителю;
 - мониторинг и контроль выполнения планов работ с помощью карт и диаграмм в режиме реального времени;
 - ведение справочников заявок, организаций, исполнителей и многое другое.
- набор быстрых и удобных интерфейсов для легкого и эффективного управления персоналом:
 - гибкий интерфейс с возможностью настройки под конкретного пользователя;
 - мобильное приложение для исполнителей работ; информативная центральная панель руководителя организации о состоянии работ и ресурсов;
 - широкий диапазон настраиваемых учётных форм;
 - настраиваемый модуль взаимодействия с внешними системами (1С: Предприятие, SAP R/3 и др.);
 - интеграция с системами навигации (GPS/ГЛОНАСС);

Система вышла на рынок в 2011 году. Она была спроектирована и реализована в программном коде при непосредственном участии автора диссертационной работы, о чем имеются свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в приложении. В настоящее время на рынке представлено уже второе поколение данной системы. В качестве методов и алгоритмов оптимизации в данной системе успешно применяются методы и алгоритмы, разработанные в рамках данной диссертационной работы.

Краткий список основных систем управления мобильными ресурсами и применяемых в них методах приведен в Таблице 1.2.

Таблица 1.2. Перечень основных систем управления мобильными ресурсами

Название продукта	Разработчик	Основные характеристики
SAP Transport Management	SAP	Оптимизация с помощью методов математического программирования и генетических алгоритмов, нет средств инфокоммуникационного взаимодействия (мобильного приложения) и адаптивной перестройки по фактическим событиям
1С: Предприятие 8. Управление автотранспортом	1С-Парус	Ориентирована на учетные функции: формирование путевых листов, учет расхода гсм и других затрат по нормам, расчет з/п водителей. Нет модуля пакетного и адаптивного планирования маршрутов и электронных карт, нет мобильного приложения
TMS Управление транспортом и перевозками	1С-Акселот	Учетные функции и формирование маршрутов в пакетном режиме с визуализацией на карте, есть мобильное приложение водителя для отправки заданий, но нет адаптивной перестройки плана по фактическим событиям

ОПТИМУМ ГИС	ОПТИМУМ	Планирования маршрутов и мониторинг транспорта с визуализацией на карте, распечатка документов, приложение экспедитора – но без адаптивности
ANTOR IDP	Антор	Спутниковый мониторинг и маршрутный оптимизатор на карте с набором методов, учитывающий более 50 параметров, значимых при перевозке на большие расстояния, но нет адаптивного планирования и мобильного приложения для коммуникации с пользователями
ГИС «СИТИ-Доставка»	ЭРМА СОФТ	Планирование ежедневных рейсов доставки продукции клиентам, учетные функции, карта, нет адаптивной оптимизации и мобильного приложения

Анализ функциональных возможностей рассмотренных систем позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Ориентированы на учет и формирование документов, а не на управление процессом и адаптивную корректировку ближайших планов по ходу перевозки.
2. Ограниченный характер методов и средств поддержки процессов принятия решений по распределению, планированию, оптимизации и контролю мобильных ресурсов – в основном на основе классических средств оптимизации.
3. Централизованная схема управления, построенная на последовательной схеме выдачи команд-инструкций «сверху вниз», без возможности их адаптивного изменения по возникновению новых событий и факту исполнения от исполнителей.
4. Внутренняя пассивность, планирование только в пакетном режиме «по инициативе» диспетчера, а не по изменению состояния внутри системы на

основе фактических событий, поступающих от непосредственных участников процесса ресурсов, формирующих и выполняющих план.

5. Массовая стандартизация и унификация работы не учитывает индивидуальные предпочтения и ограничения клиентов, водителей, диспетчеров и логистов: прокладка маршрута вблизи родного города водителя, заправка на АЗС с системой скидок, возможности предвидеть и запланировать отдых водителя и т.д.

Кроме того, все указанные методы и средства являются пакетными (не адаптивными), не дают средств интерактивной доработки планов, закрыты и не позволяют наращивать факторы сложности – добавлять новые сущности с их особенностями, предпочтениями и ограничениями.

1.6 Мультиагентные методы

В связи с рассмотренными выше сложностями и особенностями управления мобильными ресурсами современных предприятий в последнее время развитие приобретает распределенный подход к управлению ресурсами.

Один из таких подходов представляет теория активных систем (ТАС), включающая математический аппарат, использующий понятие активных управляемых субъектов, разработанная В. Н. Бурковым и Д. А. Новиковым [31]. В ТАС управляемые объекты обладают возможностью выбора не только своего состояния, но также методов и стратегий его достижения, с учетом предпочтений и ограничений. Модели активных систем задаются составом, структурой связей между участниками, иерархиями подчинения, динамикой и порядком функционирования, целевыми функциями, множеством допустимых состояний, способом обмена информацией. Решаются задачи синтеза механизмов управления и оптимального состава систем. Одной из самых важных прикладных задач ТАС является систематизация применений механизмов управления в различных предметных областях.

Развиваются синтетические направления, такие, как теория управления организационными системами [32]. Производственные и транспортные системы разного рода могут трактоваться как частный вид организационных систем. Организационная система задается ее структурой, составом, функционированием с точки зрения выбора допустимых стратегий. Под управлением в организационной системе полагаются воздействия на нее для обеспечения необходимого поведения. Исследуются такие воздействия, как управление структурой и составом, ограничениями, порядком функционирования, предпочтениями, объемом обладаемой информации. Рассматриваются различные механизмы контроля, планирования, стимулирования, оценивания оптимизации, изменения структуры ресурсов и технологических графов процессов.

Развитие систем искусственного интеллекта (ИИ), методов объектно-ориентированного программирования, сетевых технологий привели к возникновению мультиагентного подхода. Большой вклад в развитие мультиагентных систем внесли М. Вулдридж [33], Н. Дженнингс [34], М. Тамбе [35], В. Лессер, Г. Ржевский [36-38] и др. В нашей стране развитием теории и практики мультиагентных систем занимаются В.Б. Тарасов [39], В.И. Городецкий [40-43], О.Н. Граничин [44], П.О. Скобелев [45-50] и др.

В этом подходе предлагается решение сложных задач производить в распределенной среде взаимодействующих между собой агентов, которые действуют параллельно и асинхронно, совместно строя решение сложной задачи путем самоорганизации. Этот принцип в корне отличается от централизованного подхода и сходен с процессами самоорганизации в живой природе. В настоящее время существует множество определений и классификаций агентных систем, которые в целом согласуются с определениями В.И. Городецкого [42]: под агентом подразумевается автономная компьютерная программа или система,

способная действовать в динамической, непрерывно и непредсказуемо изменяющейся внешней среде целенаправленным образом.

Основные свойства агента:

- Автономность агента связана со способностью действовать целенаправленно для достижения результата, без внешнего управления со стороны других систем. Агент обладает контролем над своими действиями и состоянием внутренних переменных.
- Агенты обладают социальным поведением – взаимодействуют с другими агентами в кооперации для выполнения общей задачи и согласованно разрешают конфликты с достижением консенсуса.
- Агенты обладают реактивностью – получают события из внешней среды и реагирует на изменения в ситуации, при этом их поведение корректируется согласно изменениям и целям.
- Проактивность агентов заключается в стремлении достичь целей, непрерывно улучшая характеристики внутреннего состояния.

Главное свойство агента – автономность, наличие целей и способов их достижения, реакция на изменения в среде.

1.7 Задача получения и обработки событий реального времени

Второстепенной по отношению к VRP, но не менее важной задачей, является поддержка оперативного получения и обработки событий реального времени от пользователей, участвующих в решении транспортной задачи.

Эта задача решалась в ходе НИР [51]. Были разработаны специальные мобильные приложения для получения такой информации. Например, для получения оперативной информации от водителя грузовика, движущегося с непостоянной скоростью в непостоянных дорожно-климатических и географических условиях, требуется стабильное подключение к сети Интернет посредством сотовых каналов связи, которое не всегда может гарантироваться

провайдерами данных услуг. В России данная проблема стоит особенно остро, большие расстояния и перепады высот, а также различные погодные условия снижают качество приема и покрытия мобильной связью. Существуют области, где она вовсе отсутствует. В качестве альтернативы могли бы стать системы спутниковой связи, когда грузовик оборудуется системой двустороннего обмена информацией со спутником и имеет постоянную связь в любой географической точке. Однако само оборудование и стоимость такой связи настолько дороги, что экономический эффект от получения оперативной информации подобным способом не оправдывает этих затрат. В этой связи, при разработке приложений для интеллектуального терминала водителя, работающих по средствам не стабильного и более дорогого (роумингового) подключения к сети Интернет, важно руководствоваться принципами максимального ограничения переданной/полученной информации. Должны передаваться только наиболее значимые данные. Все производные, которые могут быть вычислены «на серверах», должны вычисляться и не передаваться. Кроме того, необходима реализация поддержки автономной работы мобильного терминала. В случае потери связи с управляющим сервером системы необходимо поддержать «Off - line» режим работы терминала, когда водитель продолжает вводить данные по текущей ситуации (отметки о прибытии в точки погрузки, разгрузки, стоянки для заправки и отдыха и др.), а данные накапливаются в локальной памяти терминала и при появлении связи сразу же отправляются и синхронизируются с данными сервера.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Анализ современных задач управления мобильными ресурсами в реальном времени показывает, что речь все чаще идет о сложных адаптивных системах в бизнесе, которым присущи сетевой характер организации и взаимодействия со всеми участниками (заказчиками, исполнителями,

субподрядчиками и т.п.), необходимость учета индивидуальных предпочтений и ограничений, принятия решений по ситуации, поиска баланса интересов и т.д.

2. Выполненный обзор литературы и существующих на рынке систем управления мобильными ресурсами показывает, что наиболее часто для решения задач управления транспортными ресурсами используются традиционные методы пакетной оптимизации и планирования ресурсов, которые обладают рядом важных недостатков и ограничений, затрудняющие их практическое использование.
3. Одним из наиболее перспективных подходов для решения поставленной задачи является применение мультиагентных технологий, более подходящих для поиска балансов интересов между всеми участниками, учета индивидуальных особенностей заказов и ресурсов, допускающих работу в условиях неопределенности и высокой динамики изменений.
4. Показана важность учета возможности прямого взаимодействия с пользователями через устройства мобильной связи, что позволяет учитывать предпочтения и ограничения в режиме «On - line» по ситуации, а также вводить непредвиденные события и подтверждения факта выполнения или задержки операций от исполнителей.

2 ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

Материалы данной главы излагаются в соответствии с работами автора диссертации [52,54,55,59-61,63-68].

2.1 Предлагаемый подход к формализации задач управления мобильными ресурсами

Рассмотренные выше задачи управления мобильными ресурсами представляются весьма сложными и разнообразными для применения методологически единого подхода к их решению за счет необходимости учета многочисленных особенностей предметной области для соответствующих предприятий. Однако, приобретенный нами в ходе разработок практический опыт решения такого рода задач показывает, что, напротив, такого рода задачи могут решаться на единой методологической основе виртуального рынка ПВ-сети и мультиагентного подхода [46].

Важные особенности этого подхода были теоретически изучены в фундаментальных работах Д.Эшли и Д. Клейнберга (Кембридж), которые в развитие метода А. Сандхольма доказали теорему эквивалентности задачи о назначениях и итерационных аукционов на виртуальном рынке и подтвердили такие преимущества этого подхода, как интуитивная понятность для пользователей, устойчивость к вводу новых требований, возможность параллельной обработки данных и др. [53].

Суть этого подхода состоит в том, чтобы создавать собственную уникальную мультиагентную «модель мира» для каждого конкретного предприятия, поскольку не получится иметь одну модель на все случаи жизни, так как бизнесы в этой сфере очень разнообразны.

Вместе с тем, главные принципы разработки системы планирования и оптимизации, общий состав агентов и протоколов их переговоров может быть близким по своей природе различным задачам (таблица 2.1):

1. С каждым грузовиком связан агент грузовика, с каждым заказом — агент заказа, далее по аналогии могут быть введены агенты задач и маршрутов, консолидаций, ТО, заправок, шин и т.д.
2. Вводятся правила виртуального рынка для агентов, которые покупают и продают свои сервисы за виртуальные деньги.
3. Каждый агент получает собственную функцию удовлетворенности и функцию бонусов – штрафов, которая влияет на «эластичность» при разрешении конфликтов.
4. Агенты отправляют и получают сообщения, принимая решения согласно заложенной логике в каждом выбранном состоянии (машина состояний).
5. Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления заказов и других внешних событий и прихода факта через средства инфокоммуникационного взаимодействия (терминалы и датчики).
6. В общем случае заказ получает агент грузовика, выполняющий его с наименьшими затратами $Cost^i = d^i c^d + t^i c^t$, где d^i длина маршрута включая переезд (в км), c^d ставка переменных затрат (рублей за км), t^i время простоя между заявками (в часах), c^t ставка постоянных затрат (рублей за час).
7. Решение фиксируется и выдается пользователю, когда ни один из агентов не может улучшить свое состояние.

Таблица 2.1. Перечень основных классов агентов для решения задач управления мобильными ресурсами

Агент	Назначение
Агент заказа	Ищет лучшие варианты размещения на грузовиках (например, по цене)
Агент грузовика	Ищет заказы для увеличения эффективности своего использования
Агент стороннего перевозчика	Ищет стороннего перевозчика с лучшим соотношением цены и качества
Агент маршрута	Ищет лучший маршрут для поездки (минимальной длины)
Агент водителя	Ищет поездки, удовлетворяющие предпочтениям водителя (длинные поездки, работа только в рабочее время и т.д.)
Агент техосмотра	Ищет возможности сделать профилактический осмотр грузовика
Агент топлива	Ищет лучшие возможности для заправки машины по маршруту следования
Финансовый агент	Выбирает варианты оплаты внешним перевозчикам (например, минимум предоплаты)
Агент груза	Проверяет условия транспортировки (наличие машины с холодильником)
Агент компании	Следит за интересами компании и переключает стратегии другим агентам

Для каждого класса агента могут введены свои функции удовлетворенности на основе важных критериев, предпочтений и ограничений, протоколы взаимодействия с другими агентами для выявления и разбора конфликтов и согласования решений по подвижкам в расписании.

Пример построения типовой мультиагентной «модели мира» для конкретного предприятия по грузоперевозкам представлен на рис. 2.1.

Здесь видно, что используется целый ряд агентов различного типа, которые напрямую связаны с моделью работы компании.

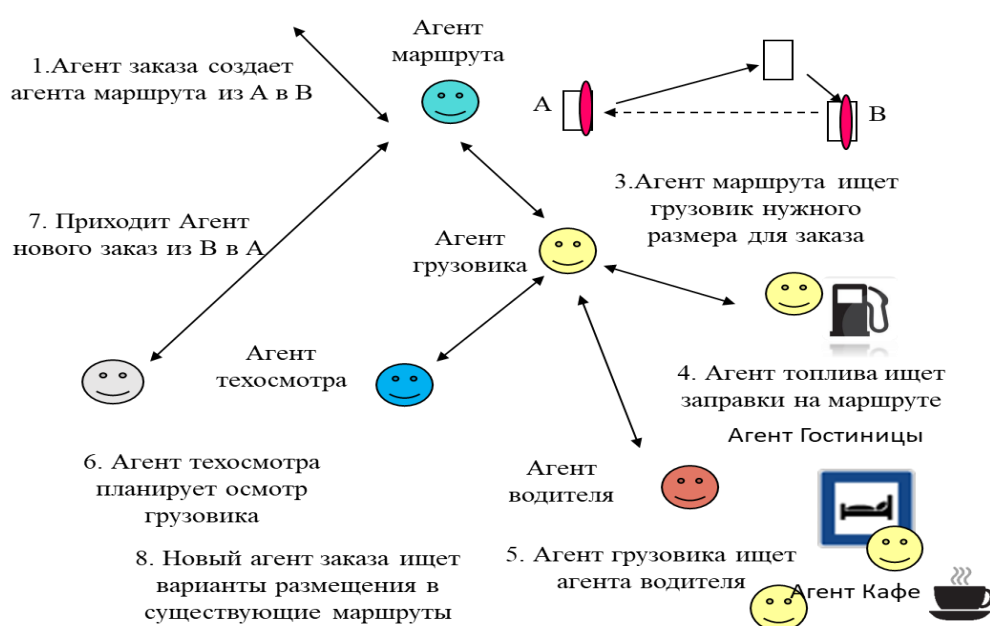


Рис. 2.1. Пример мультиагентной «модели мира» для управления мобильными ресурсами в области дальних грузоперевозок

В дальнейшем для расширения и усложнения задачи могут быть введены: агент двигателя, агент шины и других компонент, агенты дорог, знаков и т.п.

Указанный пример применим для «модели мира» компании грузовых перевозок с дальнобойщиками, для которых важны придорожные гостиницы и кафе, собственные заправки для экономии топлива и другие особые факторы.

Вместе с тем, для внутригородских развозок могут иметь значение и участвовать в принятии решений совсем другие сущности: магазины с

предпочитаемыми временами разгрузки и погрузки, требования по сбору пустой тары для возврата на склад и другие.

Эти особенности будут требовать лишь введения новых классов агентов и протоколов переговоров – но общая концепция создания и функционирования системы остается одной и той же, устойчивой к изменению требований, как отмечается в работе [53].

Примеры взаимодействий агентов для разрешения конфликтов:

1. Агент грузовика может не найти свободного водителя – придется задержать выезд или платить сверхурочные водителю.
2. Агент маршрута может не найти подходящий грузовик – предлагает взять стороннего перевозчика.
3. Агент топлива может попытаться изменить маршрут, чтобы получить лучшую заправку.
4. Агент грузовика может требовать техосмотра – можно попытаться задержать поездку или планировать пройти осмотр по дороге, наконец, отложить осмотр до возвращения.
5. Можно не успеть в срок или вовсе сорвать перевозку, но сделать большую прибыль за счет дешевого перевозчика и т.д.
6. Для каждого типа таких взаимодействий требуется разработка соответствующих классов агентов и протоколов переговоров.

Рассмотрим теперь, каким образом различные задачи могут встраиваться в предлагаемый фреймворк виртуального рынка и «модели мира» предприятия.

2.2 Задача построения начального плана комплектных (FTL) грузоперевозок

Задача построения начального плана комплектных грузоперевозок является актуальной для крупных транспортных компаний, имеющих в своем

управлении флот дальнемагистральных грузовиков (более 30 единиц). Такие транспортные компании широко распространены в странах с большой территорией и протяженностью автомобильных дорог (Россия, США, Канада и др.). Особенностью комплектных перевозок является наличие у транспортной компании прямых контрактов с заказчиками на резервирование грузовика целиком. Заказчик при этом гарантирует полную загрузку грузовика, что исключает необходимость учитывать объем и вес груза и строить консолидированные маршруты, чтобы «подхватить» заказ другого заказчика в случае его не полной загрузки. Такое существенное упрощение задачи мотивирует к нахождению для нее точного классического метода решения задачи без использования эвристик и других численных методов. Однако в задаче существует важное условие – флот грузовиков не является однородным, в нем присутствуют грузовики с разными типами полуприцепов (тент, термос, рефрижератор и т.д.) и каждый заказ, в свою очередь, может либо не иметь «предпочтений» в каком прицепе его перевозят и подходить всем (текстиль, пластик, тара, стройматериалы, бумага и т.д.), либо подходить только нескольким типам, например, термосу и рефрижератору (жидкости, продукты питания, не требующие особого температурного режима), либо подходить только одному рефрижератору (скоропортящиеся и замороженные продукты питания). Также вопрос о том, в каком прицепе можно перевозить тот или иной груз зависит от времени года, например, летом можно перевозить воду и другие напитки в тентах, а зимой – только в термосе или рефрижераторе. При этом нужно понимать, что тент – относительно дешёвый прицеп, термос уже значительно дороже, а рефрижератор и вовсе самый дорогой прицеп, поэтому термосов и рефрижераторов обычно значительно меньше, чем тентов, и их нужно грамотно распределять по заказам. Кроме ограничений на тип полуприцепа могут задаваться ограничения на наличие в нем дополнительных приспособлений, яркий пример таких приспособлений – наличие в тенте

обрешётки для перевозки шин (иначе при малейшем крене они запросто деформируют тент и рассыпаться по дороге). Также необходимо учитывать временные окна прибытия грузовика на погрузку и выгрузку, что относит задачу к классу VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows), но при этом в отличие от многих постановок задач VRP, в общем случае, после выполнения заказа грузовик не возвращается на базу, а продолжает движение к новому заказу с предыдущего места выгрузки до тех пор, пока не получит заказ с разгрузкой рядом с базой. Проблема изложена автором настоящей диссертации в его работах [54,55]. Рассмотрим постановку, этапы решения и полученный результат.

Постановка задачи. Пусть имеем набор заказов O_i , $i = 1, N$, где каждый заказ характеризуется пунктом и временным окном прибытия на погрузку и разгрузку $[TO_{si}; TO_{fi}]$, когда этот пункт доступен. Имеем также набор ресурсов, представляющих собой грузовики с прицепами определенного типа R_j , $j = 1, M$, каждый из которых характеризуется пунктом начального местонахождения и временем высвобождения из этого пункта TRf_j , которое соответствует времени и месту разгрузки предыдущего выполненного им заказа или базе. Для любого грузовика R_j известна длительность порожнего переезда D_{ij} к любому заказу O_i . Под каждый заказ O_i требуется отдельный грузовик с прицепом R_j , удовлетворяющий ограничениям на тип прицепа, т.е. грузовик R_j может как подходить, так и не подходить заказу O_i . Все заказы считаются равноправными и от назначения любого заказа на грузовик можно отказаться без каких-либо штрафов со стороны заказчика. Нужно найти такое назначение всех M ресурсов на N заказов, при котором суммарный порожний переезд будет минимальным при максимальном числе назначенных заказов P и выполнении условий допустимости назначения:

$$\sum_{i,j} D_{ij} \rightarrow \min, P \rightarrow N, \quad (2.1)$$

$$\begin{cases} TR_{fj} + DR_{ij} < TO_{fi} \\ DR_{ij} < b \\ TO_{si} - TR_{fj} - DR_{ij} < c, \end{cases} \quad (2.2)$$

где b и c – параметры, которые задаются экспертами-логистами (обычно $b=10$, $c=24$, параметры измеряются в часах).

Построение матрицы допустимых назначений. Для задачи строится матрица A допустимых назначений, в которой строки соответствуют заказам O_i , а столбцы ресурсам R_j . В ячейку матрицы, соответствующую назначению $O_i R_j$, записывается длительность порожнего переезда DR_{ij} из пункта нахождения грузовика R_j и времени его высвобождения TR_{fj} к пункту погрузки заказа O_i , при условии, что грузовик R_j подходит заказу O_i и выполняется система неравенств (2.2), в противном случае ячейка остается пустой. При этом полагается, что длительность выполнения любого заказа O_i заведомо превосходит время начала погрузки любого (даже самого позднего) заказа O_i , т.е. рассматривается ациклический случай задачи, при котором ни один из грузовиков не успеет выполнить более одного заказа, в результате получим матрицу назначений вида:

$$A = \begin{bmatrix} dr_{1,1} & \cdots & dr_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ dr_{n,1} & \cdots & dr_{n,m} \end{bmatrix}.$$

Стоит отметить, что именно такая задача в основном и решается на практике в комплектных перевозках мелкими и средними транспортными компаниями (от 50 до 100 грузовиков мелкие, от 100 до 200 средние), планируются только ближайшие по времени заказы, которые «уносят» грузовики от точки базирования, поскольку последующие заказы, которые будут возвращать их обратно, заранее не известны, они будут найдены логистами, пока грузовики выполняют свои текущие заказы.

Рассмотрим теперь общий (циклический) случай задачи, когда заказы известны на широкий горизонт в будущем. Такая ситуация характерна для крупных и особо крупных транспортных компаний (от 200 до 500 грузовиков – крупные, более 500 – особо крупные). Для таких компаний заранее известны с хорошей точностью (на неделю или даже месяц вперед) регулярные заказы от постоянных клиентов в разных регионах. Поэтому у каждого грузовика появляется возможность выполнить более поздние по времени заказы после выполнения более ранних. Нужно понимать, что при такой постановке местоположение и время высвобождения каждого ресурса будут меняться по ходу назначения первых заказов, т.е. уже в ходе самого решения задачи. Тем не менее, построить матрицу A для этой задачи также возможно, если пренебречь одним условием задачи: совместимостью заказов и грузовиков. Действительно, если посчитать, что все грузовики и заказы совместимы, можно построить расширенную матрицу A_{ext} для циклической задачи вида:

$$A_{ext} = \begin{bmatrix} dr_{1,1} & \cdots & dr_{1,m} | do_{1,m+1} \cdots do_{1,m+n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ dr_{n,1} & \cdots & dr_{n,m} | do_{n,m+1} \cdots do_{n,m+n} \end{bmatrix},$$

где в колонках расширенной матрицы указан порожний переезд, от пункта выгрузки каждого заказа O_i , т.е. матрица расширяется за счет «виртуальных» ресурсов, освобождающихся после выполнения первоначальных заказов. Но поскольку мы не знаем какой именно будет выбран грузовик на первоначальный заказ, то и нельзя проверить совместимость грузовика этому заказу и отбросить недопустимое назначение.

Решение задачи нахождения оптимальных назначений Венгерским алгоритмом. Построив матрицу допустимых назначений и обозначив тем самым пространство возможных решений, можно полагать, что задача нахождения начального плана сводится к задаче поиска такого назначения ресурсов на заказы в этой матрице, при котором суммарное время порожнего

переезда для всех ресурсов по всем назначенным заказам будет минимальным при максимальном числе назначенных заказов. Для задачи о назначениях есть точный метод решения – Венгерский алгоритм [56]. При решении задачи данным методом она полиномиально разрешима и имеет асимптотическую сложность $O(n^3)$. Алгоритм основан на двух идеях:

- если из всех элементов некой строки или столбца вычесть одно и то же число u , общая стоимость уменьшится на u , а оптимальное решение не изменится;
- если есть решение нулевой стоимости, оно оптимально.

Алгоритм ищет значения, которые надо вычесть из всех элементов каждой строки и каждого столбца (разные для разных строк и столбцов), такие, что все элементы матрицы останутся неотрицательными, но появится нулевое решение.

Рассмотрим пример решения задачи для матрицы:

$$\begin{bmatrix} a1 & a2 & a3 & a4 \\ b1 & b2 & b3 & b4 \\ c1 & c2 & c3 & c4 \\ d1 & d2 & d3 & d4 \end{bmatrix},$$

где a, b, c, d – грузовики, которые должны выполнить заказы 1, 2, 3, 4. Коэффициенты $a1, a2, a3, a4$ обозначают стоимость выполнения грузовиком «а» заказа 1, 2, 3, 4 соответственно. Аналогичный смысл имеют остальные символы. Матрица квадратная, поэтому каждый грузовик может выполнить только один заказ.

1. Уменьшаем элементы построчно. Находим наименьший из элементов первой строки ($a1, a2, a3, a4$), и вычитаем его из всех элементов первой строки. При этом хотя бы один из элементов первой строки обнулится. То же самое выполняем и для всех остальных строк. Теперь в каждой строке матрицы есть хотя бы один ноль. Иногда нулей уже достаточно, чтобы найти назначение. Пример показан в таблице 2.2. Подчеркнутые нули обозначают нужные назначения.

Таблица 2.2. Матрица, полученная на первом шаге

0	a2'	<u>0</u>	a4'
b1'	b2'	b3'	<u>0</u>
<u>0</u>	c2'	c3'	c4'
d1'	<u>0</u>	d3'	d4'

При большом количестве нулей для поиска назначения (нулевой стоимости) можно использовать алгоритм нахождения максимального паросочетания двудольных графов, например, алгоритм Хопкрофта – Карпа [57]. Кроме того, если хотя бы в одном столбце нет нулевых элементов, то назначение невозможно.

2. Часто на первом шаге нет назначения, как, например, в иллюстрированном в таблице 2.3 случае.

Таблица 2.3. Матрица, полученная на втором шаге

0	a2'	a3'	a4'
b1'	b2'	b3'	0
0	c2'	c3'	c4'
d1'	0	d3'	d4'

Заказ 1 может быть эффективно (за нулевую стоимость) выполнена как грузовиком а, так и с, но заказ 3 не может быть эффективно выполнен ни одним грузовиком.

В таких случаях мы повторяем шаг 1 для столбцов и вновь проверяем, возможно ли назначение.

3. Во многих случаях мы достигнем желаемого результата уже после шага 2. Но иногда это не так, например, как в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Матрица, полученная на третьем шаге

0	a2'	a3'	a4'
b1'	b2'	b3'	0
0	c2'	c3'	c4'
d1'	0	0	d4'

Если грузовик d выполняет заказ 2, то некому выполнять заказ 3, и наоборот.

