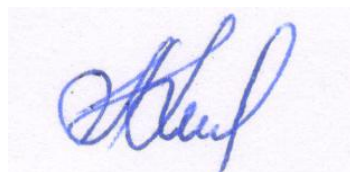


На правах рукописи



УДК 004.896

НЕВОЛИНА Алена Леонидовна

**Разработка метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети
автозаправочных станций**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах
(технические науки)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования “Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина” (УрФУ) на кафедре информационных технологий.

Научный руководитель: **Аксенов Константин Александрович**, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Девятков Владимир Васильевич**, доктор экономических наук, заведующий центром математического моделирования Института перспективных исследований ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»

Чиркунов Кирилл Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования бизнес-процессов ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится 30 марта 2017 г., в 15:30 на заседании диссертационного совета Д 219.005.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования “Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики” по адресу 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86, гл. корпус, ауд. 625.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СибГУТИ по адресу 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86, 3 корпус, ауд. 157, а также на сайте http://www.sibsutis.ru/science/postgraduate/dis_sovets/.

Автореферат разослан «____» _____ 2017 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Полетайкин Алексей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Данная работа посвящена вопросам анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок. Цепи поставок могут включать в себя производственные процессы и снабжение, изготовление, сбыт продуктов, логистические процессы поставок ресурсов. Организация цепей поставок и системы перевозок является сложной задачей большой размерности, которая фактически сводится к долгосрочному и краткосрочному планированию перевозок, а также оперативному управлению транспортными средствами и решению задачи диспетчеризации. Для их решения применяются численные методы и эвристические подходы. Значительный интерес для решения данных задач представляет исследование возможности применения мультиагентного подхода к задаче планирования перевозок для нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций (АЗС).

Одним из способов решения задач планирования является применение систем поддержки принятия решений (СППР) на основе эффективных численных методов, имитационных и мультиагентных моделей. Такие модели позволяют «проиграть» различные схемы управления парком транспортных средств с учётом текущей ситуации (срочности и объемов грузоперевозок, состояния и дислокации транспортных средств, остатков топлива в транспортных средствах, размещения АЗС), проанализировать различные варианты развития событий и выбрать наиболее эффективное решение на заданный момент времени.

Разработка гибридного метода планирования является актуальной задачей. В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем, спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР). Интеграция численных методов, имитационного моделирования (ИМ) и мультиагентных систем позволит использовать опыт специалистов в контуре СППР.

В этой связи разработка математических методов и информационной системы, обеспечивающей эффективное решение задач анализа логистических процессов и планирования нефтепродуктообеспечения на основе совместного использования мультиагентного подхода и численных методов, является актуальной. В становление метода мультиагентного планирования поставок по сети АЗС существенный вклад внесли работы Безродного А.А., Борщёва А.В., Виттиха В.А., Глухарева К.К., Городецкого В.И., Давлетьярова Ф.А., Доронина В.В., Жанчивын Оюунгэрэл, Зоря Е.И., Кантора Ф.М., Карпова Ю.Г., Карсаева О.В., Клыкова Ю.И., Коваленко В.Г., Парунак Х.Д., Плитмана И.Б., Поспелова Д.А., Прохорова А.Д., Скобелева П.О., Филипповича А.Ю., Хабарова А.С., Хабарова С.Р., Цагарели Д.В., Шарифова В.С., Швецова А.Н., Jennings N.R., Wooldridge M.J.

Объект исследования. Процессы логистики и цепи поставок топливных предприятий.

Предмет исследования. Методы гибридного (численного, мультиагентного, имитационного, экспертного) моделирования, планирования и управления процессами логистики и цепей поставок.

Цели и задачи исследования. Целью исследования является разработка инструментария для планирования и управления процессом

нефтепродуктообеспечения сети АЗС. Для реализации основной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ универсальных и проблемно-ориентированных систем ИМ и специализированных средств управления и планирования процессов логистики и цепей поставок, определить их преимущества и недостатки.

2. Выполнить анализ моделей и методов, применяемых при решении задач планирования, диспетчеризации и распределения ограниченного набора ресурсов для цепи поставок и процессов логистики.

3. Разработать метод анализа и планирования для процессов логистики и цепей поставок сетей АЗС и их элементов, учитывающий конфликты на ресурсах и средствах, а также опыт предметных специалистов.

4. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение для реализации мультиагентного метода анализа, планирования, моделирования и управления процессами логистики и цепей поставок для снабжения сетей АЗС.

Методы исследования: методы системного анализа и синтеза, теория и методы искусственного интеллекта, численные методы, аппарат экспертных систем (фреймы и продукции), теория и методы принятия решений, планирования, мультиагентный подход.

Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, который отличается от существующих методов следующим:

- учетом потерь объема продаж при простоях «сухой» АЗС и сливе топлива бензовозом;
- применением ранжирования и отсеивания потребностей с АЗС с учетом статистики потребления и времени до следующей смены поставок;
- использованием транспортной задачи для распределения поставок с нефтебаз до АЗС, согласно стратегий поставок и остатков на АЗС и нефтебазах;
- учетом ограничений по времени поставки топлива в зависимости от остатков топлива в емкости АЗС;
- учетом статистики (спадов и пиков) отгрузки топлива с емкостей АЗС при планировании поставок не для срочных заявок;
- построением планов поставок ресурсов с учетом ограничений на ресурсы и средства, срочностью заказов, а также учетом опыта (эвристик) специалистов-предметников по управлению логистическим процессом;
- моделью интеллектуально-реактивного агента, продукционная база знаний которого состоит из двух типов правил (обычных и правил глобальных условий). Сочетание двух типов правил позволяет минимизировать вычисления.

Соответствует п. 1 паспорта специальности: Разработка теоретических основ и методов принятия решений в социальных и экономических системах; п. 10: Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах.

2. Компьютерная технология создания мультиагентных моделей логистических процессов и поддержки принятия решений для задачи планирования снабжения сети АЗС, отличающаяся от существующих:

- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с СППР (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
- учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;
- учетом расстояний удаленности объектов сети АЗС, учетом близких АЗС;
- интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;
- поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.

Соответствует п. 5 паспорта специальности: Разработка специального математического и программного обеспечения принятия решений в социальных и экономических системах.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается следующим: привлечением формальных логических теорий для доказательства результатов исследований; результатами вычислительных экспериментов, демонстрирующих согласованность результатов моделей сети АЗС построенных с применением следующих подходов: сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) и мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов (МППР); результатами расчетов планов развоза и их сопоставлением с фактическими планами, полученными предметными специалистами; и применением новой компьютерной технологии планирования и анализа на топливном предприятии.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. На основе анализа особенностей задачи планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, анализа существующих методов планирования и тенденций развития СППР в области логистики выявлена необходимость интеграции транспортной задачи и мультиагентного подхода.
2. Экспериментально обоснован выбор модели МППР в качестве мультиагентной составляющей метода по критериям эффективности планирования и меньшим вычислительным затратам.
3. Предложен новый метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС в результате интеграции транспортной задачи, мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов.
4. Произведено расширение модели реактивно-интеллектуального агента МППР и алгоритма мультиагентного имитационного моделирования путем введения правил глобальных условий, минимизирующих вычисления.
5. Предложены новые алгоритмы планирования и диспетчеризации для задачи нефтепродуктообеспечения сети АЗС, учитывающие знания специалистов.

Теоретическая значимость исследований заключается в развитии теории и методов принятия решений в области процессов логистики, планирования снабжения топлива, построения интеллектуальных СППР, компьютерного

моделирования, интегрированных экспертных систем с использованием гибридных моделей.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанный метод планирования и анализа для процесса логистики сети АЗС и информационная технология внедрены в ООО "Башнефть-Розница" и могут применяться на других предприятиях нефтепродуктообеспечения сетей АЗС. Кроме того, результаты работы применены в ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург», учебном процессе кафедры Информационных технологий (ИТ) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Личный вклад автора состоит в:

- исследовании существующих систем имитационного моделирования, анализа и планирования цепей поставок и процессов логистики;
- анализе методов планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС;
- разработке метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, основанного на интеграции транспортной задачи, гибридной мультиагентной имитационной модели МППР;
- применении к задаче моделирования сети АЗС мультиагентного подхода ПВ-сетей П.О. Скобелева и В.А. Виттиха и модели МППР.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (Sevastopol, 2013-2016); World Congress on Engineering and Computer Science 2016 (San Francisco, USA 2016); Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'14, Monterey, USA; SummerSim'15, Chicago, USA); Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД, Казань 2013, Москва 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ из них 7 в журналах рекомендованных ВАК, 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем основной части работы составляет 178 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 73 рисунка и 40 таблиц. Список литературы включает 125 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулирована цель работы, выделена научная новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе обосновывается необходимость разработки новых средств анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок. Показано разнообразие логистических процессов. Рассмотрены существующие подходы анализа, моделирования и организации процессов логистики сетей АЗС.

Приводится обзор наиболее распространенных систем имитационного моделирования (ИМ) и планирования процессов логистики и цепей поставок. Определены требования к системе анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок.

