

---

**СЕКЦИЯ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ  
ИМИТАЦИОННОГО И КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОРГАНИЗАЦИИ И  
ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СЕТИ АЗС****К.А. Аксенов, А.Л. Айвазян, А.Л. Неволлина (Екатеринбург)**

Уникальная технология расчетов для доставки грузов обеспечивает мгновенный расчет маршрутов целого парка автотранспорта для исполнения всего объема порции заявок, группируемых по каким-либо признакам (просто заявки на день, ночной развоз, доставка на первую половину дня и т.п.).

При расчетах учитываются грузоподъемность и вместимость транспорта, требования срочности заказов и времени исполнения, максимально допустимое время транспортировки грузов и даже порядок размещения в кузове, а также оптимизация передвижения (маршрутов) с учетом дорожных знаков, ограничения на время или протяженность маршрутов, с тем, чтобы например, доставить хлеб в торговые точки горячим и пр. Система представления результатов позволяет выдать каждому водителю распечатку его рейсов (листы развоза), т.е. когда, где и что грузить, в какой последовательности развозить и пр. При этом учитывается и специфика работы перевозчиков – время начала и окончания работы, исходное расположение транспортного средства (гараж) перерыв на обед, а при необходимости и различные ограничения (по весовым и габаритным характеристикам, по территории обслуживания, по предельным объемом выполняемых заявок или предельной совокупной стоимости грузов). Учитывается также и потребность выполнения определенных заявок только на транспортном средстве определенного типа (фургон, оснащенный манипулятором, с боковой погрузкой с разных сторон и т.п.).

**Спецификация предметной области**

Транспортная система исследуемой компании по обеспечению нефтепродуктов содержит следующие компоненты:

- 1) автозаправочные станции (АЗС, автоматические ААЗС);
- 2) парк бензовозов (свои и наёмные бензовозы);
- 3) нефтебазы (НБ, свои и/или чужие, с которыми заключены договора по обеспечению ГСМ);
- 4) список маршрутов перемещения бензовозов от нефтебаз к АЗС;
- 5) список реализуемых компанией видов 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:

- 1) ряд АЗС компании находится на значительном удаленном расстоянии от своих нефтебаз, что компании выгоднее закупать топливо на более близких к данным АЗС топливных складах;
- 2) некоторые виды топлива, реализуемые на АЗС компании, отсутствуют на своих нефтебазах, поэтому компании требуются дополнительные источники топлива для обеспечения сети;
- 3) в силу сложности процесса снабжения нефтебаз (перебои в поставках с нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и непредсказуемость графика транспортировки на железной дороге), а также рассогласования в динамике потребления топлива на сети АЗС и объемов поставок на свои нефтебазы с НПЗ жизненно необходимо малым и средним сетям АЗС 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 автоцистерны и нормы расхода топлива, причем расход топлива зависит от общей емкости бензовоза. 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 6-ти секционные бензовозы.

#### **Алгоритм решения задачи развоза топлива**

Расчет (определение) потребностей на АЗС кратных емкостями минимального бензовоза.

Прогноз потребностей на остальных емкостях АЗС, у которых на вторую половину смены может возникнуть потребность, кратная емкости минимального бензовоза. Если не прогнозировать, тогда в течение дня придется несколько раз решать данную задачу.

Построение матрицы и решение транспортной задачи. Для решения такой задачи нам сначала понадобятся расстояния между нефтебазами и АЗС, приведем эти данные в виде матрицы. Дистанция считается в километрах.

Обработка решения из транспортной задачи 1: Ранжирование всех потребностей (определение наиболее срочных потребностей – что везем раньше, а что позже) - согласно. При использовании транспортной задачи приоритет развоза не учитывается, поэтому может возникнуть следующая ситуация: топлива на АЗС недостаточно для удовлетворения всех потребностей, но его было бы достаточно для удовлетворения срочных потребностей. Однако данная информация не учитывается при решении задачи, и срочные потребности могут быть не удовлетворены. Чтобы данной ситуации избежать необходимо ввести шаг оценки объема срочных потребностей и его возможности удовлетворения возможностями НБ. В случае такой ситуации менее срочные потребности в матрице приравнять 0.

Имея все эти данные, мы можем нарисовать таблицу, где показаны стоимости транспортировок с каждой НБ для всех АЗС.

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

Примечание. Главное условие решения задачи – обеспечение бесперебойной работы сети АЗС. Даже если прибыль будет максимальна в рисковом варианте, его надо отсеивать. Перебой или сбой в работе АЗС может вызывать отток (потерю) клиентов как самой АЗС, так и всей сети в последующем.

Существующие комплексы программ имитационного моделирования AnyLogic, ARIS, Business Studio обладают рядом недостатков, которые ограничивают или исключают возможность их применения при решении задачи проектирования системы управления грузоперевозками: не решается задача перепланирования загрузки транспортного средства (в случае прихода нового заказа);

при планировании маршрута не учитываются знания предметных специалистов;

не решается задача перепланирования маршрута транспортного средства в случае появления нового заказа.

Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем анализа и моделирования, планирования процессов логистики: AnyLogic[1], ARIS, Business Studio, G2, Magenta[2-3], BPsim[4]. Ни одна из рассмотренных систем не отвечает всем требованиям. Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования грузоперевозок (нефтепродуктообеспечения) дает семейство СПИР BPsim и Magenta.

В настоящее время на рынке представлена система "Лексема"[5], используемая для задачи планирования и учета движения горюче-смазочных материалов (ГСМ), однако функционал данной системы больше относится к ERP-системе.

Сравнительный анализ методов организации и планирования работы АЗС

Рассмотрим результаты анализа методов организации и планирования работы АЗС.

Метод планировочных решений (автор Плитман И.Б. [6]) направлен на максимизацию пропускной способности АЗС. Основные параметры метода: число топливозаправочных колонок (ТРК), коэффициент одновременной заправки, время подготовки и отпуска нефтепродуктов, длина подъездных путей. Достоинства - простота реализации. Основным результатом – отражение предельных возможностей АЗС.

Вероятностно-статистическая модель структуры топливозаправочного оборудования на АЗС (авторы Коваленко В.Г., Кантор Ф.М., Хабаров С.Р. [7]), направлена на минимизацию времени ожидания автомобилей в очереди и числа незанятых ТРК. Допущения: ТРК обслуживает

только одну заявку (автомобиль), заявка при свободном канале обслуживания сразу обрабатывается. Достоинства: применение вероятностного подхода, определение характеристик для сравнения АЗС. Недостатки метода: Отсутствие учета характеристик ТРК.

Схема развития сети АЗС (авторы Прохоров А.Д., Доронин В.В., Хабаров А.С. [8]) направлена на размещение АЗС на городских автомагистралях по критерию равноудаленности от существующих АЗС. Достоинства метода: принятие решения с учетом годовой реализации, численности автотранспорта в зоне обслуживания и экономического эффекта. Недостатки: неполная определенность понятия «зона обслуживания».

Модель потокопроводящей сети АЗС (авторы Прохоров А.Д., Цагарели Д.В., Глухарев К.К., Дьяченко И.В., Мигдалов В.Н. [9-10]). Цель управления – реализация необходимых объемов нефтепродуктов через сеть АЗС и нефтебаз при минимальных сетевых объемах и в минимальные периоды сетевого оборота. Переменные: характеристики потоков ресурсов в транспортных плечах и узлах сети. Достоинство: Факт того, что избыточность сети АЗС порождается недостатком данных, поэтому требуется мониторинг ее состояния. Недостатки: потоки нефтепродуктови автомобилями приняты однородными и стационарными.

Рациональное размещение сети АЗС, повышение эффективности АЗС (автор Безродный А.А. [11]). Параметры: граф сети АЗС, граф улично-дорожной сети; доход и издержки сети АЗС. Моделирование движения автотранспорта по графу улично-дорожной сети (УДС). Рекомендации по определению параметров АЗС, типу АЗС, количеству ТРК. Достоинства: Ориентация результатов на недоминирующей (немонопольной) сети АЗС в малых и средних (от 150 тыс. до 1,5 млн. человек) городах России. Детальная, но сложная модель. Недостатки подхода: Сбор данных о сетях АЗС конкурентов и интенсивности потоков УДС затруднен. Учет объема продаж только для юр.лиц, обслуживаемых микропроцессорными картами. Нет решения для мегаполисов. ИМ в SCADA-системе Trace-Mode.

### Тестирование

Применение метода, СППР [12-15] и комплекса моделей были использованы для анализа работы сети автозаправочных станций бренда «Башнефть» куста 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. Для проведения экспериментов были взяты реальные данные плана и факта развоза по снабжению сети «Башнефть» куста Свердловской области на конец и начало смен.

Анализ сопоставления расчетного и фактического планов на 9 августа представлен в таблицах 1-2.

Таблица 1. Сопоставление рейсов бензовозов на 9 августа

Бензовоз	Расчет рейсы	свои		Факт рейсы		Расхождение количества рейсов	
		свои	чужие	свои	чужие	свои	чужие
SCANIA(02)	3	3		3	3		0
КАМАЗ (06)	3	3		2	2		-1
МАЗ(96)	4	4		3	3		-1
SCANIA(03)	4	4		3	3		-1
Камаз(24)	3		3	2		2	-1
МАЗ(28)	3		3	1		1	-2
МАЗ(82)	2		2	3		3	1
МАЗ(62)	3		3	3		3	0
Камаз(09)	3		3	2		2	-1
ИТОГО	28	14	14	22	11	11	-6

Таблица 2. Сопоставление планов (объем перевозки) на 9 августа

Параметр	свои	чужие
Расхождение количества рейсов (расчет и факт)	-3	-3
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) расчет	14	14
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт	11	11
Объем перевозки (своих и чужих) расчет	200076	152974
Объем перевозки (своих и чужих) факт	156929	120361

Как видим, фактические результаты отличаются от расчетных, в факте количество рейсов и своих, и чужих бензовозов было меньше, чем в расчетном плане. В целом, соотношений своих и чужих рейсов в обоих случаях одинаково. Алгоритм в данном случае ведет более жадную стратегию по объему поставок и количеству рейсов.