В таких случаях мы выполняем процедуру, описанную ниже.

Сначала, используя любой алгоритм поиска максимального паросочетания в двудольном графе, назначаем как можно больше заказов тем грузовикам, которые могут их выполнить за нулевую стоимость. Пример показан в таблице 2.5, нужные назначения подчеркнуты.

Таблица 2.5. Матрица, модифицированная на третьем шаге

0	a2'	a3'	a4'
b1'	b2'	b3'	<u>0</u>
<u>0</u>	c2'	c3'	c4'
d1'	<u>0</u>	0	d4'

Отметим все строки без назначений (строка 1). Отметим все столбцы с нулями в этих строках (столбец 1). Отметим все строки с «подчеркнутыми» нулями в этих столбцах (строка 3). Продолжаем, пока новые строки и столбцы не перестали отмечаться, таблица 2.6.

Таблица 2.6. Матрица, модифицированная на третьем шаге

×				
0	a2'	a3'	a4'	×
b1'	b2'	b3'	<u>0</u>	
<u>0</u>	c2'	c3'	c4'	×
d1'	<u>0</u>	0	d4'	

Теперь проводим линии через все отмеченные столбцы и неотмеченные строки, таблица 2.7.

Таблица 2.7. Матрица, модифицированная на третьем шаге

×				
0	a2'	a3'	a4'	×
b1'	b2'	b3'	<u>0</u>	
<u>0</u>	c2'	c3'	c4'	×
d1'	<u>0</u>	0	d4'	

Все эти действия преследовали лишь одну цель: провести наименьшее количество линий (вертикалей и горизонталей) так, чтобы покрыть все нули. Можно было воспользоваться любым другим методом вместо описанного.

4. Из непокрытых линиями элементов матрицы (в данном случае это a_2' , a_3' , a_4' , c_2' , c_3' , c_4') нужно найти наименьший. Вычесть его из всех не отмеченных строк и прибавить ко всем пересечениям отмеченных строк и столбцов, таблица 2.8.

Таблица 2.8. Матрица, полученная на четвертом шаге

×				
0	0	$a_3' - a_2'$	$a_4' - a_2'$	×
$b_1' + a_2'$	b_2'	b_3'	0	
0	$c_2' - a_2'$	$c_3' - a_2'$	$c_4' - a_2'$	×
$d_1' + a_2'$	0	0	d_4'	

Повторять процедуру (шаги 1-4) до тех пор, пока назначение не станет ВОЗМОЖНЫМ.

2.3 Задача построения динамического плана комплектных (FTL) грузоперевозок по событиям реального времени.

Задача построения динамического плана комплектных грузоперевозок в реальном времени является более сложной, нежели статическая задача построения начального плана. В такой задаче подразумевается, что ее условия могут произвольно динамически меняться по ходу течения времени, могут добавиться новые заказы, отмениться или измениться часть уже известных заказов, могут стать недоступными ресурсы (задержки в пути, поломки и т.д.).

Применять в такой задаче классические методы оптимизации аналогично статической задаче не получается, хотя бы по той причине, что, как было показано выше, в общем случае задачу нельзя формализовать математически с учетом требования соответствия заказа и ресурса. Т.е. можно построить «оптимальный» план перевозки без учета этого ограничения, как было показано выше, и надеяться, что нам «повезет» и каждый назначенный грузовик будет подходить своему оптимальному заказу, но если нет, то построенный таким образом план придётся модифицировать «вручную» (и на практике так и происходит) или автоматически, но уже при помощи другого метода, который должен оперативно находить «разумные» допустимые решения без полного пересмотра, благодаря непрерывному адаптивному изменению начального плана. В качестве такого метода мы используем мультиагентный подход [58], который хорошо зарекомендовал себя в динамических задачах с изменяемыми условиями, плохо поддающихся строгой математической формулировке.

Разрабатываемый нами подход основан на сопоставлении заказам и ресурсам программных агентов с их локальными и зачастую противоположными интересами, способных реагировать на изменения состава заказов и ресурсов, выявлять конфликты в расписании, принимать решения и взаимодействовать между собой для разрешения конфликтов и поиска компромиссов путём переговоров (взаимных уступок), что позволяет находить согласованные решения и поддерживать баланс интересов агентов в интересах всей системы, которая в общем случае представляет многокритериальную целевую функцию. В результате взаимодействия (переговоров) агентов и изменения состояний соответствующих заказов и ресурсов достигается локально оптимальное решение, представляющее собой «устойчивое неравновесие» (или «неустойчивое равновесие»), которое далее в реальном времени при поступлении новых событий (новый заказ, отзыв уже запанированного, поломка

грузовика, задержка в пути и др.) вновь локально адаптивно корректируется в «скользящем режиме» без останова и перезапуска системы. Проблема изложена автором диссертации в работе [59], рассмотрим более общую математическую постановку, этапы решения и полученный результат.

Постановка задачи. Пусть имеется парк грузовиков из M машин с определенным типом прицепа, базирующихся в определённом городе в некоторой транспортной сети. Затраты на эксплуатацию каждого грузовика (переменная и постоянная составляющая затрат, переменная зависит от пробега постоянная – от времени эксплуатации) известны и могут быть рассчитаны по заданным формулам. Имеется поток заказов, характеризующихся: подходящим набором типов прицепов для перевозки груза, пунктом отправления, пунктом доставки, временем поступления, временным окном прибытия на погрузку и разгрузку. Расстояния между всеми пунктами считаются известными (могут быть рассчитаны в любой момент, при этом время в пути на преодоление одного и того же расстояния в разное время суток может быть разным в зависимости от дорожной ситуации). Имеется поток внешних событий от заказчиков, об отмене или изменении ранее поступивших заказов, и водителей грузовиков, которые посредством сотового телефона (смартфона или планшета) передают данные о фактическом времени начала и окончания погрузки и выгрузки, выполняемых ими в данный момент заказах. Имеется поток внешних данных от датчиков геопозиционирования (Глонасс/GPS), которые с интервалом раз в минуту передают данные о фактическом местоположении каждого грузовика. В каждый момент времени известны только те заказы, внешние события и данные, поступившие до этого момента времени. Требуется адаптивно менять план перевозок в каждый момент времени с учетом поступающих событий и данных, минимизируя затраты по всему парку грузовиков, при максимальном числе

распределенных заказов. При этом планировать будущие заказы с опозданием недопустимо.

Решение задачи. С каждым грузовиком связан агент грузовика, с каждым заказом – агент заказа. Агенты могут отправлять и получать сообщения и принимать решения согласно своей логике и текущей ситуации, которая определяется состоянием каждого агента. Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления заказов и фиксации внешних событий и данных. Заказы, находящиеся в прошлом (по отношению к текущему времени), в процессе планирования не участвуют.

При поступлении заказа его агент рассылает запрос на его размещение на агентах грузовиков, которые анализируют свое текущее состояние, наличие окон в будущем расписании, необходимости дополнительного переезда до пункта погрузки, оценивая свои затраты, отправляя свои предложения агенту заказа. Кандидаты на планирование, в случае улучшения глобальной целевой функции (KPI – число распределенных заказов и затраты на их выполнение), выстраиваются по возрастанию затрат на выполнение. Заказ получает агент грузовика, выполняющий его с минимальными затратами. Затраты считаются как сумма постоянных и переменных затрат, где:

- постоянные затраты есть произведение времени выполнения заявки (в часах) на ставку постоянных затрат (рублей за час);
- переменные затраты есть произведение длины порожнего переезда (в км) на ставку переменных затрат (рублей за км).

Таким образом, целевую функцию планирования F определяют суммарные затраты ресурсов $cost^j$, связанные с порожними пробегами и временем простоя ресурсов:

$$F = \sum_{j=1}^m cost^j, \quad (2.3)$$

$$cost^j = ad^j c^d + bt^j c^t, \quad (2.4)$$

где $j=(1, \dots, m)$ – индексы размещенных заказов, d^j – расстояние доездки ресурса до места погрузки j -ого заказа, c^d – стоимость порожнего пробега ресурса, t^j – время простоя ресурса в ожидания погрузки j -ого заказа, c^t – стоимость простоя ресурса, a и b – настраиваемые весовые коэффициенты: $0 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$, $a + b = 1$.

Эта целевая функция позволяет сравнивать варианты планов с одним и тем же количеством размещенных заказов. Наилучшим является вариант плана с наименьшим значением (наименьшими затратами). Но при этом она не позволяет сравнивать варианты планов с различным количеством размещенных заказов. Поэтому в этом случае применяется дополнительный критерий – наилучшим является вариант плана с большим количеством размещенных заказов.

Можно использовать другую целевую функцию, которая определяет оценку прибыли выполнения размещенных заказов:

$$F^* = \sum_{j=1}^m profit^j, \quad (2.5)$$

$$profit^j = C^j - cost^j - cost2^j, \quad (2.6)$$

где $profit^j$ – оценка прибыли (или убытка) от выполнения j -ого заказа, C^j – его стоимость, $cost^j$ – определенные выше затраты на доездку и простой ресурса, а $cost2^j$ – затраты ресурса на транспортировку этого заказа.

Такая целевая функция в отличие от целевой функции F позволяет сравнивать варианты планов с различным количеством размещенных заказов. Наилучшим является вариант плана с наибольшей прибылью. Однако, стоимость C заказов известна далеко не всегда, зачастую все заказы обезличены по стоимости и необходимо относиться ко всем как к равнозначным.

Цикл проактивного планирования. Суть задачи планирования (после каждой обработки событий и обновления сцены) состоит в следующем. Имеется n размещенных и k не размещенных заказов. Требуется найти наилучший вариант размещения этих k заказов. При этом, размещение всех k заказов не всегда является возможным. Также при планировании допускается, что какие-то из n размещенных заказов могут становиться не размещенными. В связи с этим целью планирования является поиск подмножества заказов из заданного количества $n+k$ заказов с наилучшим значением целевой функции.

Цикл проактивного поведения обеспечивается агентами управления:

- агент обработки событий,
 - агент проактивной стадии,
- и агентами сущностей:
- агенты заказов,
 - агенты ресурсов.

Далее приводится описание сценариев поведения и взаимодействия данных агентов.

Агент обработки событий

Из внешней среды поступают события и формируется очередь (список) событий. По мере появления очередного списка этот агент:

- 1) выполняет обработку всех события (обновляет сцену),
- 2) инициирует агента проактивной стадии.

В результате обработки поступивших событий уточняется текущее состояние каждого заказа – размещен или не размещен.

Агент проактивной стадии

Этот агент инициирует:

- 1) агентов неразмещенных заказов,

- 2) агентов заказов, которые становятся неразмещенными в результате выполнения попыток планирования агентами других заказов.

Агент каждого из этих заказов по умолчанию инициируется один раз.

Агент заказа

Сценарий поведения 1. При инициировании агент заказа:

- 1) выполняет матчинг – выбор ресурсов, удовлетворяющих требованиям заказа;
- 2) шлет агентам выбранных ресурсов «Запрос на оценку размещения заказа».

Сценарий поведения 2. При получении от всех агентов выбранных ресурсов «Оценок размещения заказа»:

1. если агенты всех ресурсов прислали отказ, сценарий заканчивается, т.е. заказ остается неразмещенным в данном цикле планирования;
2. выбирает наилучшую оценку и шлет агенту этого ресурса «Запрос на размещение заказа».

Агент ресурса

Сценарий поведения 1. При получении «Запроса оценки размещения заказа»:

- 1) выполняет расчет оценки размещения заказа;
- 2) шлет «Оценку размещения заказа».

Сценарий поведения 2. При получении «Запроса на размещение заказа»:

- 1) выполняет размещение заказа согласно рассчитанной оценке;
- 2) если при этом происходит вытеснение ранее размещенных заказов, инициирует агентов этих заказов на проведение попыток повторного размещения.

Задача расчета оценки размещения заказа

Расчет оценки сводится к решению следующей задачи. На ресурсе размещено множество заказов N с оценкой E . Эта оценка рассчитывается с помощью целевой функцией F на множестве заказов N . Размещение нового заказа x на ресурсе при необходимости допускает возможность отказа от размещения одного (или нескольких заказов) из множества N , т.е., в результате этого на ресурсе может оказаться размещенным множество заказов $N^* = \{N^x, x\}$, где N^x произвольное подмножество множества заказов N . В общем случае, когда множество заказов N не пустое, таких подмножеств N^x , и соответственно множеств N^* , может быть несколько. Целью решения задачи является нахождение множества заказов N^* , размещение которых имеет наилучшую оценку E^* .

Если найденная оценка E^* лучше оценки E , агент ресурса посылает агенту заказа предложение на размещение заказа. В противном случае посылается отказ в размещении заказа.

Решение задачи

Пусть **List** – список различных наборов заказов. В исходном состоянии список **List** содержит один (полный) набор заказов $N^* = \{N^x, x\}$, где $N^x = N$.

Алгоритм решения следующий:

1. Выбрать из списка **List** (любой) набор заказов N^* .
2. Найти варианты допустимых маршрутов.
3. Если ни одного допустимого варианта не найдено, тогда:
 - удалить набор заказов N^* из списка;
 - добавить в список все наборы заказов, которые получаются из набора N^* удалением по одному заказу из набора N^x ;
 - перейти к шагу 5.
4. Рассчитать оценки найденных допустимых маршрутов и:

- выбрать и сохранить вариант маршрута с наилучшей оценкой;
- удалить набор заказов N^* из списка.

5. Если список **List** не пуст, перейти к шагу 1.

Альтернативный сценарий взаимодействия агентов заказов и ресурсов.

В памяти агента заказа накапливаются/обновляются данные, получаемые от агентов ресурсов, выбранных для попыток размещения заказа:

- ресурс;
- оценка размещения заказа на ресурсе;
- предложение агента ресурса на размещение заказа: есть или нет.

В памяти агента ресурса после поступления запросов от агентов заказов на оценку размещения накапливаются данные:

- заказ;
- рассчитанная оценка размещения заказа.

Агенты всех неразмещенных заказов иницируются одновременно после обработки событий. Агенты вытесненных заказов иницируются сразу после вытеснения заказа.

Агент заказа

Сценарий поведения 1. При иницировании:

1. Выбирает ресурсы (матчинг).
2. Шлет выбранным ресурсам «Запрос на оценку размещения заказа».

Сценарий поведения 2. При получении сообщения «Оценка размещения заказа»:

1. Регистрирует (обновляет) оценку размещения в памяти.

2. Если оценка «Размещение заказа невозможно», удаляет агента этого ресурса из памяти.
3. Если не все оценки известны, заканчивает сценарий.
4. Если есть предложение от агента ресурса с наилучшей оценкой:
 - шлет агенту этого ресурса «Запрос на размещение заказа»;
 - шлет агентам остальных ресурсов «Отмену запроса на размещение заказа».

Сценарий поведения 3. При получении сообщения «Предложение размещения заказа»:

1. Регистрирует предложение в памяти.
2. Если не все оценки известны, заканчивает сценарий.
3. Если есть предложение от агента ресурса с наилучшей оценкой:
 - шлет агенту этого ресурса «Запрос на размещение заказа»;
 - шлет агентам остальных ресурсов «Отмену запроса на размещение заказа».

Агент ресурса

Сценарий поведения 1. При получении «Запроса на оценку размещения заказа»

1. Регистрирует запрос в памяти.
2. Выполняет расчет оценки размещения заказа.
3. Шлет агенту заказа «Оценку размещения заказа»
(Возможные варианты оценки: размещение заказа невозможно, отказ от размещения заказа).
4. Если есть не обработанные запросы на оценку размещения заказа, заканчивает сценарий.

5. Если по всем запросам есть рассчитанные оценки, выбирает заказ с наилучшей оценкой размещения и шлет агенту этого заказа предложение.

Сценарий поведения 2. При получении «Запроса на размещение заказа»:

1. Размещает заказ согласно рассчитанной оценке.
2. Если есть вытесненные заказы, инициирует агентов этих заказов.
3. Если в памяти нет других заказов (от которых были запросы), заканчивает сценарий.
4. Рассчитывает новые оценки размещения других заказов.
5. Шлет агентам этих заказов новые «Оценки размещения заказов»
(Возможный вариант оценки: размещение заказа невозможно, отказ от размещения заказа).
6. Выбирает заказ с наилучшей оценкой и шлет ему «Предложение размещения заказа».

Сценарий поведения 2. При получении «Отмена запроса на размещение заказа»:

1. Удаляет из памяти запрос агента этого заказа.
2. Если в памяти нет других заказов (от которых были запросы), заканчивает сценарий.
3. Выбирает заказ с наилучшей оценкой и шлет ему «Предложение размещения заказа».

Свойства этого сценария взаимодействия агентов:

- 1) обеспечивает поиск вариантов размещения заказов с лучшим качеством (с лучшим значением целевой функции), по сравнению с основным сценарием;

- 2) обеспечивает высокое быстродействие, так как агенты всех заказов и ресурсов могут работать одновременно (параллельно);
- 3) не требует задание опций – количество попыток размещения заказа (по умолчанию 1 раз); условием прекращения поиска улучшений является ситуация, когда у всех агентов неразмещенных заказов нет ни одной оценки (и соответственно предложений) от агентов ресурсов по размещению заказа;
- 4) у агентов ресурсов появляется возможность выбора заказов. Эта возможность может быть полезной в соответствии с требованием определенных транспортных компаний – планирование ресурсов в зависимости от группы ресурсов: собственные, привлеченные в постоянном управлении, разовый наем ресурса

2.4 Задача расчета себестоимости комплектных (FTL) грузоперевозок с учетом полного цикла перевозки «кругорейса»

Как уже изложено ранее, особенностью комплектных перевозок является наличие у компании перевозчика прямых контрактов с заказчиками на резервирование всего грузовика, что исключает необходимость учитывать объем груза и строить консолидированные маршруты. Однако, несмотря на такое упрощение, в таких перевозках есть и свои сложности, связанные с неопределенностью продолжения «возврата» грузовика в базовую локацию. Это особенно характерно для мелких и средних транспортных компаний, не обладающих большой клиентской базой заказов в разных регионах, позволяющих ей планировать машину как «туда», так и «обратно». В условиях неопределенных «обратных» заказов необходимо выбрать определенные «прямые» заказы таким образом, чтобы в результате получить прибыль на всем круге, а не только на одном направлении. Т.е. компания перевозчик постоянно решает задачу выбора выгодных для себя прямых направлений, из которых у нее

есть сложившиеся маршруты для возвратов, при которых общая выручка на круге превосходит затраты.

Таким образом, необходимо решить задачу априорного анализа перевозки. Основная сложность при решении состоит в том, что заранее известны только заказы, а стало быть потенциальные затраты на дорогу, «туда» (прямой рейс, например, из Москвы в Екатеринбург), но неизвестны заказы «обратно», их предстоит найти по ходу движения грузовика, может случиться так, что обратных заказов вовсе не окажется и придется ехать порожним, съедая всю прибыль от прямой перевозки. При этом обратный путь в исходный пункт выезда может быть довольно долгим, т.к. у компании нет отдельной задачи возвращать грузовик на базу, как можно быстрее, есть задача, увеличить доход за каждый день на каждом километре конкретной перевозки и конкретной машины. Но конечно, грузовику надо когда-то вернуться на базу: для заправки, сдачи и получения документов, смены водителя или полуприцепа, ремонта и так далее. В результате возникает задача оценки потенциальных затрат не только на одной перевозке «туда», но и на всем круге в целом. При такой постановке важно правильно проанализировать статистику всех возможных вариантов кругов для конкретного направления, которые уже выполнялись транспортной компанией, разбить их на составные части и для каждого рассчитать себестоимости, получив суммарную оценку прибыльности/убыточности данного рейса. Данная проблема ранее описывалась автором диссертации в его работах [60,61], рассмотрим обобщенную математическую постановку, этапы решения и полученный результат.

Постановка задачи. Пусть имеется M грузовиков, базирующихся в определенном городе в некоторой транспортной сети. Известны переменные (на 1 км движения) и постоянные (на 1 час простоя) затраты на эксплуатацию каждого грузовика. Имеется N заказов, характеризующихся: выручкой от

заказчика, пунктом отправления, пунктом доставки, временным окном прибытия на погрузку и разгрузку. Расстояния между всеми пунктами считаются известными. Для каждого пункта доставки необходимо рассчитать вероятную прибыль (убыток, если она отрицательная) возврата из этого пункта обратно на базу на основе уже выполненных ранее заказов. Число заказов всегда превосходит число грузовиков ($N > M$) и ни один из грузовиков не успеет выполнить более одного заказа. Требуется для каждого из M грузовиков выбрать M заказов таким образом, чтобы суммарная прибыль компании, после возвращения всех грузовиков обратно на базу, была максимальной.

Решение задачи. Прежде всего необходимо понимать, что каждая заявка на перевозку обладает своими особенностями в плане расчета себестоимости в зависимости от того, в какую сторону она направлена. Например, грузовик находится в Волгодонске и едет по заказу на перевозку «Сальск – Есипово», для этого ему нужно преодолеть расстояние в 1483 км. Приблизительная себестоимость такой перевозки: 33000-35000 рублей, однако тариф для клиента 27000. Понятно, что на этой перевозке компания работает в убыток. Но дело в том, что это пример так называемого «компенсационного» маршрута. Он не приносит доход компании, он компенсирует ее издержки на обратном пути возвращения к крупному городу-метрополии (например, Москве), откуда грузовик выполнял свой «доходообразующий» заказ и заработал основную выручку. Поэтому в большинстве случаев компенсационные перевозки не дают прибыли, могут быть ниже себестоимости и генерировать убыток. Но если рассматривается круг, по которому ТС (транспортное средство) ехал, выполняя перевозку «Сальск – Есипово», то он будет выглядеть так:

- 1) «Есипово – Санкт-Петербург», «компенсационная» перевозка;
- 2) «Санкт-Петербург – Каменногорск», холостой пробег;
- 3) «Каменногорск – Волгодонск», «доходообразующая» перевозка;

- 4) «Волгодонск – Сальск», холостой пробег;
- 5) «Сальск – Есипово», компенсационная перевозка в район Москвы.

Дополнительно, стоит упомянуть еще и «локальные» перевозки – короткие рейсы в районе крупного города, у которых совсем другая структура ставки для клиента перевозки: количество рабочих часов, плюс часы на подачу и возврат, помноженные на часовую ставку, а в плане себестоимости: постоянные расходы за день, оплата труда водителя, осреднённый километраж за день по ставке пробега. Это скорее частный случай, но он также вносит свой вклад в расчет себестоимости возврата на круге. Т.е. одним из главных моментов анализа себестоимости перевозки на круге является его разделение на следующие сектора: «доходообразующий», «компенсационный», «локальный».

Рассмотрим некоторые примеры кругорейсов:

Пример № 1. Круг начинается и заканчивается на базе в г.о. Электросталь. Подача с базы в Пушкино включается в перевозку «Пушкино – Воронеж», а возврат на базу из Солнечногорска – в перевозку «Воронеж – Солнечногорск» (рис. 2.2).

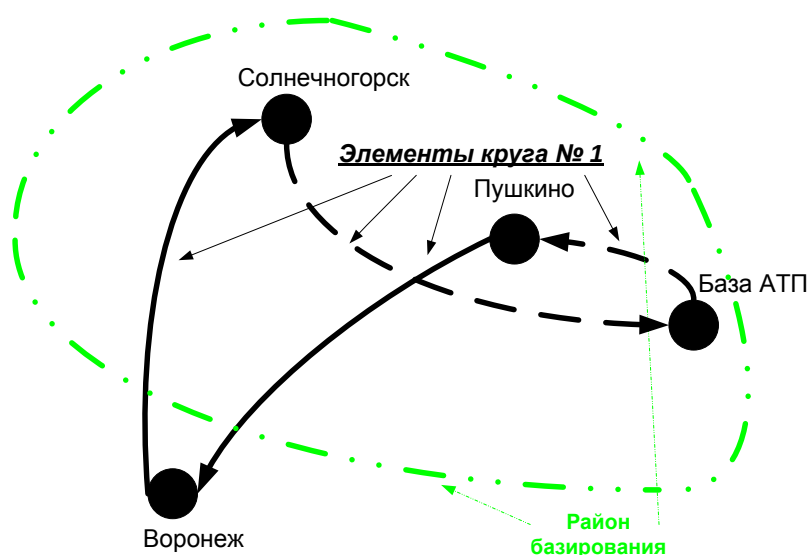


Рис. 2.2 – Круг с заездом на базу

Пример № 2. Круг начинается на станции технического обслуживания (СТО) и заканчивается на базе. Подача с СТО в Пушкино включается в перевозку «Пушкино – Воронеж», а возврат на базу из Солнечногорска – в перевозку «Воронеж – Солнечногорск» (рис. 2.3).

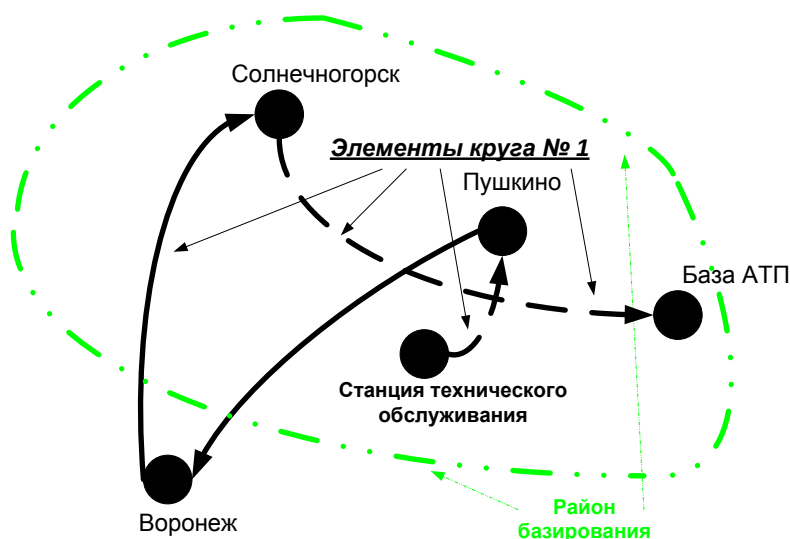


Рис. 2.3 – Круг с заездом на станцию тех обслуживания

Пример № 3. Круг № 1 начинается, и круг № 2 заканчиваются на базе. Подача с базы в Пушкино включается в перевозку «Пушкино – Воронеж» (круг № 1), подача из Солнечногорска в Домодедово – в перевозку «Домодедово – Ростов-на-Дону» (круг № 2), возврат на базу из Рузы в перевозку «Азов – Руза» (круг № 2) (рис. 2.4).

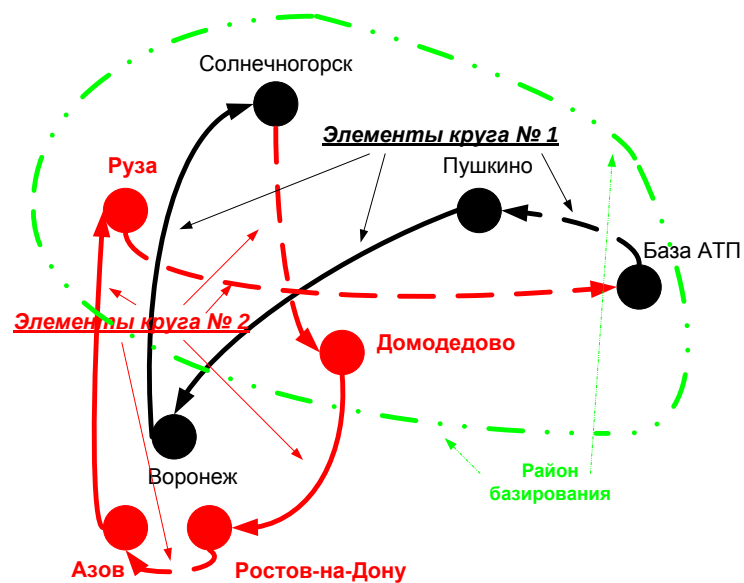


Рис. 2.4 – Кругорейс, содержащий два круга

Пример № 4. Один большой круг без заезда на базу. Подача из Подольска в Королёв относится к перевозке «Королёв – Волгоград», а подача из Екатеринбурга в Краснокамск к перевозке «Краснокамск – Ярославль» (рис. 2.5).