Определена специфика цепей поставок сетей автозаправочных станций. Транспортная система компании по обеспечению нефтепродуктов содержит следующие компоненты: автозаправочные станции (АЗС, автоматические АЗС (ААЗС)); парк бензовозов (свои и наёмные бензовозы); нефтебазы (НБ, свои и/или чужие, с которыми заключены договоры по обеспечению нефтепродуктов); маршруты перемещения бензовозов от нефтебаз к АЗС; реализуемые компанией виды топлива. Бензовозы имеют различные емкости автоцистерны и нормы расхода топлива. Бензовоз в зависимости от марки, имеет в составе автоцистерны несколько секций и может перевозить несколько видов различного топлива.

Рассмотренные комплексы программ, применяемые в логистике (Лексема, ARIS, AnyLogic, Business Studio, BPsim, G2, Magenta), обладают рядом недостатков, которые ограничивают или исключают возможность их применения при решении задачи проектирования системы планирования и управления грузоперевозками: рассмотренные системы предметно не ориентированы на решаемую задачу, нет возможности корректировки и согласования плана с пользователем (в случае системы Magenta); при планировании маршрута не учитываются знания предметных специалистов (в случае систем ARIS, AnyLogic, Business Studio); не решается задача частичной корректировки перепланирования маршрута транспортного средства в случае появления нового заказа (в случае системы Magenta план будет пересмотрен полностью). Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования грузоперевозок (нефтепродуктообеспечения) дает семейство СППР BPsim и Magenta.

На рынке представлена система "Лексема", используемая для задачи планирования и учета движения нефтепродуктов, однако функционал данной системы относится к ERP-системе. К недостаткам системы "Лексема" можно отнести следующее: поддержка только ручного планирования; отсутствие данных о расстояниях между объектами сети АЗС; нет возможности учета знаний специалистов о физических и технических ограничениях объектов сети (АЗС, НБ) и бензовозах; отсутствие средств моделирования, планирования/диспетчеризации.

В результате проведенного сравнения средств и методов планирования, анализа и моделирования процессов логистики в качестве основы такого подхода предлагается использовать мультиагентное имитационное моделирование.

Проблема исследования и разработки моделей, методов и программных средств планирования, анализа и моделирования процесса нефтепродуктообеспечения сети АЗС в настоящее время находится в стадии развития. Требуют дальнейшего исследования и разработки такие вопросы как:

1. Создание метода планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС.
2. Реализация проблемно-ориентированных инструментальных средств планирования, анализа и моделирования логистического процесса нефтепродуктообеспечения сети АЗС, поддерживающих полный жизненный цикл разработки и отладки моделей и проведения экспериментов.

Во второй главе разработан метод принятия решений задачи планирования и анализа процесса нефтепродуктообеспечения сети АЗС. Общая задача планирования процесса снабжения логистической сети заключается в определении плана снабжения до начала рабочей смены множества структур вида

$S_w = \langle M_w, P_w, T_w \rangle$, где M_w – маршрут w -й перевозки, P_w – бензовоз, осуществляющий w -ю перевозку, T_w – сроки начала и окончания выполнения w -й перевозки, эффективных по критерию суммарных расходов на w -ю перевозку.

За основу математической постановки задачи взята транспортная задача и доработана с учетом специфики предметной области. Топливо сосредоточено у m поставщиков (нефтебаз) в объемах a_1, a_2, \dots, a_m . Данное топливо необходимо доставить n потребителям (АЗС) в объемах b_1, b_2, \dots, b_n . Известны c_{ij} , $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$ — стоимости перевозки единиц топлива от каждого i -го поставщика каждому j -му потребителю. Целевая функция задачи снабжения имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij} x_{ij} + c_j^{\text{потери_продаж}}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где $x_{ij} \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$.

$$c_j^{\text{потери_продаж}} = \begin{cases} \sum_{t=t_{\text{начало.простоя}}}^{t_{\text{окончание.простоя}}} \sum_{r=1}^{\text{вид.топлива}_j} c_j^{\text{единицы.топлива.на.АЗС}} v_j^{\text{ср.объем_продажи}}(t) \\ \sum_{t=t_{\text{начало.слива}}}^{t_{\text{окончание.слива}}} \sum_{r=1}^{\text{вид.топлива}_j} c_j^{\text{единицы.топлива.на.АЗС}} v_j^{\text{ср.объем_продажи}}(t) \end{cases} \quad (2)$$

Система ограничений задачи состоит из основных групп уравнений (3-4), направленных на распределение топлива между АЗС и нефтебазами.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

где a_i - запасы на нефтебазах планируемые к снабжению.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

где b_j - потребности на АЗС.

Выделены следующие требования к методу планирования: 1) динамическое моделирование процессов логистики: различные типы ресурсов, заявки, очереди заявок, конфликты на ресурсах; учет времени, расстояний; анализ узких мест; 2) распределение заказов по транспортным средствам; 3) учет ограничений предметной области и предпочтений диспетчеров; 4) поддержка полного цикла управления: реакция на внешнее событие; планирование / диспетчеризация.

