

Самарский государственный технический университет
Институт проблем управления сложными системами РАН

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»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н. Скобелев Петр Олегович

Самара – 2018 год

АКТУАЛЬНОСТЬ

- Работа посвящена созданию методов и средств создания гибридных мультиагентных систем для решения сложных транспортно-логистических задач, сочетающих классические и не классические методы виртуального рынка на основе мультиагентных технологий.
- Управление мобильными ресурсами – актуальная и сложная задача, решение которой необходимо для широкого круга применений: грузоперевозки, сервисные бригады (водоканал, энергетики, нефтяники), курьеры, мерчендайзеры, интернет магазины, беспилотники и т.д.
- Задача восходит от задачи коммивояжера и решается уже много лет, тем не менее имеется множество разнообразных практических постановок, не имеющих известных точных и даже хороших приближенных методов решений, поскольку всегда нужно учитывать нюансы, различные критерии оптимальности, индивидуальный а не общий подход к каждому заказу и ресурсу и т.д.
- Так, перевозки могут быть комплектные (один заказ один грузовик), сборные (один грузовик много заказов), нужна консолидации грузов по клиентам, направлениям, времени, нужно учитывать временные окна погрузок/разгрузок, особенности дорог, места желаемых заправок, режим труда и отдыха водителей, сочетаемость различных грузов в грузовике и т.д. и т.п.
- Нужно решать задачу в реальном времени, «здесь и сейчас», нужны адаптивные методы и средств коммуникации операторов ресурсов и системы.
- Но при этом необходимо на сколько это возможно использовать известные точные методы классической оптимизации, например там, где заказы хорошо известны заранее и можно построить опорный начальный план.

Цели и задачи исследования

Цель диссертационного исследования

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.

Задачи диссертационного исследования

- ✓ 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.

Практическая значимость

- Разработанные методы и средства позволяют решать широкий круг задач управления мобильными ресурсами в реальном времени.
- На основе разработанных методов и алгоритмов созданы и внедрены в промышленности мультиагентные системы (МАС) для управления:
 - ✓ Smart Trucks – для управления грузовыми перевозками;
 - ✓ Smart Services – для управления сервисными бригадами;
 - ✓ Smart Delivery – для управления развозками товаров из интернет-магазинов.
- Результаты исследований и внедрения показывают прирост эффективности использования мобильных ресурсов на 15-40% (среднее число заказов, выполненных одним ресурсом).

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.

Соответствие паспорту специальности 05.13.01

Исследование соответствует пунктам:

2) В области формализации и постановки задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решения и обработки информации:

- ✓ Формализация постановки задачи построения и корректировки расписания мобильных ресурсов для различных приложений (грузовики, мобильные бригады и интернет-доставки);

3) В области разработки критериев и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решения и обработки информации:

- ✓ Проведение моделирования и экспериментальных исследований применимости разработанных гибридных методов и средств для повышения эффективности ресурсов;

4) В области разработки методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решения и обработки информации:

- ✓ Разработка гибридного метода и средств решения задачи управления мобильными ресурсами на базе классических и мультиагентных методов планирования и информационно-коммуникационных взаимодействий с лицами, формирующими и исполняющими план в реальном времени;

5) В области разработки специализированного математического и алгоритмического обеспечения:

- ✓ Разработка функций и архитектуры гибридной мультиагентной системы управления мобильными ресурсами и ее применение для решения ряда прикладных задач.

Апробация работы

- 7th Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing (SOHOMA 2017), Nantes, [France](#), October 19-20, 2017
- 19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2015), Orlando, Florida, [USA](#), July 12-15, 2015
- 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART'2013), February 15-18, 2013, Barcelona, [Spain](#)
- IX Междунар. конф. управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016), 03 - 05 окт. 2016 г., ИПУ РАН, [Москва](#)
- XVI-XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», [Самара](#) в 2015-2017

Основные публикации

Результаты диссертации опубликованы в 17 работах: из них 3 в журналах **ВАК**, 7 в изданиях **Scopus**. 6 свидетельств регистрации программы для ЭВМ

Реализация результатов работы

- Применение при разработке промышленных систем управления грузоперевозками, сервисными бригадами и доставкой товаров интернет-магазинов, использующихся в компаниях: «Пролоджикс», «Лорри», «Монополия», «СВГК», «Техно-Транс», «Ресурс-Транс», «Инстамарт», «Траско» и рядом других.
- 2013г. грант Минобрнауки РФ № 14.514.11.4080 «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»;
- 2015г. грант Минобрнауки РФ № 14.576.21.0014 «Разработка сетецентрической модели взаимодействия адаптивных планировщиков ресурсов для поддержки согласованной работы федерации (группы) региональных транспортных компаний и повышения эффективности междугородних грузовых перевозок»;
- 2017г. грант Минобрнауки РФ № 14.574.21.0183 по созданию цифровой платформы для управления предприятием сельского хозяйства (в части планирования работы механизаторов).
- В рамках программы президиума РАН по теме «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации»;
- В учебных процессах ФГБОУ ВО ПГУТИ («Методология управления»), Самарского университета («Моделирование информационных систем») и в программе семинаров НИИ

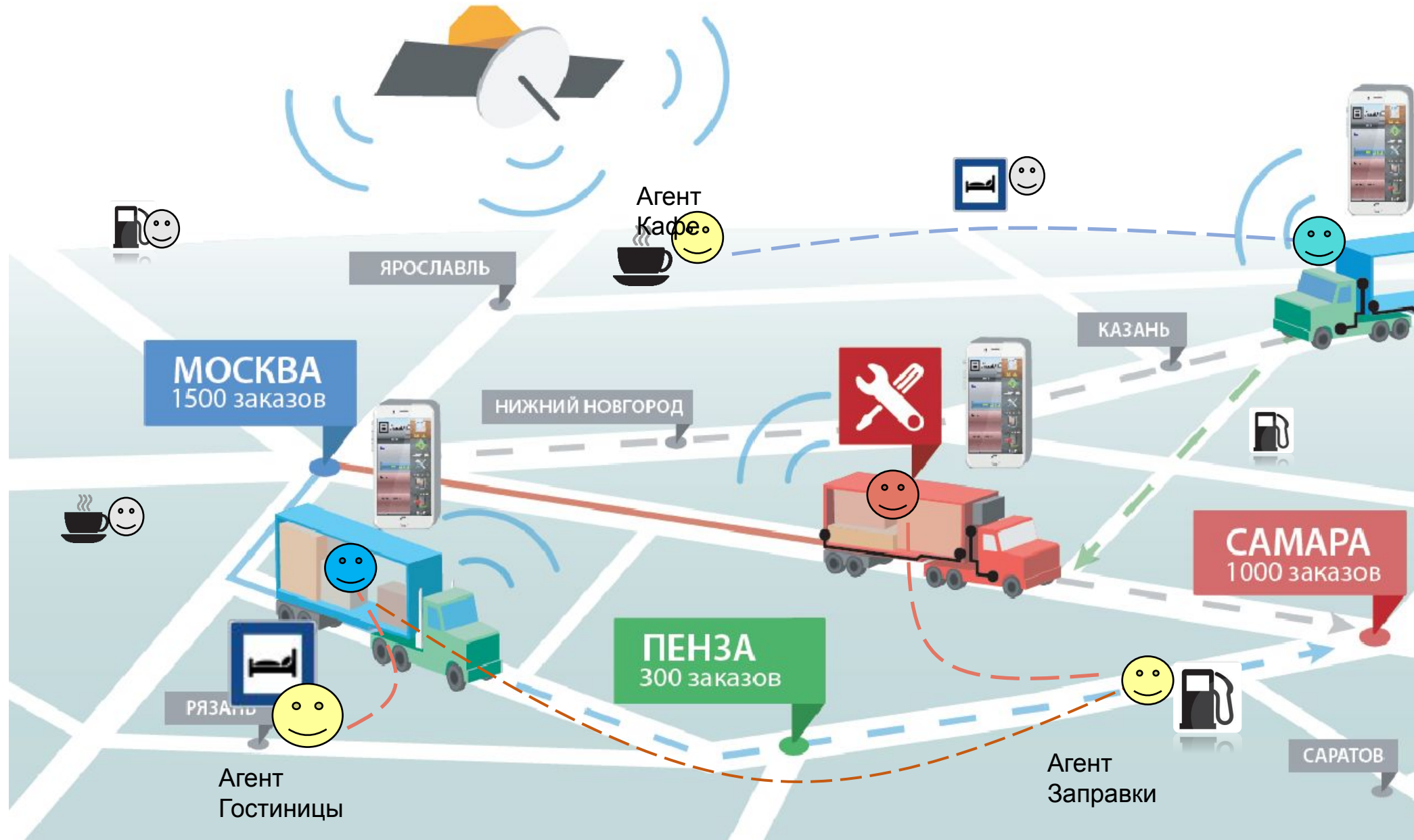
Краткий обзор разработок и выбор направления исследований