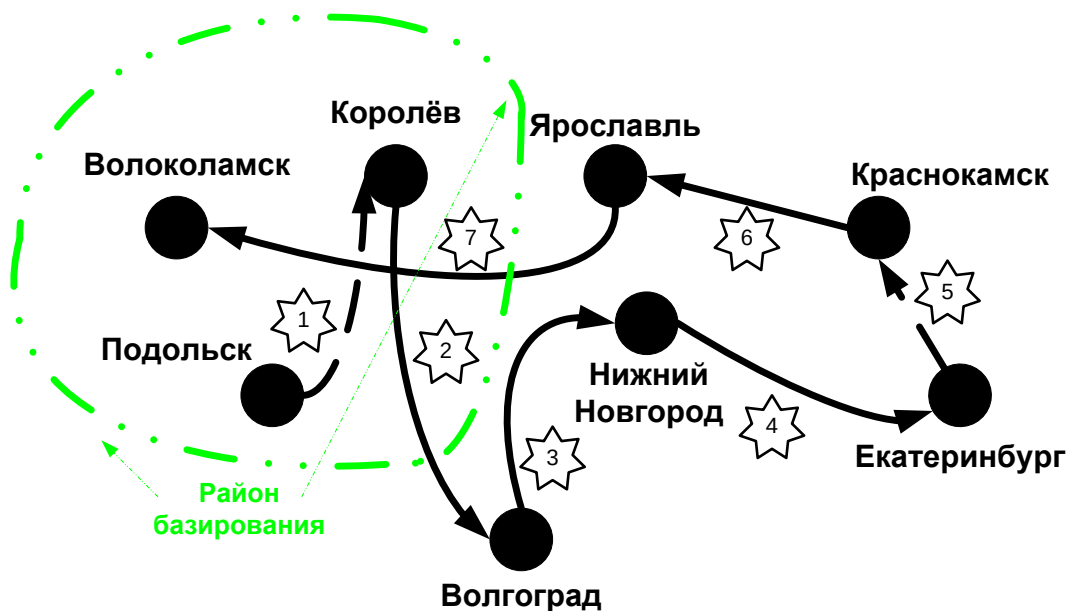


Рис. 2.5 – Большой круг без заезда на базу

Пример № 5. Два круга без заезда на базу. Подача из Подольска в Пушкино относится к перевозке «Пушкино – Воронеж» (круг № 1), а подача и Солнечногорска в Домодедово к перевозке «Домодедово – Ростов-на-Дону» (круг № 2) (рис. 2.6).

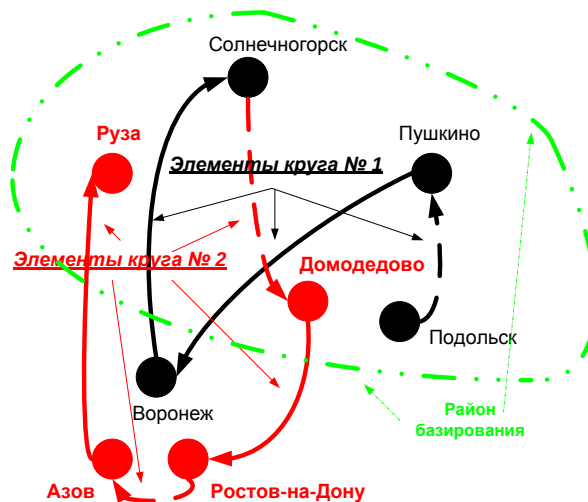


Рис. 2.6 – Два больших круга без заезда на базу

Пример № 6. Локальная перевозка в ходе выполнения другой перевозки. Из Домодедово берётся заказ на Самарское, планируется дозагрузка в Венёве на Самарское, но есть ещё заказ из Домодедово в Венёв (рис. 2.7).



Рис. 2.7 – Локальная перевозка в ходе выполнения другой перевозки

Пример № 7. Внутренний круг. ТС прибыло в Пермь в рамках круга, начавшегося перевозкой «Пушкино – Екатеринбург», но есть заказ внутреннего круга «Пермь – Таганрог – Пермь» (рис. 2.8).

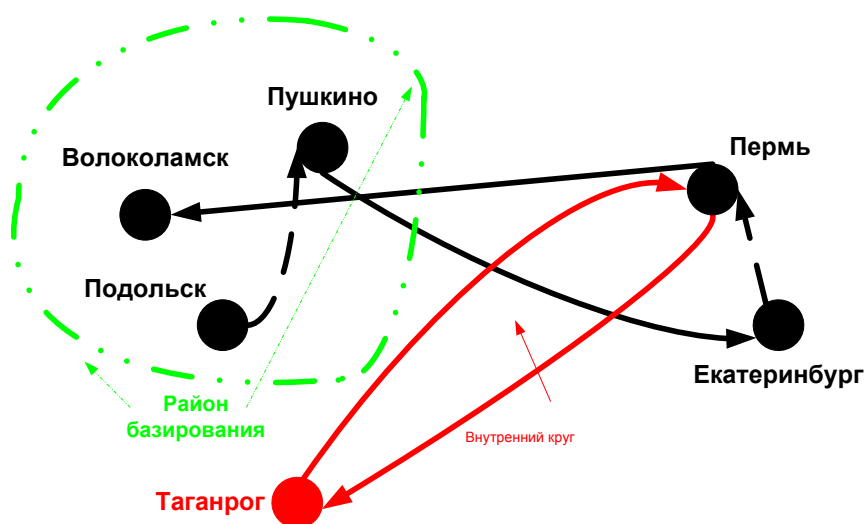


Рис. 2.8 – Внутренний круг

Пример № 8. Локальная перевозка в регионе базирования в ходе выполнения большого круга. Исполнялась перевозка «Пермь – Волоколамск», но тягач заехал на базу, отцепил полуприцеп с грузом, взял другой полуприцеп и исполнил локальную перевозку по региону базирования (рис. 2.9).



Рис. 2.9 – Локальная перевозка в регионе базирования в ходе выполнения большого круга

Пример № 9. Локальная перевозка вне региона базирования в ходе выполнения большого круга. Выполнена перевозка «Пушкино – Нижний Новгород», есть заявка по городу, которую ТС исполняет прежде, чем уйти на продолжение круга (рис. 2.10).

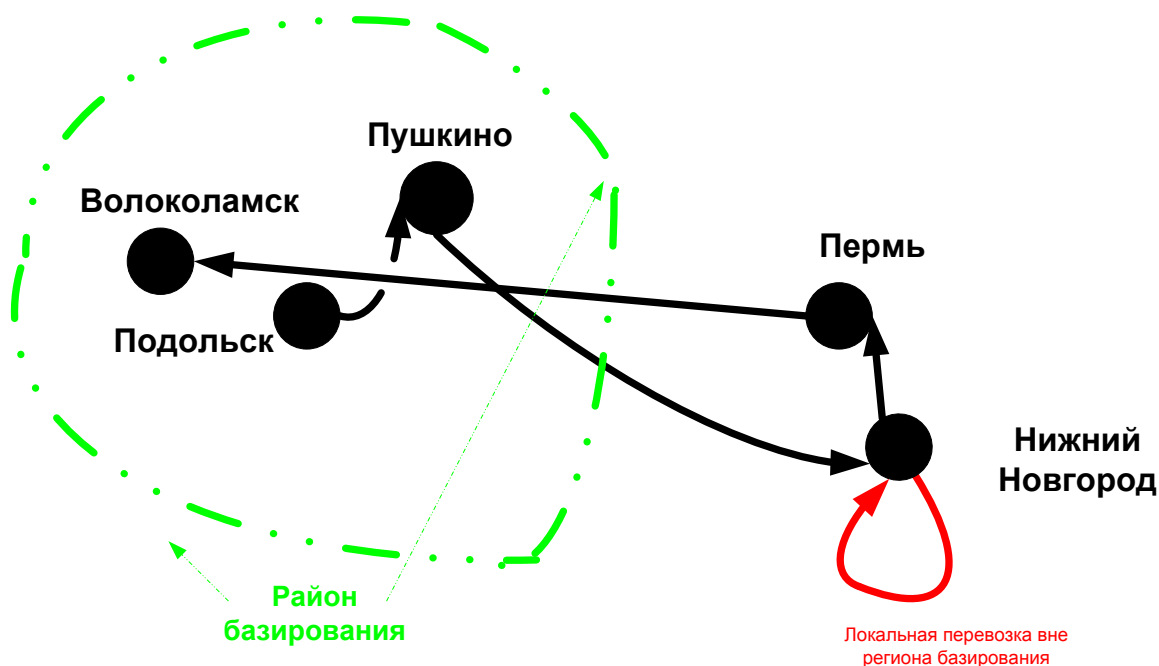


Рис. 2.10 – Локальная перевозка вне региона базирования в ходе выполнения большого круга

Для решения первой части поставленной задачи (расчёт вероятной прибыли/убытка от возврата) необходимо разработать алгоритм составления кругов по историческим (ранее выполненным) заказам и рассчитать их общую выручку и себестоимость. Если с расчетом выручки все понятно, она известна в каждой заявке, то про себестоимость необходимо поговорить отдельно. В общем случае себестоимость состоит из переменных и постоянных затрат.

Переменные затраты зависят от расстояния и в большинстве случаев связаны со стоимостью и расходом горюче-смазочных материалов (ГСМ) и технического обслуживания (ТО) на км пути. Тут возможны разные методики по расчету, но

упрощенно принимают за 1 км c^d рублей расходов. Основной подход к расчёту длины пути по конкретной перевозке такой: дистанция от места разгрузки предыдущего заказа до места погрузки текущего заказа (порожний переезд) плюс дистанция от места погрузки до места разгрузки текущего заказа (транспортировка).

Постоянные затраты зависят от времени работы грузовика по ходу выполнения перевозки, при этом не важно, движется он или стоит на месте. Эти затраты связаны с зарплатой водителя, лизинговыми платежами по выкупу грузовика в собственность, страховкой, оплатой системы спутникового мониторинга и т.д. Эти затраты усредняют по всем грузовикам и получают среднюю стоимость эксплуатации грузовика c^t рублей в день. Основной подход к расчёту времени перевозки начинается от момента разгрузки предыдущего заказа и заканчивается моментом разгрузки текущего заказа. Поэтому можно положить, что себестоимость перевозки может быть вычислена по формуле:

$$Cost_i = d^i c^d + t^i c^t, \quad (2.7)$$

где d^i длина маршрута включая переезд (в км), а t^i время простоя между заявками (в часах). Исходя из этих положений для расчета возврата из каждого населенного пункта предложен следующий **алгоритм расчета возврата на круге**:

1. Отбираются все города, по которым когда-либо были осуществлены перевозки и для каждого города, обозначим его как город Н.
2. Отбираются все заказы, где город Н является городом уезда (т.е. город из которого мы начинаем порожний переезд либо, как частный случай, начинаем из него погрузку заказа), далее все эти заказы сортируются по грузовикам.

3. Для каждого грузовика в данной выборке находятся следующие заказы в его исторической цепочке заказов. В качестве признака окончания цепочки (круга) берется факт захода грузовика в регион базирования компании.
4. Для каждой такой цепочки из полученной выборки получаются 3 усреднённых параметра для предполагаемого возврата из города Н: складываются все суммы заказов цепочки, получается средняя выручка возврата, складываются все пробеги (порожний и полезный) по заказам цепочки и получается средний пробег возврата, считается общее время выполнения всех заказов цепочки и получается среднее время возврата. Таким образом, получаем три средних оценочных параметра возврата из города Н, которые записываются в статистику города Н. Средний пробег возврата и среднее время возврата на круге соотносятся с переменными и постоянными затратами. Если вычесть из выручки круга переменные и постоянные затраты, то получим прибыль (убыток) кругорейса.

Если количество найденных цепочек возврата меньше или равно минимально допустимого (предварительно оно оценено равным 3), тогда статистика возврата из данного города считается «слабой» и она не учитывается. Вместо этого, находится ближайший город, статистика возврата из которого является «сильной», из него берутся параметры возврата, с добавлением к ним времени и затрат на порожний переезд до этого города.

Вторая часть задачи решается составлением матрицы допустимых назначений для ациклической задачи, описанной в пункте 2.1, только вместо длительности порожних переездов в ячейки матрицы будут записываться затраты на перевозку заявки грузовиком с учетом статистики возврата:

$$A = \begin{bmatrix} cr_{1,1} - co_1 - cw_1 & \cdots & cr_{1,m} - co_1 - cw_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cr_{n,1} - co_n - cw_n & \cdots & cr_n - co_n - cw_n \end{bmatrix},$$

где cr_{ij} – затраты на перевозку i заказа j грузовиком, co_i – стоимость (выручка) i заказа, sw_i результат возврата на круге из города разгрузки i заказа.

Далее решается задача о назначениях Венгерским алгоритмом. Алгоритм ищет минимальную сумму назначений и выберет из N заказов M заказов с минимальной общей суммой (она должна быть отрицательной) а значит и с максимальной общей прибылью для компании.

2.5 Задача построения динамического плана работы сервисных бригад по событиям реального времени

Рассматривается актуальная задача построения сменно суточного плана работы сервисных бригад: аварийно-ремонтных служб в сетях ЖКХ (газоснабжения, водоснабжения, водоотведения, телекоммуникации и др.), обслуживания объектов инфраструктуры (нефтегазовые скважины, объекты дорожной инфраструктуры и др.), служб пожарных и скорой помощи, служб правоохранительных органов (опер. группы, УВО, ДПС), служб обслуживания и ремонта орг. техники и др. Как правило все такие службы имеют: кол-центр приема звонков, центральную диспетчерскую и специально оснащенные бригады сотрудников, передвигающиеся на спец автомобиле или пешим порядком.

В кол-центр поступают аварийные заявки, которые характеризуются срочностью, местом проведения и временным окном выполнения работы. Помимо аварийных заявок могут существовать также регламентные планово-профилактические работы, проводящийся самой сервисной службой, согласно утвержденному плану графику. Дополнительно требуется учитывать особенности требующихся к выполнению работ, так как бригады могут быть неоднородные по квалификации персонала и составу дополнительного оборудования, например, сварочного и др.

Несмотря на то, что в данной задаче не требуется осуществлять грузоперевозки, она может быть сведена и решена уже рассмотренными выше методами, с некоторыми их модификациями, для рассмотренных выше задач построения плана комплектных (FTL) грузоперевозок. Для этого требуется принять, что бригада выполняет все заказы последовательно, т.е. нельзя одновременно выполнять несколько заказов (на практике именно так и происходит) и в качестве основного критерия оптимизации выступает приоритет заявки (срочность выполнения), а уже затем минимизация длины пути маршрута. Таким образом, при поступлении заявки с более высоким приоритетом она вытесняет заявку с более низким, даже если та находится ближе к месту текущего расположения бригады.

Постановка задачи. Пусть имеется M бригад с определенным набором характеристик (квалификация сотрудников, наличие спец. оборудования и др.), базирующихся в определённой локации. Каждая бригада имеет фиксированный сменный график работы, известный заранее (например, дневная: с 8 до 17, вечерняя с 17 до 8). Местоположение бригады на момент начала работы смены задается на базе. Имеется N плановых (регламентных) заявок с самым низким приоритетом выполнения, которые необходимо выполнить в течении текущих суток, характеризующихся: необходимым набором требований, предъявляемым к бригаде, пунктом проведения и плановым временем выполнения работ.

Имеется поток аварийных заказов, характеризующихся: срочностью выполнения (критическая, важная, средняя), необходимым набором требований, предъявляемым к бригаде, пунктом проведения и плановым временем выполнения работ. Расстояния между всеми пунктами считаются известными (могут быть рассчитаны в любой момент, при этом время в пути на преодоление одного и того же расстояния в разное время суток может быть разным в зависимости от дорожной ситуации). Имеется поток внешних событий, об

отмене или изменении ранее поступивших заказов, и бригад, которые посредством сотового телефона (смартфона или планшета) передают данные о фактическом времени выезда, начале и окончании работ по заявкам. Имеется поток внешних данных от датчиков геопозиционирования (Глонасс/GPS), которые с интервалом раз в минуту передают данные о фактическом местоположении каждой бригады. В каждый момент времени известны только те заказы, внешние события и данные, которые поступили до этого момента времени. Требуется построить начальный план выполнения регламентных заявок и адаптивно менять его с учетом реального времени:

- поступления аварийных заявок в порядке срочности их выполнения (критическая, важная, средняя) и внешних событий и данных реального времени: отмена заказа, поломка (недоступность) бригады в пути;
- минимизации пробега бригады с учетом текущей дорожной ситуации (маршрута проезда с учетом дорожных знаков и разметки, а также данных по «пробкам»);
- при поступлении заявки с более высоким приоритетом нужно адаптивно перестроить расписание бригады, которая может ее выполнить и прибудет на место быстрее других, даже если она уже выехала на другую заявку (но еще не начала фактическое выполнение работ!);
- заявки, которые не удастся выполнить в текущие сутки, необходимо перенести на следующие, выстроив их в порядке срочности выполнения.

Решение задачи. Как и в задаче комплектных грузоперевозок решение данной задачи состоит из двух частей: нахождения начального плана и его модификации по событиям реального времени. Для нахождения начального плана строится расширенная матрица допустимых назначений (здесь мы также смягчаем условие совместимости заказов и ресурсов, считая, что любой заказ может быть выполнен любой бригадой) вида:

$$A = \begin{bmatrix} dr_{1,1} & \cdots & dr_{1,m} | do_{1,m+1} \cdots do_{1,m+n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ dr_{n,1} & \cdots & dr_{n,m} | do_{n,m+1} \cdots do_{n,m+n} \end{bmatrix},$$

где в колонках начальной матрицы указан пробег бригады от пункта базирования до пункта выполнения работ каждого заказа, а в расширенной матрице указан пробег от пункта выполнения работ каждого заказа до другого заказа, т.е. матрица расширяется за счет «виртуальных» ресурсов, освобождающихся после выполнения первоначальных заказов. Данная матрица формализует задачу о назначениях, которая решается Венгерским алгоритмом, в результате получается начальный план, который далее модифицируется **мультиагентным методом**, аналогичным задаче грузоперевозок (пункт 2.2), где с каждой бригадой связывается агент бригады, с каждым заказом – агент заказа. Агенты могут отправлять и получать сообщения и принимать решения согласно своей логике и текущей ситуации, которая определяется состоянием каждого агента.

При поступлении аварийного заказа его агент рассылает запрос на его размещение на агентах бригад, которые анализируют свое текущее состояние, наличие окон в будущем расписании, с учетом переезда до пункта работы нового заказа, отправляют свои предложения агенту заказа. Кандидаты на планирование выстраиваются по возрастанию переездов на выполнение. Заказ получает агент бригады, выполняющий его с минимальным переездом. В случае улучшения глобальной целевой функции (KPI) – число распределенных заказов по убыванию срочности и суммарный переезд на их выполнение, новый вариант расписания принимается в качестве текущего. При этом стоит отметить что KPI тем лучше, чем больше в нем запланированных заявок с более высоким приоритетом, т.е. KPI, где запланирована 1 критическая, 0 важных, 0 средних и 0 плановых заявок будет лучше, чем 0 критических, 10 важных, 10 средних и 10

плановых. При одинаковом количестве запланированных заявок одноименных приоритетов лучшим считается KPI с меньшим суммарным переездом.

Разрешение конфликтов путем переговоров. При наличии конфликта в расписании агент бригады рассылает сообщения запланированным заявкам с оценкой возможных временных смещений и сброса менее приоритетных заявок. Сдвинутые заявки в случае согласия уведомляют агента бригады об изменении расписания, в случае отказа – прибывшая новая заявка обращается к агентам более дальних бригад. Сброшенные менее приоритетные заявки повторно обращаются к агентам бригад и цикл повторяется. Такие заявки могут, в свою очередь, вызвать последующие заявки и породить волновой эффект. Когда волна достигает общего увеличения KPI системы, она фиксируется в качестве нового решения. Если процесс переговоров не может достигнуть увеличения KPI, процесс останавливается на последнем принятом решении и разрешает агенту заявки попробовать другой вариант (следующий по возрастанию переезда). При наступлении нового события, меняющего ситуацию, агенты вновь перестраивают свои варианты.

2.6 Задача построения начального плана сборных (LTL) грузоперевозок

Задача выбора маршрутов перевозки сборных грузов, является известной задачей комбинаторной оптимизации и имеет различные постановки в зависимости от типов ограничений. Наиболее актуальной считается «Задача маршрутизации с ограничением по времени» (Vehicle Routing Problem with Time Windows). При этом целью является минимизация времени в пути, общего пробега и количества грузовиков, при соблюдении условий выполнения каждого заказа в рамках временного окна, сопоставленного с заказом. Как уже отмечено выше задача оптимизации LTL грузоперевозок на порядок сложнее FTL. Решение задачи точными методами на большом числе заказов и ресурсов за

приемлемое время не представляется возможным. В течение последних 50-ти лет были разработаны различные алгоритмы составления расписаний на основе эвристических методов, которые были подробно проанализированы в первой главе. Поскольку различных формулировок и ограничений этой задачи существует большое множество, уточним какие именно рассматриваются в нашем случае:

- все грузы, перевозимые в рамках заказов, считаются однородными и равномерно распределяемыми по всему объему грузовика, которые совместимы друг с другом, т.е. любой груз любой заявки может быть помещен с любым другим грузом любой другой заявки в любом грузовике;
- каждый грузовик считается универсальным контейнером, с точки зрения доступа к грузу и всегда можно вытащить любую часть груза из любого места грузовика, т.е. расположение груза в грузовике не накладывает ограничений на порядок объезда мест разгрузки (задача о рюкзаке не рассматривается);
- в каждом заказе есть только один пункт погрузки и разгрузки. На практике часто реальные заказы имеют более одного пункта загрузки и/или выгрузки, тогда их предварительно разбивают на несколько заказов. Так, например, если у нас один заказ с двумя погрузками в разных местах и одной разгрузкой в одном месте, тогда создается два заказа с одной погрузкой и одной разгрузкой (в каждом заказе разгрузка только того груза, который был погружен на его погрузке). Если у нас заказ с одной погрузкой и двумя выгрузками – напротив создаем два заказа первый с одной погрузкой только части груза, который будет выгружен на первой выгрузке, второй с погрузкой только той части груза, что будет выгружена на второй выгрузке. Если две погрузки и две разгрузки, тут сложнее: если первая погрузка выгружается целиком на первой разгрузке, а вторая на

второй, то будет два заказа, иначе заказов будет больше, ровно столько сколько требуется для однозначного разделения груза на одну погрузку и одну разгрузку в каждом заказе;

- каждый заказ может быть перевезен только каким-либо одним грузовиком, не рассматривается разделение груза на части для возможности его погрузки в разные грузовики в процессе решения задачи

Постановка задачи. Пусть имеется M грузовиков с прицепами заданной вместимости (по весу и объему), базирующихся в определенной локации. Имеется N заказов, которые можно объединять в сборную перевозку, характеризующиеся: одним пунктом погрузки и одним пунктом разгрузки с временным окном ожидания грузовика в этом пункте, объемно-весовым значением груза с временем, требуемым на работу для погрузки/разгрузки этого груза. Груз должен быть погружен/разгружен с учетом заданного времени погрузо-разгрузочных работ не позднее правого конца допустимого интервала («окна») погрузки/разгрузки. Опоздания считаются не допустимыми, однако допустим случай прибытия заранее и завершения погрузки/разгрузки к моменту открытия окна. Также считается допустимым случай завершения работы ровно в момент закрытия окна (т.е. начальный и конечные границы включены). Время, необходимое на переезд между всеми пунктами, известно.

Требуется объединить и распределить заказы по грузовикам таким образом, чтобы число распределенных заказов было максимальным при минимальном числе грузовиков, при этом суммарное время выполнения всех заказов грузовиками и суммарный пробег также должны быть минимальными.

Решение задачи. Для построения начального плана предлагается использовать простой и наглядный жадный итерационный метод ветвей и границ, где на каждом шаге из всех возможных допустимых вариантов выбирается вариант с наименьшим временем выполнения.

Все заказы сортируются по времени первого окна погрузки. Для удобства будем отсчитывать время от 0. В начальный момент времени T_0 произвольно выбирается первый из M грузовиков, с прицепом заданной вместимости (TW) находящийся в базовой локации. При этом момент времени T_0 всегда меньше окна погрузки самого раннего заказа. Относительно этой начальной точки и начального времени строится массив допустимых назначений для каждого заказа, в котором для грузовика рассчитывается время выполнения погрузки с учетом переезда к пункту погрузки рассматриваемого заказа (TLE_i) и время его полного выполнения (TUE_i), рассчитываемое по формулам:

$$TLE_i = (\text{если } TOL_i < LS_i \text{ то } LS_i \text{ иначе } TOL_i) + TL_i, \quad (2.8)$$

$$TUE_i = TLE_i + TLU_i + TU_i, \quad (2.9)$$

где TOL_i – время переезда из начального пункта в пункт погрузки заказа, LS_i – время открытия окна погрузки, TL_i – время погрузочных работ, TLU_i – время переезда из пункта погрузки в пункт разгрузки, TU_i – время разгрузочных работ. Логическое выражение (*если $TOL_i < LS_i$ то LS_i иначе TOL_i*) означает, что если время на переезд из начального пункта до пункта погрузки заказа меньше, чем время открытия окна погрузки, то берется время открытия окна, т.к. раньше этого времени грузовик погрузать не начнут. Вариант, при котором $TOL_i > LF_i$, где LF_i время закрытия окна погрузки, не рассматривается, т.к. в этом случае данный заказ не может быть априори запланирован. Если:

$$TLE_i < UF_i, \quad (2.10)$$

$$W_i < TW, \quad (2.11)$$

где UF_i – время закрытия окна разгрузки, W_i – объемно-весовая характеристика груза в заказе, а TW – максимальная вместимость грузовика, то заказ считается возможным к выполнению. Из всех возможных к назначению заказов выбирается заказ с наименьшим временем переезда. После чего грузовик меняет местоположение, которое теперь соответствует месту погрузки выбранного заказа, а время его освобождения будет рассчитано по формуле:

$$T_1 = (\text{если } TOL_i < LS_i \text{ то } LS_i \text{ иначе } TOL_i) + TL_i. \quad (2.12)$$

После первого назначения строится массив следующих допустимых назначений, из которого сразу исключаются заказы, которые:

- 1) с учетом уже набранного грузовиком на предыдущих шагах груза дают в сумме с этим заказом перегруз;
- 2) на их пункты погрузки грузовик уже не успеет, где

$$T_1 + TOL_i + TL_i > LF_i; \quad (2.13)$$

- 3) с учетом возможной погрузки заявки грузовик не успеет выполнить разгрузки уже назначенных на него заказов.

Алгоритм повторяется до тех пор, пока не останется допустимых назначений заказов. После чего берется второй, третий и т.д. (произвольный) грузовик на базе с начальным временем T_0 , и выполняется тот же алгоритм на оставшихся не распределенными после предыдущих грузовиков заказах, до тех пор, пока все N заказов не будут распределены, либо все M грузовиков не будут использованы.

Пример решения задачи

Рассмотрим следующий модельный пример. Имеем 5 заказов с характеристиками, заданными в таблице 2.9.

Таблица 2.9. Характеристики заданных заказов

	LS	LF	LT	US	UF	UT	W
1	1	2	1	6	9	1	5
2	2	3	0	6	9	0	4
3	3	5	1	12	14	1	5
4	3	5	1	12	14	1	4
5	4	6	0	17	19	0	4

В таблице 2.9: LS – начало окна погрузки в условных единицах времени, LF – конец окна погрузки в условных единицах времени, LT – время на погрузку в условных единицах времени; US – начало окна разгрузки в условных единицах

времени, UF – конец окна разгрузки в условных единицах времени, UT – время на разгрузку в условных единицах времени; W – объемно-весовая характеристика груза.

Имеем таблицу расстояний в единицах времени между всеми пунктами, заданными в таблице 2.10.

Таблица 2.10. Расстояния между пунктами

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
0	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	3,3	5,4	4,5	6,4	7,6
L_1	0	0,2	0,3	0,4	0,5	3	5	4	6	7
L_2	0,2	0	0,6	0,5	0,5	2,5	4	5	7	5
L_3	0,3	0,6	0	0,4	0,3	3	6	6	5	6
L_4	0,4	0,5	0,4	0	0,1	2,5	4	4	6	4
L_5	0,5	0,5	0,3	0,1	0	2,6	4	3	4	3
U_1	3	2,5	3	2,5	2,6	0	0,3	0,4	0,5	0,4
U_2	5	4	6	4	4	0,3	0	0,2	0,3	0,4
U_3	4	5	6	4	3	0,4	0,2	0	0,1	0,5
U_4	6	7	5	6	4	0,5	0,3	0,1	0	0,6
U_5	7	5	6	4	3	0,4	0,4	0,5	0,6	0

В таблице 2.10: 0 – начальная точка нахождения грузовика, вместимостью 25 единиц, L_i – точки погрузок заявок (Loading), U_i – точки разгрузок заявок (Unloading).

