

УДК 004.896

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВОЗА ТОПЛИВА ПО СЕТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Аксенов К.А., Неволина А.Л.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: wiper99@mail.ru

В статье решена задача разработки гибридного метода планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций. Определены требования к методу планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций. Выявлены ограничения применимости транспортной задачи для решения задачи планирования развоза топлива. Проведен анализ уровня автоматизации решаемой задачи. Решена задача построения нового метода планирования на основе интеграции транспортной задачи, мультиагентного подхода, имитационного и экспертного моделирования. Проведен экспериментальный анализ мультиагентных подходов, наиболее соответствующими решаемой задаче оказались сети потребностей-возможностей и мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов. Предлагаемый подход реализован в результате интеграции корпоративной информационной системы, мультиагентной системы динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS и системы поддержки принятия решений BPsim.DSS, реализующей фреймворк при построении интеллектуальных агентов.

Ключевые слова: сети автозаправочных станций, планирование, анализ процессов, автоматизированная информационная система, мультиагентный подход, имитационное моделирование, интеграция моделей

HYBRID METHOD DEVELOPMENT OF SUPPLY CHAIN SCHEDULING OF PETROL STATIONS NETWORKS

Aksenov K.A., Nevolina A.L.

Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, e-mail: wiper99@mail.ru

In this work hybrid method of supply chain scheduling of petrol stations networks is developed. Requirements for method of supply chain scheduling of petrol stations networks are determined. Limitations of transport task application are detected for subject area of petrol logistic. The automation level of petrol stations networks is marked. The task of new hybrid method of supply chain scheduling of petrol stations networks was solved. New method based on transport task, multi agent approach, simulation, expert systems. Experimental analysis of two multi agent approach as multi agent resources conversion processes and need-and-Means networks was done. The proposed approach is implemented in integration enterprise information system, multi agent simulation system BPsim.MAS and decision support systems BPsim.DSS. BPsim.DSS – frame expert system.

Keywords: petrol stations networks, scheduling, analysis of processes, automated information system, multi agent approach, simulation, model integration

Рост автомобилизации страны за последние десятилетия повысил важность решения задачи планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций. Решение данной задачи имеет как экономический, так и социальный аспект. Информационная поддержка принятия решений при решении задачи планирования поставок имеет важное значение. Качество принимаемых решений, их грамотность и общая культура принятия решений может оказывать влияние на следующие параметры: количество и лояльность клиентов; объем продаж топлива, время обслуживания на АЗС, доходы топливного предприятия.

Транспортная система компании по обеспечению нефтепродуктами 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 ГСМ);

– маршруты перемещения бензовозов от нефтебаз к АЗС;

– реализуемые компанией виды топлива.

Компании по обеспечению нефтепродуктов могут иметь в распоряжении свои нефтебазы или пользоваться услугами других. Стоимость закупки нефтепродуктов на сторонних нефтебазах выше, чем на собственной нефтебазе компании, но привлечение сторонних нефтебаз требуется по следующим причинам:

– ряд АЗС компании находятся на значительном удаленном расстоянии от своих нефтебаз и компании выгоднее закупать топливо на более близких к данным АЗС топливных складах;

– некоторые виды топлива, реализуемые на АЗС компании, отсутствуют на своих нефтебазах, поэтому компании требуются дополнительные источники топлива для обеспечения сети АЗС;

– в силу сложности процесса снабжения нефтебаз (перебои поставок с нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и непредсказуемости графика транспортировки на железной дороге), а также рассогласованности в динамике потребления топлива на сети АЗС и объемов поставок на свои нефтебазы с НПЗ, малым и средним сетям АЗС жизненно необходимо взаимодействовать с нефтебазами более крупных игроков (чаще всего это вертикально-интегрированные нефтяные компании (ВИНКИ)).