Наиболее близкими методами планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС являются следующие: 1) транспортная задача; 2) подход В.А. Виттиха и П.О. Скобелева на основе сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей); мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов.

Анализ методов решения транспортной задачи позволяет сделать вывод о том, что наиболее подходящим для дальнейшей разработки является метод минимальной стоимости (в части распределения объемов поставок между нефтебазами и АЗС). Данный подход взят в основу метода планирования для интеллектуальной системы. К дополнительным факторам, ограничивающим применение транспортной задачи к задаче планирования для нефтепродуктообеспечения являются следующие: 1) кратность объема перевозки груза должна быть кратна объему секции; 2) грузы не являются однородными и каждый груз (в зависимости от вида топлива) может транспортироваться в одной секции бензовоза; 3) не учитывается последовательность слива топлива бензовозом (в зависимости от конструктивных особенностей сливных устройств очередность слива секций может отличаться); 4) отсутствует составляющая времени в виде времен начала и окончания рейсов, времен погрузки/разгрузки; 5) отсутствует разделение на виды грузов или их маркировка (виды топлива (например, 92, 95,

98, Дт, 80); 6) не учитывается наличие у бензовоза нескольких секций; 7) не учитываются физические ограничения и предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС; 8) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс.

Данные факторы предлагается учесть с использованием мультиагентного подхода. Рассмотрены следующие подходы и модели мультиагентного планирования: 1) МППР; 2) ПВ-сети В.А. Виттиха и П.О. Скобелева; 3) модель активных и пассивных преобразователей (АПП) Б.И. Клебанова и И.М. Москалева; 4) подход Борщева А.В., Карпова Ю.Г., реализованный в системе AnyLogic. Данные подходы отличаются следующим:

1. В подходах используется разное распределение и представление знаний. В ПВ-сети каждый агент владеет только своими знаниями и для решения общей задачи планирования и управления необходима функция коммуникации агентов, тем самым ПВ-сеть представляет систему децентрализованного управления. В системе AnyLogic разработан набор блоков для ИМ транспортных систем, но нет средств работы со знаниями (нет базы знаний (БЗ) и машины логического вывода). В силу того, что в МППР и АПП знания обо всем объекте управления находятся в общей БЗ, то МППР представляет в большей степени систему централизованного управления, информация в которую поступает из распределенных источников информации (уровнемеров, системы мониторинга транспортных средств и корпоративной системы предприятия).

2. Подходы отличаются технической реализацией: применения ПВ-сети ориентированы на распределенные вычисления и сети, программная реализация моделей МППР, АПП и система AnyLogic являются локальными системами ИМ.

3. Задачи планирования и диспетчеризации решаются с помощью ПВ-сетей и модели МППР, система AnyLogic на решение данных задач не ориентирована (нет блока планирования). Подход АПП не ориентирован на задачи планирования и диспетчеризации систем логистики. К недостаткам подхода ПВ-сетей относится "нервность" при обработке новых событий, поступающих в систему, которая проявляется в пересмотре всего плана, но к улучшению плана приводит небольшое количество событий; система информирует всех участников цепи логистики о всех связанных с ними изменениях, что вносит напряженность. Программная реализация модели МППР усилена блоками агентных эвристик, реализованных на основе продукционной и фреймовой экспертных подсистем, а также блоком диагностики и фильтрации ситуаций, что в целом существенно снижает уровень "нервности" логистической цепи.

Проведен экспериментальный анализ двух наиболее подходящих подходов (ПВ-сети и МППР). Рассмотрена работа сети, состоящей из 5 АЗС, парка с тремя бензовозами и нефтебаза. Были смоделированы следующие ситуации, представленные в таблице 1: 1) заявки на топливо поступают равномерно на протяжении трёх суток работы АЗС случайным образом; 2) планирование выполняется периодически (несколько раз в сутки для всей сети АЗС), на протяжении трёх суток работы АЗС. Эксперимент модели МППР занимает намного меньше реального времени, необходимого для прогона той или иной ситуации, чем модель ПВ-сети. Это объясняется меньшим набором правил у

агентов, который необходим для закрепления заявок за бензовозами и меньшим количеством самих агентов. Время прогона в ряде случаев является важным критерием. С увеличением сложности модели, время, необходимое на прогон, увеличивается в разы, причем основной фактор, оказывающий на это влияние, является количество коммуникаций, приходящихся на такт модельного времени. Средняя загрузка бензовозов, количество рейсов и соответственно объем поставленного топлива у модели на ПВ-сети меньше (от 7,7 до 19%), чем у МППР модели. Это объясняется применением в ПВ-сети процедуры матчинга - возможности постоянного пересмотра плана с целью поиска более выгодных комбинаций для текущего рейса (отказ от уже закрепленных заявок бензовозом и взятием других заявок).