- Решение задачи началось в 60-х 20 века с известной работы Dantzig G.B., Ramser J.H. «***The Truck Dispatching Problem***», положившей начало новой дисциплине построения оптимальных маршрутов (***Vehicle Routing Problem, VRP***) - на официальном сайте задачи публикуются примеры задач и известные лучшие алгоритмы их решений.
- Для некоторых модельных задач применяются **классические методы линейного программирования**, описанные работах Л. Канторовича и Д. Данцига, а также их модификации (ветвей и границ). Их суть - отбросить неперспективные варианты пространства решений и сократить время перебора, но **в худшем случае имеем полный перебор и NP hard проблему**.
- Начиная с 1960х развиваются **эвристические методы** (Генетический алгоритм, Табу-поиск, Метод сбережений Кларка-Райта и т.д.). их суть за приемлемое время найти приближенное решение с помощью эмпирических правил, ограничивающих поиск по пространству решений, но они **сложны для понимания сотрудникам транспортных компаний, трудны для модификаций к особенностям задач и нельзя распараллелить**. **Мультиагентные методы** (начиная с 2000-х по н/в), где решение строится при взаимодействии между собой агентов на виртуальном рынке путем самоорганизации до достижения равновесия – **интуитивно понятны, параллельны, устойчивы к изменениям в логике решения задачи** (М. Вулдридж, Н. Дженнингс, М. Тамбе, В. Лессер, Г. Ржевский. в нашей стране: В.Б. Тарасов, В.И. Городецкий, О.Н. Граничин, В.А. Виттих, П.О. Скобелев, И.В. Майоров). В 2010 получили теорет. обоснование - в Кембридже была доказана теорема их эквивалентности с классическими методами в задаче о назначениях.
- Вместе с тем в ряде случаев часть заказов оказывается известной заранее, но в других, наоборот, большая неопределенность в ходе исполнения, и требуется постоянная коммуникация с ресурсом (водителем грузовика, бригадой и т.д.).
- Нужен гибридный подход - сочетание классических и адаптивных методов управления ресурсами с

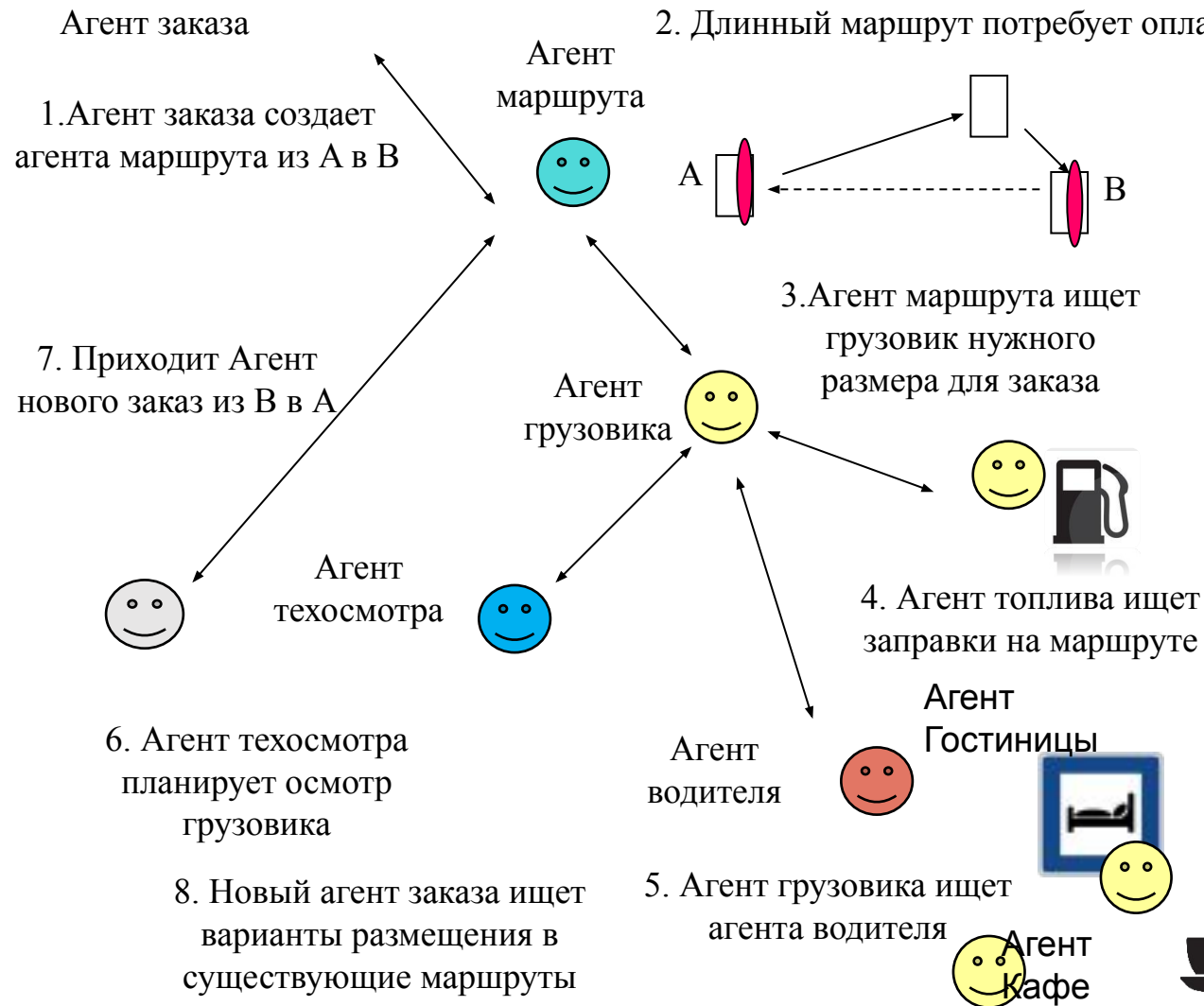
Краткий обзор известных систем управления мобильными ресурсами

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

Мультиагентная система для управления грузовиками транспортной компании



Формализация динамической задачи управления комплектными грузоперевозками путем построения агентной модели мира предприятия



Примеры взаимодействий агентов:

- Агент грузовика может не найти свободного водителя – придется задержать выезд или платить сверхурочные водителю
- Агент маршрута может не найти свой грузовик и взять стороннего перевозчика
- Агент топлива может попытаться изменить маршрут, чтобы получить лучшую заправку
- Агент грузовика может требовать техосмотра и пытаться задержать поездку или планировать пройти осмотр по дороге, наконец, отложить осмотр до возвращения

Примеры конфликтов агентов:

- Можно увеличить прибыль за счет длинного маршрута но уменьшить удовлетворенность водителя (придется платить сверхурочные)
- Можно задержать тех осмотр грузовика, но обеспечить лучшую прибыльность поездки
- Можно удлинить маршрут, чтобы заехать на лучшую заправку
- Можно не успеть в срок или вовсе сорвать перевозку, но сделать большую прибыль за счет дешевого перевозчика

Вывод: построение мультиагентной модели мира предприятия – основа для формализации постановок задачи управления любыми мобильными ресурсами и задания индивидуальных критериев, предпочтений и ограничений заказов и ресурсов, а также других участников принятия решений.

Формализация задачи построения начального плана комплектных грузоперевозок и решение Венгерским алгоритмом

Для заданных таблично заказов O_i и ресурсов R_j 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:

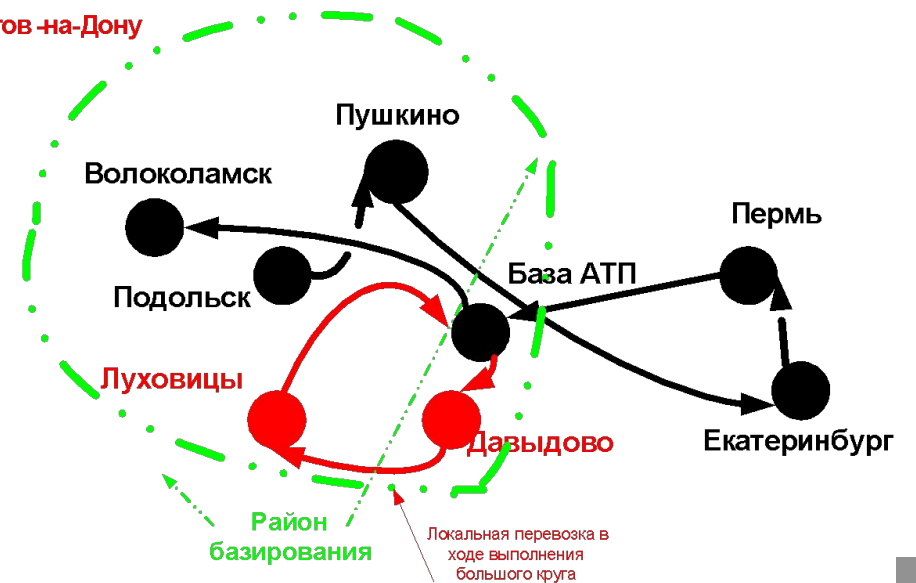
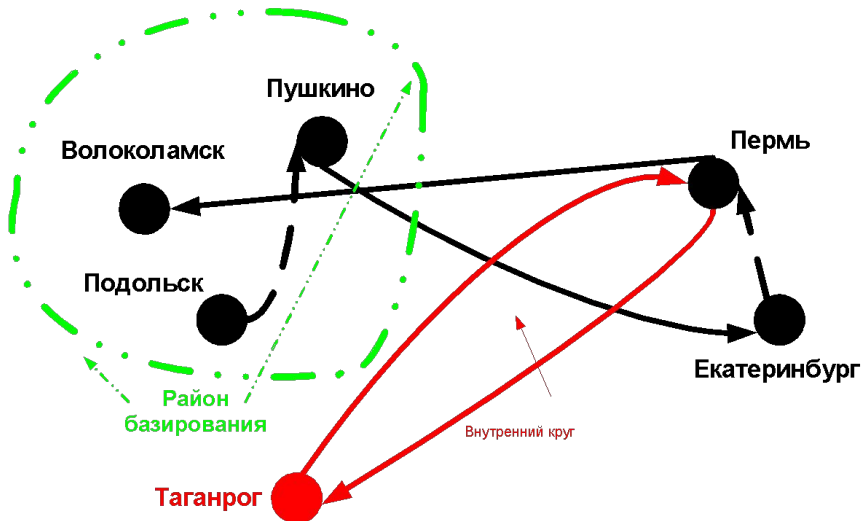
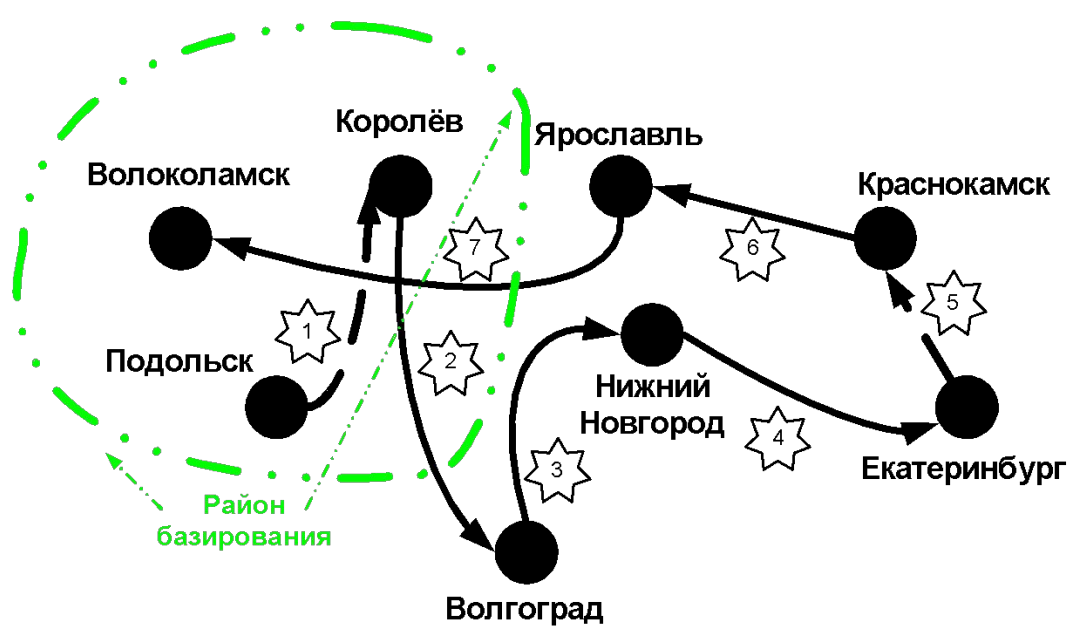
$$\sum_{i,j=1}^{m,n} DR_{ij} \rightarrow \min, P \rightarrow N \begin{cases} TRf_j + DR_{ij} < TO_{fi} \\ DR_{ij} < b \\ TO_{si} - TRf_j - DR_{ij} < c \end{cases}, \text{ где } TRf_j \text{ время высвобождения с}$$

предыдущего заказа, DR_{ij} время переезда между заказами, TO_{fi} время конца окна погрузки заказа, TO_{si} время начала окна погрузки заказа, b и c параметры задаются экспертами логистами (обычно $b=10$, $c=24$). Если ни один из грузовиков не успеет выполнить более одного заказа, получим матрицу A иначе A_{ext}

$$A = \begin{bmatrix} DR_{1,1} & \cdots & DR_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ DR_{n,1} & \cdots & DR_{n,m} \end{bmatrix} A_{ext} = \begin{bmatrix} DR_{1,1} & \cdots & DR_{1,m} | DO_{1,m+1} \cdots DO_{1,m+n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \\ DR_{n,1} & \cdots & DR_{n,m} | DO_{n,m+1} \cdots DO_{n,m+n} \end{bmatrix}, \text{ Полученные}$$

матрицы формулируют задачу о назначениях. Она решается точным Венгерским методом. Это решение далее используется для адаптации по событиям.

Задача расчета себестоимости кругорейсов для комплектных перевозок как пример расширения базового сценария перевозки

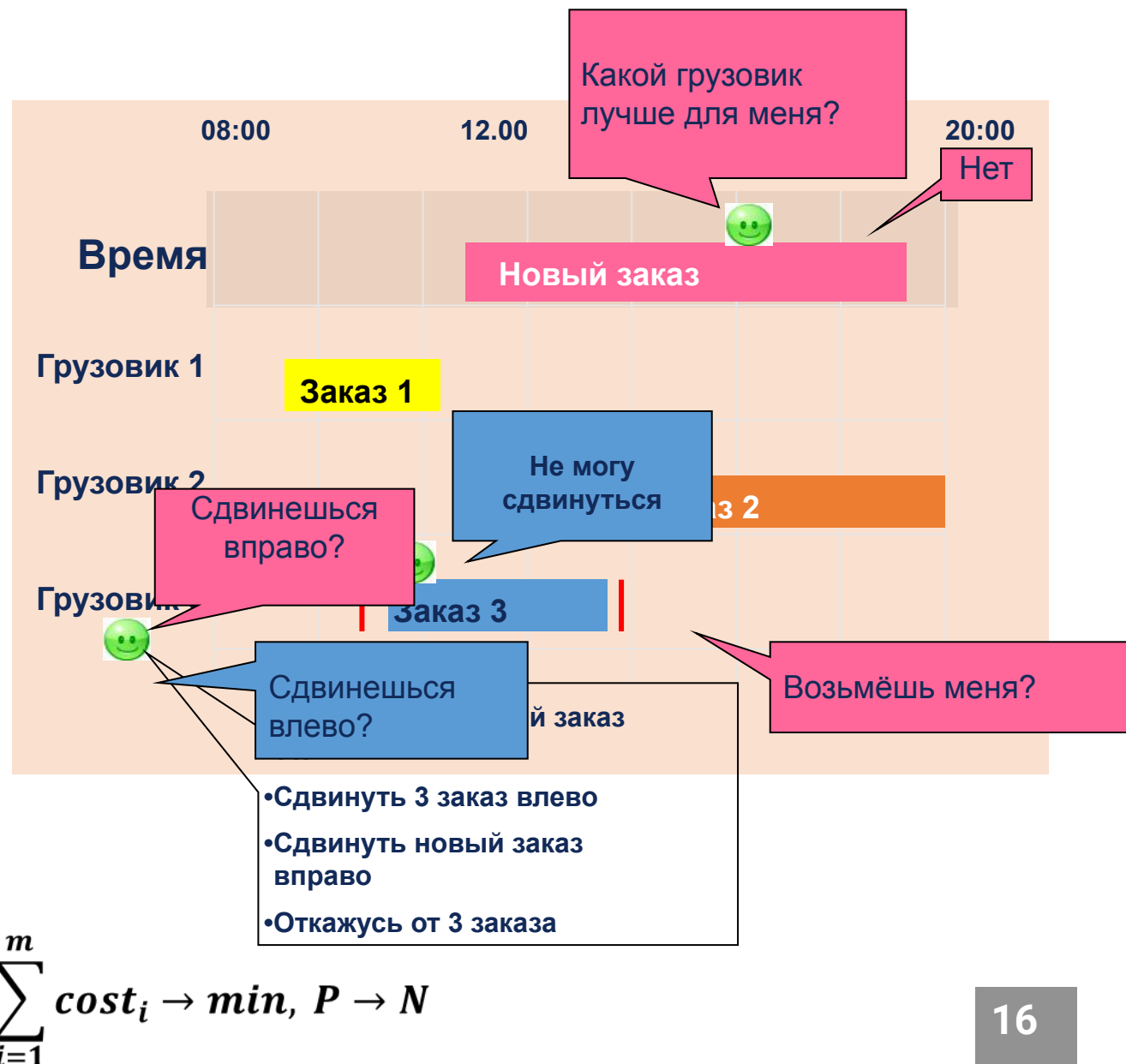


Решение задачи расчета себестоимости кругорейсов

- Для каждого пункта доставки требуется рассчитать вероятную прибыль (убыток) возврата обратно на базу, на основе уже выполненных ранее заказов
- Для каждого из M грузовиков выбрать подходящие ему M заказов, таким образом, чтобы суммарная прибыль компании, после возвращения всех грузовиков обратно на базу, была максимальной
- ✓ Складываются все суммы заказов круга, получается средняя выручка, складываются все пробеги по заказам круга получается средний пробег, считается общее время выполнения всех заказов круга и получается среднее время возврата. Если вычесть из выручки круга переменные и постоянные затраты, то получим результат возврата прибыль(убыток) кругорейса.
- ✓
$$A = \begin{bmatrix} cr_{1,1} - co_1 - cw_1 & \cdots & cr_{1,m} - co_1 - cw_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cr_{n,1} - co_n - cw_n & \cdots & cr_n - co_n - cw_n \end{bmatrix},$$
 где $cr_{i,j}$ - затраты на перевозку i заказа j грузовиком, co_i - стоимость (выручка) i заказа, cw_i - результат возврата на круге из города разгрузки i заказа.
- ✓ Решается задача о назначениях Венгерским алгоритмом