Парк бензовозов компании может содержать собственные транспортные средства или для решения своих задач привлекать наёмные бензовозы (фрилансеры). Бензовозы имеют различные емкости и нормы расхода топлива. Каждый бензовоз, в зависимости от марки, имеет в составе автоцистерны несколько секций и может перевозить от 1 до 6 видов различного топлива (количество секций у небольших и средних компаний варьируется от 1 до 3, однако крупные сети и ВИНКИ также используют шестисекционные бензовозы).

Для учета вышеперечисленных факторов, а также дорожных условий при решении задач анализа и планирования развоза топлива необходимо использовать современные информационные технологии и системы принятия решений.

Анализ уровня автоматизации процесса планирования сетей АЗС

Большинство средних и крупных сетей АЗС вложили существенные инвестиции в системы сбора и анализа данных об остатках в емкостях АЗС и нефтебазах, о местоположении автотранспорта, однако наиболее интеллектуальная задача (планирование развоза) оказалась в меньшей степени охвачена.

Анализ систем поддержки принятия решений (СППР) не позволил выявить в открытых источниках специализированных СППР планирования развоза топлива. Поэтому в качестве продуктов-заменителей были рассмотрены проблемно-ориентированные системы, используемые в логистике, такие как AnyLogic, ARIS, Business Studio, G2, Magenta, BPsim. С точки зрения решаемой задачи в работе [1] были определены их достоинства и недостатки.

В настоящее время на рынке представлена система «Лексема» (<http://lexema.ru>), используемая для задачи планирования

и учета движения топлива, однако функционал данной системы больше относится к ERP-системе. К недостаткам системы «Лексема» можно отнести следующее:

1) поддержка только ручного планирования;

2) отсутствие данных об удаленности (расстояниях) между объектами сети АЗС;

3) нет возможности учета знаний предметных специалистов (о физических и технических ограничениях объектов сети (АЗС, НБ) и транспортных средствах (бензовозах));

4) отсутствие каких-либо средств анализа «что, если».

Разработка гибридного метода планирования развоза топлива

Наиболее близким классическим аппаратом планирования развоза топлива является транспортная задача [4–5]. В ходе анализа применимости транспортной задачи были выявлены следующие ограничения предметной области:

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 бензовозов по обслуживанию АЗС;

8) отсутствует возможность учесть предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС;

9) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс.

Данные ограничения предлагается учесть с использованием мультиагентного подхода. В [1] были исследованы следующие подходы и модели мультиагентного планирования:

1) мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР) [1–3];

2) сети потребностей-возможностей (ПВ-сети) [6–8] В.А. Виттиха, П.О. Скобелева, Г.А. Ржевского;

3) модель активных и пассивных преобразователей (АПП) Б.И. Клебанова

и И.М. Москалева, а также ее изменение в системе моделирования социально-экономического развития;

4) подход А.В. Борщева, Ю.Г. Карпова, реализованный в системе моделирования AnyLogic.

С целью детального анализа двух наиболее подходящих подходов (ПВ-сети и МППР) проведен их экспериментальный анализ. Рассмотрена работа сети АЗС, которая состоит из 5 АЗС, парка с тремя бензовозами и нефтебазы. Были смоделированы следующие ситуации, представленные в таблице:

1) эксперимент № 1, заявки на топливо поступают равномерно на протяжении трёх суток работы АЗС случайным образом, поступление новой заявки приводит к корректировке плана;

2) эксперимент № 2, планирование выполняется периодически (несколько раз в сутки), на протяжении трёх суток работы АЗС.

Средняя загрузка бензовозов, количество рейсов и, соответственно, объем поставленного топлива у модели на ПВ-сети меньше (от 7,7% до 19%), чем у модели МППР. Это объясняется применением в ПВ-сети процедуры матчинга.

Для решения задачи планирования развоза разработан гибридный метод на основе интеграции транспортной задачи, теории составления расписаний, аппарата имитационного и экспертного моделирования, мультиагентных систем (МППР). Метод состоит из следующих этапов:

1. Расчет (определение) потребностей топлива на АЗС кратных емкости минимального бензовоза. Прогноз потребностей на остальных емкостях АЗС, у которых на вторую половину смены может возникнуть потребность, кратная емкости минимального бензовоза.