Таблица 1. Результаты экспериментов (модели сети АЗС МППР и ПВ-сети)

Параметры/Эксперимент № (модель)	1, МППР	1, ПВ-сеть	2, МППР	2, ПВ-сеть
$T_{\text{время моделирования, мин}}$	30	99	41	147
Средняя загрузка бензовоза 1, %	62,78	63,96	63,04	48,79
Средняя загрузка бензовоза 2, %	56,41	30,36	51,92	37,94
Средняя загрузка бензовоза 3, %	31,02	25,38	38,72	37,22
Суммарное количество рейсов	35	27	30	22
Суммарный объем перевезённого топлива, л	224200	207000	225400	183000

Решена задача выбора модели представления знаний. Сравнительный анализ показал, что наиболее эффективно применять смешанный – продукционный и фреймовый подход для формализации знаний о предметной области логистики. Интегрированное применение фреймов и продукций позволяет удовлетворить всем критериям, за исключением учёта динамики процессов (для этой цели в работе используется имитационное моделирование).

В главе 2 разработан метод принятия решений для планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС, который базируется на использовании элементов теории линейного программирования, мультиагентного ИМ. Метод состоит из следующих этапов:

1. Определение начальных условий задачи планирования (актуализация остатков топлива на АЗС и НБ, действующего парка бензовозов, стратегий снабжения топлива с НБ).

2. Генерация заказов от сети АЗС, на основании информации о текущем состоянии запасов ресурсов на складах (нефтебазах, АЗС).

а. Запасы на нефтебазах планируемые к поставке определяются стратегией развоза соответствующего вида топлива:

$$a_i = \begin{cases} a_i^{\text{остаток}}(t) - a_i^{\text{мин.остаток}}, & \text{strategy(вид.топлива)} = \text{"под горло"} \\ \frac{a_i^{\text{остаток}}(t) - a_i^{\text{мин.остаток}}}{l}, & \text{strategy(вид.топлива)} = \text{"по минимуму"} \end{cases} \quad (5)$$

где $a_i^{\text{остаток}}(t)$ - текущий остаток топлива в емкости на нефтебазе; $a_i^{\text{мин.остаток}}$ - минимальный остаток ("мёртвый") топлива в емкости на нефтебазе; l - плановое количество дней до поставки топлива на нефтебазу; $\text{strategy(вид.топлива)}$ - стратегия развоза топлива с нефтебазы: 1) "под горло" применяется когда есть

необходимость "разгрузки" емкостей на НБ; 2) "по минимуму" применяется, когда топливо недостаточно для удовлетворения потребностей сети АЗС и поставки в ближайшее время не ожидаются.

б. Расчет (определение) потребностей топлива на АЗС кратных минимальной секции бензовоза. Потребности на АЗС определяются стратегией развоза соответствующего вида топлива:

$$b_j = \begin{cases} b_j^{\min} = k b_j^{\text{ср.суточное.потребление}}, & \text{strategy(вид. топлива) = "по минимуму"} \\ b_j^{\max} = b_j^{\text{общ.объем.емкости}} - b_j^{\text{остаток}}(t), & \text{strategy(вид. топлива) = "под горло"} \\ b_{j_эквайера}, & \text{strategy(вид. топлива) \neq "по минимуму"} \end{cases} \quad (6)$$

где k - количество дней до следующего развоза; $b_j^{\text{ср.суточное.потребление}}$ - среднее суточное потребление; $b_j^{\text{общ.объем.емкости}}$ - общий объем ёмкости АЗС; $b_j^{\text{остаток}}(t)$ - текущий остаток в емкости АЗС; $b_{j_эквайера}$ - заявка эквайера (клиента-АЗС, которому поставляют нефтепродукты, но он относится к другой сети АЗС). Кратность минимальной секции v бензовоза p определяется ограничением:

$$b_j \geq \min(\{v(p)\}) \quad (7)$$

с. Прогноз потребностей на остальных емкостях АЗС, у которых на вторую половину смены может возникнуть потребность, кратная минимальной секции бензовоза. Ограничение по максимальной вместимости емкости АЗС, в ряде случаев при планировании развоза учитывают значение прогноза продаж $\Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}$ к плановому времени поставки топлива:

$$b_j \leq b_j^{\text{общ.объем.емкости}} - b_j^{\text{остаток}}(t) - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{плановое}}^{\text{поставки}} - t) \quad (8)$$

3. Построение матрицы и решение транспортной задачи в части определения объема поставок с нефтебаз до АЗС (без привязки бензовозов). Определение для каждого заказа поставщика (нефтебазы).