Адаптивное планирование заказов на грузовики

- Имеем начальный план, полученный венгерским алгоритмом.
- Поступает новый заказ, который «будит» агента Грузовика 3, начинает с ним переговоры, оценивая возможность принятия заказа (считает затраты) по формуле: $Cost_i = d^i c^d + t^i c^t$, где d^i длина маршрута (в км), c^d коэф. затрат (руб./км), t^i время простоя между заявками (час), c^t коэф. затрат (руб./час).
- Заказ 3 анализирует ситуацию, находит вариант размещения на Грузовике 1 с ухудшением и вынужден отказаться.
- Грузовик 3 оценивает варианты и решает отказаться от Заказа 3 и взять новый заказ
- Заказ 3 размещается на Грузовике 1 путем сдвига Заказа 1
- Ухудшения от этой перестановки оказались меньше чем прирост KPI от нового заказа =



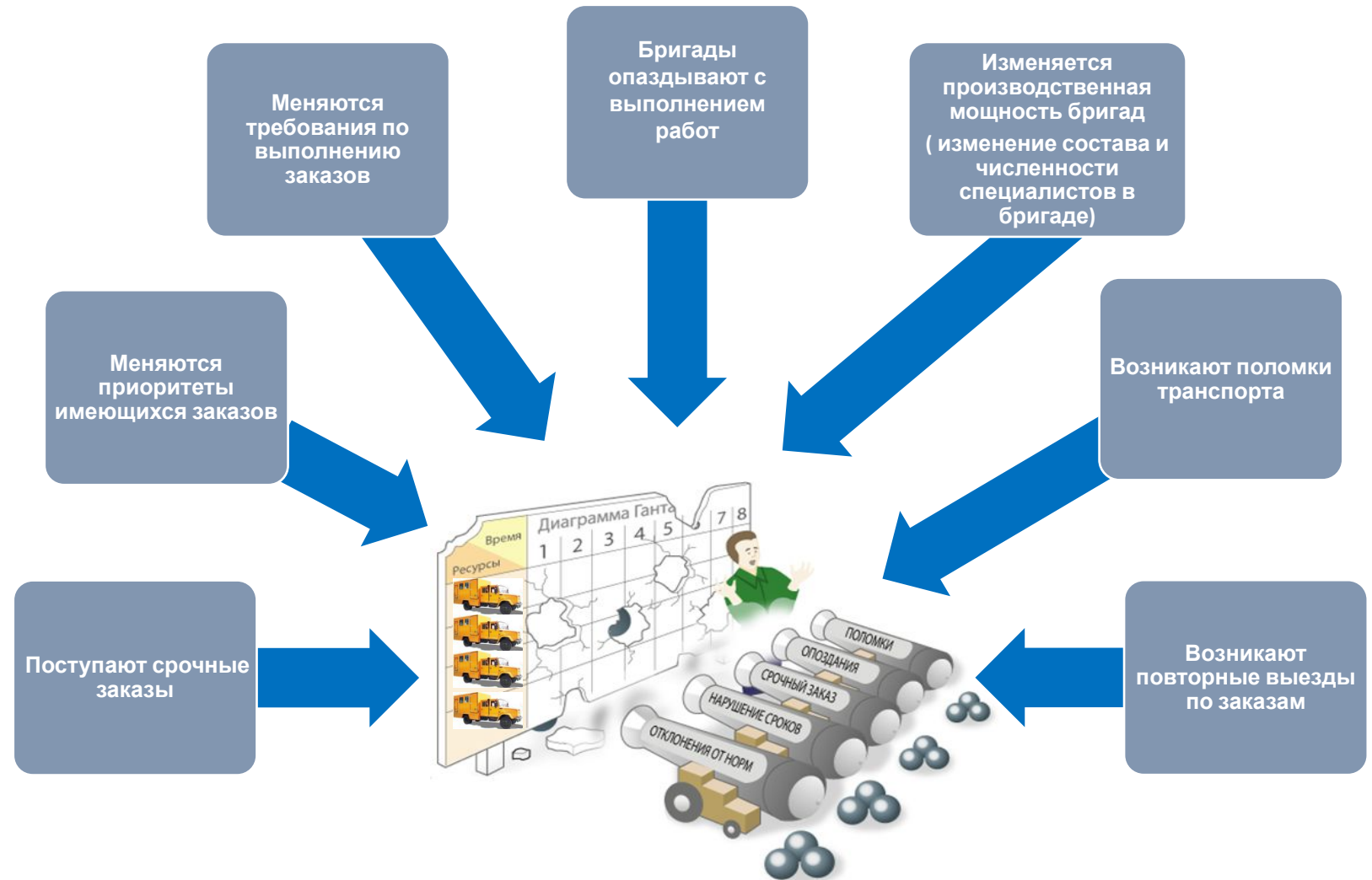
Предлагаемый состав агентов ПВ-сети мира транспортной логистики

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

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

Задача адаптивного построения плана работы сервисных бригад

- Имеем M бригад с определенным набором характеристик (квалификация, наличие спец. оборудования и др.)
- Имеем N регламентных заявок с самым низким приоритетом
- Имеем P поток аварийных заказов с средним и высоким приоритетом
- Имеем V поток внешних событий, об отмене или изменении ранее поступивших заказов, и бригад, которые посредством мобильного терминала передают данные о фактическом времени



Задача решается аналогично комплектным перевозкам гибридным методом с модификациями

Итерационный метод для задачи построения начального плана сборных грузоперевозок с временными окнами (LTL)

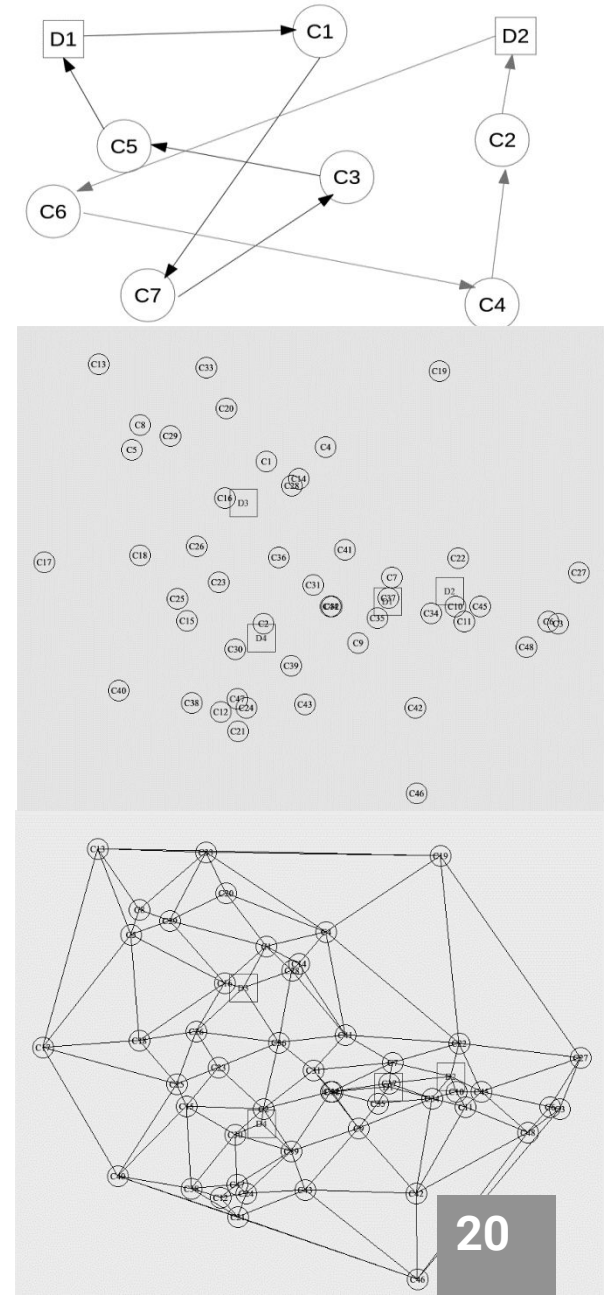
- Все заказы сортируются по времени начала погрузки. В начальный момент времени T_0 произвольно выбирается 1й из M грузовиков на базе, с прицепом заданной вместимости (TW).
- Рассчитываются варианты возможных назначений грузовика для каждого заказа, по формулам:
 - 1) $TLE_i = (\text{если } TOL_i < LS_i \text{ то } LS_i \text{ иначе } TOL_i) + TL_i$, где TOL_i время переезда из тек. пункта в пункт погрузки заказа, LS_i время начала погрузки, TL_i время погрузочных работ
 - 2) $TUE_i = TLE_i + TLU_i + TU_i$, где TLU_i время переезда из пункта погрузки в пункт разгрузки, TU_i время разгрузочных работ.
- Если $TLE_i < UF_i$, где UF_i время закрытия окна разгрузки и $W_i < TW$, где W_i число груза в заказа, 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: $T_1 = (\text{если } TOL_i < LS_i \text{ то } LS_i \text{ иначе } TOL_i) + TL_i$
- Снова рассчитываем варианты возможных назначений для следующих заказов, исключая те из них что не соответствуют условиям:
 1. С учетом уже набранного грузовиком на предыдущих шагах груза дают в сумме с этим заказом перегруз.
 2. На пункты погрузки которых грузовик уже не успеет, где $T_1 + TOL_i + TL_i > LF_i$.
 3. С учетом возможной погрузки заявки, грузовик не успеет выполнить разгрузки уже назначенных на него заказов.