2. Решение транспортной задачи в части планирования поставок с нефтебаз до АЗС (без привязки бензовозов).

3. Обработка опорного решения из транспортной задачи 1: Ранжирование всех

потребностей (определение наиболее срочных потребностей – что везем раньше, а что позже) – согласно приоритетности. Определение для каждого заказа (потребности на поставку топлива) поставщика (склада/логистического центра – нефтебазы) и маршрута поставки.

4. Обработка опорного решения из транспортной задачи 2: Формирование рейсов (плана развоза). Закрепление за каждым заказом транспортного средства и определение времени исполнения (времен начала и окончания рейса). На данном этапе используется интеллектуальный агент-планировщик с фреймовой базой знаний, учитывающей статистику продаж топлива с АЗС, физические ограничения АЗС и бензовозов (по их совместимости и возможности обслуживания), а также предпочтения по применению.

5. Проверка плана развоза специалистом по логистике / диспетчером.

6. Проверка и корректировка плана развоза на мультиагентной имитационной модели процесса преобразования ресурсов.

7. Выполнение плана.

8. В условиях внешних воздействий, приводящих к ситуациям диспетчеризации, проводится корректировка плана развоза экспертом (диспетчером, ЛПП).

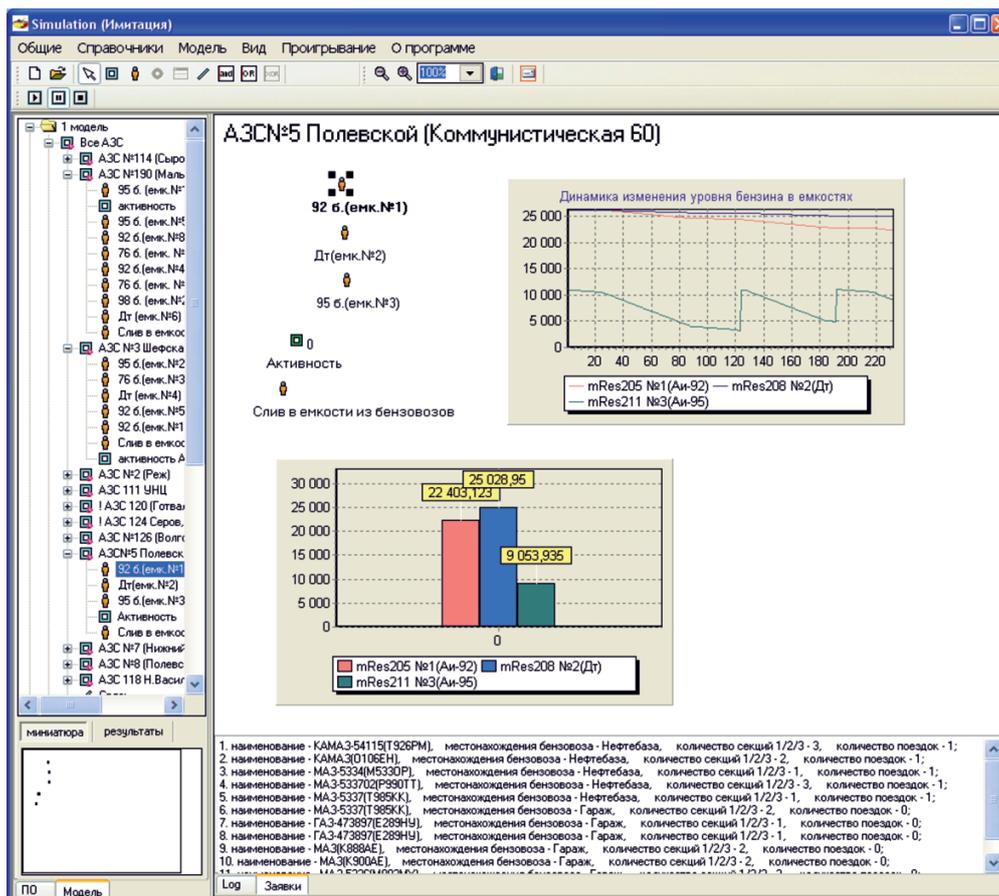
Главным критерием успешности решения данной задачи является обеспечение бесперебойной работы сети АЗС.