Анализ сопоставления расчетного и фактического планов на 10 августа представлен в таблицах 3-4.

Таблица 3. Сопоставление рейсов бензовозов на 10 августа

Бензовоз	План рейсы	свои	чужие	Факт рейсы	свои	чужие
МАЗ(96)	4	4		2	2	
SCANIA(00)	3	3		2	2	
SCANIA(02)	3	3		2	2	
SCANIA(03)				2	2	
МАЗ(08)	3		3	2		2
Камаз(09)	1		1	2		2
Камаз(24)	1		1	3		3
ИТОГО	15	10	5	15	8	7

Таблица 4. Сопоставление планов (объем перевозки) на 10 августа

Интегральный анализ рейсов	свои	чужие
Расхождение количества рейсов (расчет и факт)	-2	2
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) расчет	10	5
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт	8	7
Объем перевозки (своих и чужих) расчет, л	133645	53645
Объем перевозки (своих и чужих) факт, л	111540	75170

Количество рейсов одинаковое. Как видно из результатов эксперимента, алгоритм по сравнению с действиями диспетчера больше заявок отдал на выполнение своему парку бензовозов (соотношение 10 к 5, по сравнению с фактическим 8 к 7), соответственно объем перевозки топлива своими бензовозами увеличился.

### Заключение

В результате проведенного сравнения средств и методов планирования, анализа и моделирования процессов логистики показано, что существующие программные средства и методы не ориентированы на решение задачи планирования обеспечения нефтепродуктами сети АЗС с учетом их активного развития. За последнее десятилетие активно идет автоматизация сетей АЗС, которая дает возможность доступа к данным в реальном масштабе времени, что позволяет иначе и с новыми подходами взглянуть на решение задачи планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС. За основу такого подхода предлагается использовать мультиагентное имитационное моделирование.

### Литература

1. AnyLogic simulation software. Access mode on 05/09/19: <https://www.anylogic.com/>
2. Skobelev P. O. Multi-agent technologies for the control of resources in real-time. Proceedings of the seminar—Mechanics, control and informatics, track —Perspective computer systems: devices, methods and concepts, Tarusa, 2-4 March 2011. [http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303\\_03.pdf](http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf) (accessed: 13.04.2016).

3. V. A. Wittich, P. O. Skobelev, —Multi-agent interaction models for the design of the nets of requirements and capabilities in open systems, *Automatics and telemechanics*, vol. 1, 2003. pp. 177-185.
4. 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. WOS:000359866200164.
5. ERP-Lexema <http://lexema.ru/solutions/erp-lexema/>.
6. Плитман И.Б. Планировочные решения и технологические схемы АЗС / И.Б. Плитман. – М.: Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 1973. – с. 50.
7. Коваленко В.Г. Системы обеспечения нефтепродуктами / Коваленко В.Г., Кантор Ф.М., Хабаров С.Р. – М.: Недра, 1982. – 237 с.
8. Схема развития сети АЗС г. Волгограда на период 1991-2005 гг. // Прохоров А.Д., Доронин В.В., Хабаров А.С. – М.: НТТМ «Стимул», 1990. – 145 с.
9. Прохоров А.Д., Дьяченко И.Ф., Мигдалов В.Н. Системы АЗС в условиях перехода к рынку // *Транспорт и хранение нефтепродуктов*. – 1997. - № 4-5. – С. 23-27.
10. Цагарели Д.В., Глухарев К.К. Теория, моделирование и корпоративные механизмы строительства региональной бензиновой сети АЗС // *Транспорт и хранение нефтепродуктов*. – 1997. - № 3. – С. 16-25.
11. Безродный А.А. Системный анализ, модели и методы управления процессами и объектами в сетях автозаправочных станций: диссертация ... доктора технических наук: 05.13.01 Саратов, 2010. 325 с.
12. K. Aksyonov, A. Antonova, Wang Kai, O. Aksyonova, "Rules for construction of simulation models for production processes optimization". 3rd International Workshop on Radio Electronics and Information Technologies, REIT-Spring 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; March 14, 2018. pp. 8-19.
13. Kondratyev A., Aksyonov K., Buravova N., Aksyonova O. Simulation modeling as a service for intelligent systems. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). 7-8 May 2018. Yekaterinburg, Russia. Page(s): 208-211. DOI: 10.1109/USBREIT.2018.8384586.
14. Sokolov B.V., Pavlov A.N., Yusupov R.M., Ohtilev M.U., Potryasaev S.A. Theoretical and technological foundations of complex objects proactive monitoring management and control // *Proceedings of the Symposium Automated Systems and Technologies Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Leibniz Universität Hannover*. 2015. P. 103-110.
15. Borodin, A., Mirvoda, S., Porshnev, S., & Bakhterev, M. (2017, March). Improving penalty function of R-tree over generalized index search tree possible way to advance performance of PostgreSQL cube extension. In *Big Data Analysis (ICBDA), 2017 IEEE 2nd International Conference on* (pp. 130-133). IEEE.