Алгоритм повторяется пока не останется допустимых назначений для текущего грузовика.

После чего берется следующий из M грузовиков на базе с начальным временем T_0 .

Мультиагентный метод для задачи построения динамического плана сборных грузоперевозок в реальном времени (LTL)

- Задача формулируется и решается аналогично динамической задаче комплектных перевозок, но при этом допускается возможность перевозки нескольких заказов в одном грузовике.
- При такой постановке требуется сократить число переговоров агентов, чтобы избежать комбинаторного взрыва при взаимодействии всех со всеми. Для этого применяются триангуляции Делоне, в результате для каждого агента сцены находятся его ближайшие соседи и каждый агент ведет переговоры только со своими соседями.
- Длиной маршрута $l(R)$ будем считать 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 $P(C_i) = |C_{i-1}C_i| + |C_iC_{i+1}| - |C_{i-1}C_{i+1}|$, где $i=1 \dots N$, N – количество пунктов обслуживания. Тогда тариф заказа C_i определим, как $\frac{P(C_i)}{w(C_i)}$. Средним тарифом маршрута $R C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow \dots \rightarrow C_n$ назовем $\frac{\sum_{i=1}^n P(C_i)}{\sum_{i=1}^n w(C_i)}$.
- Агент грузовика стремится перевезти как можно больше заказов и уменьшить себестоимость маршрута, поэтому он старается привлекать заявки с низким персональным тарифом;
- Агент заявки стремится попасть к тому грузовику, который предложит ему минимальный тариф на перевозку до достижения не улучшаемого



Задача построения динамического плана сборки и доставки заказов покупателям интернет-магазинов

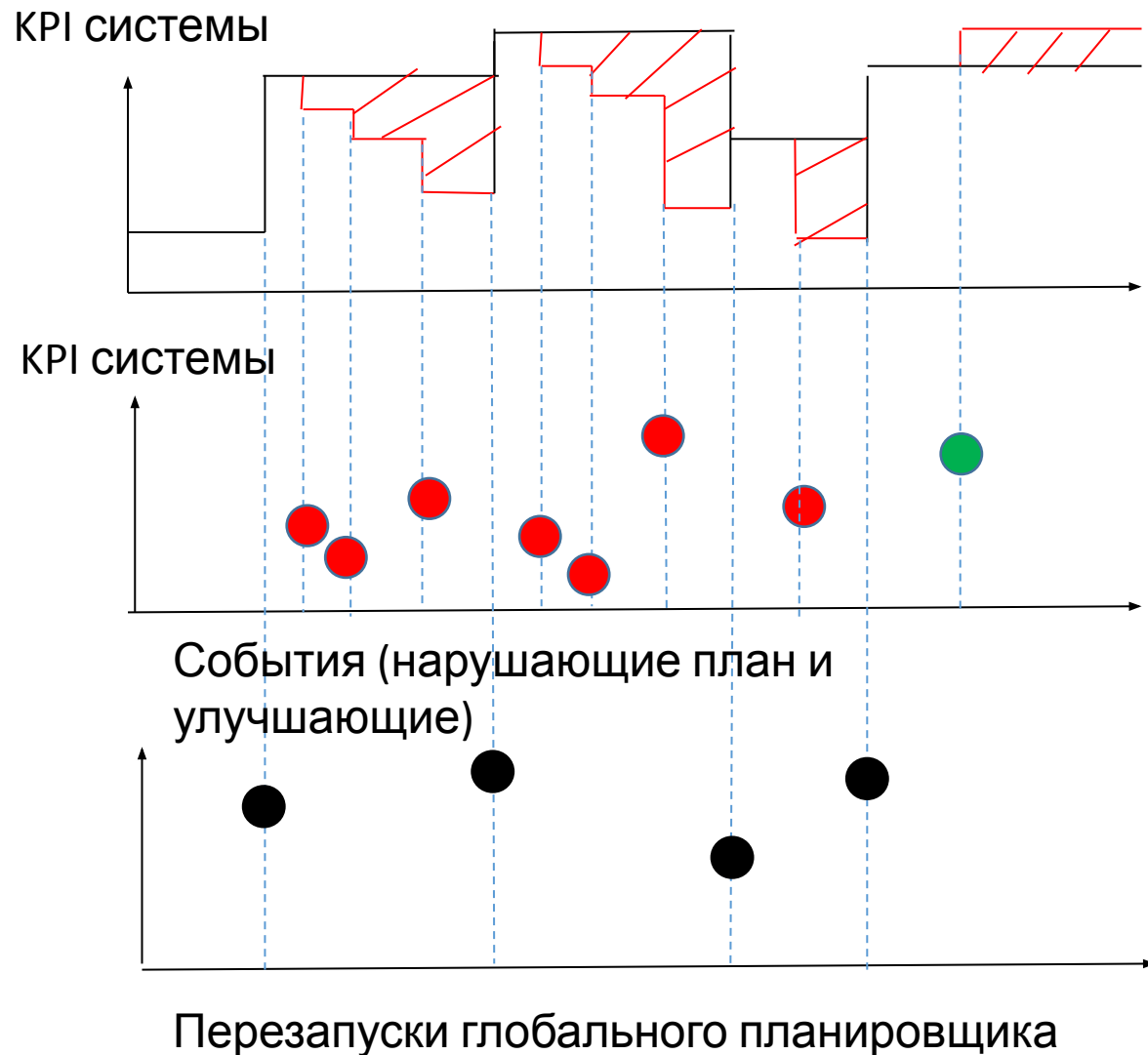
- Имеется N магазинов, каждый из которых расположен в определенном месте. В каждом магазине имеется M сборщиков заказов.
- Имеется поток заказов. Каждый заказ характеризуется местоположением и желаемым временным окном доставки а также товарами, которые должны быть доставлены.
- Для каждого заказа необходимо определить место его сборки в одном из магазинов с учетом загрузки сборщиков при этом считается, что любые товары доступны в любых магазинах без ограничения количества.
- Цель состоит в том, чтобы построить план сборки поступающих заказов в ближайшем магазине относительно места доставки, принимая во внимание скорость сборки заказов в реальном времени и при необходимости менять магазин сборки на следующий ближайший, если согласно его расписанию сборки невозможно собрать заказ в запрошенное для доставки время.

Архитектура для построения мультиагентной системы управления мобильными ресурсами в реальном времени

- Веб-портал – основной интерфейс пользователя.
- Модули классического и адаптивного планирования, использующего средства инфокоммуникационного взаимодействия
- Мобильный интерфейс водителя – программно-аппаратное решение для инфокоммуникационного взаимодействия с водителями.
- Мобильное веб-приложение – программно-аппаратное решение для инфокоммуникационного взаимодействия с логистами и диспетчерами.
- Модуль поставщика географических данных-система построения маршрутов по дорогам
- Модуль поставщика GPS/Глонасс - система сбора данных о фактическом



Взаимодействие модулей классического и мультиагентного планирования в гибридной архитектуре



- В начальный момент запускается модуль классического планирования.
- Построенный план передается в оперативный мультиагентный планировщик.
- Агенты могут сразу перестроить первоначальный план до момента появления событий например, если базовый алгоритм не поддерживает дополнительные условия (тип прицепа, ограничения для водителя и др.).
- С приходом событий первоначальный план отходит от глобального оптимума (красная штриховка) и идет его локально-оптимальная адаптивная корректировка.
- В момент останова поступления событий (как правило в нерабочее время) – адаптивное планирование останавливается и заново строится новый глобальный план.
- Далее работа мультиагентного модуля снова продолжается в адаптивном режиме

Средства инфо-коммуникационного взаимодействия для получения событий реального времени

- ✓ Разработаны специальные мобильные приложения (для грузоперевозок, сервисных бригад и курьеров доставки интернет магазинов) для получения фактической информации от мобильных ресурсов о том когда началось и закончилось выполнение очередной точки плана.
- ✓ Разработаны методы накопления, передачи и рафинирования геолокационных данных о фактических координатах мобильного устройства в любой момент времени
- ✓ Разработаны методы передачи, обработки и синхронизации фактической информации для работы в условиях не стабильного интернет соединения, а также при полном его отсутствии («Off - line» режим).
- ✓ На основании получаемых данных гибридный метод в системе планирования делает пересчет времени прибытия во все последующие точки плана мобильного ресурса.