Программная реализация гибридного метода планирования развоза топлива

На основе гибридного метода принятия решений планирования развоза топлива по сети АЗС была разработана СППР в результате интеграции систем «Планировщик», BPsim.MAS (мультиагентной системы моделирования) и BPsim.DSS (фреймовой интеллектуальной системы). Данная СППР является проблемно-ориентированной и поддерживает ручную, автоматизированную и автоматическую корректировку плана развоза экспертом (диспетчером, ЛПП).

Результаты экспериментов (модели сети АЗС МППР и ПВ-сети)

Параметры/Эксперимент № (модель)	1, МППР	1, ПВ-сеть	2, МППР	2, ПВ-сеть
T _{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



Фрагмент имитационной модели в BPSim.MAS

Применение метода планирования и СППР

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). Фрагмент имитационной мультиагентной модели сети АЗС показан на рисунке.

Результаты вычислительных экспериментов имитационной модели сопоставлены с фактическими данными развоза и показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива. Результаты анализа доказывают, что метод, реализованный в СППР, показывает более жадную стратегию по количеству рей-

сов 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 и системе принятия решений BPSim.DSS, а также «Планировщик», которые реализуют алгоритмы планирования и диспетчеризации. Результаты экспериментов на данных 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).

Заключение

В данной работе предложен гибридный метод принятия решений задачи планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций. Метод разработан в результате интеграции транспортной задачи, мультиагентной имитационной модели процесса преобразования ресурсов, аппарата фреймовых экспертных систем. Метод программно реализован в виде системы поддержки принятия решений в результате интеграции систем «Планировщик» и BPsim. Апробация метода и СППР прошла в условиях действующей сети автозаправочных станций Свердловской области. При решении задачи планирования развоза решена задача интеграции СППР с корпоративной системой предприятия, что теперь позволяет отнести BPsim к открытой системе моделирования и дает возможность применять ее для задач управления в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. 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: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9744> (дата обращения: 24.10.2016).
2. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28–29, Bangkok, Thailand. – P. 600–603.
3. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28–29, Bangkok, Thailand. – P. 604–606.
4. Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. – 656 p.
5. Prosvetov G.I. Mathematical method in logistic: problem and decision: Alfa Press, 2014. – 304 p.
6. Rzevski G., Himoff J., Skobelev P. MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers.

International conference on multi-agent systems // Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf>.

7. Skobelev P.O. Open multi-agent system for operative processing of information in the decision-making processes: Avtoref. dis. on competition of a scientific degree. Kazan.step. Ph. D. – Samara, 2003. (In Russian).

8. Vittikh V.A., Skobelev P.O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control. – 2003. – Vol. 64. – P. 162–169.

References

1. Aksenov K.A., Nevolina A.L., Aksenova O.P., Smolij E.F. Multiagentnoe modelirovanie i planirovanie logistiki // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. no. 4; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9744> (data obrashheniya: 24.10.2016).
2. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28–29, Bangkok, Thailand. P. 600–603.
3. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28–29, Bangkok, Thailand. P. 604–606.
4. Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. 656 p.
5. Prosvetov G.I. Mathematical method in logistic: problem and decision: Alfa Press, 2014. 304 p.
6. Rzevski G., Himoff J., Skobelev P. MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers. International conference on multi-agent systems // Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf>.
7. Skobelev P.O. Open multi-agent system for operative processing of information in the decision-making processes: Avtoref. dis. on competition of a scientific degree. Kazan.step. Ph. D. Samara, 2003. (In Russian).
8. Vittikh V.A., Skobelev P.O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control. 2003. Vol. 64. pp. 162–169.