Строим таблицу времен выполнения погрузки каждого заказа относительно начального положения грузовика по всем заказам согласно формуле (2.8). Для первого заказа время переезда от начального пункта составляет 0,3 единицы времени, время появления грузовика в начальном пункте в 0 ед. времени. Поэтому получим $T_0L_1=0+0,3+1=1,3$, попадает в окно погрузки первого заказа, значит назначение может бы выполнено. Далее $T_0L_2=0+0,4+0=0,4$. Значение 0,4 не попадает в окно погрузки второго заказа (оно открывается только в 2), поэтому назначение может быть выполнено только в 2 (простой грузовика 1,6). Для третьего и последующих заказов имеем тоже самое,

что и для второго, их время потенциального выполнения будет совпадать с начальными окнами открытия их заказов, получим таблицу 2.11.

Таблица 2.11. Допустимые назначения относительно начального положения

	0
L_1	1,3
L_2	2
L_3	3
L_4	3
L_5	4

Выбираем назначение на погрузку с минимальным временем выполнения и проверяем возможность его разгрузки в установленный срок, согласно неравенству (2.10), а также не превышение максимальной вместимости (2.11). Если эти неравенства выполняются, то мы принимаем это назначение и переходим к следующему шагу, если нет, то выбираем следующее после минимального значения, до тех пор, пока (2.10) и (2.11) не выполняются или пока не будут перебраны все значения в таблице. Для минимального значения $0L_1 = 1,3$ из таблицы 2.11 имеем $1,3+3+1 < 9 \Rightarrow$ (2.10) выполняется, также выполняется условие (2.11), выбираем это назначение и переходим к следующему шагу.

На втором шаге местоположение тягача освобождается в пункте L_1 в момент времени $T_1=1,3$. Первый заказ уже назначен на предыдущем шаге, поэтому его не рассматриваем. Для остальных заказов получим:

$L_1L_2=1,3+0,2+0=1,5$ не попадает в окно погрузки второго заказа, поэтому назначение может быть выполнено только в 2 (простой 0,5). Здесь и далее запись L_iL_j означает последовательную погрузку сначала заказа i , затем перемещение грузовика и погрузку заказа j .

$L_1L_3=1,3+0,3+1=2,6$ не попадает в окно погрузки третьего заказа, поэтому назначение может быть выполнено только в 3 (простой 0,4).

$L_1L_4=1,3+0,4+1=2,7$ не попадает в окно погрузки четвертого заказа, поэтому назначение может быть выполнено только в 3 (простой 0,3).

$L_1L_5=1,3+0,5+0=1,8$ не попадает в окно погрузки пятого заказа, поэтому назначение может быть выполнено только в 4 (простой 2,2). Получим таблицу 2.12 допустимых перемещений после первой погрузки.

Таблица 2.12. Допустимые назначения относительно первого погруженного заказа

	L_1
L_2	2
L_3	3
L_4	3
L_5	4

Выбираем назначение на погрузку с минимальным временем выполнения (в нашем случае L_1L_2) и проверяем возможность его разгрузки в установленный срок, с учетом уже загруженного первого заказа. После потенциальной погрузки второго заказа у грузовика есть две возможности: сначала поехать на разгрузку заказа 1, затем заказа 2, или наоборот. Рассмотрим обе возможности:

$L_2U_1=2+2,5+1=5,5$, но окно разгрузки первого заказа откроется только в 6, поэтому простой 0,5 и выполнение в 6 и далее переезд на разгрузку заказа 2.

$L_2U_1U_2=6+0,3+0=6,3$, входит в окно заказа 2. Рассматривать вторую возможность на данном шаге не обязательно, если найдена хотя бы одна допустимая возможность разгрузить вовремя все ранее погруженные заказы. Однако, рассмотрим для примера и вторую где, в начале переезд для разгрузки заказа 2. $L_2U_2=2+4+0=6$, значение входит в окно разгрузки заказа 2, и далее переезд на разгрузку заказа 1. $L_2U_2U_1=6+0,3+1=7,3$, значение входит в окно разгрузки заказа 1.

Оба варианта объезда точек разгрузки возможны и укладываются в ограничения, однако вариант, который завершает выполняться раньше, является

предпочтительным. Поскольку на этом процесс решения не останавливается, мы принимаем к загрузке второй заказ и продолжаем рассматривать оставшиеся заказы.

На третьем шаге местоположение тягача освобождается в пункте L_2 в момент времени $T_2=2$. Первые два заказа уже назначены на предыдущем шаге, для остальных получим:

$L_2L_3=2+0,6+1=3,6$ значение попадает в окно погрузки третьего заказа.

$L_2L_4=2+0,5+1=3,5$ значение попадает в окно погрузки четвертого заказа.

$L_2L_5=2+0,5+0=2,5$ значение не попадает в окно погрузки пятого заказа, поэтому назначение может быть выполнено в 4 (простой 1,5). Запишем значения в таблицу 2.13.

Таблица 2.13. Допустимые назначения относительно второго погруженного заказа

	L_2
L_3	3,6
L_4	3,5
L_5	4

Выбираем назначение на погрузку с минимальным временем выполнения (в данном случае L_2L_4) и проверяем возможность его разгрузки в установленный срок, с учетом уже загруженных заказов 1 и 2.

После потенциальной погрузки заказа 4 есть уже 6 вариантов объезда точек разгрузки (в общем случае число вариантов объезда будет в 2 раза больше количества погруженных заказов), но часть из них может быть отброшена в ходе проверки на допустимость входа в окно разгрузки. Проверку всегда начинаем с выбора первой точки разгрузки. Рассмотрим три варианта: переезд на разгрузку заказа 1, затем на разгрузку заказа 2, затем на разгрузку заказа 4. Если продолжение возможно, продолжаем рассматривать оставшиеся варианты, пока не переберем все:

$L_4U_1=3,5+2,5+1=7$, значение проходит, поэтому продолжение возможно. Рассмотрим вариант $L_4U_1U_2=7+0,3+0=7,3$, значение проходит, продолжение возможно. Рассмотрим вариант $L_4U_1U_2U_4=7,3+0,3+1=8,6$, прибытие раньше открытия окна четвертого заказа, которое откроется только в 12, поэтому время выполнения по данному варианту объезда 12. Если найден хоть один вариант объезда всех точек разгрузки, который удовлетворяет всем ограничениям (как только что найденный нами) мы делаем вывод о продолжении подбора и переходим на следующий шаг (нет смысла рассматривать остальные и находить оптимальный, ведь на следующем шаге будет возможно добавлен новый заказ и план объезда точек разгрузки придется считать заново). Оптимальный путь разгрузки можно вычислить в самом конце, когда добавление нового заказа уже невозможно в виду неудовлетворения условиям.

На четвертом шаге местоположение тягача в пункте L_4 в момент времени $T_3=3,5$. Рассматриваем оставшиеся заказы:

$L_4L_3=3,5+0,4+1=4,9$ попадает в окно погрузки третьего заказа.

$L_4L_5=3,5+0,1+0=3,6$ не попадает в окно погрузки 5-го заказа, поэтому назначение может быть выполнено в 4 (простой 0,4). Запишем результаты в таблицу 2.14.

Таблица 2.14. Допустимые назначения относительно третьего погруженного заказа

	L_4
L_3	4,9
L_5	4

Выбираем назначение на погрузку с минимальным временем выполнения (в данном случае L_4L_5) и проверяем возможность его разгрузки в установленный срок, с учетом уже загруженных заказов 1, 2 и 4.

После потенциальной погрузки заказа 5 имеем 8 возможных вариантов. Начнем проверку выполнимости. Как и раньше, начинаем с выбора первой точки выгрузки, начнем с заказа 1:

$$L_5U_1=4+2,6+1=7,6, \text{ значение подходит, продолжение возможно;}$$

$$L_5U_1U_2=7,6+0,3+0=7,9, \text{ значение подходит, продолжение возможно;}$$

$$L_5U_1U_2U_4=7,9+0,3+1=9,2, \text{ значение подходит, продолжение возможно;}$$

$L_5U_1U_2U_4U_5=12+0,6+0=12,6<17$, выполнение плана возможно. Переходим к следующему шагу.

На пятом шаге местоположение тягача в пункте L_5 в момент времени $T_4=4$. Рассматриваем оставшийся заказ:

$L_5L_3=4+0,3+1=5,3$, где $5,3>5$, т.е. не попадает в окно погрузки третьего заказа. На этом мы останавливаем цикл, поскольку все заказы обработаны, а для оставшегося заказа 3 нужен новый «начальный» грузовик в точке 0.

После завершения цикла подбора заказов по погрузкам, нам необходимо рассчитать оптимальный маршрут развозки грузов по разгрузкам. Для этого продолжаем анализировать варианты. Мы уже проверили 1 из 8 возможных $L_5U_1U_2U_4U_5=17$, просчитаем оставшиеся:

$$L_5U_1U_2U_5=7,9+0,4+0=8,3<17, \text{ это допустимо, рассмотрим путь дальше;}$$

$$L_5U_1U_2U_5U_4=17+0,6+1=18,6>14, \text{ не возможный путь!}$$

Рассматриваем выгрузку вначале заказ 2:

$$L_5U_2=4+4+0=8, \text{ это допустимо, рассмотрим путь дальше;}$$

$L_5U_2U_1=8+0,3+1=9,3>9$, невозможный путь! Дальше нет смысла рассматривать эту ветвь, так выполнить вовремя разгрузку U_1 невозможно.

Рассматривать выгрузку первым четвертого, а тем более пятого заказа, нет никакого смысла, поскольку после их выполнения нет возможности разгрузить

более ранние заказы 1 и 2. Получим единственно возможный путь разгрузки набранных заказов $L_5U_1U_2U_4U_5=17$.

Стоит отметить, что в других примерах путь разгрузки может быть не единственным. В таком случае необходимо найти все возможные варианты и выбрать путь с минимальным временем выполнения, чтобы грузовик мог освободиться раньше и приступить к выполнению следующих заказов. Однако возможна ситуация, когда мы получим несколько различных возможных путей выполнения разгрузок с одинаковым временем выполнения, это связано с тем что из-за простоев в ожидании открытия временных окон грузовик может успеть объехать заказы в разной последовательности, но закончив тем же самым заказом (либо другим, но со схожими окнами разгрузки). В этом случае необходимо для всех вариантов с минимальным временем выполнения рассчитать дополнительно только время переезда между разгрузками (без учета времени ожидания открытия окна), поскольку затраты на переезд превосходят затраты на ожидание, то из возможных вариантов с одинаковым минимальным временем выполнения нужно выбрать тот, который соответствует минимальному времени переезда от пункта погрузки последнего назначенного заказа через пункты разгрузок всех назначенных заказов.

2.7 Задача построения динамического плана сборных (LTL) грузоперевозок в реальном времени

Задача построения динамического плана сборных грузоперевозок в реальном времени является более сложной, нежели статическая задача построения начального плана. В такой задаче подразумевается, что ее условия могут произвольно динамически меняться по ходу течения времени, могут добавиться новые заказы, отмениться или измениться часть уже известных заказов, могут стать недоступными ресурсы (задержки в пути, поломки и т.д.). Как и в случае с комплектными грузоперевозками, построенный начальный план

модифицируется при помощи метода, который должен оперативно находить «разумные» допустимые решения без полного перебора, благодаря непрерывному адаптивному изменению начального плана. Для решения мы, как и для задачи комплектных грузоперевозок, используем мультиагентный метод, однако для данной задачи его пришлось существенно развить, чтобы уменьшить число переговоров агентов и упростить их взаимодействие. Для этого предложено использовать триангуляции Делоне [62] для построения и анализа сцены, чтобы, вычислив с их помощью для каждого узла сцены его ближайших соседей, сократить переговоры каждого агента соответствующего узла только его ближайшими соседями. Рассмотрим постановку и метод решения задачи, которая ранее была описана автором диссертации в его работах [63, 64].

Постановка задачи. Пусть имеется парк из M машин с определенным типом прицепа заданной вместимости (по весу и объему), базирующихся в определённой локации в некоторой транспортной сети. Затраты на эксплуатацию каждого грузовика известны. Имеется поток заказов, которые можно объединять в сборную перевозку, характеризующиеся: одним или несколькими пунктами погрузки и разгрузки, с временным окном ожидания грузовика в каждом пункте, подходящим набором типов прицепов и объемно-весовым значением груза с временем, требуемым на работу для погрузки/разгрузки этого груза. Расстояния между всеми пунктами считаются известными (могут быть рассчитаны в любой момент, при этом время в пути на преодоление одного и того же расстояния в разное время суток может быть разной в зависимости от дорожной ситуации). Имеется поток внешних событий от заказчиков, об отмене или изменении ранее поступивших заказов, и водителей грузовиков, которые посредством сотового телефона (смартфона или планшета) передают данные о фактическом времени начала и окончания каждой погрузки и выгрузки, выполняемых ими в данный момент заказах. Имеется

поток внешних данных от датчиков геопозиционирования (Глонасс/GPS), которые с интервалом раз в минуту передают данные о фактическом местоположении каждого грузовика. В каждый момент времени известны только те заказы, внешние события и данные, которые поступили до этого момента времени. Требуется адаптивно менять план перевозок с учетом поступающих событий и данных, минимизируя затраты по всему парку грузовиков при максимальном числе распределенных заказов. При этом планировать будущие заказы с опозданием недопустимо.

Решение задачи. Для решения поставленной задачи предлагается использовать мультиагентный подход. Опишем типы агентов, которые используются в предлагаемом методе.

Критерием оценки качества расписания доставки в классической постановке является сумма путей всех грузовиков. При необходимости, для разработки автоматизированной системы планирования можно добавить еще набор критериев и ограничений для учета специфики транспортного предприятия, например: рабочее время водителя, его квалификация, тип грузовика и т.д.

На рис. 2.11 изображены маршруты доставки из двух складов двумя грузовиками грузов семи потребителям. Первый маршрут R_1 : $D1 \rightarrow C1 \rightarrow C7 \rightarrow C3 \rightarrow C5 \rightarrow D1$, второй маршрут R_2 : $D2 \rightarrow C6 \rightarrow C4 \rightarrow C2 \rightarrow D2$. Введем некоторые определения.

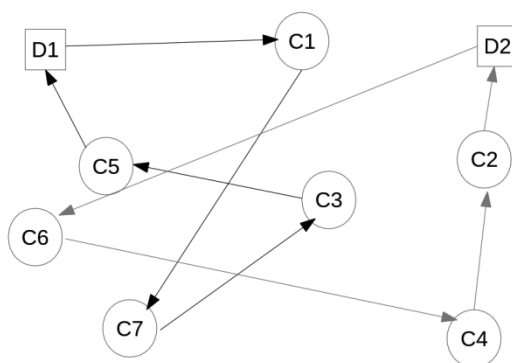


Рис. 2.11. Маршруты доставки для потребителей

Длиной маршрута $l(R)$ назовем длину замкнутого пути, который проходит грузовик по маршруту. Обозначим за $w(C)$ массу (объем) потребления заказом C , $d(C)$ – время, затрачиваемое грузовиком на обслуживание (разгрузку) заказа C .

Рассмотрим участок маршрута доставки $C_{i-1} \rightarrow C_i \rightarrow C_{i+1}$. Ценой доставки P заказа C_i назовем

$$P(C_i) = |C_{i-1}C_i| + |C_iC_{i+1}| - |C_{i-1}C_{i+1}|, \quad (2.14)$$

где $i=1, N$, N – количество пунктов обслуживания.

Тогда тариф заказа C_i определим, как

$$pr(C_i) = \frac{P(C_i)}{w(C_i)}. \quad (2.15)$$

Средним тарифом маршрута $R: C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow \dots \rightarrow C_n$ назовем величину

$$pr(R) = \frac{l(R)}{\sum_{i=1}^n C_i}. \quad (2.16)$$

Введем 3 типа агентов: агента штаба, агента заявки и агента грузовика. Агент штаба осуществляет общую координацию, агенты заявок и грузовиков составляют классическую ПВ-сеть [46]. Агент грузовика стремится перевезти как можно больше заказов и уменьшить себестоимость маршрута, поэтому ему следует привлекать заявки с низким персональным тарифом; агент заявки стремится попасть к тому грузовику, который предложит ему минимальный тариф на перевозку.

Построение маршрута грузовика по списку заявок происходит «жадным» образом. Если у грузовика одна или две заявки, то решение очевидно. Далее, при добавлении следующей заявки в маршрут грузовика выбирается место между уже стоящих в маршруте заявок. Например: маршрут грузовика $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, добавляем заявку 4, надо среди 4 вариантов: $4 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ выбрать наилучший.

Таким образом, взаимодействуя в рамках описанной ПВ-сети, все заказы распределяются по грузовикам.

Цель взаимодействия агентов в рамках рассматриваемой сети – сформировать так называемые цепочки доставки – распределить все заявки по грузовикам и определить порядок, в котором грузовик их обслуживает.

Структура сцены. Каждый агент обладает некоторой информацией об окружающем мире, но не видит всю картину в целом. На основании имеющейся информации и сообщений, получаемых от других агентов, программный агент может принимать решения. Быстрота работы мультиагентной системы напрямую зависит от количества обрабатываемых агентами сообщений. При построении расписаний доставки агентам заказов предлагается обмениваться сообщениями с соседними по положению в пространстве заказами рис. 2.12.

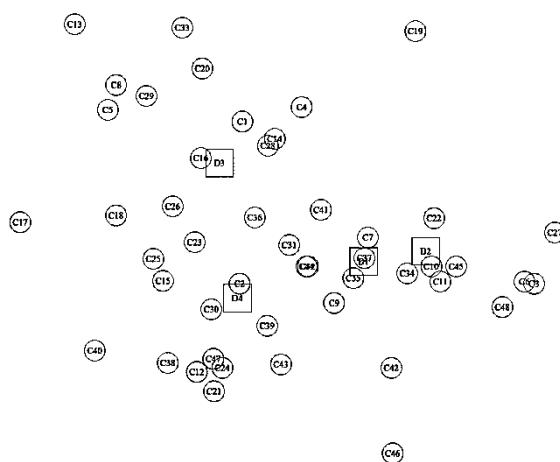


Рис. 2.12. Геометрическое расположение точек заказов (круги) и точек складов (квадраты)

Для организации эффективного взаимодействия между агентами сцены требуется геометрическая структура, которая позволяет быстро находить ближайших соседей (заявки и склады), также такая структура должна быть адаптивной – способной воспринимать инкрементальные изменения сцены (удаление/добавление заявки). Такой структурой является триангуляция Делоне [62]. Известно, что для построения триангуляции требуется затратить $N \log N$ времени, где N – число вершин, и триангуляция содержит все минимальные остовные деревья множества точек рис. 2.13.

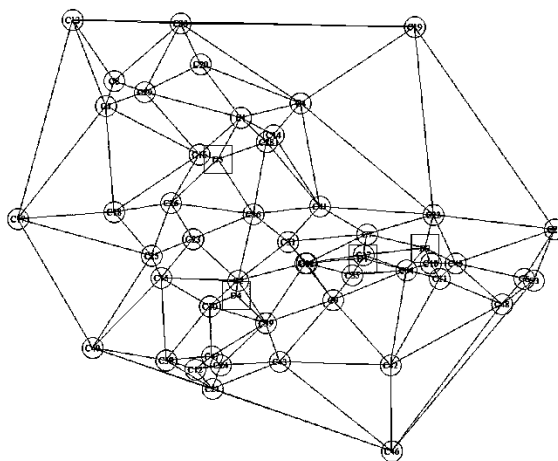


Рис. 2.13. Построенная триангуляция Делоне для предыдущего рисунка

Для построения триангуляции используется метод «разделяй и властвуй» со стратегией «строй и перестраивай» [62]. Из триангуляции Делоне можно удалить вершину за $O(N)$ и в триангуляцию Делоне можно добавить вершину за время $O(N)$ [62].

Построение решения и его оптимизация. После загрузки входных данных и построения структуры сцены создаются агенты грузовиков и заявок.

Изначально грузовики находятся на складах в точках погрузки. Считаем, что количество грузовиков на каждом складе известно. Далее, действуя автономно, но согласовано между собой в рамках ПВ-сети, агенты заявок и грузовиков выстраивают расписание.

Далее опишем правила поведения агентов. Агенты обладают конечным набором внутренних состояний и параметрами. Считаем, что агенты работают параллельно по тактам. Каждый такт – один цикл обработки сообщений от других агентов и шаг автомата.

Решение считается найденным, когда у агентов уже нет возможности более улучшить результат.

Поведение агента грузовика. Агент грузовика может находиться в следующих трех состояниях:

CHAIN_STATE_DONT_WAIT – не ждет ни от кого ответов (начальное состояние),

CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY – ожидает ответа на отправленные запросы заявкам на присоединение к его маршруту,

CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST – ожидает подтверждение от заявки на переход в его маршрут из маршрута его грузовика.

Рассмотрим логику поведения агента грузовика.

В состоянии CHAIN_STATE_DONT_WAIT, если нет запросов от заявок на переход из других маршрутов, агент грузовика ищет соседние заявки, которые не включены в маршрут – он рассматривает заявки, которые являются соседними с одной из вершин его маршрута. При рассмотрении каждой заявки агент грузовика оценивает, может ли он ее вставить в свое расписание. Если может, то заявке посылается сообщение о предложении, а агент грузовика переходит в состояние CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY. Если есть предложения о переходе от заявок из маршрутов других грузовиков, то они анализируются, если предложение выгодное, то агент грузовика соглашается забрать заявку, посылает ей сообщение и переходит в состояние CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST. Для грузовика вариант является наиболее выгодным, если он дает минимальный средний тариф.

В состоянии CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY агент грузовика ожидает ответы на отправленные запросы. Приходящие запросы от агентов заявок анализируются. Если пришедший вариант выгоднее, чем те варианты, на которые были отправлены запросы, то посылается подтверждение агенту заявки, который прислал этот вариант и агент грузовика переходит в CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST, а всем агентам заявок, которым были отправлены запросы, посылается отказ. Если пришли

ответы от всех агентов заявок, которым они были направлены, то принимается самый выгодный вариант из тех заявок, что согласились, и агент грузовика переходит в состояние CHAIN_STATE_DONT_WAIT. Всем нереализованным заявкам посылается отказ и информация о них удаляется.

В состоянии CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVERE_REQUEST агент грузовика ждет подтверждение от агента заявки, на предложение которой согласился агент грузовика. На все остальные запросы агент грузовика отвечает отказом. После получения ответа от агента заявки агент грузовик принимает или не принимает ее и переходит в состояние CHAIN_STATE_DONT_WAIT.

Поведение агента заявки. Агент заявки может находиться в следующих пяти состояниях:

CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS – нет предложений ни от одного агента грузовика (начальное состояние),

CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT – ждет принятия в маршрут грузовика,

CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS – есть предложения от грузовиков,

CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS – агент ждет ответа на посланные запросы на переход к другим агентам грузовиков,

CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS – агент ждет перехода от текущего агента грузовика к другому.

Еще одним из индикаторов состояния агента является признак, обслуживаем ли он (состоит ли он в маршруте какого-либо грузовика).

Рассмотрим логику поведения агента заявки. В состоянии CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS агент заказа ждет предложений агентов грузовиков, если он не входит в маршрут грузовика. По приходу предложений

от агентов грузовиков агент заказа переходит в состояние CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS. Если заказ входит в маршрут грузовика, то агент заказа сравнивает средний тариф грузовика и свой тариф заказа. Если тариф заказа выше, чем тариф грузовика, то агент заказа отправляет предложение о переходе соседним цепочкам и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS.

В состоянии CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS агент заказа пребывает заданное число тактов (настраиваемый параметр, обычно его значение варьируют от 3-5 тактов). Собранные за это число тактов предложения анализируются, выбирается лучшее и агент заказа соглашается и отправляет согласие агенту грузовика, приславшего лучшее предложение, и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT.

В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT агент заказа прибывает до момента пока либо не придет отказ от агента грузовика на предложение которого согласился агент заказа, либо агент грузовика не включит заявку в маршрут, от предложений всех других агентов грузовиков агент заявки отказывается. После наступления этого события агент заказа переходит в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.

В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS агент заказа ждет ответ от отправленных им запросов агентам заявок на переход к другим агентам грузовиков. Когда придут ответы на все отправленные запросы, агент заказа выбирает агента грузовика, который прислал лучший положительный ответ, отправляет ему подтверждение перехода и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS. Если нет согласных взять заявку, то агент заказа переходит в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.

В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS агент заказа ждет перехода / отказа в переходе от текущего грузовика к согласившемуся его взять агенту другого грузовика и отвечает отказом на все предложения агентов других грузовиков. После наступления события (ответа или перехода) агент заявки переходит в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.

Изменение маршрутов грузовиков прекращается, когда мультиагентная система входит в стабильное состояние, больше нет нераспределенных заявок и/или ни одна заявка не может улучшить свое положение.

При динамическом изменении сцены (добавлении / удалении / изменении заявки / грузовика) и обновлении структуры сцены (триангуляции Делоне) система выходит из достигнутого «стабильного» состояния и начинает опять к нему стремиться, и расписание перестраивается с учетом новых ограничений.

Таким образом, достигается адаптивность и делается возможным быстро обрабатывать происходящие события.

2.8 Задача построения динамического плана сборки и доставки (LTL) грузов для развозки покупателям интернет-магазинов в реальном времени

В настоящее время рынок интернет торговли растет активными темпами. Все большее число людей предпочитают совершать покупки, не выходя из дома. Наиболее популярные категории товаров для покупок в интернете – это одежда, бытовая техника, электроника. В последнее время в крупных мегаполисах, таких как Москва, люди активно покупают в интернете даже продукты питания и товары первой необходимости из крупных сетей гипермаркетов: «Ашан», «Метро», «Перекресток» и других. Это обусловлено нежеланием людей тратить время на поездки по пробкам и простой в очередях на кассах в крупном гипермаркете.

В данной связи возникает актуальная задача управления работой службы доставки интернет-магазина, которая характеризуется построением множества взаимосвязанных логистических цепочек (нужный товар необходимо собрать, возможно с разных складов, упаковать и только затем передать в доставку) и высокой степенью изменений в реальном времени (частые случаи изменений и отмен заказов, а также пробки на дорогах мегаполисов), что делает первоначальный план неактуальным. Поскольку выстраивающиеся логистические цепи доставки заказа «до двери» взаимозависимы, то сбой в одном звене неизбежно влияет на всю дальнейшую цепь. Поэтому в дополнение к уже рассмотренной выше задаче планирования сборных грузов, рассматривается усложненная задача построения плана развозки сборных (LTL) заказов курьерами покупателям интернет-магазинов, для решения которой дополнительно к плану развозки необходимо строить план сборки этих заказов сотрудниками магазинов. Требуется адаптивно перестраивать план развозки в случае возникновения фактических отклонений от плана сборки, вызванных фактическими событиями в реальном времени. При такой постановке исходная задача консолидации заказов дополнительно усложняется необходимостью постоянной «оглядки» на план сборки этих заказов, что требует постоянной перестройки плана развозки с выполнением плана сборки. Нужно сформировать план для сборки каждого заказа, подстраивая его под постоянно поступающие заказы, и согласно ему формировать маршрут курьера, выбирая наиболее удобные места погрузки (магазины сборки заказов) и выгрузки заказов клиентам по пути. Необходимо оперативно реагировать и менять план по фактическим событиям, например, если не успели собрать нужный заказ в одном магазине, его можно перекинуть в другой, а курьеру дать команду перестроить маршрут. Или, если ТС курьера попал в пробку или сломался и не может дальше ехать, – возможно направить к его месту остановки других курьеров для перехвата его заказов для их доставки в указанный срок. Дополнительно требуется учитывать

загруженность сборщиков заказов в каждый момент времени и прогноз дорожной ситуации на момент выезда курьера к клиенту («пробки»). Данная проблема представляет собой сетцентрическую модель взаимодействия адаптивных планировщиков ресурсов, ранее описанная автором диссертации в работах [65,66], рассмотрим обобщенную математическую постановку, этапы решения и полученный результат.