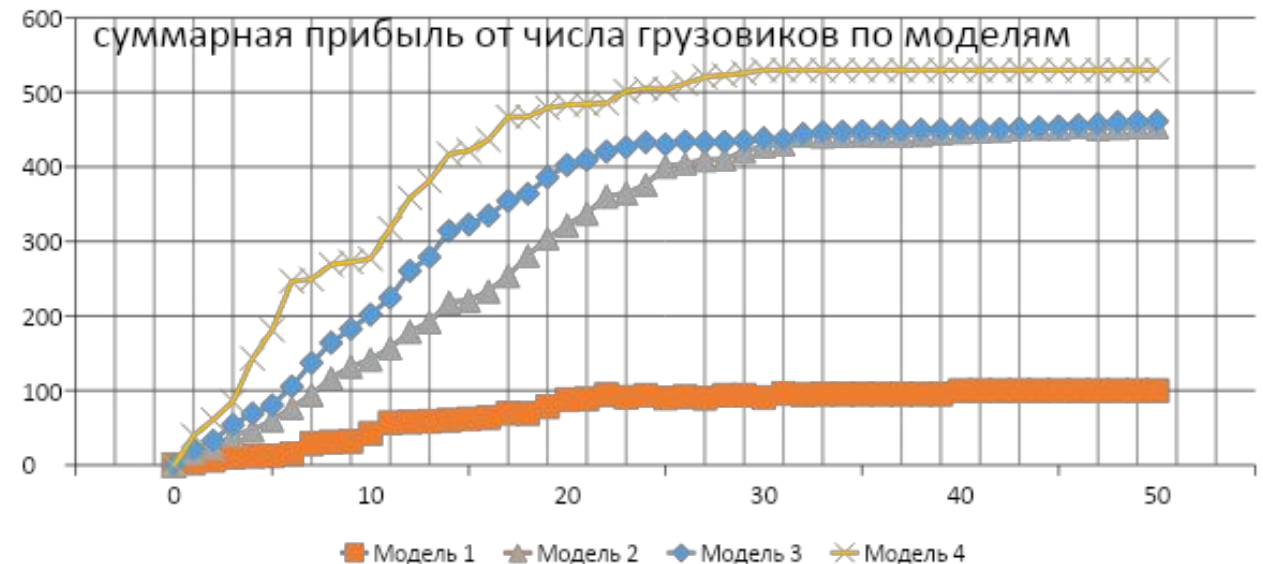
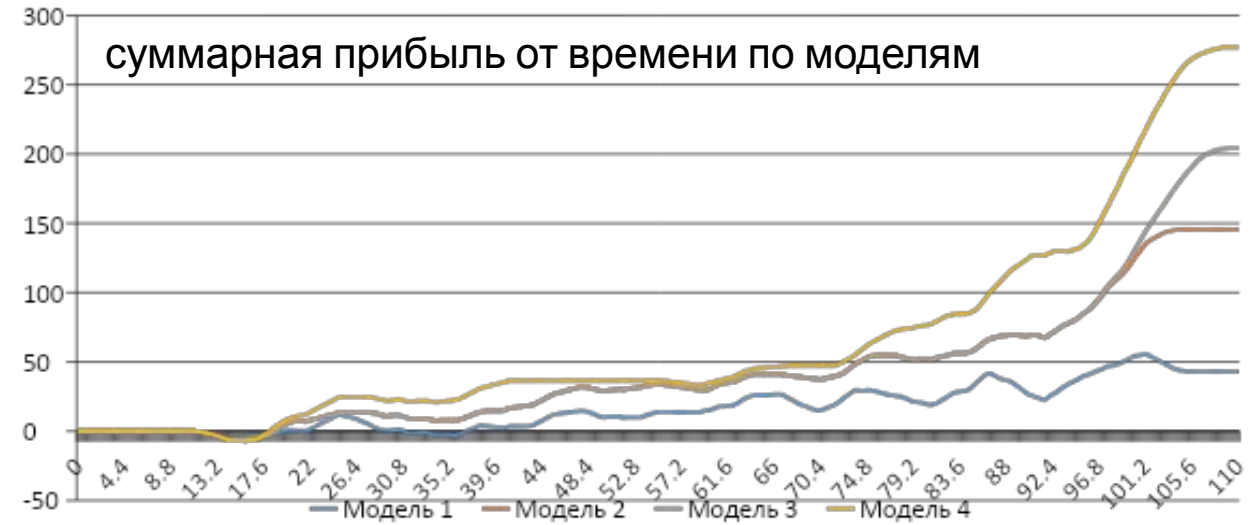


Исследование эффективности бизнеса в адаптивных и неадаптивных моделях грузовых перевозок (моделирующая система)

- **Модель «С возвратом на базу».** Для заказа бронируется грузовик, в расписании которого на момент заказа есть окно. Если погрузка заказа 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 возврата».** После выполнения заказа грузовик остается в конечном пункте заказа, не возвращаясь на базу, где ждет 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.
- **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

Результаты моделирования по 4-м моделям организации перевозок

- Моделируется задача планирования 100 заказов на 10 одинаковых грузовиках.
- Заказы генерировались равномерно по 18 городам (расстояния в интервале от 1 до 6) и дате поступления, поэтому концентрация заказов возрастает с течением времени. Грузовики стартуют из одного города.
- Результаты сопоставляются для 4 моделей.
- 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.
- 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



Сравнение предлагаемых методов с лучшими аналогами на известных модельных примерах

- Были исследованы предлагаемые в работе методы в сравнении с лучшими на текущий момент аналогами на известных модельных примерах. Для этого была выбрана наиболее трудная MDVRPTW задача планирования сборных грузов с учетом заданного набора критериев. При этом использовался упрощенный вариант задачи – только агенты заказов и ресурсов.
- 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.
- 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 по

№	Пример	МАС, суммарная длина маршрута	Т счета, сек	Известное лучшее решение, суммарная длина маршрута	Т счета, сек	Различие с МАС (%)
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%

- При детальном анализе и сравнении решений, обнаружено, что предлагаемый метод относительно правильно распределяет заявки по грузовикам (как в лучших решениях), но 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.

Результаты применения в промышленных системах управления ресурсами

Продукт	Особенности	Результаты внедрения
Smart Trucks	Система 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	«РусГлобал», «Prologics» (Москва), «Лорри» (Екатеринбург), Монополия (Санкт-Петербург), Траско (Москва), Транскорд (Московская область) □ 2500 грузовиков под управлением □ рост числа заявок 3% ; □ снижается на 4% число опозданий к клиентам □ рост эффективности использования ресурсов 5%;
Smart Teams	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 ей выставляется приоритет, система анализирует ее, учитывая набор заданных критериев, и автоматически предлагает варианты ее размещения на доступные бригады	ООО «СВГК» (Самара), ООО «Концессия водоснабжения» (Волгоград), ООО «Амурские Коммунальные Сети» (Благовещенск) □ эффективности использования времени бригад (на 10-15%); □ Повышение эффективности использования мобильных ресурсов до 40% □ автоматизации расчетов оплаты работы бригад (в 4-5 раз); □ сокращение затрат на мониторинг в 2-3 раза.
Smart Logistics	Разработана совместно с финским партнером (Smart Optimizing Ltd.) для решения задачи динамической консолидации, маршрутизации и планирования малых грузовых перевозок по городу или между небольшими. Первая версия данной системы была представлена нашим партнером в Финляндии ряду финских транспортных компаний и вызвала значительный коммерческий интерес, совместно проведено 4 пилотных проекта на реальных данных клиентов, которые позволили оценить возможный эффект от внедрения	«Smart Optimizing Ltd.», «T-Lehtinen», «Kesko», «Tuvi» (Хельсинки) □ повышении эффективности бизнеса на 25% (Business efficiency); □ сокращения операционных расходов на 35% (Operations costs) □ сокращение выброса CO2 на 15% (Green innovations)
Smart Delivery	Система автоматически распределяет заказы по магазинам, с учетом их близости к месту клиента, а также с учетом текущей загрузки сборщиков в каждом магазине, формирует план для сборки и доставки каждого заказа, подстраивая его под постоянно поступающие заказы и вовремя направляя к ним курьеров.	«Инстамарт» (Москва) □ сокращение среднего время сборки заказа на 15%; □ сокращение среднего количества 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

Экраны МАС управления грузовыми перевозками в реальном времени Smart Trucks

The image displays the Smart Trucks management system interface, showing a desktop view with a map, a list of orders, and a mobile app view showing a list of trucks and their status.