4. Обработка решения из транспортной задачи 1: Ранжирование всех потребностей (определение наиболее срочных) - согласно приоритетности. Приоритетность заявки на поставку определяется временем прогноза остановки АЗС:

$$priority_j = \begin{cases} 0, & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} = 0 \\ t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}, & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{плановое}}^{\text{поставки}} - t) \leq 0 \\ t_{\text{окончания.смены}}, & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{окончания.смены}} - t) \gg 0 \end{cases} \quad (9)$$

5. Обработка решения из транспортной задачи 2: Формирование рейсов (плана развоза).

5.а) Определение временных ограничений поставки топлива для заявок.

Ограничение по времени поставки топлива: $[t_{\text{начала.рейса}}, t_{\text{окончания.рейса}}] \in$

$$\begin{cases} [t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{окончания.рейса1}}], & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} = 0 \\ \{t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}\}, & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{плановое}}^{\text{поставки}} - t) \leq 0 \\ \{t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{окончания.смены}}\}, & b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{окончания.смены}} - t) \gg 0 \end{cases} \quad (10)$$

Верхняя строка описывает ситуацию для "сухой" АЗС, такие заявки наивысшего приоритета обслуживаются первыми рейсами $priority := 0$. Средняя строка описывает ситуацию когда, топливо на АЗС может закончиться в течение смены

$priority := t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}$. Нижняя строка описывает ситуацию для потребностей остальных.

Ограничение по времени поставки топлива для заявок, не относящихся к наивысшему приоритету, снижающее потери продаж:

$$[t_{\text{окончание.слива}}, t_{\text{начало.слива}}] \in \{t_j^{\text{мин.нагрузка}_0}, t_j^{\text{мин.нагрузка}_1}\} : \min(v_j^{\text{сред.объем.продаж}}(t)), priority_j \neq 0 \quad (11)$$

5.б) Закрепление за каждым заказом транспортного средства, формирование рейса бензовоза, маршрута движения и определение времен начала и окончания рейса. Проверка ограничений по кратности секций бензовозов к объему перевозки (секция у бензовоза заполняется полностью на НБ и сливается полностью в 1 емкость на АЗС):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{g=1}^r \sum_{h=1}^s v(p)_{gh} \quad (12)$$

где r - количество рейсов в плане; s - количество секций у бензовоза; p - задействованный в перевозке бензовоз; $v(p)$ - объем секции бензовоза, выбранной для полного или частичного удовлетворения потребности x_{ij} .

На данном этапе используется интеллектуальный агент-планировщик с фреймовой базой знаний, учитывающей физические ограничения АЗС и бензовозов (по их совместимости и возможности обслуживания), а также предпочтения по применению.

6. Проверка плана специалистом по логистике / диспетчером.

7. Ручная, автоматизированная или автоматическая корректировка плана развоза экспертом (диспетчером, ЛПР). Корректировка может применяться во внештатных ситуациях связанных с задачами диспетчеризации.

8. Проверка и корректировка плана развоза на модели МППР.

Главным критерием успешности решения задачи является – обеспечение бесперебойной работы сети АЗС. Даже если прибыль будет максимальна в рисковом варианте, он отсеивается, так как перебой или сбой в работе АЗС может вызывать потерю клиентов как самой АЗС, так и сети в последующем.

Проведено сравнение нового метода и метод разработки оптимального плана доставки нефтепродуктов на основе задачи коммивояжера, предложенного Жанчивын Оюунгэрэл, которое выявило преимущества нового метода. Для метода Жанчивын Оюунгэрэл определены следующие недостатки: 1) каждый клиент обслуживается только одним маршрутом; 2) рассмотрен 1 вид груза; 3) грузоподъемность всех транспортных средств одинакова; 4) один склад (нефтебаза); 5) длительность смены не ограничена по времени; 6) планирование маршрута выполняется без учета срочности поставок, ограничений по наполняемости секций бензовозов.

Полученные теоретические результаты (метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС) позволяют реализовать программное обеспечение, относящееся к классу интеллектуальных СППР, которое использует транспортную задачу, методы имитационного, экспертного и мультиагентного моделирования.

В третьей главе на основе выше изложенного метода планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС представлены принципы разработки и технические решения СППР (рис.1), реализующие метод гибридного

имитационного моделирования процессов логистики, построенной на основе интеграции систем «Планировщик», BPsim.MAS и BPsim.DSS.