Постановка задачи. Имеется N магазинов, каждый из которых расположен в определенной локации. В каждом магазине имеется M сборщиков заказов. Имеется поток заказов на сборку и доставку товаров клиентам. Каждый заказ характеризуется местоположением клиента, товарами, которые должны быть собраны и доставлены в указанное временное окно доставки. Считается, что любые товары доступны в любых магазинах без ограничения количества. В любой момент времени известна текущая скорость сборки заказа в каждом магазине. Имеется поток фактических событий от сборщиков заказов, которые сообщают моменты времени начала и окончания сборки для каждого заказа, а также фактический объем и вес собранного заказа. Имеется K курьеров, каждый из которых характеризуется максимально перевозимым им объемом и весом груза, курсирующих по маршрутам между магазинами и адресами клиентов. Время поездки на маршруте, основанное на расстояниях между любыми местоположениями с учетом дорожной ситуации в разное время суток (прогнозом «пробок»), может быть рассчитано в любой момент времени. Каждый курьер, в свою очередь, сообщает момент времени фактической погрузки заказов в магазине и их фактической разгрузки клиентам, а также фиксирует место и время своей недоступности в случае непредвиденной ситуации (поломка, ДТП и т.д.). Для каждого нового заказа необходимо определить магазин и расчётное время его сборки с учетом уже имеющихся заказов и текущей скорости сборки. Определить курьера, расчетное время

погрузки собранного заказа, маршрут и время доставки до двери клиента, минимизируя при этом общее время выполнения при максимальном числе распределенных заказов, постоянно перестраивая план сборки и доставки с учетом фактических данных: изменение параметров заказа (отмена или новый заказ), изменение скорости сборки заказов и смена магазина сборки (если не успели собрать в текущем магазине), задержка курьера в процессе доставки (попал в пробку или долго парковался), полный выход курьера из процесса доставки.

Решение задачи. Решение начинается с выбора магазина для сборки заказа. В начале выбирается самый ближний магазин к местонахождению клиента и рассчитывается время сборки заказа в этом магазине с учетом уже имеющихся заказов. Время сборки рассчитывается методом параллельных очередей, порядок в которых определяется согласно времени их поступления и корректируется по фактическим временам начала и окончания сборки каждого заказа, эти фактические времена поступают напрямую от сборщика (через мобильное приложение сборщиков), когда он начинает или заканчивает сборку заказа. Количество этих очередей равно количеству сборщиков в магазине. Считается, что внутри каждой очереди все заказы собираются последовательно. Каждый раз, получая информацию о новом факте сборки товара в магазине, пересчитывается текущая скорость сборки, с помощью которой пересчитываются плановые времена начала и окончания сборки по всем еще не собранным заказам в очереди. Рассмотрим метод построения расписания сборки на следующем примере.

Пусть имеем магазин с двумя сборщиками и таблицу равнозначных заказов ($O_i, i=\overline{1,4}$). В начальный момент времени, пока не поступил ни один факт считаем, что продолжительность сборки каждого заказа одним сборщиком 5 минут (таблица 2.15).

Таблица 2.15 – Хронологическая таблица обработки заказов

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O_1	13:00	13:00	13:05		
O_2	13:00	13:00	13:05		
O_3	13:00	13:05	13:10		
O_4	13:15	13:15	13:20		

Заказы O_1 и O_2 собираются параллельно, поскольку в магазине присутствуют два сборщика, имеющие одинаковую оценку по времени начала и окончания сборки.

Сборка заказ O_3 начнётся, когда освободится либо первый, либо второй сборщик, и поэтому по плану будет собираться лишь после первых двух.

Заказ O_4 поступил в 13:15, к этому времени все сборщики уже освободятся и заказ будет выполнен только одним из них, т.к. считается, что два сборщика одновременно заказ не собирают.

Далее рассмотрим на примере таблицы 2.16, как будут корректироваться плановые времена начала/окончания сборки при поступлении фактических данных.

Таблица 2.16 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического начала сборки заказа O_1

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O_1	13:00	13:10	13:15	13:10	
O_2	13:00	13:10	13:15		
O_3	13:00	13:15	13:20		
O_4	13:15	13:15	13:20		

В момент времени 13:10 пришел факт начала сборки по заказу O_1 , который начался на 10 минут позже запланированного, и, как следствие, теперь будет собран в 13:15, что привело к изменениям в плановых временах начала и окончания по остальным заказам.

Заказ O_2 по плану начнет собираться только в 13:10, т.к. уже 13:10, а факта начала сборки еще нет.

Заказ O_3 сдвинется на 5 минут вправо.

По плану для заказа O_4 никаких изменений не произойдет, т.к. для него был запас по времени.

Пусть пришли новые фактические данные (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического окончания сборки заказа O_1

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O_1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O_2	13:00	13:20	13:30		
O_3	13:00	13:20	13:30		
O_4	13:15	13:30	13:40		

В момент времени 13:20 пришел факт окончания сборки по заказу O_1 , который завершился на 5 минут позже запланированного, а, значит, изменилась продолжительность сборки заказа сборщиком (вместо начальных 5 минут она теперь составляет 10 минут), что привело к изменениям плановых моментов начала и окончания сборки остальных заказов.

Заказ O_2 по плану начнет собираться только в 13:20, т.к. уже 13:20, а факта начала сборки еще нет, также с учетом обновленной средней скорости, сборка займет 10 минут, поэтому она закончится в 13:30.

Заказ O_3 собирается параллельно с заказом O_2 .

Заказ O_4 по плану сдвинется и начнет собираться сразу после заказа O_2 или O_3 .

Пусть пришли новые фактические данные (таблица 2.18).

Таблица 2.18 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического начала сборки заказа O_2

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O_1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O_2	13:00	13:25	13:35	13:25	
O_3	13:00	13:25	13:35		
O_4	13:15	13:35	13:45		

В момент времени 13:25 пришел факт начала сборки заказа O_3 (для удобства заказы с фактами сразу поднимаются вверх очереди), который начался на 5 минут позже запланированного, что привело к изменениям в плановых временах начала и окончания сборки по остальным заказам.

Пусть пришли новые фактические данные (таблица 2.19).

Таблица 2.19 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического окончания сборки заказа O_2

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O_1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O_2	13:00	13:25	13:30	13:25	13:30
O_3	13:00	13:30	13:38	13:30	
O_4	13:15	13:30	13:38		

В момент времени 13:30 пришел факт начала сборки заказа O_2 и окончания сборки заказа O_3 , теперь скорость сборки заказов оценивается как среднее значение между разностью по двум уже полученным фактам начала и окончания и составит $\frac{(13:20-13:10)+(13:30-13:25)}{2} = 7,5$ минут. Далее расчет происходит аналогичным образом.

После расчета планового времени окончания сборки заказа в ближайшем магазине, выполняется проверка, успеет ли курьер доехать до клиента, начиная с этого времени к моменту окончания окна разгрузки, с учетом расчетного

времени на маршруте от этого магазина до места разгрузки клиента. Если не успеет, рассматривается следующий по удалению магазин, в котором происходит аналогичный расчет, и т.д., пока не будут перебраны все магазины.

После выбора магазина для сборки заказа происходит подбор курьера и консолидация заказа в маршрут доставки. При этом учитывается окно доставки заказа клиенту и время переезда с учетом движения по линии маршрута. Эта задача решается методом построения начального плана сборных перевозок, описанным в пункте 2.5, и модификацией этого плана по событиям реального времени, описанным в пункте 2.6, а также в работах автора диссертации [67,68]. Однако стоит отдельно упомянуть некоторые модификации упомянутого метода для решения данной задачи:

1. Система «умеет» адаптивно менять локацию погрузки любого заказа, если сборщик по факту не завершил сборку до крайнего срока подъезда курьера, можно попробовать запланировать сборку этого заказа в другом магазине и перепланировать этот заказ на другой маршрут.
2. В процессе планирования сборной доставки заказов время на маршрутах рассчитывается с учетом прогноза по загруженности дорог в определенное время суток.
3. В случае возникновения проблемы в процессе доставки заказа оценивается, насколько задержка повлияет на срок доставки, выйдет ли он за пределы окна доставки или нет. Для этого в системе предусматривается дополнительный тип фактического события – задержка. Она фиксируется, когда курьер едет с заказом по маршруту, например, попадает в пробку или случается проблема с машиной (прокол колеса, нужно ставить запасное и т.д.) или задержка возникает, когда курьер прибыл на место и начал разгрузку заказа, но в процессе возникла проблема (закрытая территория, нужен пропуск или не

работает лифт, необходимо подниматься по лестнице и т.д.). При этом курьер сообщает, сколько времени по его оценкам займет устранение проблемы. В результате, получив эту информацию, система планирования перестроит расписание курьера с учетом этой задержки.

4. Предусматривается функция создания дополнительной точки погрузки в произвольном месте, когда на маршруте курьера неожиданно происходит непредвиденное событие (поломка, ДТП и прочее) и курьер не может продолжить выполнять развозку заказов. В этом случае он может сообщить, что ему нужна помощь с доставкой, в результате на месте происшествия создается точка погрузки с заказами этого курьера и система перераспределяет его заказы на другие маршруты других курьеров.

Каждый из рассмотренных методов может рассматриваться как гибридный, в котором может строиться начальный план и далее этот план перестраивается по событиям.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Для формализации постановок задач управления мобильными ресурсами предлагается построение мультиагентной «модели мира» предприятия, позволяющей учитывать различные особенности предметной области.
2. Сформулирована детальная постановка и предложены гибридные методы решения задач:
 - построения начального плана и адаптации плана комплектных грузоперевозок в реальном времени;
 - построения начального плана и адаптации плана работы сервисных бригад водоканала, газовиков или других инженерных служб;

- построения начального плана сборных (LTL) грузоперевозок с временными окнами (VRPTW) и адаптации плана таких грузоперевозок в реальном времени;
 - построения начального плана доставки заказов покупателям интернет-магазинов и адаптации плана в реальном времени;
3. Предложен метод расчета себестоимости комплектных перевозок с учетом полного цикла (кругорейса).
 4. Решение задач управления мобильными ресурсами предприятия целесообразно осуществлять с помощью гибридного метода, состоящего в построении начального плана на основе Венгерского алгоритма и в последующей адаптивной перестройке полученного плана по мере прихода событий в реальном времени.
 5. Для повышения оперативности, гибкости и эффективности гибридных МАС для управления мобильными ресурсами предлагаются методы и средства информационно - коммуникационного взаимодействия с пользователями на базе мобильных ПК.

3 АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ.

Материалы данной главы излагаются в соответствии с работами автора диссертации [69-71].

3.1 Архитектура системы управления мобильными ресурсами

Архитектура системы (рис. 3.1) построена в соответствии с топологией «звезда». Все коммуникации между модулями системы осуществляются через сервер.



Рис. 3.1 – Архитектура системы управления транспортными ресурсами

Веб-портал представляет собой интерфейс пользователя, через который осуществляется ввод заявок, мониторинг ресурсов, просмотр отчетов, ввод фактической информации о расположении ресурсов и этапах выполнения заявок.

Мобильный интерфейс водителя – программно-аппаратное решение интеллектуального терминала оператора транспортного ресурса, позволяющее водителю контролировать план выполнения своих заказов на маршруте,

проставлять фактические отметки времени каждой операции, планировать стоянки для отдыха и внепланового ремонта, передавать данные своего местоположения, получать и передавать электронные документы, делать фото и видео фиксацию этапов выполнения перевозки, отслеживать дату и место ближайшего планового технического обслуживания, а также вести адресную текстовую переписку (мессенджер) с диспетчерами и механиками.

Мобильное веб-приложение имеет ограниченную функциональность по сравнению с веб-порталом и его основной функцией является предоставление диспетчерам возможности просмотра текущего состояния ресурсов и их планов на ближайший горизонт, проставления фактического времени выполнения операций, а также текстовый мессенджер с водителями.

Модуль поставщика географических данных позволяет получать информацию о скорости и времени движения по дорогам, основываясь на данных из внешних источников геоинформации.

Модуль поставщика GPS передает в систему данные о фактическом месторасположении грузовиков, основываясь на данных датчиков Глонасс/GPS.

Модуль планирования предназначен для адаптивного построения расписания и его перестроения при внешних изменениях. Результатом работы планировщика является набор состояний, описывающих назначение определенных ресурсов на некоторые заявки на шкале времени.

Рассмотрим подробнее компоненты модуля планирования.

1. Менеджер агентов – компонент отвечает за управление очередями агентов.

Основные функции заключаются в инициализации цикла планирования, обработке очередей планирования, в т.ч. обслуживание запросов на включение в очередь со стороны других агентов, а также в инициировании процесса завершения цикла планирования.

2. Сцена – информационная среда для всех агентов, участвующих в планировании. Она имеет интерфейс для выполнения следующих операций:
- a) загрузка объектов сцены из БД;
 - b) добавление/изменение/удаление объектов сцены и отслеживание данных событий;
 - c) сохранение текущего состояния сцены в БД;
 - d) адресную книгу для получения идентификаторов сервисных агентов.
3. Поведенческие алгоритмы – набор алгоритмов, отвечающих за поведение агентов в зависимости от текущего контекста. Рассмотрим основные типы поведенческих алгоритмов, используемых в системе:
- a) обработка требования погрузки – выполняет анализ возможных опций планирования для требования погрузки, выбирает лучший вариант, осуществляет планирование, либо инициирует процесс распланирования заявки в случае, если опций не нашлось;
 - b) обработка требования разгрузки – выполняет анализ возможных опций планирования для требования разгрузки, исходя из ресурса, который был выбран ранее требованием погрузки, выбирает лучший вариант, осуществляет планирование либо инициирует процесс распланирования заявки в случае, если опций не нашлось;
 - c) распланирование заявки – выполняет извлечение части расписания, относящегося к заявке, и последующую корректировку общего расписания;
 - d) обработка перегрузки – выполняется в контексте агента ресурса, анализируется расписание и, в случае наличия перегрузок, принимается решение о перечне исключаемых из расписания заявок, исходя из критерия минимизации потерь прибыли для ресурса.
 - e) обработка требования стоянки – аналогично требованию разгрузки выполняет анализ опций и выполняет планирование лучшей из них;

- f) обработка требования техобслуживания – выполняет анализ возможности техобслуживания для указанного ресурса в заданных временных пределах и добавляет в расписание сегмент техобслуживания;
 - g) отслеживание прибыльности заявок – поведение заявки, связанное с отслеживанием изменения ее прибыли (при изменении расписания используемого ресурса) и принятии решения о повторном рассмотрении опций планирования для требований данной заявки в случае, если прибыль упала в относительном выражении на заданный процент;
 - h) блок подбора опций планирования – общий блок, используемый при обработке требований. Выполняет поиск и оценку опций планирования, а также отслеживает и разрешает конфликты.
4. Хранилище агентов – модуль системы, аккумулирующий созданных агентов. Агенты создаются на следующие объекты: заявка, требование, ресурс, а также служебные типы агентов (сервисный, многопроходного планирования, менеджер агентов, менеджер затрат).

3.2 Исследование эффективности применения разработанных методов в адаптивных и неадаптивных моделях организации перевозок

С помощью адаптивных и неадаптивных моделей перевозок [69] была исследована эффективность применения рассматриваемых в данной работе методов при планировании заказов на перевозку в реальном времени [70].

Постановка задачи. Пусть имеется флот грузовиков из M машин, базирующихся в определенном городе в некоторой транспортной сети. Стоимость эксплуатации каждого грузовика известна и заранее задана. В систему поступают заказы, характеризующиеся пунктом отправления, пунктом доставки, временем поступления, моментом начала (погрузки), моментом

окончания (разгрузки), стоимостью и величиной штрафа за опоздание. Расстояния между всеми пунктами также известны и заданы матрицей расстояний. Требуется составить план грузоперевозок в реальном времени и найти прибыль транспортной компании в зависимости от стратегий планирования и числа грузовиков. Планирование в реальном времени означает, что в каждый момент времени известны только те заказы, время поступления которых раньше данного момента. Критерием оптимизации является максимизация суммарной прибыли грузовиков. Общая прибыль системы P подсчитывается как сумма прибылей всех грузовиков:

$$P = \sum_i P_i. \quad (3.1)$$

Прибыль отдельного грузовика рассчитывается по формуле:

$$P_i(t) = \sum_j \{ (c_j - q_i) t_{ij} - q_i t'_{ij} \}, \quad (3.2)$$

где суммирование выполняется по всем выполненным грузовиком i заказам j , c_j – стоимость выполнения заказа j в единицу времени, q_i – стоимость переезда грузовика в единицу времени, t_{ij} – время выполнения заказа j грузовиком i , t'_{ij} – время переезда для выполнения заказа j .

Исследование предлагается провести для четырех различных моделей организации процесса грузоперевозок, предложенных автором диссертации в работах [71]:

- Модель «С возвращением на базу».

Для заказа бронируется грузовик, в расписании которого на момент заказа есть “окно”. Если погрузка осуществляется в другом городе, то грузовик должен прибыть туда ко времени погрузки. Отмена бронирования грузовика под заказ не допускается. После выполнения заказа грузовик возвращается в пункт базирования.

- Модель «Без возвращения».

После выполнения заказа грузовик остается в конечном пункте заказа, не возвращаясь на базу, где ожидает следующий заказ.

- Модель «Опоздания со штрафами». Допускается планирование заказов с опозданиями, т.е. когда фактический момент начала заказа позже требуемого в заказе. При этом из прибыли вычитаются штрафы пропорционально времени опоздания. Если величина штрафа превышает возможную прибыль от выполнения заказа, то такой заказ не планируется. После выполнения заказа грузовик остается в пункте назначения.

Учет штрафов происходит следующим образом:

$$P_i(t) = \sum_j \{(c_j - q_i)t_{ij} - q_i t'_{ij}\} + \sum_k \{(c_k - q_k)t_{ik} - q_i t'_{ik} - p_k t''_{ik}\}, \quad (3.3)$$

где суммирование по индексу j идет по всем выполненным в срок грузовиком i заказам, суммирование по индексу k идет по всем выполненным с опозданием t''_{ik} заказам, p_k – штраф на единицу времени опоздания.

- Модель «Адаптивное планирование со штрафами».

Совпадает с предыдущей, однако допускается бронирование грузовика под новый заказ в случае, если прибыль от нового заказа превышает прибыль от прежде запланированного. Таким образом, при поступлении заказа осуществляется перераспределение уже размещенных заказов и ищется новое, более выгодное по прибыли решение.

Для проведения рассматриваемого исследования был использован мультиагентный модуль планирования системы SmartTrucks, внутри которого заложены методы и алгоритмы, рассматриваемые в данной работе.

На вход системы подавался модельный поток заявок, полученный из реальных заявок клиентов, использующих систему SmartTrucks [72-78]. В целях наглядности результатов и унификации логики принят единый пространственно-временной масштаб: время отсчитывается от начала моделирования, т.е. от момента поступления первого заказа, принятого за нуль. Верхняя граница

диапазона задается горизонтом планирования в днях. Расстояния приведены к временной шкале делением расстояния на среднюю скорость. Таким образом, может быть учтено состояние и пропускная способность дорог. Поэтому более длинный пространственный путь может быть по времени короче из-за большей скорости движения. Изменения и фиксация текущего состояния агентов происходят в моменты попадания заказа в систему в момент начала и момент окончания выполнения заказа. Поэтому шкала отсчетов времени в общем случае N заказов состоит из $3N$ точек.

Агент поступившего в систему заказа, рассылает запрос на размещение всем агентам грузовиков. Агенты грузовиков анализируют свое текущее состояние, наличие окон в будущем расписании, необходимость дополнительного переезда до пункта погрузки, оценивают свою возможную прибыль и отправляют ответ агенту заказа. Кандидаты на перепланирование (в случае возрастания прибыли) выстраиваются в сцене по максимально возможной прибыли. Агент заказа выбирает тот грузовик, который дает максимальную прибыль. Прибыль учитывается как разница между стоимостью заказа и стоимостью транспортировки. Если для выполнения заказа требуется переезд, то его стоимость вычитается из стоимости заказа. Поэтому дорогие заказы, требующие длительных переездов до начала выполнения, могут быть вытеснены более дешевыми, но без дополнительных переездов. В случае использования стратегии с планированием опоздавших заказов анализируется влияние штрафа на прибыль. Поскольку штрафы пропорциональны времени задержки, то сильно опаздывающие заказы не будут планироваться. Заказы, находящиеся в прошлом (по отношению к текущему времени), в переговорах (отправке и приёме сообщений) не участвуют. Такой процесс продолжается с течением времени по событиям прихода, начала и окончания заказа, что имитирует поступление заказов в реальном времени.

В результате моделирования была исследована эффективность применения методов информационно-коммуникационного взаимодействия для получения событий реального времени при планировании заказов на перевозку. Моделировалась задача планирования 100 заказов на 10 одинаковых грузовиках. Заказы генерировались равномерно по 18 городам (расстояния в интервале от 1 до 6 условных единиц длины) и дате поступления, поэтому концентрация заказов возрастает с течением времени. Грузовики стартуют из одного города. Режимы насыщения отличаются для разных моделей.

В результате моделирования получены графики динамики прибыли каждого грузовика в зависимости от времени. На рис. 3.2 представлен график динамики прибыли произвольно выбранного грузовика в стратегиях планирования 1-4.

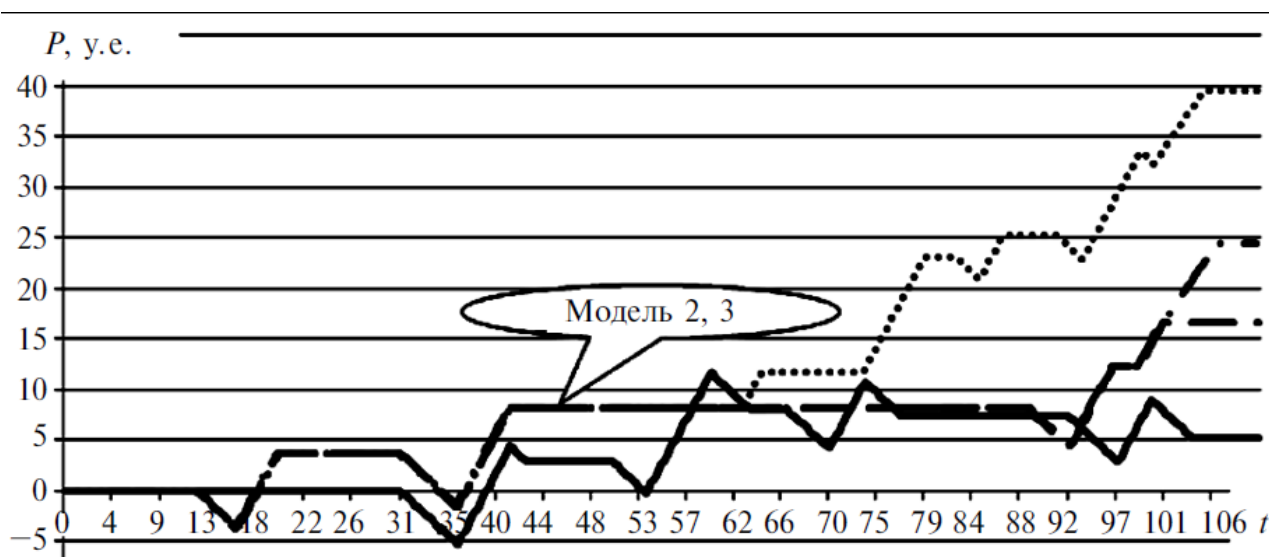


Рис. 3.2. Графики динамики прибыли грузовика в зависимости от модели организации грузовых перевозок: — модель 1; - - - модель 2; —•— модель 3; модель 4.

Прямые горизонтальные участки соответствуют стоянке грузовика, отрезки с положительным наклоном означают рост прибыли при выполнении заказа, отрезки с отрицательным наклоном показывают затраты по перегону грузовика в пункт погрузки или возвращение в пункт базирования в стратегии 1.

Наименьшая прибыль в модели 1 с возвращением, поскольку планируется меньше заказов и при возвращении на базу больше затраты. Модель 3 без возвращения и с планированием опоздавших заявок значительно превосходит модель 2 без возвращения на начальном участке, поскольку на одно и то же количество грузовиков планируется больше заказов. В режиме насыщения она даёт мало преимущества по сравнению с моделью 2, потому что при большом количестве грузовиков мало заказов, выполняющихся с опозданием, и модели 2 и 3 будут совпадать.

Исследовалась также для каждого конкретного расписания заказов зависимость прибыли от числа грузовиков. Для упрощения постоянные затраты положены равными нулю. Для расписания заказов были промоделированы расписания грузовиков и величина прибыли в моделях 1-4. Количество грузовиков изменялось в диапазоне от 0 до 50, рис 3.3.

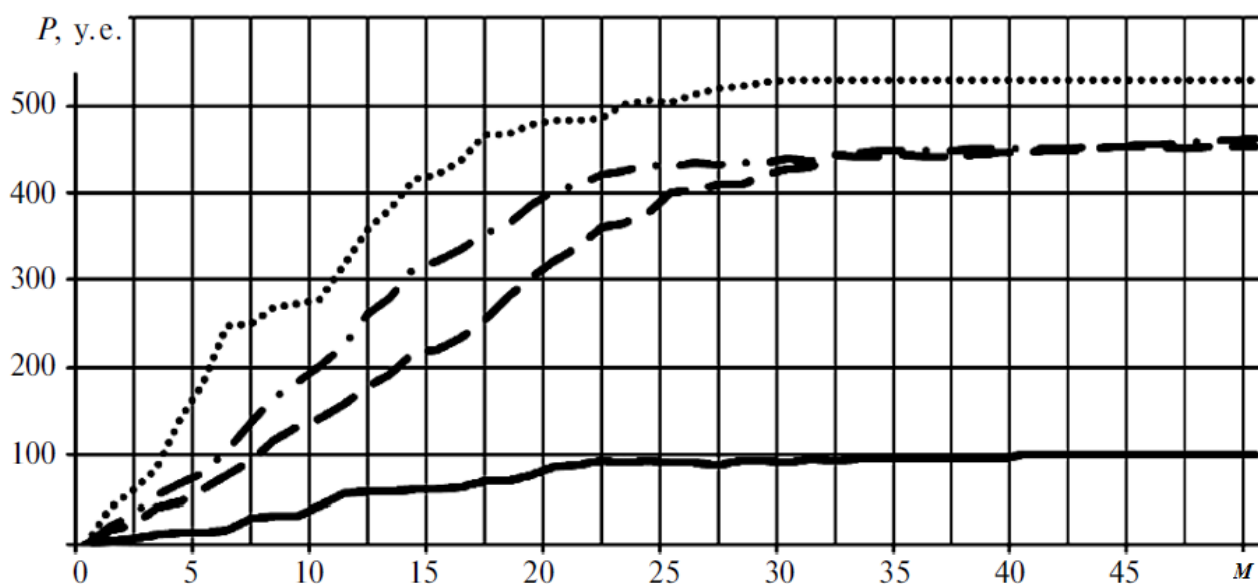


Рис. 3.3. Суммарная прибыль от числа грузовиков по моделям грузоперевозок: — модель 1; - - - модель 2; —•— модель 3; — модель 4.

Каждый график состоит из двух характерных участков – начального возрастающего, на котором прибыль растет с увеличением количества

грузовиков, и конечного, практически параллельного оси абсцисс режима насыщения, когда все заказы, которые можно было выполнить, уже выполнены.

Режимы насыщения отличаются для разных моделей. Наименьшая прибыль в модели 1 с возвращением, поскольку планируется меньшее количество заказов и при возвращении в пункт базирования происходят дополнительные затраты. Модель 3 без возвращения и с планированием опоздавших заявок значительно превосходит модель 2 без возвращения на начальном участке, поскольку на одно и то же количество грузовиков планируется больше заказов. В режиме насыщения она даёт мало преимуществ по сравнению с моделью 2, потому что при большом количестве грузовиков мало заказов, выполняющихся с опозданием, и модели 2 и 3 будут совпадать.

Наилучшей является модель планирования 4. Она даёт примерно на 20% большую прибыль, чем моделях 2 и 3. При выполнении плана она позволяет обойтись меньшим количеством грузовиков.

3.3 Исследование эффективности применения разработанных методов в сравнении с лучшими известными аналогами

Для сравнения предлагаемых в работе методов с известными модельными примерами была выбрана наиболее трудная задача планирования маршрутов грузовиков для доставки сборных грузов с учетом заданного набора критериев. В классической постановке эта задача носит название Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW) [79,80]. В качестве модельных данных (Benchmarks), были выбраны данные Cordeu [80], которые можно найти на интернет-ресурсе, посвященному решению транспортной задачи в различных постановках и ограничениях [81], для которых известны наилучшие решения. Сравнивалось качество решения для мультиагентного и лучших классических алгоритмов, а также скорость получения результата и устойчивость решения по отношению к порядку поступления заказов.