Desktop View (Top):

- Заказ: Ц0006219**
Из: Никнекамск, Республика Татарстан, Россия
В: Елец, Липецкая область, Россия
2017/08/15 05:30
- Заказ: Ц0006155**
Из: Липецк, Липецкая область, Россия
В: Тюмень, Тюменская область, Россия
2017/08/18 05:00

Desktop View (Bottom):

- Местонахождение на 24.08.2017 13:28**
Поместите сюда заголовки колонок для группировки по этой колонке
- Список ТС (Mobile App View):**

№	Статус	Есть след.	Д	Тягач	Водитель	Км до базы	Последний GPS на	Ближайший город	Ближайшая обл.	Ближайшая стран.	Ближайший кедар	Заказ	Заказчик	Погрузка заявки	Разгрузка заявки	Квадрат погрузки	Города
8				а 305 рх 190	Мисюк Олег	1041	21.08.2017 13:25:32	Skidzevsk	Grodno Region	Belarus	(BY) Skidzevsk/Gro	TR4411/70452	RCB LOGISTICS O.	17.08.2017 01:00:00	28.08.2017 01:00:00	(RUS) Yaroslavl/Y.	Yaroslavl
9				а 185 ок 750	Каретков Алексей	1229	21.08.2017 13:25:41	Sarapul	Udmurtskaya Rep.	Russia	(RU) Sarapul/Ud.	TR1115/71279/001	Велос Климатик	04.08.2017 09:00:00	21.08.2017 09:00:00	O - (Troadorf)	Troad
10				у 413 со 190	Евдоким Сергей	897	21.08.2017 12:46:09	Kameny Loh	Hrodna Region	Belarus	(BY) Kameny Loh	TR1132/72677	West Logistics UAB	16.08.2017 01:00:00	25.08.2017 01:00:00	(RUS) Volzhsk/Res.	Volzhsk
11				а 424 ру 750	Булацкий Константин	345	21.08.2017 04:00:15	Sutovo	Smolenskaya oblast	Russia	(RU) Sutovo/S	TR1132/72641	West Logistics UAB	16.08.2017 13:16:07	22.08.2017 01:00:00	(RUS) Serov/Serov	Serov
12				к 009 ук 190	Яковлев Владимир	3256	21.08.2017 13:21:31	Kargat	Novosibirskaya obl.	Russia	(RU) Kargat/Nov.	TR1132/72714	Транспорт и Лог.	18.08.2017 01:00:00	28.08.2017 01:00:00	(RUS) Novosibirsk	Novosibirsk
13				а 195 ок 750	Доминко Михаил	106	21.08.2017 10:12:27	Привокзальный (...)	Novosibirskaya obl.	Russia	(RU) Privokzalny	TR2418/75029/001	Горный инструмент	16.08.2017 09:00:00	28.08.2017 09:00:00	LT - 14 (Galine)	Galine
14				а 306 рх 190	Трещинко Олег	2084	21.08.2017 11:10:11	Tyumen'	Tyumenskaya obl.	Russia	(RU) Tyumen'/Ty.	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки
15				а 302 рх 190	Бадаров Евгений	2428	21.08.2017 13:12:52	Ennepetal	Nordrhein-Westfalen	Germany	D - 58 (Ennepetal)	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки
16				а 301 рх 190	Тихонов Александр	2086	21.08.2017 07:54:07	Tyumen'	Tyumenskaya obl.	Russia	(RU) Tyumen'/Ty.	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки	Нет заявки

Mobile App View (Bottom):

- Список ТС**
- е 151 ок 750**
е 8214 50
Детенгоф Дмитрий
Был в сети 8/19/2017 8:31:23 AM
Местоположение (RUS) Druzhnyy/ Nizhegorodskaya oblast' → Hamina (FIN - 49 (Hamina))
- е 156 ок 750**
е 8215 50
Козин Александр
Был в сети 7/10/2017 4:58:46 AM
Местоположение (RUS) Sankt-Peterburg/Saint Petersburg → Kostroma ((RUS) Kostroma/ Kostromskaya oblast' →)
- е 168 ок 750**
е 8216 50
Копейкин Андрей
Был в сети

Mobile App View (Right):

- Проставлен факт начала операции**
16 Августа 2017
Доставка закрыта, жду документов. 8:58 AM
Документы получил, еду на разгрузку. 9:58 AM
17 Августа 2017
1:35 AM
Написать сообщение...

Экраны МАС управления бригадами в реальном времени Smart Teams

The image displays four screenshots of the Smart Teams management system interface, which is used for managing teams in real-time.

Top Left Screenshot: Shows a detailed view of a specific task or incident. The interface includes fields for the address (e.g., "Самара, МАЛЮЖИНСКАЯ, д.30"), the type of request (e.g., "железные помещения"), the executor (e.g., "Огонь-80"), and the required time (e.g., "31.10.2017 15:20"). It also displays a map with the location and a list of nearby objects.

Top Right Screenshot: Shows the "Планировщик задач" (Task Scheduler) screen. It features a map view and a list of tasks with details such as the cause (e.g., "Запах газа от котла. Утечка в газовую автоматику"), the applicant (e.g., "Хомякова"), the phone number (e.g., "8-927-686-60-19"), the dispatcher (e.g., "Драчикова Вера Михайловна"), and the description. It also includes buttons for adding photos, equipment, and work.

Bottom Left Screenshot: Shows a map view with a list of vehicles (e.g., "Автомобили") and their locations. The list includes columns for the vehicle number, name, type, and date. The map shows the locations of the vehicles and the routes they are taking.

Bottom Right Screenshot: Shows a map view with a list of objects (e.g., "Объекты") and their locations. The list includes columns for the object name, type, and date. The map shows the locations of the objects and the routes they are taking.

Экраны МАС управления сборкой и доставкой грузов из Интернет магазинов Smart Delivery

[illegible]

Основные результаты

- проведен системный анализ и предложен подход к формализации задач управления мобильными ресурсами для трех промышленных применений: грузовые перевозки, сервисные бригады и интернет-доставки;
- 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;
- 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.
- проведены экспериментальные исследования, показывающие рост эффективности ресурсов при использовании гибридного метода за счет сочетания классического подхода и адаптивного информационно-коммуникационного взаимодействия с пользователями

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Лада Александр

E-mail: lada@kg.ru

Моб.: +7 (927) 689–45-95

Научная новизна

- ✓ проведен системный анализ и формализованы постановки задач управления мобильными ресурсами для трех промышленных применений: грузовые перевозки, сервисные бригады и Интернет развозки;
- ✓ предложен гибридный метод построения начального плана на основе венгерского метода решения задачи о назначениях и дальнейшей адаптации плана по событиям в реальном времени на основе модели ПВ-сети и метода сопряженных взаимодействий, позволяющий вести расчет себестоимости полного цикла (кругорейса) для задачи грузовых перевозок.
- ✓ разработана архитектура гибридной мультиагентной системы управления мобильными ресурсами с информационно-коммуникационными компонентами прямого взаимодействия с пользователями и корректировкой решений «здесь и сейчас» для минимизации времени реакции на события в реальном времени.
- ✓ проведены экспериментальные исследования, показывающие рост эффективности ресурсов при использовании гибридного метода, за счет сочетания классического и адаптивного подходов, а также информационно коммуникационного взаимодействия с пользователями.

Системный анализ задач управления мобильными ресурсами

1. В качестве примеров характерных задач рассматриваются следующие задачи управления мобильными ресурсами в реальном времени: управление грузовыми перевозками, управление сервисными бригадами, управление сборкой и доставкой мелких товаров из интернет магазинов
2. Значительное число заказов, приходящих в день (до 100 в день);
3. Управление мобильными ресурсами требует решения задач:
 - Выбор наиболее подходящего транспортного средства;
 - Построения маршрута движения с учетом сроков доставки;
 - Формирования плана-графика движения по маршруту;
 - Адаптации маршрута и плана по мере поступления событий (до выхода в рейс);
 - Отправка мобильного ресурса по маршруту движения;
 - Мониторинга хода исполнения плана;
 - Контроль исполнения плана исполнения;
 - Анализа экономической эффективности исполнения заявок и использования ресурсов.
4. Горизонт начального планирования: от 1 до 10 дней;
5. Число ресурсов: от 50 – до 5000 ресурсов;
6. Число точек на маршруте – до 10-15 локаций;
7. Критерии принятия решений: высокий уровень сервиса для клиента, минимальные сроки доставки; минимальная себестоимость, минимальные риски нарушения графика, равномерность использования средств, минимум простоев и холостого пробега и т.д.
8. Ограничения и предпочтения: параметры автомобилей или других мобильных ресурсов (объем кузова, скорость, грузоподъемность и т.д.), временные окна погрузки и разгрузки в магазинах торговых сетей, время работы смен водителей и возможность сверхурочных, компетенции исполнителей, размеры штрафов, выгодность направлений;
9. События в исполнении планов: задержки погрузки, отмена заказов, новые заказы, поломки и др.

