

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА VPSIM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ СЕТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

К.А. Аксенов, А.Л. Неволина (Екатеринбург)

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. Представляет интерес исследование возможности применения мультиагентного подхода к решению задачи планирования перевозок для обеспечения нефтепродуктами 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 эффективное решение. Интеграция численных методов, имитационного моделирования (ИМ) и мультиагентных систем позволит использовать опыт специалистов в контуре СППР.

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 нефтепродуктами); маршруты перемещения бензовозов от нефтебаз к АЗС; реализуемые компанией виды топлива. Бензовозы имеют автоцистерны различной емкости и различные нормы расхода топлива. Бензовоз в зависимости от марки, имеет в составе автоцистерны несколько секций и может перевозить несколько видов различного топлива.

Метод планирования обеспечения нефтепродуктами сети АЗС

Разработан метод принятия решений задачи планирования и анализа процесса обеспечения нефтепродуктами сети АЗС [1]. Общая задача планирования процесса снабжения логистической сети заключается в определении плана снабжения до начала рабочей смены множества структур вида $S_w = \langle I_w, P_w, O_w \rangle$, 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 $x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$.

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

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.

Таблица 1
Анализ подходов к решению задач планирования поставок

Критерии \ методы	Транспортная задача	ИМ	Экспертные системы
Вопросы адекватности модели			
Использование средств (автотранспорта)	+	+	НЕТ
Потоки ресурсов (объемы перевозок): НБ-АЗС, НБ-Бензовоз-АЗС	+/НЕТ	+/+	+/+
Время транспортировки, погрузки, план развоза	НЕТ	+	НЕТ
Эвристики модели ЛПР, агенты планирования	НЕТ	НЕТ	+
Поддержка решения задач			
Планирование с учетом ограничений - времени / ресурсов / средств.	НЕТ / + / +	+ / + / +	НЕТ / + / +
Анализ узких мест процессов	НЕТ	+	НЕТ
Диспетчеризация	НЕТ	+	НЕТ

Наиболее близкими методами планирования обеспечения нефтепродуктами сети АЗС являются следующие: 1) транспортная задача; 2) подход В.А. Виттиха и П.О. Скобелева на основе сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) [2–4]; мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов [5–6].

Анализ методов решения транспортной задачи позволяет сделать вывод, что для дальнейшей разработки наиболее подходит метод минимальной стоимости (в части распределения объемов поставок между нефтебазами и АЗС). Данный подход взят в основу метода планирования. К дополнительным факторам, ограничивающим применение транспортной задачи к задаче планирования для обеспечения нефтепродуктами, относятся 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.

Для учета данных особенностей было предложено использовать мультиагентный подход и провести анализ подходов МППР и ПВ-сети:

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 собой систему децентрализованного управления. В силу того, что в МППР знания обо всем объекте управления находятся в общей БЗ, то МППР в большей степени является системой 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 осуществляется в локальной системе ИМ.

3. Задачи планирования и диспетчеризации решаются с помощью ПВ-сетей и модели МППР. К недостаткам подхода ПВ-сетей относится «нервность» при обработке новых событий, поступающих в систему, которая проявляется в пересмотре всего плана, хотя 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 пяти АЗС, парка с тремя бензовозами и нефтебазы. Были смоделированы следующие ситуации, представленные в таблице: 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 с моделью МППР занимает намного меньше реального времени, необходимого для прогона той или иной ситуации, чем с моделью ПВ-сети. Это объясняется меньшим набором правил у агентов, который необходим для закрепления заявок за бензовозами, и меньшим количеством самих агентов. 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 взятие других заявок).

Разработан метод принятия решений для планирования обеспечения нефтепродуктами 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).

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.

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

Этапы 2 – 5 программно реализованы в фреймовой экспертной подсистеме [4], машина логического вывода которой использует в своей основе конструктор диаграмм поиска решений [5–6], построенных на основе диаграмм последовательности языка UML.

6. Проверка плана специалистом по логистике / диспетчером.

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

8. Проверка и корректировка плана развоза на имитационной модели МППР.

На модели МППР диагностируются узкие места – места погрузки и разгрузки на АЗС и НБ. Теоретическая основа метода анализа узких мест – операционный анализ вероятностных сетей. Отрицательным узким местом может выступать АЗС в следующих ситуациях: 1) когда в емкости заканчивается топливо и АЗС становится «сухой»; 2) при наличии спроса (например, в час пик) прибывает бензовоз для пополнения АЗС и в период слива топлива АЗС не обслуживает клиентов. Узкие места проявляются в виде очередей бензовозов на нефтебазах.

Этапы 2–7 реализуются на основе фреймовой машины логического вывода в планирующей подсистеме «Планировщик» (программно реализованной в системе поддержки принятия решений BPsim.DSS), 8-й этап реализуется в имитационной мультиагентной модели (программно реализованной в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS).

Главный критерий успешности решения задачи – 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.

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).

Выводы

Вычислительные эксперименты, сопоставленные с фактическими данными развоза, показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива. Анализ показывает, что метод, реализованный в СППР, характеризуется более «жадной» стратегией 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 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. Эксперименты показали следующие результаты:

1) экспериментальный план согласуется 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).

Литература

1. **Аксенов К.А., Неволлина А.Л.** Разработка гибридного метода планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11 (часть 2). С. 239–243.
2. **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.
3. **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 IPTB, Germany, 2006. URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf>.
4. **Скобелев П.О.** Мультиагентные технологии для управления ресурсами в реальном времени // *Механика, управление и информатика* (Таруса, 2-4 марта 2011 г.). Таруса, 2011. URL: http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf.
5. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Goncharova N.** Architecture of the Multi-agent Resource Conversion Processes Extended with Agent Coalitions // *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016*; Hosei UniversityTokyo; Japan; 17 December 2016 through 20 December 2016; Code 134518. *Procedia Computer Science* 105, pp. 221-226. DOI: 10.1016/j.procs.2017.01.214 URL: <http://www.scopus.com> WOS:000398830900036.
6. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O.** Agent-directed resource conversion process model design principles. *Simulation Series*. Volume 48, Issue 1, 2016, Pages 84-89. Agent-Directed Simulation Symposium, ADS 2016, Part of the 2016 Spring Simulation Multi-Conference, SpringSim 2016; Pasadena; United States; 3 April 2016 through 6 April 2016.