Постановка задачи моделирования. Задача MDVRPTW состоит в следующем. Даны координаты складов с товаром и потребителей этих товаров. У каждого склада известно время работы, у каждого потребителя известны временное окно (time window), когда возможно его обслуживание (разгрузка товара), время обслуживания (duration) и потребность в товаре (demand). Для каждого склада известно количество грузовиков и характеристики этих грузовиков: грузоподъемность или вместимость (capacity) и максимальный пробег. Требуется составить маршрут движения всех грузовиков каждого склада так, чтобы обслужить всех или максимально возможное число потребителей таким образом, чтобы путь всех грузовиков был бы минимальным. Считается, что грузовики начинают маршрут и заканчивают маршрут на складе, к которому они приписаны.

Решение задачи. Построение маршрута грузовика по списку заявок происходит «жадным» методом для задачи начального распределения, описанным в пункте 2.5, с последующим его улучшением мультиагентным методом, описанным в пункте 2.6.

Предлагаемые в работе методы решения для модельной задачи сравнивались с лучшими на текущий момент аналогами на известных модельных примерах.

В качестве модельных данных были выбраны данные на Интернет-ресурсе (<http://neo.lcc.uma.es/vrp/>), посвященному решению транспортной задачи в различных постановках и ограничениях, для которых известны наилучшие решения [81].

Результаты сравнения и работы программы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Результаты тестирования прототипа планировщика

№	Номер примера задачи	MAC, расстояние в у.е.	T счета, сек	Известное лучшее решение, расстояние в у.е.	T счета, сек	Различие с MAC (%)
1	Pr01	1238,62	0.014	1083,98	64.91	14,26%
2	Pr02	2205,31	0.016	1763,07	69.99	25,08%

3	Pr03	3371,24	0.012	2408,42	59.91	39,97%
4	Pr04	3567,31	0.009	2958,23	51.8	20,58%
5	Pr07	1732,44	0.005	1423,35	53.29	21,71%
6	Pr08	2727,46	0.004	2150,22	50.27	26,84%

Результаты экспериментов показывают, что полученный результат отличается от наилучшего, известного на данный момент, не более чем на 40%, в среднем 20–25% по набору тестовых примеров, при том, что время получения результата на порядок меньше чем у известных лучших алгоритмов (менее чем 1 сек против 1 минуты).

При детальном анализе и сравнении решений, обнаружено, что предлагаемый метод относительно правильно распределяет заявки по грузовикам (как в лучших решениях), т.е. заказы и ресурсы достаточно эффективно ведут квазипараллельные встречные «аукционы», которые позволяют системе обходить многие локальные оптимумы, которые могли возникнуть при обычной одной глобальной последовательной «жадной» стратегии. Тем не менее, МАС недостаточно оптимально осуществляет маршрутизацию грузовика, выстраивая порядок доставки, что может быть важным сигналом о необходимости введения нового агента маршрута для повышения сложности решения, который бы согласовывал решения заявок, при поддержке их взаимодействия, с целью формирования более устойчивых согласованных решений.

Важно понимать динамику этой картины и учитывать, что используется модель «Shared costs», где заказы разделяют стоимость грузовика, что ведет к динамическому тарифу, который в каждый момент времени может пересматриваться, вызывая перемещения заявок между грузовиками до достижения устойчивого неравновесия (неустойчивого равновесия).

Получаемые расписания как «устойчивые неравновесия» являются основой для дальнейшего гибкого изменения расписаний по событиям, приходящим в реальном времени.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Для реализации разработанных методов и средств предложена архитектура для построения гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени.
2. Проведено исследование эффективности применения разработанных методов: от не адаптивных – к более адаптивным моделям мира предприятий по грузоперевозкам. Показано существенное возрастание эффективности в использовании ресурсов с ростом адаптивности бизнеса. Полученные оценки показывают, что адаптивные модели дают примерно на 20% большую прибыль по сравнению с неадаптивными. Более того, при выполнении плана адаптивность позволяет обойтись меньшим количеством грузовиков, т.е. делать больше заказов меньшим числом ресурсов.
3. Проведено исследование эффективности разработанных методов в сравнении с известными бенчмарками для задачи VRP. Результаты показывают, что даже самая простая мультиагентная система, построенная на базе разработанных моделей и методов для сложной задачи развозки сборных грузов с временными окнами (MDVRPTW), позволяет быстро (менее, чем за 1 сек) построить вполне приемлемое допустимое решение, которое отличается от наилучшего, известного на данный момент, не более чем на 40%, а в среднем на 20-25%.
4. Время разработки такого решения при этом измеряется в 2-3 недели одного компетентного разработчика, что позволяет в будущем решать рассматриваемые задачи на потоке.

4 ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ.

Материалы данной главы излагаются в соответствии с работами автора диссертации [83,84].

Предложенные методы и алгоритмы построения систем управления мобильными ресурсами предприятий в реальном времени были использованы при создании промышленных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени, разработанные при участии автора диссертации в 2009-2016 гг.

4.1 Система управления грузовыми FTL перевозками SmartTrucks

Данная система [29] была изначально разработана для заказчика (компания «Русглобал», г. Москва [72]), обладающего центральным офисом в Москве и более чем десятком филиалов по всей стране, организующим перевозки с использованием собственного флота из более 100 грузовиков, оснащенных датчиками GPS/ГЛОНАСС навигации, и более сотней привлеченных перевозчиков. При этом для поездок из Москвы в регионы и наоборот требуется обеспечивать поиск попутного груза, чтобы обеспечить максимальную эффективность использования машин с учетом особенностей контракта с клиентами, сроков поставок изделий, возможных рисков. Для решения задачи была разработана интеллектуальная система управления грузоперевозками, поддерживающая общее поле расписания для менеджеров центра и филиалов. В дальнейшем система была развита для использования в других задачах и успешно внедрена в других известных транспортных компаниях [72-78].

SmartTrucks обеспечивает автономный цикл управления ресурсами любого транспортного предприятия, минимизирующий использование

персонала на всех уровнях, включая распределение, планирование, оптимизацию, прогнозирование, согласование и контроль исполнения планов по выполнению заявок на грузоперевозки в реальном времени [82].

Система подхватывает введенный заказ и пытается сначала разместить его на собственный флот, чтобы обеспечить его высокую загрузку и прибыльность. Система размещает заказы на наиболее подходящие свободные машины, а если таковых нет – выявляет конфликты с уже размещенными грузами и пытается выполнить подвижки заказов или перераспределение ресурсов. Если возможности прибыльно разместить заказ на своем флоте нет, то заказ выносится на третий флот привлеченных перевозчиков. Для приходящих в систему заказов (рис. 4.1.), строятся оптимальные маршруты для каждого грузовика.

№ заявки	№ п/п	Дата и время	Статус	Внешний №	Заказчик	Заказчик до...	Кл	Запланиров...	Тягач	Тоннаж	План погруз...	Факт начал...	Факт конца...	План разгру...	Факт начал...	Факт конца...	Пей...
TR1132/733...	1	04.10.2017 0:00	В пути		Алев Транс...	Доп. Согл...	2122	✓	н 987 он 750	20 т.	05.10.2017 ...	05.10.2017 ...	05.10.2017 ...	11.10.2017 ...			ТР
TR1132/733...	2	04.10.2017 1:00	В пути		Милитцер М...	Траско-Исп...	2029	✓	т 947 он 750	20 т.	05.10.2017 ...	05.10.2017 ...	05.10.2017 ...	11.10.2017 ...			ТР
TR3111/733...	3	04.10.2017 1:00	Нет факта		Стар-Лайн	Траско-Исп...	2471	✓	к 123 вн 50	20 т.	05.10.2017 ...			12.10.2017 ...			ТР
TR2415/703...	4	04.10.2017 6:40	Нет факта		Контакт (Кр...	Доп.Согл/Т...	4325	✓	е 388 нн 750	20 т.	29.09.2017 ...			25.10.2017 ...			ТР
TR2511/700...	5	04.10.2017 7:09	Доставлен		100 дорог	ТРАСКО-Ис...	512	✓	о 250 нн 750	20 т.	04.10.2017 ...	04.10.2017 ...	04.10.2017 ...	05.10.2017 ...	05.10.2017 ...		ТР
TR2531/701...	6	04.10.2017 7:42	Нет факта		VAB-Logistik...	ТРАСКО-Ис...	8363	✓	о 281 кн 750	20 т.	28.09.2017 ...			01.10.2017 ...			ТР
TR2531/701...	7	04.10.2017 7:45	Нет факта		VAB-Logistik...	ТРАСКО-Ис...	8363	✓	к 358 ен 750	20 т.	27.09.2017 ...			01.10.2017 ...			ТР
TR2531/701...	8	04.10.2017 7:48	Нет факта		VAB-Logistik...	ТРАСКО-Ис...	8363	✓	к 125 ен 50	20 т.	27.09.2017 ...			01.10.2017 ...			ТР
TR2531/701...	9	04.10.2017 7:59	Нет факта		VAB-Logistik...	ТРАСКО-Ис...	8363	✓	у 029 ак 750	20 т.	01.10.2017 ...			03.10.2017 ...			ТР
TR2531/701...	10	04.10.2017 8:01	Нет факта		VAB-Logistik...	ТРАСКО-Ис...	8363	✓	р 264 кн 750	20 т.	02.10.2017 ...			04.10.2017 ...			ТР
TR2315/708...	11	04.10.2017 9:31	Отменен		АРУС	ТРАСКО-Ис...	0	✓		20 т.	10.10.2017 ...			18.10.2017 ...			ТР
TR2112/705...	12	04.10.2017 9:43	Нет факта		СМЗ	ТРАСКО-Ис...	2071	✓	Перевозчик	20 т.	03.10.2017 ...			07.10.2017 ...			Дн
TR2315/708...	13	04.10.2017 9:48	Отменен		ККТ	ТРАСКО-Ис...	0	✓		20 т.							ТР
TR2315/708...	14	04.10.2017 9:53	Отменен		Ньювалд Рус	ТРАСКО-Ис...	0	✓		20 т.							НБ
TR2321/704...	15	04.10.2017 9:55	Нет факта		Ендейер Е...	ТРАСКО-Ис...	9299	✓	Перевозчик	20 т.	03.10.2017 ...			11.10.2017 ...			НБ
TR2315/708...	16	04.10.2017 9:56	Отменен		ВА Курган (...)	ТРАСКО-Ис...	0	✓		20 т.							ТР
TR2315/708...	17	04.10.2017 9:59	Отменен		БВК	Траско-Исп...	0	✓		20 т.							ТР
TR2315/708...	18	04.10.2017 10:03	Отменен		ЦВЕТОЧКА	Траско-Исп...	0	✓		20 т.							ТР
TR2315/708...	19	04.10.2017 10:06	Отменен		КОНАР	Траско-Исп...	0	✓		20 т.							ТР
TR2112/705...	20	04.10.2017 10:34	Нет факта		ПНТЗ, г.Пер...	ТРАСКО-Ис...	766	✓	Перевозчик	20 т.	05.10.2017 ...			09.10.2017 ...			ВМ
TR3112/732...	21	04.10.2017 10:35	Нет факта		Нюкнекамс...	ТРАСКО-Ис...	3229	✓	Перевозчик	20 т.	04.10.2017 ...			13.10.2017 ...			Сел
TR5111/713...	22	04.10.2017 10:45	Назначен ТС		Ламекс	ТРАСКО-Ис...	1647	✓	Перевозчик	20 т.	10.10.2017 ...			16.10.2017 ...			Сол
TR3112/732...	23	04.10.2017 10:53	Нет факта		Нюкнекамс...	ТРАСКО-Ис...	3674	✓	Перевозчик	20 т.	04.10.2017 ...			12.10.2017 ...			Пей
TR3112/732...	24	04.10.2017 10:54	Нет факта		Нюкнекамс...	ТРАСКО-Ис...	3674	✓	Перевозчик	20 т.	04.10.2017 ...			13.10.2017 ...			Пей
TR1116/706...	25	04.10.2017 11:00	Нет факта		КОУТС	ТРАСКО-Ис...	28	✓	Перевозчик	20 т.	04.10.2017 ...			04.10.2017 ...			Лог
TR1115/715...	26	04.10.2017 11:00	Нет факта		Компания А...	ТРАСКО-Ис...	0	✓		20 т.	29.09.2017 ...			04.10.2017 ...			ТР

Рис. 4.1. Заказы для грузовиков

Система автоматически находит наилучший грузовик, а также выдает список других альтернативных вариантов размещения заказа, рис. 4.2.

Рис. 4.2. Заявка с лучшим и альтернативными вариантами размещения на грузовиках

Формирует расписание движения грузовиков и работы водителей в виде операции перегона грузовика, разгрузки и погрузки, движения, отдыха и т.д., рис. 4.3.

Рис. 4.3. Расписание грузовиков и водителей в мобильном приложении логиста

Система реализует полный цикл управления ресурсами в реальном времени и предоставляет возможность автоматически контролировать бизнес-процесс получения заявки, загрузки и выгрузки груза. При этом в случае расхождения плана и факта (рис. 4.4.), система автоматически перепланирует цепочки зависимых операций, формируя постоянно изменяющееся расписание рис. 4.5.

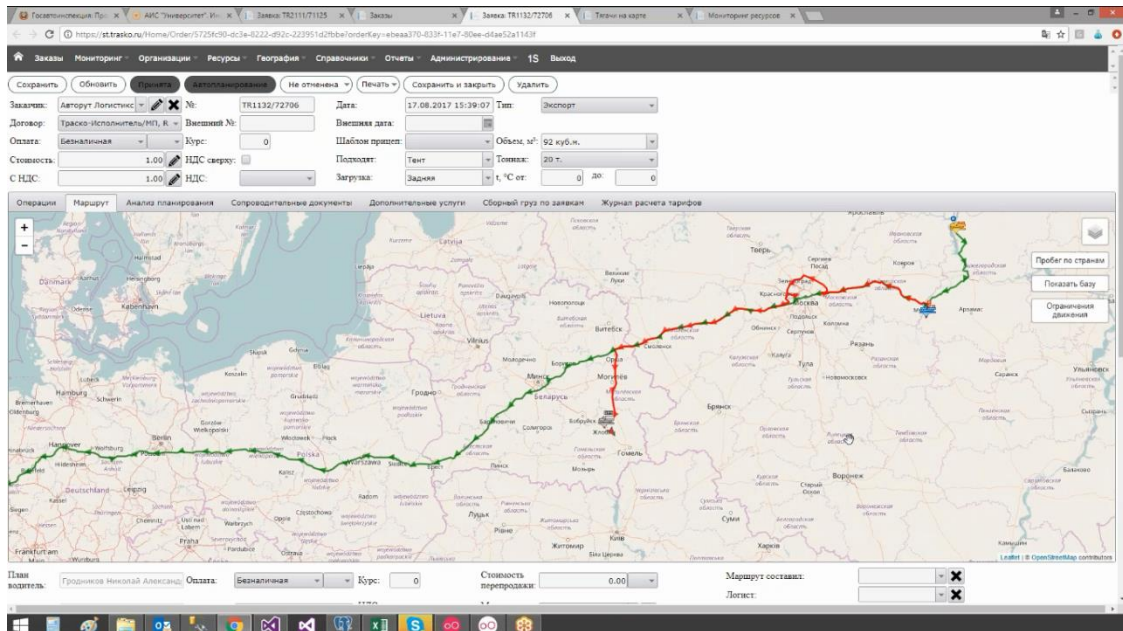


Рис. 4.4. Отклонение планового маршрута от фактического при выполнении заказа

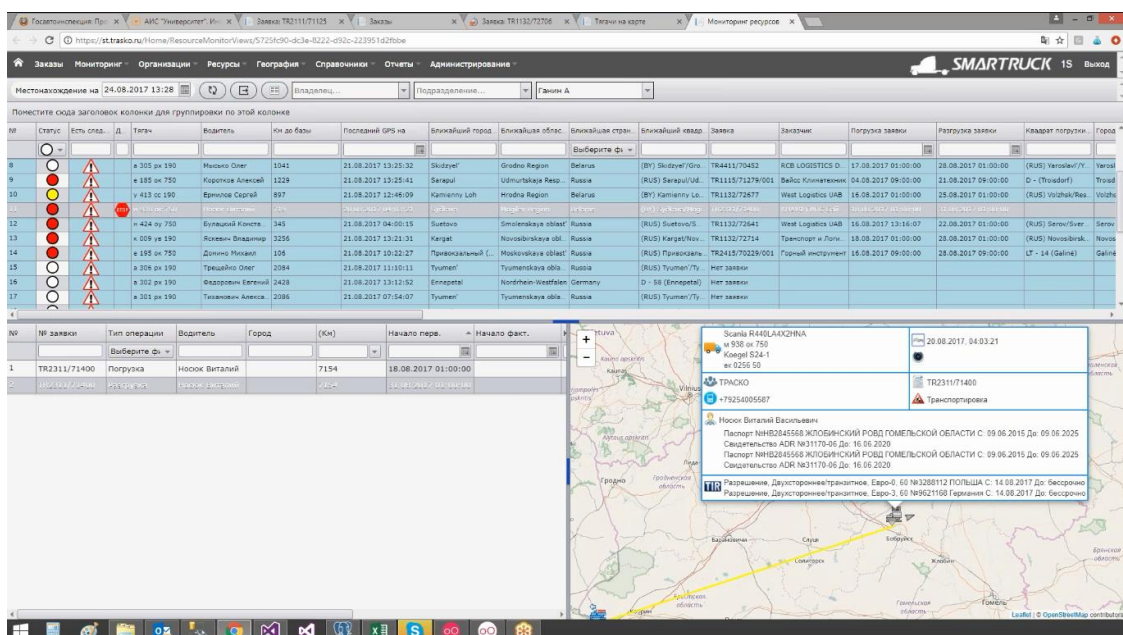


Рис. 4.5. Цепочки зависимых операций ресурсов с план фактным анализом ситуации

В числе заказчиков данной системы – транспортно-экспедиционные компании «РусГлобал» [72] и «Prologics» [73] (Москва), «Лорри» [74] (Екатеринбург), «Монополия» [75] (Санкт-Петербург), ООО «Техно Транс» [76] (Нижекамск), «Логистическое агентство 20А» [77] (Московская область), компания «TRASKO» [78] (Москва) и ряд других отечественных и зарубежных компаний. В общей сложности под управлением системы в настоящий момент находится более 2500 грузовиков.

По средним оценкам в результате внедрения системы уже в первый год работы примерно на 4.5% возрастает число выполненных заказов, причем наряду с общим ростом числа заявок на 2.7% увеличивается и коэффициент использования грузовика собственного флота, снижается на 3.5% число опозданий к клиенту, бизнес компании становится менее зависим от человеческого фактора, уменьшается трудоемкость расчетов и число ошибок. Разработанные методы и алгоритмы обеспечивают повышение уровня сервиса для клиентов, эффективности использования ресурсов, сокращение времени и стоимости услуг, минимизацию рисков и рост других важных показателей использования ресурсов [83]. Данная информация подтверждается собственными расчетами, транспортных компаний, использующих систему, о чем имеются письма с результатами внедрения, приведенные в приложении.

В результате использования данной системы в компании нашего клиента ООО «Технотранс» [76] позволило улучшить работу транспортной компании (о чем имеется письмо о внедрении, прикрепленное в приложении)

Важные результаты, которые отмечались заказчиком по результатам внедрения, включают:

- рост производительности диспетчеров на 50%;
- увеличение объема обработанных заказов на 3%;
- уменьшение холостого хода на 5%;

- уменьшение простоев на 4%;
- уменьшение суточных расходов на 4%;
- повышение грузооборота на 5%.

4.2 Система управления бригадами SmartTeams

Данная система [30] была изначально разработана по заказу «Средневожской газовой компанией» (ООО «СВГК», г. Самара) [84] в 2011 году для создания автоматизированной системы управления аварийной службой газа 04. Суть проекта заключалась в повышении качества и эффективности выполнения аварийных заявок и технических ремонтов. Одновременно с проектом разработки системы в СВГК стартовала реформа управления, позволившая объединить аварийные бригады, автономно действующие в Самарской области и обслуживающие до 3 млн. жителей области, в единый Диспетчерский центр обслуживания населения (Call Center). Была разработана и внедрена мультиагентная система, позволяющая эффективно распределять поступающие заявки между аварийными бригадами, контролировать процесс выполнения хода работ и адаптивно вносить изменения в случае появления непредвиденных событий. За основу при разработке системы была взята базовая архитектура мультиагентной системы, описанная в главе 4, а также модуль планирования системы SmartTruck, при этом его базовые интерфейсы в ходе проекта подверглись значительной переработке под задачи управления бригадами.

Система является комплексом программных модулей, взаимодействующих между собой: АРМ диспетчеров, мобильных приложений бригад, модулей интеграции с GPS/ГЛОНАСС, а также модуля адаптивного планирования. Принцип работы системы следующий: при вводе новой заявки (рис. 4.6) ей выставляется приоритет, система анализирует ее, учитывая набор заданных критериев, и автоматически предлагает варианты ее размещения на доступные бригады рис. 4.7.

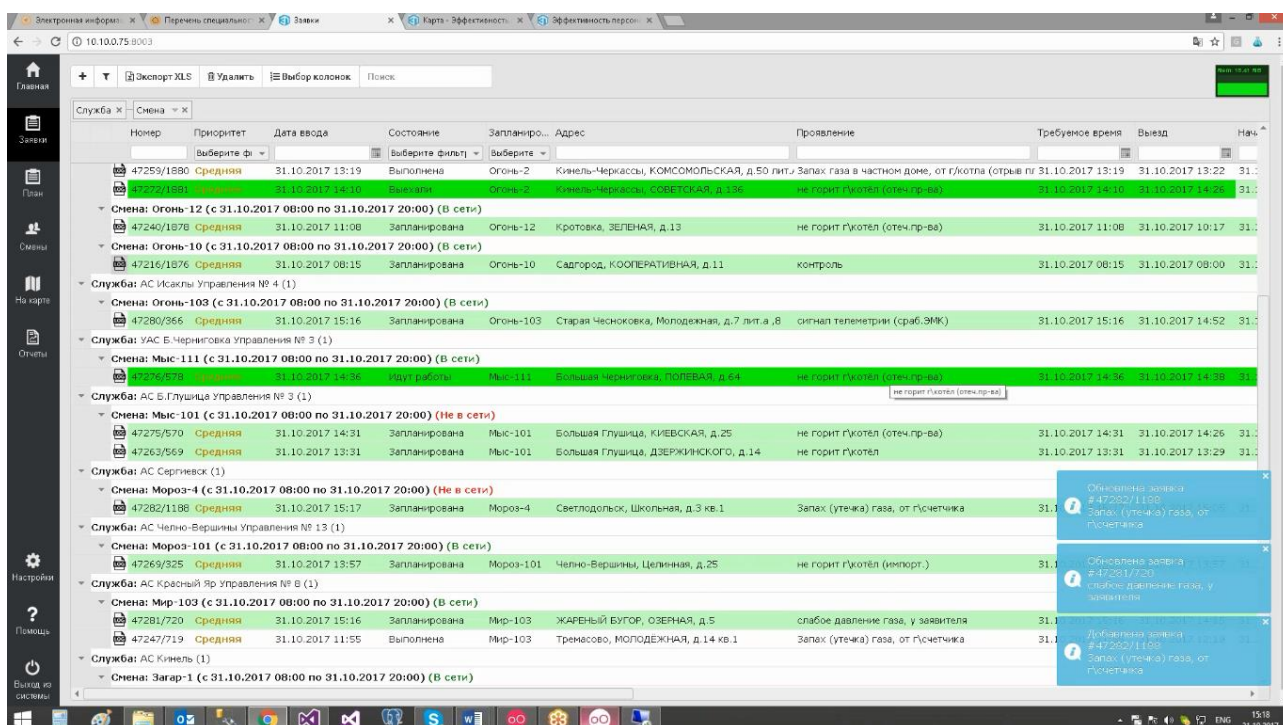


Рис. 4.6. Журнал с заявками, поступающими в реальном времени

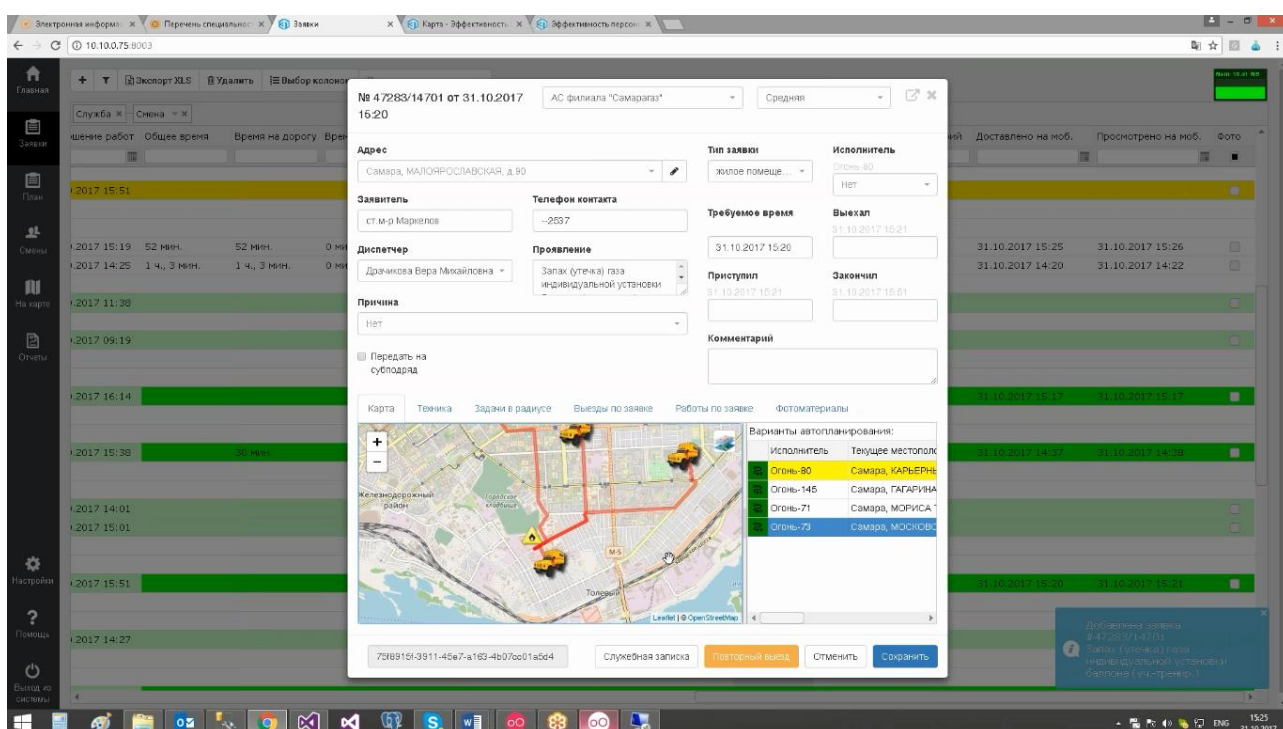


Рис. 4.7. Заявка с лучшим и другими вариантами размещения на бригадах

При подтверждении плана работ диспетчером, на мобильный планшет бригады приходит уведомление об этом (рис. 4.8.), и она направляется

выполнять заявку, местонахождение бригад отслеживается посредством GPS, по факту выполнения заявки, бригада проставляет отметку в своем мобильном приложении, после чего заявка считается выполненной.