Анализ комбинаторных и эвристических методов планирования

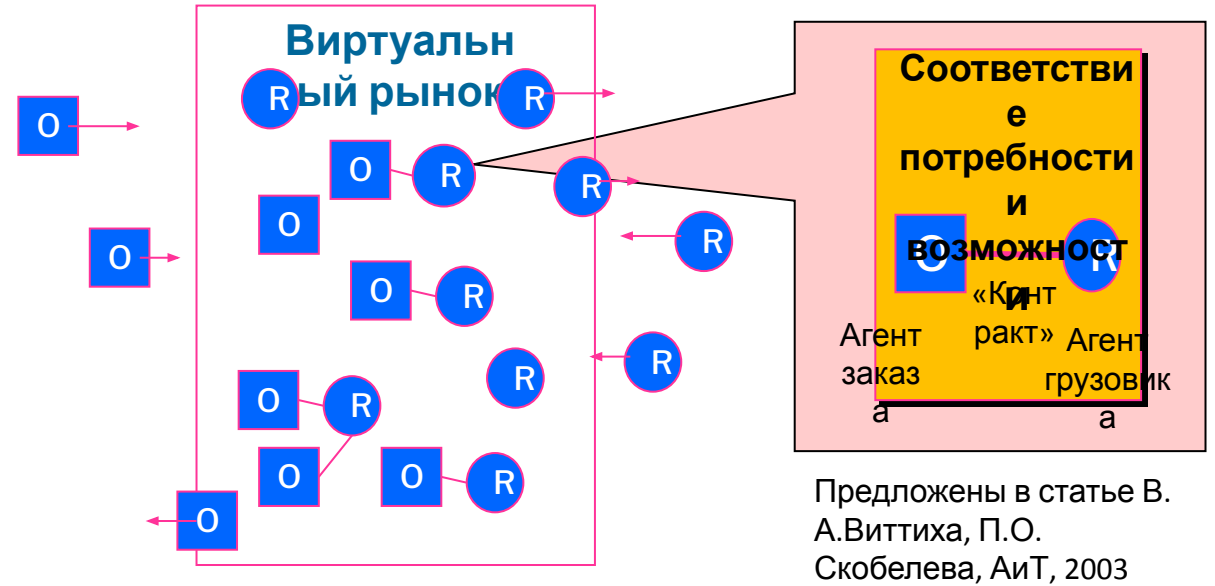
- **Классические методы (1940-1960 гг.)** основаны на переборе вариантов в пространстве допустимых решений. К ним относится линейное программирование, основы которого разработаны в работах Л. Канторовича и Д. Данцига. В работе В.С. Танаева и В.В. Шкурбы описывается метод ветвей и границ, суть которого отбросить заведомо неперспективные варианты дерева решений и тем самым сократить время поиска. Однако в худшем случае, приходится перебирать все допустимые варианты («brute force») и в общем случае сложность вычислений растет экспоненциально с ростом размерности (NP Hard), что делает их не применимыми в реальных задачах.
- **Эвристические методы (начиная с 1960-х по н/в)** за приемлемое время находят приближенное решение с помощью эмпирических правил, ограничивающих поиск по пространству решений, например: Генетический алгоритм (Д. Голдберг)-случайный подбор, комбинирование и вариации искомых параметров, аналогично естественному отбору в природе; Табу-поиск- локальный поиск в дереве решений; Метод сбережений Кларка-Райта итерационный метод для компьютерного решения статической задачи развозки. Сложны для понимания, трудны для модификаций к особенностям задач, не допускают параллельность, чувствительны к изменению спецификаций (событий и др.).
- **Мультиагентные методы (начиная с 2000-х по н/в)**, где решение строится при взаимодействии между собой агентов на виртуальном рынке, действующих параллельно и асинхронно, совместно строя решение путем самоорганизации до достижения равновесия – интуитивно понятны, параллельны, устойчивы к изменениям в логике решения задачи (М. Вулдридж, Н. Дженнингс, М. Тамбе, В. Лессер, Г. Ржевский. в нашей стране: В.Б. Тарасов, В.И. Городецкий, О.Н. Граничин, В.А. Виттих, П.О. Скобелев). В 2010 получили теорет. обоснование - в Кембридже была доказана теорема эквивалентности с линейным

Ограничения существующих методов и систем

- Ориентированы на учет и формирование документов, а не на управление процессом и адаптивную корректировку ближайших планов по ходу перевозки.
- Ограниченный характер методов и средств поддержки процессов принятия решений по распределению, планированию, оптимизации и контролю мобильных ресурсов – в основном на основе классических средств оптимизации.
- 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.
- 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.
- 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

Разработка метода адаптивного планирования мобильных ресурсов в сетях потребностей и возможностей (на примере для комплектных грузоперевозок)

- 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.
- Вводятся правила виртуального рынка для агентов, которые покупают и продают свои сервисы за виртуальные деньги.
- Агенты отправляют, получают сообщения и принимают решения согласно заложенной логике в каждом выбранном состоянии
- Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления заказов и других внешних событий и прихода факта через средства инфокоммуникационного взаимодействия (терминалы и датчики)
- Решение фиксируется, когда ни один из агентов не может улучшить решение



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). $\sum_{i=1}^m cost_i \rightarrow \min, P \rightarrow N$

Развитие подхода для решения экстремально сложных задач управления транспортной компанией: сеть планировщиков ресурсов

- Менеджеры по продажам
- Логисты
- Диспетчеры
- Механики
- Службы контроля
- Заправки

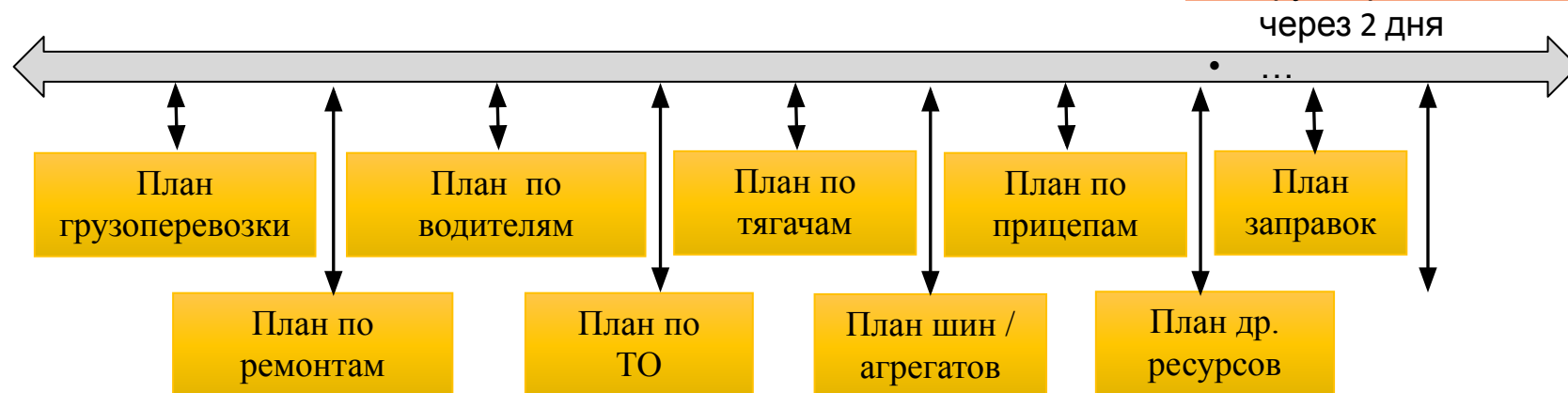


Поток событий

- Новый заказ
- Плановое ТО тягача, прицепа
- Смена водителя
- Заболел водитель
- Требуется ремонт тягача, прицепа
- ...

Варианты решений

- Распределение заказов между группировками
- Группировка X выполняет заказ в пункте Y, где может быть проведено плановое ТО
- Смена водителя группировки в Казани



Согласованное решение различных задач планирования в отдельных мультиагентных системах, где можно учесть особенности планирования каждого типа заказа или ресурса.

Задача и метод построения динамического плана сборки и доставки заказов покупателям интернет магазинов – 2/2

Время сборки заказа в магазине рассчитывается в параллельных очередях, 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) когда он начинает или заканчивает сборку заказа. Количество этих очередей равно количеству сборщиков в магазине. Считается что

Номер заказа	Время поступления заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O1	13:00	13:00	13:05		
O2	13:00	13:00	13:05		
O3	13:00	13:05	13:10		
O4	13:15	13:15	13:20		
O1	13:00	13:10	13:15	13:10	
O2	13:00	13:10	13:15		
O3	13:00	13:15	13:20		
O4	13:15	13:15	13:20		
O1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O2	13:00	13:20	13:30		
O3	13:00	13:20	13:30		
O4	13:15	13:30	13:40		
O1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O2	13:00	13:25	13:35	13:25	
O3	13:00	13:25	13:35		
O4	13:15	13:35	13:45		
O1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
O2	13:00	13:25	13:30	13:25	13:30
O3	13:00	13:30	13:38	13:30	
O4	13:15	13:30	13:38		

- Каждый раз получая информацию о новом факте сборки товара в магазине, пересчитывается текущая скорость сборки
- С помощью текущей скорости сборки пересчитываются плановые времена начала и окончания сборки по всем еще не собранным заказам в очереди