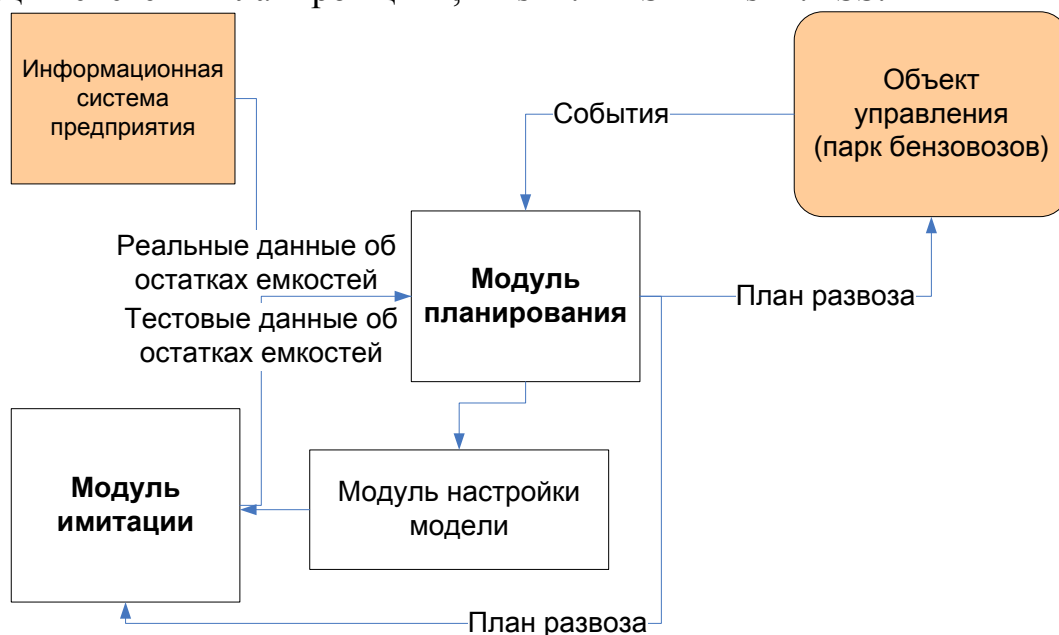


Рис. 1. Структура СППР

Создание комплекса потребовало разработки: программного, информационного, алгоритмического, математического и методического обеспечения; технологии работы с программным агентом. СППР, реализована с использованием инструментов BPsim.DSS, BPsim.SD и Microsoft SQL Server, и в комплексе с СИМ BPsim обеспечивают выполнение следующих функций: 1) решение задачи анализа и планирования развоза топлива по сети АЗС; 2) создание динамической модели процесса логистики; 3) имитационное мультиагентное моделирование; 4) анализ результатов экспериментов, включая анализ узких мест.

В четвертой главе с применением системы «Планировщик» и продуктов семейства BPsim были разработаны имитационные модели. Так для единого диспетчерского центра ООО «Башнефть-Розница» в модели реализован процесс потребления и поставки топлива на сеть АЗС бренда "Башнефть", охватывающего «куст» Свердловской области. В результате анализа работы сети были выработаны и обоснованы решения о переходе на смешанный график развоза топлива (день/ночь).

Результаты вычислительных экспериментов сопоставлены с фактическими данными развоза и показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива. Результаты анализа показывают, что метод, реализованный в СППР, показывает более жадную стратегию по количеству рейсов и объему перевозок (в среднем выше на 13%). Однако метод уступает действиям диспетчера в части объема топлива, заданного стратегией развоза на 1,4 %. В результате внедрения были разработаны мультиагентные модели процессов снабжения сети АЗС в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS, СППР BPsim.DSS и "Планировщик", реализующие алгоритмы планирования и диспетчеризации. Результаты экспериментов показали следующие результаты:

1) экспериментальный план дает согласованность с результатами фактического плана, составленного специалистом-диспетчером;

2) использование автоматического алгоритма планирования позволяет учитывать предпочтения лица, принимающего решения, в части стратегий развоза, приоритетность обслуживания емкостей АЗС, ограничения по транспортным средствам (бензовозам) и АЗС (в части обслуживания бензовозами);

3) общий экономический эффект от решения задачи перехода к ночному и смешанному (день/ночь) развозу составил 58 миллионов рублей в год.

Приложение содержит копии документов, подтверждающих внедрение результатов диссертации.

Заключение

В заключении приводятся следующие основные результаты работы:

1. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем анализа и моделирования, планирования процессов логистики: AnyLogic, ARIS, Business Studio, G2, Magenta, BPsim. Ни одна из рассмотренных систем не отвечает всем требованиям. Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования для нефтепродуктообеспечения дает СППР BPsim и Magenta.
2. Экспериментально исследована возможность построения динамической мультиагентной модели сети АЗС с использованием подходов ПВ-сети В.А. Виттиха и П.О. Скобелева и модели МППР. Модель, реализованная с использованием подхода МППР демонстрирует более эффективное решение задачи моделирования развоза топлива, как по объемам перевозок (в среднем выше на 13%), так и по меньшим вычислительным затратам (в среднем в 3,4 раза). Показано, что разработанная модель сети АЗС согласно подходу МППР является адекватным математическим описанием объекта моделирования и служит основой для построения алгоритмов и программ.
3. Разработан метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС на основе интеграции транспортной задачи, мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов. Применительно к модели МППР расширена модель реактивно-интеллектуального агента правилами глобальных условий и модернизирован алгоритм ИМ, который учитывает специфику МППР и минимизирует вычисления.
4. На основе метода были разработаны: интеллектуальный агент "Планировщик" (программное, информационное, алгоритмическое, методическое обеспечение), интегрированный с комплексом BPsim. Разработанная информационная технология планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, обладает полным перечнем функциональных возможностей СППР, и отличается:
 - организацией интерактивного режима при работе с СППР;
 - учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;