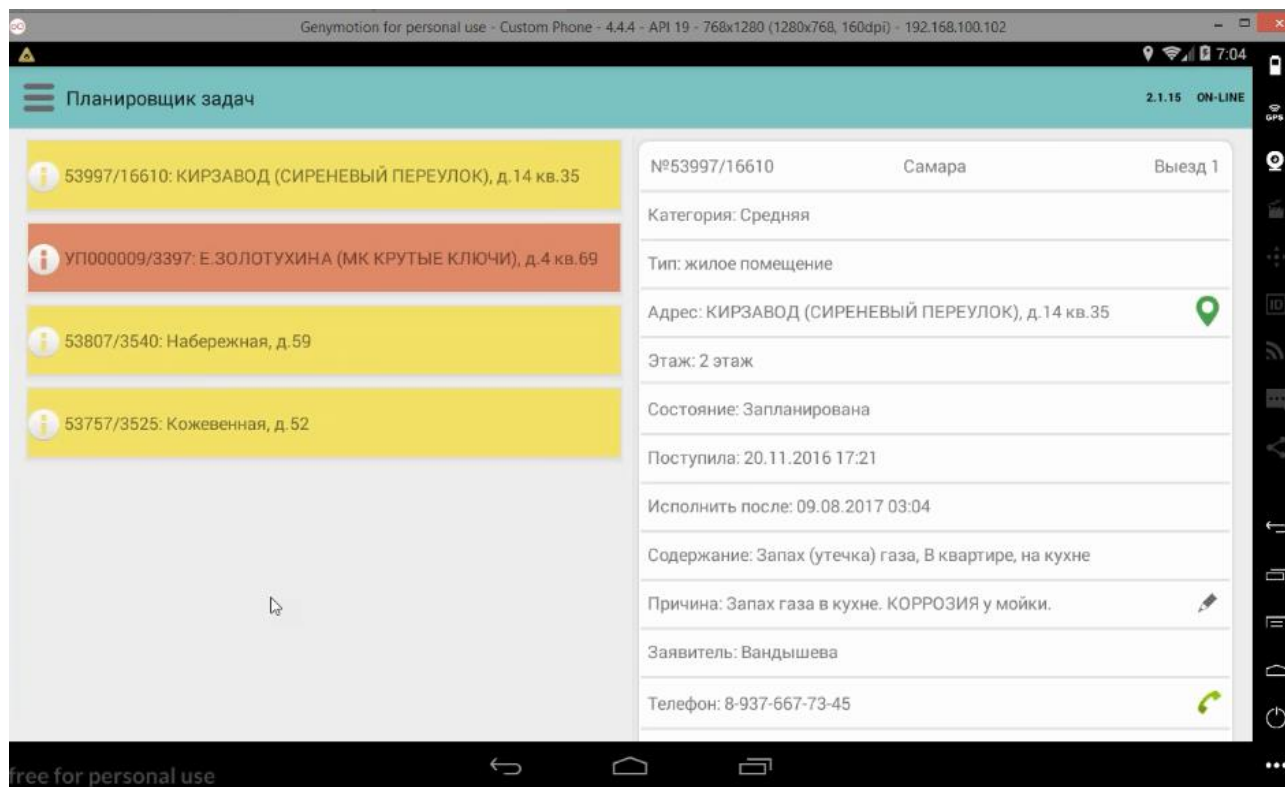


Рис. 4.8. Мобильный планшет бригады со списком заявок с указанием срочности

При этом система старается составить план работ и маршрут движения по заявкам таким образом, чтобы выполнить все заявки, начиная с наиболее срочных, затратив на это как можно меньше времени и пройдя наименьшее расстояние (рис. 4.9.). Система отслеживает поступление заявок и перестраивает план в режиме реального времени.

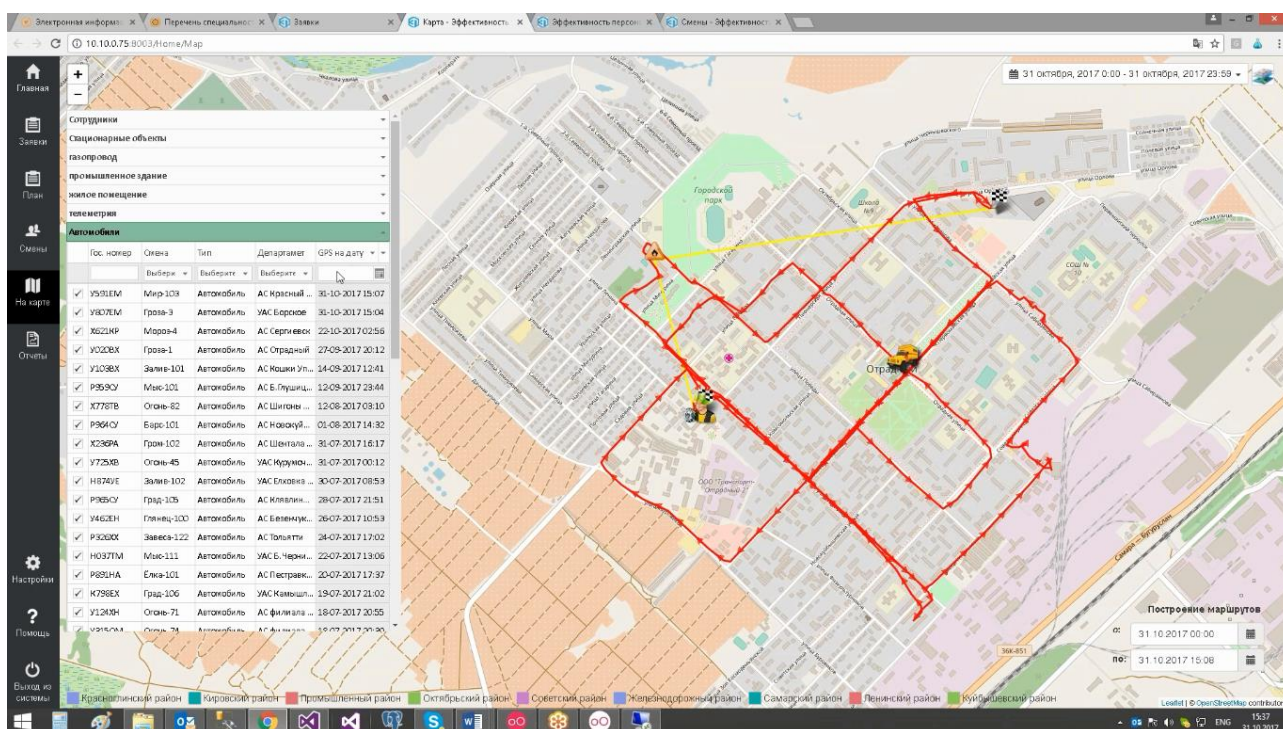


Рис. 4.9. Маршрут движения бригады при выполнении работ по заявке

В результате использования системы для обработки поступающих заявок в реальном времени в компании нашего клиента ОАО «СВГК» (Средне Волжская Газовая Компания) [84] позволило достичь повышения продуктивности обслуживающих бригад на 40% (приложено письмо с результатами внедрения, прикрепленное в приложении), поскольку каждая бригада газовой службы в настоящее время выполняет в среднем 12 задач в день вместо прежних 7 в день.

Важные результаты, которые отмечались заказчиком по результатам внедрения, включают:

- сократилось время реакции на непредвиденные события до 30%;
- повысилась заинтересованность и продуктивности работы бригад;
- стало возможным быстрое перепланирование в реальном времени;
- сократилось время обучения новых диспетчеров;

- увеличился потенциал для роста и развития бизнеса компании без роста численности управленческого персонала.

4.3 Система управления сборкой и доставкой грузов интернет-магазинов Smart Assembly&Delivery

Данная система была разработана в 2016 г. по заказу компании «Инстамарт», г. Москва, [85] компания первой решила освоить рынок доставки продуктов питания в огромном мегаполисе непосредственно из крупных супермаркетов, таких как «Ашан» и «Метро». Они создали интернет портал, на котором разместили каталог продуктов питания, синхронизированный с каталогом «Ашана» и «Метро», и дали возможность клиентам совершать покупки в интернете, набирая корзину товаров с указанием желаемого времени доставки. При получении заказа от клиента, сотрудники компании, находящиеся в магазине (сборщики), собирают данный заказ клиента, оплачивают его на кассе и передают курьеру для доставки. Для решения данной задачи требовалась интеллектуальная система, которая бы автоматически распределяла заказы по магазинам с учетом их близости к месту клиента, а также с учетом текущей загрузки сборщиков в каждом магазине, формировала бы план для сборки и доставки каждого заказа, подстраивая его под постоянно поступающие заказы и вовремя направляя к ним курьеров. За основу при разработке системы был взят модуль планирования системы SmartTrucks, который был адаптирован к задаче сборки. В результате проекта была создана интеллектуальная система управления сборкой и доставкой товара из интернет-магазинов для диспетчерского управления компании «Инстамарт», которое введено в эксплуатацию и успешно используется в повседневной работе службы доставки продуктов питания по г. Москва. Изложим алгоритм работы системы:

Шаг 1. Клиент заходит на сайт интернет-магазина рис. 4.10.

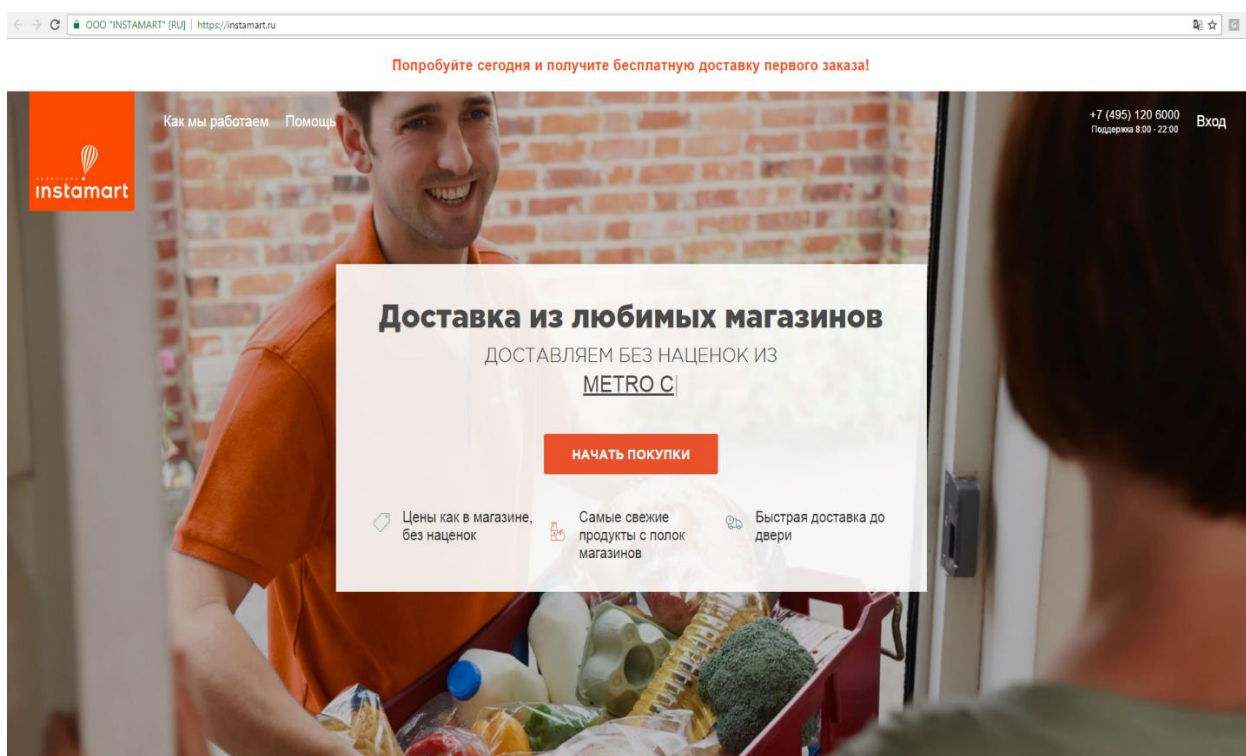


Рис. 4.10. Сайт интернет-магазина «Инстамарт».

Шаг 2. Клиент выбирает нужные ему продукты и формирует заказ на их доставку в удобное время, рис 4.11.

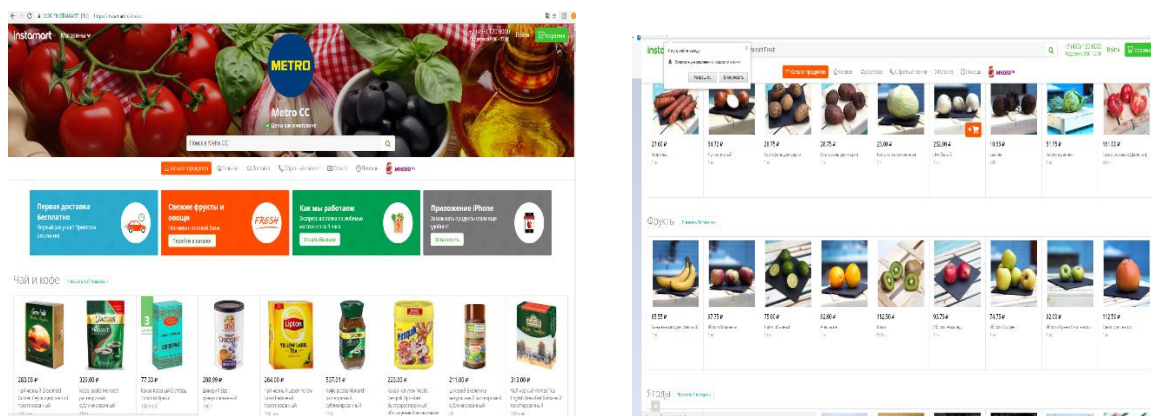


Рис. 4.11. Каталог товаров на сайте

Шаг 3. Новый заказ поступает в систему планирования, которая автоматически формирует время и место сборки товара, а также подбирает для него подходящего курьера, рис. 4.12.

Поместите сюда заголовок колонки для группировки

Номер	U	L	Курьер	Место
1	M64657	002	Москва, Колонен	
2	M21822	001	Москва, Белонор	
3	A00023	001	Москва, Москва	
4	M81648	001	Москва, ул. Черн	
5	M33655	002	Москва, ул. Верн	
6	A04104	002	Москва, Болотни	
7	A50364	001	Москва, ул. Корн	
8	M18276	001	Москва, ул. Бесту	

Поместите сюда заголовок колонки для группировки по этой колонке

Курьер	Место начала	Место окончания	Операция	Длительность	Длит. (googl...)	Начало	Окончание	Длина, км	Заказы
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Стоянка	00ч. 30м.		22.06.2016 04:00	22.06.2016 13:30	0	A04104
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 13:30	22.06.2016 13:35	0	A04104
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 13:35	22.06.2016 13:40	0	M64657
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Стоянка	00ч. 20м.		22.06.2016 13:40	22.06.2016 14:00	0	A04104, M64657, M33655
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 14:00	22.06.2016 14:05	0	M33655
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Стоянка	00ч. 27м.		22.06.2016 14:05	22.06.2016 14:32	0	A04104, M64657, M33655
002	Москва, ул. Дорожная, 1, здание 1	Москва, ул. Вернадского, 92	Транспортир...	00:28		22.06.2016 14:32	22.06.2016 15:00	11.8956	A04104, M64657, M33655
002	Москва, ул. Вернадского, 92	Москва, ул. Вернадского, 92	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:00	22.06.2016 15:05	0	M33655
002	Москва, ул. Вернадского, 92	Москва, Болотниковская 31 к 1	Транспортир...	00:21		22.06.2016 15:05	22.06.2016 15:26	8.929199999	A04104, M64657
002	Москва, Болотниковская 31 к 1	Москва, Болотниковская 31 к 1	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:26	22.06.2016 15:31	0	A04104
002	Москва, Болотниковская 31 к 1	Москва, Колоненская набережная...	Транспортир...	00:18		22.06.2016 15:31	22.06.2016 15:49	7.8804	M64657
002	Москва, Колоненская набережная...	Москва, Колоненская набережная...	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:49	22.06.2016 15:54	0	M64657
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Стоянка	00ч. 30м.		22.06.2016 04:00	22.06.2016 13:30	0	A00023
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 13:30	22.06.2016 13:35	0	A00023
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 13:35	22.06.2016 13:40	0	M21822
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Стоянка	00ч. 20м.		22.06.2016 13:40	22.06.2016 14:00	0	A00023, M21822, A50364
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 14:00	22.06.2016 14:05	0	A50364
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 14:05	22.06.2016 14:10	0	M81648
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Погрузка	00:05		22.06.2016 14:10	22.06.2016 14:15	0	M18276
001	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Москва, просп. Мира, 211, стр. 1	Стоянка	00ч. 24м.		22.06.2016 14:15	22.06.2016 14:39	0	A00023, M21822, A50364, f
001	Москва, ул. Корнейчука, 8	Москва, ул. Корнейчука, 8	Транспортир...	00:21		22.06.2016 14:39	22.06.2016 15:00	8.7624	A00023, M21822, A50364, f
001	Москва, ул. Корнейчука, 8	Москва, ул. Корнейчука, 8	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:00	22.06.2016 15:05	0	A50364
001	Москва, ул. Корнейчука, 8	Москва, ул. Бестужевых дом 13	Транспортир...	00:10		22.06.2016 15:05	22.06.2016 15:15	4.2948	A00023, M21822, M81648, f
001	Москва, ул. Бестужевых дом 13	Москва, ул. Бестужевых дом 13	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:15	22.06.2016 15:20	0	M18276
001	Москва, ул. Бестужевых дом 13	Москва, Москва, 3-й Нижегородск...	Транспортир...	00:10		22.06.2016 15:20	22.06.2016 15:30	4.538399999	A00023, M21822, M81648
001	Москва, Москва, 3-й Нижегородск...	Москва, Москва, 3-й Нижегородск...	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:30	22.06.2016 15:35	0	A00023
001	Москва, Москва, 3-й Нижегородск...	Москва, ул. Чернышевского, дом 1...	Транспортир...	00:13		22.06.2016 15:35	22.06.2016 15:48	5.5968	M21822, M81648
001	Москва, ул. Чернышевского, дом 1...	Москва, ул. Чернышевского, дом 1...	Разгрузка	00:05		22.06.2016 15:48	22.06.2016 15:53	0	M81648

Рис. 4.12. Расписание сборки и доставки заказа

Шаг 4. При планировании нового заказа динамически перестраиваются маршруты объезда, рис. 4.13.

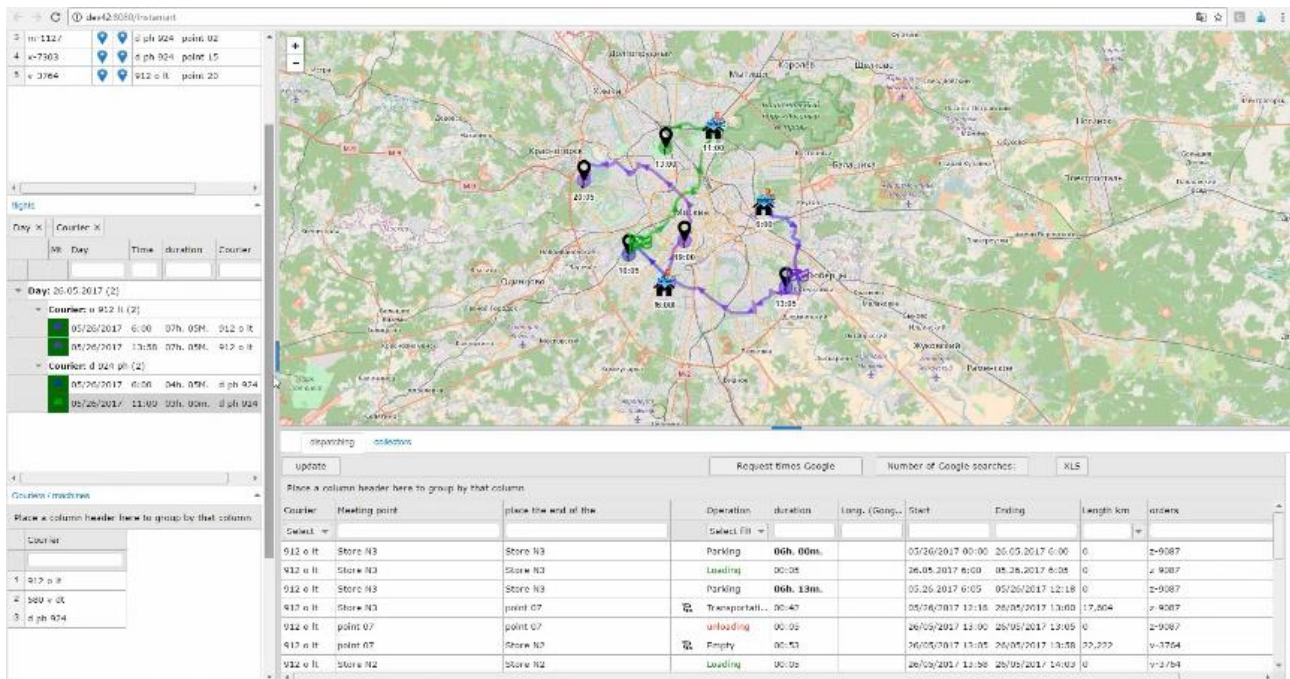


Рис. 4.13. Перестроенный маршрут доставки заказов курьером

Система позволила сократить среднее время сборки заказа на 15%, главным образом, из-за учета фактической скорости сборки каждого сборщика, а также перенаправления сборки заказа в другой магазин, если по факту не успевают собрать в текущем. Система также позволила сократить среднее количество задержек при доставке заказов клиентам на 22% в виду быстрого построения плановых маршрутов доставки с учетом пробок, а также адаптивного реагирования на фактические задержки во время доставки. Когда у одного курьера есть проблема, ее можно решить с помощью других курьеров, путем адаптивного изменения их текущего плана доставки.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Кратко представлены результаты внедрения мультиагентных систем, разработанных в 2009-2017 гг., в которых применяются разработанные автором диссертации модели, методы и алгоритмы.
2. Показано, что мультиагентные технологии позволяют решать сложные задачи и создавать промышленные системы для управления мобильными ресурсами в реальном времени. В результате внедрения таких систем наблюдается сокращение затрат при управлении мобильными ресурсами, а также уменьшается зависимость от человеческого фактора.
3. Результаты внедрений свидетельствуют о возможности значительного повышения среднего числа выполненных ресурсами заказов на 15-25% за счет применения гибридного метода и перехода к принятию решений в реальном времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе в ходе анализа предметной области показано, что современный бизнес по управлению мобильными ресурсами требует нового видения, основанного на понимании природы сложных адаптивных систем, где требуются высокая степень адаптивности, согласование интересов множества участников, индивидуальный подход к каждому заказу и ресурсу и т.д.

Анализ существующих научно-информационных источников показал, что подходы и решения, основанные только на классических пакетных методах и средствах управления транспортными ресурсами, не всегда применимы для управления в реальном времени. Кроме того, эти решения не работают при большой размерности данных, что сопровождается комбинаторным «взрывом» при поиске вариантов, не позволяют вносить новые факторы сложности в постановку задачи – требуется разработка нового типа интеллектуальных систем, способных решать поставленные задачи.

В этой связи в работе исследованы, разработаны и реализованы гибридные модели и методы, средства и алгоритмы для решения актуальных задач управления мобильными ресурсами, сочетающие классический и мультиагентный подход. Разработанный подход к формализации задач управления ресурсами предусматривает построение создание мультиагентной «модели мира», уникальной для каждого предприятия, где могут быть отражены различные особенности предметной области.

Созданные методы и средства были реализованы, прошли апробацию и внедрены в промышленную эксплуатацию в «боевых» промышленных системах управления мобильными ресурсами, по настоящее время применяемым у различных заказчиков.

В ходе разработок была предложена архитектура гибридной системы, поддерживающей основные этапы обработки информации в рассматриваемых системах от начального ввода данных в виде заказов и ресурсов, автоматического планирования и перепланирования заказов, получения и обработки событий реального времени, поступающих от водителей, посредством интеллектуального терминала, и до анализа полученного расписания в виде отчетов, графиков и диаграмм.

Мультиагентный подход позволяет моделировать процесс сетевого распределения мобильных ресурсов и построения сложных расписаний через сопряженное взаимодействие в сетях агентов – участников этого процесса, которые имеют различные цели, предпочтения и ограничения. В работе предложено использование набора специальных агентов: заказов, грузовиков, водителей, прицепов и т.п. для учета противоречивых критериев при планировании. Каждый из таких агентов настраивается путем задания целевых функций, области допустимых значений, динамических величин весовых коэффициентов скаляризации целевой функции виртуального денежного эквивалента ресурса, который используется для улучшения локального места агента данного ресурса в расписании. Эти возможности позволяют учитывать специфику конкретного транспортного предприятия.

Кроме того, проведены эксперименты по моделированию рассматриваемых систем, которые, как и внедрения, показали существенное увеличение эффективности в использовании ресурсов до 20-40%.

Основные результаты работы

1. Проведен системный анализ современных задач управления мобильными ресурсами на предприятиях грузовых комплектных и сборных перевозок, сервисных бригад и интернет-доставки.
2. Формализована постановка задачи гибридного построения расписания мобильных ресурсов для начального плана и адаптивного перестроения плана по внешним событиям.
3. Разработаны методы и средства повышения адаптивности решения задачи управления мобильными ресурсами за счет поддержки информационно-коммуникационных взаимодействий с сотрудниками предприятия, формирующими и исполняющими план в реальном времени.
4. Разработаны базовые функции и архитектура гибридной мультиагентной системы управления мобильными ресурсами.
5. Проведено моделирование и экспериментальное исследование применимости разработанных методов и средств для повышения адаптивности и роста эффективности использования ресурсов, показывающее возможность повышения среднего числа выполненных заказов до 40%.
6. На основе базовой системы создан ряд промышленных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнев В.П. Информационное обеспечение процессов развития больших систем административно-организационного управления // Программные продукты и системы. № 3 (83), 2008. – С. 9 – 15.
2. George Rzevski. Coevolution of Technology, Business and Society // Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics. Vol. 13, No. 3 (2018), pp. 231–237.
3. Виттих В.А. Онтологические модели ситуаций в процессах принятия коллегиальных решений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI международной конференции (22-24 июня, 2009 г., Самара, Россия). Самара, СамНЦ РАН, 2009. – С. 405 – 410.
4. Dantzig G.B., Ramser J.H. The Truck Dispatching Problem // Management Science. 1959. Vol. 6, No. 1. P. 80-91.
5. APPLEGATE D.L. The Traveling Salesman Problem /Applegate, D. L., Bixby, R. M., Chvátal, V., Cook, W. J. // Princeton University Press Princeton, NJ, USA, 2007, 606 p.
6. Bertazzi, L., Savelsbergh, M., Speranza, M. G. Inventory Routing // New York: Springer Science+Business Media, 2008. Vol. 43, pp. 49–72.
7. Braekers K., Ramaekers K., Nieuwenhuyse I.V. The vehicle routing problem: State of the art classification and review // Computers & Industrial Engineering, 2016. Vol. 99, pp. 300–313.
8. Toth P., Vigo D. (ed.). Vehicle routing: problems, methods, and applications // MOS-SIAM Series on Optimization, 2014. Vol. 18. 463 p.
9. Данциг Д. Линейное программирование, его применения и обобщения // М.: Прогресс, 1966. – 602 с.

10. Golden B. L., Raghavan S., Wasil E. A. (ed.). The vehicle routing problem: latest advances and new challenges // Springer Science & Business Media, 2008. – Т. 43. 589 p.
11. Laporte G. Fifty years of vehicle routing // Transportation Science. – 2009. – Т. 43. – №. 4. – PP. 408-416.
12. Танаев В. С., Шкурба В. В. Введение в теорию расписаний // М.: Наука, 1975. – 256 с.
13. Brucker P., Knust S. Complex Scheduling // Springer Science & Business Media. – 2006. 286 p.
14. Labadie N., Prins C., Prodhon C. Metaheuristics for Vehicle Routing Problems // John Wiley & Sons, 2016. 177 p.
15. Ganesh K., Narendran T. T. Composite Heuristics for a Class of Vehicle Routing Problems: Consideration of Delivery, Pick-up and Time Windows // LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 220 p.
16. Anbuudaysankar S. P., Ganesh K., Mohapatra S. Models for Practical Routing Problems in Logistics // Springer, 2014. 122 p.
17. Kaban A. K., Othman Z., Rohmah D. S. Comparison of dispatching rules in job-shop scheduling problem using simulation: a case study // International Journal of Simulation Modelling. – 2012. – Т. 11. – №. 3. – PP. 129-140.
18. Goldberg D. E. Genetic Learning in optimization, search and machine learning //Addisson Wesley. – 1994. 432 p.
19. Eun Y., Bang H. Cooperative task assignment/path planning of multiple unmanned aerial vehicles using genetic algorithm // Journal of aircraft. – 2009. – Т. 46. – №. 1. – PP. 338-343.
20. Fred Glover. Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence // Computers and Operations Research. – 1986. 13 (5): pp. 533–549.

21. G. Clarke and J.W. Right. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points // Operations Research, vol. 11 (1963), pp. 568-581.
22. Питеркин С. В. и др. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем // Russian Journal of Mathematical Physics. – 2016. – Т. 23. – №. 2. – С. 207-218.
23. SAP. Enterprise Information Management. [Электронный ресурс]. URL: <https://studwork.org/article/other/oformlenie-ssylki-na-internet-istochnik> (дата обращения: 01.10.2018).
24. 1С:Предприятие 8. Управление Автотранспортом. [Электронный ресурс]. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/autotransport-prof/features> (дата обращения: 01.10.2018).
25. AXELOT: TMS. Управление транспортом и перевозками. [Электронный ресурс]. URL: https://www.axelot.ru/service/avtomatizacija_transportnoi_logistiki/axelot_tms/ (дата обращения: 01.10.2018).
26. ОПТИМУМ ГИС. Автоматизация транспортной логистики. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.ru/solutions/optimum-gis/> (дата обращения: 01.10.2018).
27. ANTOR IDP. Система управления транспортом. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.antor.ru/products/sistema-upravleniya-transportom-i-gruzoperevozkami/> (дата обращения: 01.10.2018).
28. ЭРМА СОФТ. ГИС СИТИ-Доставка. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ermasoft.ru/ru/main/GeoLogist/Megapolis/> (дата обращения: 01.10.2018).