- учетом расстояний удаленности объектов сети и близких АЗС;
 - интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;
 - поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.
5. Разработанная информационная технология была апробирована в Едином диспетчерском центре ООО "Башнефть-Розница" и внедрена в учебном процессе на кафедре ИТ, УрФУ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах, входящих в список, рекомендованный ВАК:

1. Неволина А.Л., Аксенов К.А. Применение гибридной мультиагентной архитектуры в системе поддержки принятия решений снабжения сети автозаправочных станций // Современные наукоемкие технологии № 12 (часть 1) 2016, стр. 14-18.
2. Неволина А.Л., Аксенов К.А. Разработка гибридного метода планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций // Фундаментальные исследования № 11 (часть 2) 2016, стр. 239-243.
3. Рыжкова Н.Г., Аксенов К.А., Неволина А.Л. Анализ информационных систем поддержки принятия решений в сфере логистики // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15290> (дата обращения: 03.04.2016).
4. Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 4; URL: www.science-education.ru/110-9744 (дата обращения: 16.08.2013).
5. Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Камельский В.Д. Разработка модели логистики на основе интеграции концептуального, объектно-ориентированного, мультиагентного и имитационного моделирования, интеллектуальных систем // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 1; URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1486> (дата обращения: 04.02.2013).
6. Аксенова О.П., Аксенов К.А., Попов М.В., Неволина А.Л., Смолий Е.Ф. Решение задачи замены оборудования сети связи на основе интеграции объектно-ориентированного подхода, экспертных систем и деревьев решений // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7931> (дата обращения: 25.12.2012).
7. Аксенова О.П., Аксенов К.А., Камельский В.Д., Неволина А.Л. Анализ организации распределенной многопользовательской работы в системах имитационного моделирования бизнес-процессов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 5; URL: <http://www.science-education.ru/105-6936> (дата обращения: 03.09.2012).

Статьи, доклады и тезисы:

8. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Goncharova N. The Multi-agent Resource Conversion Processes Model Design and Implementation // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2016, WCECS 2016, October 19-21, 2016, San Francisco, USA. Vol I. P. 219-223.
9. Aksenov K., Zykina M., Nevolina A., Ayvazyan A. Development of intellectual fuel supplies planning system (Разработка интеллектуальной системы планирования развоза топлива) // 26th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2016), 4-10 September 2016, Sevastopol, vol. 1, pp.831-837.
10. Aksyonov K. A., Dudin N. A., Nudga A. S., Nevolina A. L. Simulation and analysis of the auto repair station (Моделирование и анализ работы станции технического обслуживания автомобилей) // 25th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2015), 6-12 September 2015, Sevastopol, vol. 1, pp.283-284.
11. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 26-29 июля, 2015. P. 345-348.
12. Аксенов К.А., Рудь С.И., Рудь А.И., Неволина А.Л. Применение мультиагентного имитационного моделирования при решении задачи снабжения сети строительных магазинов. Седьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015), 21-23 октября, Москва, Институт проблем управления РАН, Т.2. С. 13-17.
13. Nevolina A. L., Aksyonova O. P., Smoliy E. F. Development of simulation systems and decision-making method in the logistic field // 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.435-436.
14. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A., Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.
15. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Solving the Problem of Efficient Gas Delivery with Aid of Decision Support System BPsim.DSS based on Simulation Modeling, Proceedings of the 2014 SCS Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'14), July 6 - 10, 2014, Monterey, CA, USA, pp. 107-111.
16. Aksyonov K.A., Nevolina A.L., Aksyonova O.P. Application of multiagent simulation for logistic scheduling (Применение мультиагентного имитационного моделирования для задач планирования логистики) 23rd Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

- 17.Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013615160 от 29 мая 2013. Модуль планирования имитационного эксперимента модели процесса преобразования ресурсов "Планировщик". Аксенов К.А., Антонова А.С., Аксенова О.П., Ван Кай, Невolina А.Л.
- 18.Аксенов К.А., Невolina А.Л., Аксенова О.П. Разработка системы планирования для сети автозаправочных станций на основе среды VPsim // Материалы шестой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2013): сборник докладов. Казань: Академия наук РТ, 2013. Т.2. С.24-29.

Подписано в печать ____ 2017 г. Формат 60x84 1/16
Бумага типографская. Тираж 150 экз. Заказ № .