29. ИТС. Система управления транспортом в реальном времени SmartTrucks. [Электронный ресурс]. URL: <http://smartruck.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
30. ИТС. Система управления персоналом мобильных подразделений предприятия SmartTeams. [Электронный ресурс]. URL: <http://smarteams.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
31. Бурков В. Н., Новиков Д. А. Теория активных систем: состояние и перспективы // М.: СИНТЕГ. – 1999. – 128 с.
32. Губко М. В., Коргин Н. А., Новиков Д. А. Управление организационными системами: современные научные направления // Проблемы теории и практики управления. – №1/2011. С. 62-71.
33. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems // John Wiley & Sons, 2009. 348 p.
34. Jennings N. R., Wooldridge M. J. (ed.). Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets // Springer Science & Business Media, 2012. 325 p.
35. Tambe M. Towards flexible teamwork // Journal of artificial intelligence research. – 1997. – Т. 7. – PP. 83-124.
36. Rzevski G. A practical Methodology for Managing Complexity // Embracing complexity in design. Gower Publishing. – 2011. – Т. 13. – №. 1/2. – 38 p.
37. Rzevski G. Using complexity science framework and multi-agent technology in design // Embracing complexity in design. Gower Publishing – 2009. – PP. 61-72.
38. Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity // Wit Press, 2014. 216 p.
39. Тарасов В. Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – №. 2. – С. 5-63.

40. Городецкий В. И. и др. Мультиагентные технологии для оперативного управления ресурсами в реальном времени // Третья мультиконференция по проблемам управления. с. Дивноморское, Геленджик, Россия. Т.1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ – 2010. – С. 12-14.
41. Городецкий В. И. Информационные технологии и многоагентные системы // Проблемы информатизации. – 1998. – №. 1. – С. 3-14.
42. Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – Т. 2. – С. 64-117.
43. Городецкий В. И., Карсаев О. В., Самойлов В. В. Многоагентная технология принятия решений в задачах объединения данных // Труды СПИИРАН. – 2002. – Т. 1. – №. 2. – С. 12-37.
44. Граничин О.Н., Скобелев П.О. Суперкомпьютеры и мультиагентные технологии для решения сложных задач управления ресурсами в реальном времени // Суперкомпьютеры. – № 4(16). – 2013. – С.54-59.
45. Виттих В. А., Скобелев П. О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – Т. 45. – №. 2. – С. 84-86.
46. Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №. 1. – С. 177-185.
47. Скобелев П. О. Метод компенсаций для поддержки процессов принятия решений при динамическом распределении ресурсов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2002. – Т. 4. – №. 1. – С. 104-112.

48. Скобелев П. О., Майоров И. В. Мультиагентные технологии в интеллектуальных системах управления ресурсами в реальном времени // Морские информационно-управляющие системы. – 2015. – №1(7). – С.24-39.
49. Petr Skobelev, Igor Mayorov, Sergey Kozhevnikov, Alexander Tsarev, Elena Simonova. Measuring adaptability of swarm intelligence for resource scheduling and optimization in real time // Proceedings of the 7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2015), Lisbon, Portugal, 10-12 January, 2015, vol. 2. – SCITEPRESS. – P. 517-522. – ISBN 978-989-758-074-1.
50. Petr Skobelev, Denis Budaev, Vladimir Laruhin, Evgeny Levin, Igor Mayorov. Practical Approach and Multi-Agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // Proceedings of the PAAMS 2014 International Workshops, 4-6 June, 2014, Salamanca, Spain. 2014. – Communications in Computer and Information Science series, vol. 0430. –Springer, Switzerland. – P. 1-12. ISBN 978-3-319-07767-3.
51. Разработка прототипа SaaS версии интеллектуальной системы управления сборными грузовыми перевозками, интегрированной с интеллектуальным терминалом водителя и информационно-аналитической подсистемой расчета показателей эффективности грузоперевозок в реальном времени: отчет о НИР / ООО "НПК "Разумные решения", г. Самара; рук. Скобелев П.О.; исполн.: Лада А.Н., Пустовой И.А., Пейсахович Д.Г., Рыбак Д.С. - № ГР 14.514.11.4080. – Инв. № 731000.
52. Petr Skobelev, Igor Mayorov, Alexander Lada, Nikolay Malkovsky. Solving the initial transport resources allocation subproblem in a special FTL real-time transportation optimization problem by the Hungarian method // Preprints of the 1st Conference on Modelling, Identification and Control on Nonlinear Systems (MICNON-2015), Saint-Petersburg, Russia, June 24-26, 2015. – P. 638-643.

53. David Easley, Jon Kleinberg. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about Highly Connected World // Cambridge University Press, 2010. 819 p.
54. A. Lada. Finding an initial plan of transport resources FTL allocation in a special VRP problem using linear programming methods / P. Skobelev, I. Mayorov, A. Lada // Proceedings of the 19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2015), Orlando, Florida, USA, July 12-15, 2015, vol.1. – International Institute of Informatics and Systemics, – P. 16-21. ISBN 978-1-941763-24-7.
55. A. Lada. Solution to the Subtask of Initial Distribution of Transport Resources in a Special Optimization FTL Transportation Problem in Real-time Using the Hungarian Algorithm / A. Lada & P. Skobelev // Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(12), March 2016. – pp. 1-8.
56. Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem // Naval Research Logistics Quarterly. 1955. Vol. 2, No. 1-2. P. 83-97.
57. Hopcroft, John E. & Karp, Richard M. An $n^{5/2}$ algorithm for maximum matchings in bipartite graphs // SIAM Journal on Computing, 1973. T. 2 (4): pp. 225–231.
58. П.О.Скобелев. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №12 – С.33-46.
59. А.Н. Лада. Мультиагентная технология управления мобильными ресурсами в режиме реального времени. / А.Н. Лада, А.В. Иващенко, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев // Учебное пособие ПГУТИ. – Самара: ПГУТИ, 2011. – 180 с.
60. A. Lada. Method for Transportation Cost Calculation on the Basis of Full Cycle (Round Trip) / A. Lada, P. Skobelev, V. Sazonov // Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(20), May 2016. – pp. 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94478.

61. А.Н. Лада, В.В. Сазонов, П.О. Скобелев. Расчет себестоимости транспортных перевозок с учетом полного цикла (кругорейса) // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016): Материалы Девятой международной конференции, 03 - 05 окт. 2016 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А.Трапезникова Рос. акад. наук; под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна. – Т. 2: Секции 5 – 12 – М.: ИПУ РАН, 2016. – С. 75-76.
62. СКВОРЦОВ А. В. Триангуляция Делоне и ее применение // Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2002. - 128 с.
63. А.Н. Лада. Применение мультиагентных технологий в транспортной задаче с временными окнами и несколькими пунктами погрузки / П.О. Скобелев, В.В. Сазонов, А.Н. Лада, И.В. Майоров // Управление большими системами (электронный журнал). 2016. №64. – С. 65-80.
64. A. Lada. Application of Multiagent Technologies to Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows / A. Lada, P. Skobelev, V. Sazonov, I. Mayorov // Automation and Remote Control, 2018, Vol. 79, No. 9, pp. 345-353.
65. П.О. Скобелев, А.Н. Лада, И.В. Орлов. Сетевая модель взаимодействия транспортных подразделений как основа управления современным автотранспортным комплексом // Современные сложные системы управления: HTCS'2017: мат-лы XII междунар. науч.-практ. конф., 25-27 октября 2017 г., Липецк, Россия. В 2 ч. Ч.1. – Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – С. 274-278.
66. A. Lada. The method of calculating the assembly and delivery plan for groups of cargoes in the special VRPTW problem of intra-city food delivery / A. Lada & P. Skobelev // Studies in Computational Intelligence, vol. 762. Springer, Cham, 2018. – P. 489-500. ISBN 978-3-319-73750-8.

67. А.Н. Лада. Разработка интеллектуальной системы управления сборными грузовыми перевозками в реальном времени / С.С. Кожевников, А.Н. Лада, И.А. Пустовой, Д.С. Рыбак, П.О. Скобелев, А.В. Царев // Вестник Самарского государственного технического университета, серия «Технические науки». 2013. №3(39). – С. 65–74.
68. А.Н. Лада. SMART LOGISTICS: мультиагентная система управления сборными грузами для внутрирегиональных развозок / А.Н. Лада, Д.Г. Пейсахович, И.А. Пустовой, Д.С. Рыбак, П.О. Скобелев // Труды XVI Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”, Самара, 30 июня-03 июля 2014г. – Самара: СНЦ РАН, 2014. – С. 253-261. – ISBN 978-5-93424-703-5.
69. A. Lada. Cargo transportation models analysis using multi-agent adaptive real-time truck scheduling system / O. Granichin, I. Mayorov, P. Skobelev, A. Lada, A. Tsarev // Proceedings of the 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART'2013), February 15-18, 2013, Barcelona, Spain. – SciTePress, Portugal, 2013, Vol. 2. – pp. 244-249. ISBN 978-989-8565-39-6.
70. А.Н. Лада. Исследование моделей организации грузовых перевозок с применением мультиагентной системы для адаптивного планирования мобильных ресурсов в реальном времени / Н.О. Амелина, А.Н. Лада, И.В. Майоров, П.О. Скобелев, А.В. Царев // Проблемы управления. 2011. №6. – С. 31–37.
71. A. Lada. Comparing adaptive and non-adaptive models of cargo transportation in multi-agent system for real time truck scheduling / O. Granichin, I. Mayorov, P. Skobelev, A. Lada, A. Tsarev // Proceedings of the 4th International Conference on Evolutionary Computation Theory and Applications (ECTA'2012), October 5-7, 2012, Barcelona, Spain. – SciTePress, 2012. – pp. 282-285.

72. ООО «ТЭК РУСГЛОБАЛ». Грузоперевозчик, оказывающий комплексные транспортно-экспедиционные услуги. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rusglobal.com/> (дата обращения: 01.10.2018).
73. ЗАО «PROLOGICS». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.prologics.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
74. АО «Лорри». Автомобильные перевозки грузов с 1929 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lorry.com/> (дата обращения: 01.10.2018).
75. ГК «Монополия». [Электронный ресурс]. URL: <http://monopoly.su/> (дата обращения: 01.10.2018).
76. ООО «ТаграС-ТрансСервис». [Электронный ресурс]. URL: <http://tgrsts.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
77. Логистическое Агентство «20А». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.20a.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
78. ТК «ТРАСКО». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trasko.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
79. BRÄYSY O. Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows / O. Bräysy and M. Gendreau // Internal Report STF42 A01022, SINTEF Applied Mathematics, Department of Optimization, Oslo, Norway. 2001 vol. 34, pp. 364-369.
80. CORDEAU J.-F. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows / J.-F. Cordeau, G. Laporte, A. Mercier // Journal of the Operational Research Society. 2001 vol. 52, pp. 928-936.
81. Known Best VRP Results. [Электронный ресурс]. URL: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/known-best-results/> (дата обращения: 01.10.2018).
82. А.Н. Лада. Анализ эффективности применения мультиагентной системы управления региональными перевозками в реальном времени /

А.В. Иващенко, А.Н. Лада, И.В. Майоров, П.О. Скобелев, А.В. Царев // Материалы 4-й МКПУ-2011, 3-8 октября 2011 г., с. Дивноморское, Геленджик, Россия. Т.1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011.2011. С. 353-356. ISBN 978-5-8327-0404-3.

83. А.Н. Лада. Метод построения тандем-плана комплектации и курьерской внутригородской развозки сборных грузов в специальной WRPTW задаче доставки продуктов питания / А.Н. Лада, П.О. Скобелев, И.В. Орлов // Труды XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 12-15 сентября 2017 г. – Самара: ОФОРТ, 2017. – С. 501-507. – ISBN 978-5-473-01154-8.
84. ООО «Средневолжская газовая компания». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.svgc.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).
85. ООО «Инстамарт». [Электронный ресурс]. URL: <https://instamart.ru/> (дата обращения: 01.10.2018).

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2009616691

Мультиагентная система управления такси

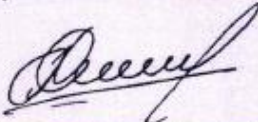
Правообладатель(ли): **Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Генезис знаний» (RU)**

Автор(ы): **Иващенко Антон Владимирович,
Горбачев Олег Викторович, Леднев Андрей Михайлович,
Хантеев Александр Дмитриевич, Филиппова Екатерина
Васильевна, Диязитдинова Альфия Радмировна, Царев
Александр Вячеславович, Майоров Игорь Владимирович,
Лада Александр Николаевич, Скобелев Петр Олегович,
Сурнин Олег Леонидович (RU)**

Заявка № **2009615507**
Дата поступления **6 октября 2009 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
2 декабря 2009 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2012611092

**«Мультиагентная система управления
грузоперевозками в реальном времени Smart Truck»**

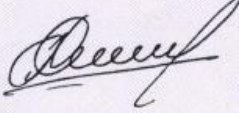
Правообладатель(ли): **Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Разумные решения» (RU)**

Автор(ы): **Лада Александр Николаевич, Ларюхин
Владимир Борисович, Мартинкевич Андрей Владимирович,
Морозова Надежда Сергеевна, Очков Дмитрий Сергеевич,
Пейсахович Даниил Григорьевич, Рыбак Дмитрий Сергеевич,
Скобелев Петр Олегович, Сочинский Андрей Александрович,
Царев Александр Вячеславович (RU)**

Заявка № **2011619130**
Дата поступления **30 ноября 2011 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
26 января 2012 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Б.П. Симонов

ПРИЛОЖЕНИЕ В. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016611179

**Мультиагентная система Smart Logistics для управления
сборными грузоперевозками**

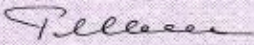
Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Разумные решения» (RU)*

Авторы: *Лада Александр Николаевич (RU), Пейсахович Даниил
Григорьевич (RU), Пустовой Иван Александрович (RU), Рыбак
Дмитрий Сергеевич (RU), Скобелев Петр Олегович (RU), Царев
Александр Вячеславович (RU)*



Заявка № **2015661700**
Дата поступления **02 декабря 2015 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **27 января 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Излиев**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016612708

**Сетецентрическая платформа взаимодействия адаптивных
планировщиков ресурсов для поддержки согласованной
работы региональных транспортных компаний**

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Разумные решения» (RU)*

Авторы: *Лада Александр Николаевич (RU), Скобелев Петр
Олегович (RU), Гнедов Максим Владимирович (RU)*



Заявка № **2015661793**

Дата поступления **02 декабря 2015 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **09 марта 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615072

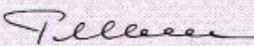
**Интеллектуальная система Smart Trucks для управления
внутригородскими, междугородними и международными
грузоперевозками**

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Интеллектуальные
Транспортные Системы» (RU)*

Авторы: *Лада Александр Николаевич (RU), Сухоруков Юрий
Евгеньевич (RU), Анфиногентов Алексей Вячеславович (RU),
Шапилов Юрий Михайлович (RU)*

Заявка № **2017612208**
Дата поступления **16 марта 2017 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **03 мая 2017 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивашин**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615344

**Интеллектуальная система Smart Teams для управления
мобильными бригадами и спец техникой**

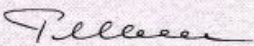
Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственная компания «Интеллектуальные
Транспортные Системы» (RU)*

Авторы: *Лада Александр Николаевич (RU), Сухоруков Юрий
Евгеньевич (RU), Анфиногентов Алексей Вячеславович (RU),
Костенюк Алексей Юрьевич (RU)*

Заявка № **2017612164**
Дата поступления **16 марта 2017 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **12 мая 2017 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ПИСЬМО ООО «ТЕХНО ТРАНС» О ВНЕДРЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ

ООО "Техно Транс"

423580, РФ, РТ, г. Нижнекамск, промзона ОАО
"Нижнекамскшина"

ИНН: 1651059020, КПП: 165101001
Тел/факс: 88555497795

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Данным письмом подтверждаем успешное внедрение и результаты повышения эффективности управления мультиагентной системой оперативного управления грузоперевозками.

В процессе работ с ноября 2015 по март 2016 было проведен ряд работ в главном офисе и производственных подразделениях ООО «Татрас-Транссервис»:

- анализ существующих и внедряемых в ближайшее время процедур (регламентов) планирования работ;
- изучение должностных обязанностей, ролей и прав сотрудников, логики принятия решений при управлении заявками, критериев планирования, показателей эффективности выполнения заявок, а также методов их оценки;
- выявление перечня событий, на которые требуется реакция системы, и протоколов (регламентов) их обработки;
- описание процессов планирования на оперативном уровне, взаимодействия согласования планов, требований по автоматизации этих процессов;
- автоматизация гибкого оперативного планирования до уровня конкретных исполнителей;
- интеграция системы с внешними информационными системами и базами данных;
- обучение и сертификация пользователей;
- сопровождение системы в период опытной эксплуатации.

В результате зафиксировано:

- рост производительности диспетчера в 2 раза;
- увеличение объема заказов на 3%;
- уменьшение холостого хода на 5%;
- уменьшение простоев на 4%;
- уменьшение суточных расходов на 4%;
- повышение грузооборота на 5%.

Руководитель логистического центра ООО «Техно Транс»

Плетнев А.П.



ПРИЛОЖЕНИЕ 3. АКТ О ВНЕДРЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ БРИГАДАМИ В ООО «СВГК»



«06» марта 2014 г.

№ 03-12/10088

На № _____ от _____

О результатах внедрения

Результаты внедрения мультиагентной системы управления аварийными бригадами для регионального диспетчерского центра службы газа 04

Настоящий документ подтверждает, что Научно-производственной компанией «Разумные решения» разработана и внедрена в штатную эксплуатацию мультиагентная система управления аварийными бригадами для регионального диспетчерского центра службы газа 04 нашей компании.

Благодаря внедрению разработанной системы удалось создать центральную региональную диспетчерскую, в которой не только видно, где находится каждая конкретная машина, но и каков план работы каждой бригады, рассчитанный с учетом особенностей заявок, расстояний между пунктами, норм работы по заявкам, оснащенности машин и ряда других важных параметров.

Разработанная мультиагентная система обеспечивает реакцию на события, планирование и перепланирование бригад, согласование решений с мастерами с использованием сотовых телефонов, ведет мониторинг и держит под контролем созданный план, вызывая перепланирование в случае возникновения рассогласований между планом и фактом, получаемым на основе датчиков ГЛОНАСС навигации и сигналов сотового телефона.

Созданная система имеет клиент-серверную архитектуру, работает с наиболее популярными электронными картами, обеспечивает удаленный доступ через Интернет, поддерживает наиболее популярные сотовые телефоны и смартфоны для поддержки бизнес-процессов работы бригад, имеет наглядный визуальный и дружелюбный интерфейс пользователя.

Разработанная система обеспечивает следующие возможности:

- решает сложную задачу планирования взаимосвязанных выездов бригад с учетом географии, приоритета и других особенностей заявки и оснащенности бригады;

- позволяет оперативно, гибко и эффективно реагировать на события в реальном времени, такие как поступление новых заказов, поломка транспорта, задержка при выполнении работы и т.д.;
- обеспечивает индивидуальный подход к каждому заказу и ресурсу;
- сокращает трудоемкость работы диспетчеров и упрощает их работу;
- снижает роль человеческого фактора при принятии решений, сокращает число ошибок диспетчеров при планировании и зависимость от персонала опытных диспетчеров;
- создает платформу для роста и развития бизнеса компании без роста численности управленческого персонала.

Главным результатом внедрения системы стала полная прозрачность бизнес-процессов аварийных бригад по исполнению заявок предприятий и населения Самарской области и почти 40% рост эффективности работы бригад, определяемый как увеличение среднего числа выполненных бригадами заявок за день.

Специалисты научно-производственной компании «Разумные решения» проявили себя в проекте с самой лучшей стороны, как команда профессиональных специалистов в области самых новых информационных технологий, которые творчески относились к делу, быстро и эффективно решали возникавшие проблемы, с большой заинтересованностью и вниманием анализировали все потребности диспетчеров и вместе с аварийными бригадами ездили по всей области, отработывая работу системы как в обычные, так и в выходные и праздничные дни, непрерывно вносили улучшения и доработки в систему для скорейшего внедрения системы в штатную работу предприятия.

Рекомендуем НПК «Разумные решения» для разработки и внедрения новых версий интеллектуальных систем управления мобильными ресурсами в самых различных областях.

 **Генеральный директор**

С.В. Мирошниченко

Сердюк

8 (846) 310-65-20

ПРИЛОЖЕНИЕ И. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В ООО «НПК «РАЗУМНЫЕ РЕШЕНИЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НПК «Разумные решения»
Лахин О.И.

«21» мая 2018 г.

443013, Самарская область, город Самара, Московское
 шоссе, дом. 17, офис 12-02

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы Лада Александра Николаевича
«Разработка методов и средств создания гибридных мультиагентных систем управления
мобильными ресурсами в реальном времени»

Комиссия в составе:

Председатель

Лахин О.И. генеральный директор ООО «НПК «Разумные решения»

Члены комиссии:

Симонова Е.В. – ведущий аналитик ООО «НПК «Разумные решения»;

Рыбак Д.С. – директор центра разработок ООО «НПК «Разумные решения»

составили настоящий акт о том, что при разработке в ООО «НПК «Разумные решения»
систем Smart Trucks, Smart Teams, Smart Assembly были использованы следующие
результаты диссертационной работы Лада А.Н. «Разработка методов и средств создания
гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами в реальном
времени»:

- 1) гибридный метод построения начального плана и адаптивной его перестройки
по внешним событиям в задаче управления мобильными ресурсами в реальном
времени;
- 2) алгоритм анализа и расчета себестоимости полного цикла перевозки
(кругорейса) в задаче комплектных грузоперевозок;
- 3) архитектура интеллектуальной системы управления мобильными ресурсами с
информационно-коммуникационными компонентами для взаимодействия с
исполнителями и корректировкой решений «по факту»

Председатель комиссии:

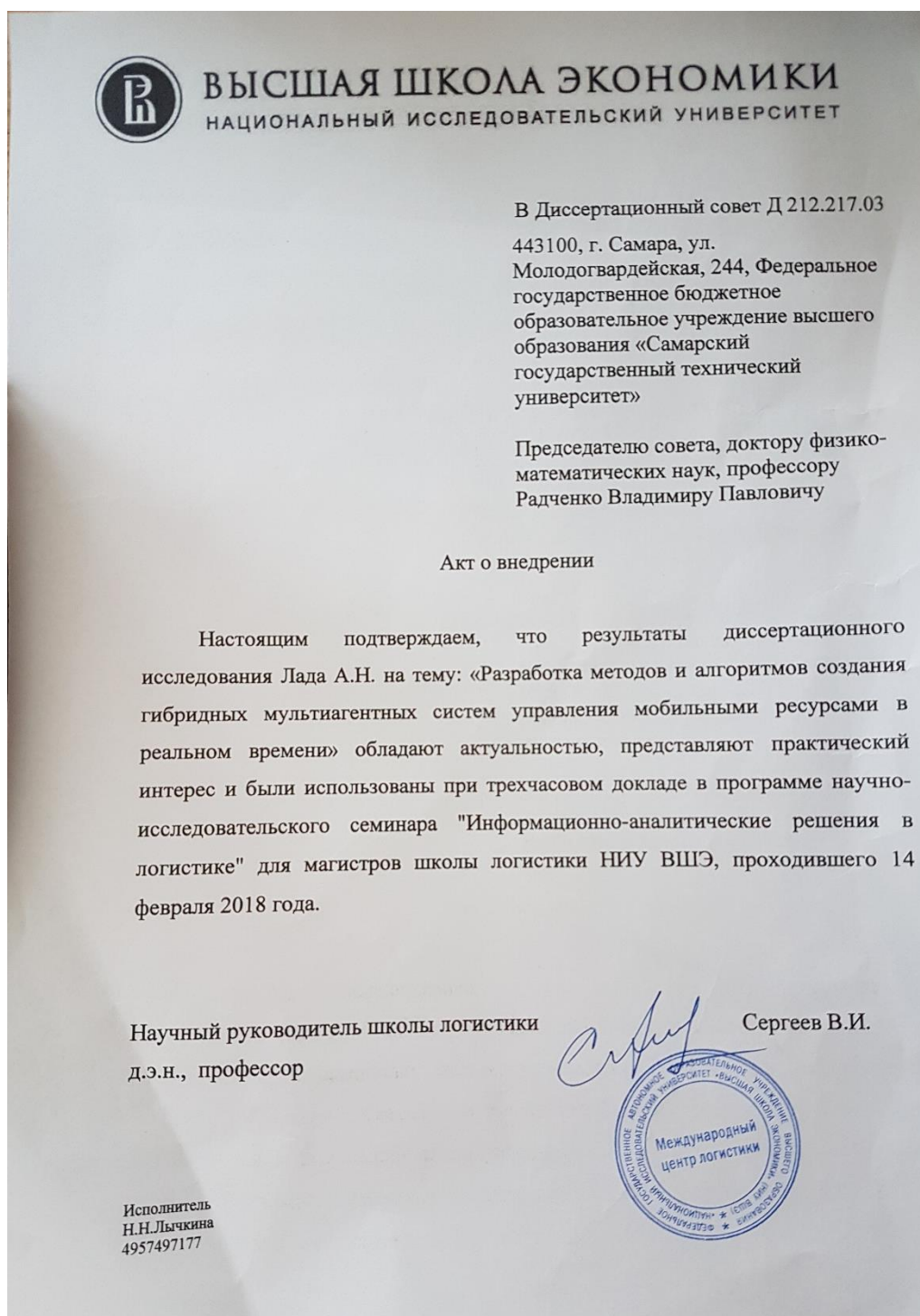
Члены комиссии:

Лахин О.И.

Симонова Е.В.

Рыбак Д.С.

**ПРИЛОЖЕНИЕ К. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ
ПРОЦЕССЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ЭКОНОМИКИ**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Л. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ
ПРОЦЕССЕ ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Поволжский
государственный университет
телекоммуникаций и информатики»,
доктор технических наук, профессор



Д.В. Мишин

2018 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук аспиранта СамГТУ Лада Александра Николаевича, выполненной на тему *«Разработка методов и средств создания гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени»* в учебном процессе Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики

Настоящим актом подтверждаем, что результаты, полученные в диссертационной работе А.Н. Лада, выполненной на тему «Разработка методов и средств создания гибридных мультиагентных систем управления мобильными ресурсами в реальном времени», а именно: принципы и архитектура построения информационных систем на основе мультиагентных технологий для решения задач управления мобильными ресурсами в режиме реального времени и учебные материалы из системы управления грузоперевозками «SmartTrucks», – внедрены в учебный процесс на кафедре инженерии знаний и используются в курсе «Методология управления» при подготовке бакалавров в рамках образовательной программы 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника (профиль программы – Программное обеспечение средств вычислительной техники и автоматизированных систем).

Декан факультета
информационных систем и технологий
к.т.н., доцент

М.А. Богомолова

И.о. заведующего кафедрой инженерии знаний
д.т.н., профессор

С.В. Смирнов

ПРИЛОЖЕНИЕ М. АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЛАДА А.Н. В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
 / Гаврилов А.В.
« » 2018 г.



АКТ о внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

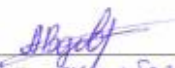
Результаты диссертационного исследования по теме
«Разработка методов и средств создания гибридных мультиагентных систем
управления мобильными ресурсами в реальном времени», выполненной на кафедре
«Электронные системы и информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический университет» и в ФГБУН «Институт проблем
управления сложными системами Российской академии наук», внедрены в учебный
процесс на кафедре информационных систем и технологий на основании решения
кафедры/факультета (протокол №2 от «19» сентября 2018 г.).

Указанные результаты включены в курс Моделирование информационных
систем направления подготовки магистров 09.04.01 «Информатика и вычислительная
техника».

Заведующий кафедрой
д.т.н.

 / Прохоров С.А.
«15» октябрь 2018 г.

Начальник методического отдела
к.т.н.

 / Вдовин Р.А.
«16» октябрь 2018 г.

Соискатель ученой степени

 / Лада А.Н.
«15» октябрь 2018 г.

Начальник отдела сопровождения
научных исследований
к.т.н.

 / Родионов Л.В.
«16» октябрь 2018 г.