

УДК 656.135.073

А.Ю. Тюрин

МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Для предприятий пищевой промышленности характерны широкий ассортимент выпускаемой продукции, разветвленные транспортные связи с поставщиками сырья, тары и потребителями товаров.

Одним из обязательных этапов доставки груза является выбор маршрута перевозки, при котором будут соблюдаться все условия и ограничения, выдвигаемые со стороны потребителей и достигаться приемлемые результаты функционирования предприятий пищевой промышленности в плане уровня запасов и оборачиваемости готовой продукции.

Задачи маршрутизации являются ключевыми в областях транспортных перевозок, перемещения и логистики. Существует 9 разновидностей задачи маршрутизации [1], которые зависят от ограничений и требований, предъявляемых к системе доставки товаров пищевой промышленности. Данная классификация приведена в табл. 1.

При этом учитываются такие факторы, как временной диапазон обслуживания потребителя («временное окно»), централизация и децентрализация доставки (несколько отправителей), возможность организации сбора и доставки продукции за один транспортный цикл,

возможность развоза продукции за несколько рейсов каждому потребителю и т.д.

Выбор конкретного метода решения задачи маршрутизации зависит от принятого критерия оптимальности, параметров системы доставки (срочность, периодичность, размер партии поставки и т.д.), влияния внешней среды (случайный характер протекания транспортного процесса, задержки у клиентов, «пробки» на дорогах и т.д.), условий взаимодействия собственного и наемного транспорта и т.д.

Поэтому наиболее сложными для решения являются задачи маршрутизации с «временными окнами», с несколькими центрами (поставщиками), с возможностью доставки и возврата товаров, с отдельной (дробной) доставкой и с дополнительными устройствами. Сложность решения задач, с одной стороны, растет экспоненциально с ростом количества обслуживаемых потребителей, увеличением размаха между максимальным и минимальным размерами поставок. С другой стороны, решение данных задач позволяет гибко реагировать на изменяющийся спрос, повысить эффективность системы доставки, расширить размеры зон сбыта и снизить количественный состав парка

Таблица 1. Классификация задач маршрутизации VRP-типа

Тип задачи маршрутизации	Назначение
Маршрутизация с ограничением по грузоподъемности (CVRP)	Стандартный случай маршрутизации для однородного парка транспортных средств
Маршрутизация с ограничением по времени (VRPTW)	Используется при ограниченном временном диапазоне приема или вывоза продукции потребителями
Маршрутизация с несколькими центрами (MDVRP)	Применяется в случае распределения продукции несколькими поставщиками общей или кластеризованной группе потребителей
Маршрутизация с возможностью доставки и возврата товаров (VRPPD)	Используется в случае обмена продукцией между группой поставщиков и потребителей и при возвратной логистике
Маршрутизация с возвратом товаров (VRPB)	Частный случай VRPPD задачи
Маршрутизация с отдельной (дробной) доставкой (SDVRP)	Применяется для парка транспортных средств различной грузоподъемности и в случае периодической доставки продукции в течение дня одному потребителю
Периодическая маршрутизация (PVRP)	Планирование работы транспорта ведется на период (несколько дней, неделя и т.д.)
Маршрутизация со случайными данными (SVRP)	Используется в случае неизвестных или непостоянных значений спроса, количественного состава парка, группы потребителей и т.д.
Маршрутизация с дополнительными устройствами (VRPSF)	Используется как мультиэшелонная система доставки с двумя и более уровнями складов для пополнения или разгрузки продукции на маршруте

транспортных средств для доставки продукции.

В задачах маршрутизации с временными окнами используются различные целевые функции. Чаще всего цель состоит в том, чтобы минимизировать общую стоимость маршрутов. Поскольку предполагается, что стоимость маршрута пропорциональна его длине (расстоянию или времени), эта цель соответствует уменьшению полного расстояния или времени доставки. Другой критерий минимизирует продолжительность маршрута (общее количество использованного времени). Это важно для продукции, имеющей ограниченный срок годности до суток, а также при необходимости иметь в торговой сети свежую продукцию.

Задача маршрутизации с несколькими центрами относится к классу децентрализованных систем сбыта продукции. Децентрализация разбивает общую задачу сбыта на несколько более простых, и может быть проведена математическими методами с применением модели транспортной задачи линейного программирования. Задачу распределения получателей между поставщиками обычно называют задачей закрепления получателей за отправителями (потребителей за поставщиками) и ее решение направлено на такое распределение получателей между отправителями, чтобы в итоге обеспечивалась минимальная транспортная работа или стоимость перевозок. снабжение получателей мелкими партиями вносит определенную специфику в проблему децентрализации снабжения, и эта специфика не всегда находит достаточно полное отражение в существующих методиках закрепления потребителей за поставщиками. Таким образом, задачи планирования мелкопартионных перевозок с несколькими отправителями могут формулироваться для полностью децентрализованной системы снабжения, когда каждый отправитель имеет свою зону обслуживания, или для частично децентрализованной системы, когда некоторые получатели могут получать однородный груз от нескольких отправителей.

Практическим примером задач децентрализованной системы снабжения и децентрализованной формы транспортного обслуживания может быть снабжение крупного города хлебобулочными изделиями, когда несколько хлебозаводов выпускают продукцию, полностью или частично совпадающую по номенклатуре. Каждый завод имеет свой контингент получателей и обслуживается определенным парком автомобилей. Так же выглядит задача снабжения крупного города мясными продуктами с мясокомбинатов и холодильников, молочными продуктами с молокозаводов и т. п.

Задача маршрутизации с возможностью возврата и доставки товаров расширяет стандартную VRP тем, что требуется доставка некоторого количества товаров назад от потребителей на склад. Таким образом, нужно быть уверенным в том, что товары, которые вернет потребитель, не превысят

вместимость (грузоподъемность) автомобиля. Это ограничение делает планирование задачи более сложным и может привести к непроизводительному использованию вместимости транспорта, увеличению общего пути и количества единиц транспорта на склад.

Для простоты обычно рассматриваются задачи с дополнительными ограничениями, например, когда все запросы на доставку товаров начинаются на складе и все запросы на возврат товаров оканчиваются на складе, то есть, не происходит обмен товарами между потребителями. Другой способ состоит в отмене ограничения, что все клиенты должны посещаться только один раз. Существует еще одно обычное упрощение – принять, что каждый автомобиль сначала развозит все товары, прежде чем начать принимать товар от клиентов (VRPB).

Целью задачи является минимизация парка транспортных средств и общего времени доставки или общей стоимости транспортировки.

При решении задачи учитываются дополнительные ограничения, что количество товара, который нужно доставить потребителям и товара, которые нужно забрать от потребителей на склад, не должно превышать вместимость автомобиля ни в одной точке маршрута.

Задача маршрутизации с возможностью возврата и доставки товаров (тары) имеет место в различных подотраслях пищевой промышленности (хлебопекарной, молочной, мясной и т.д.), когда за один транспортный цикл организуется доставка готовой продукции вместе с тарой потребителям и вывозится от них либо порожняя тара, либо непринятые товары по условиям качества (возвратная логистика).

Задача маршрутизации с раздельной (дробной) доставкой (SDVRP) расширяет VRP, позволяя обслуживать одного клиента транспортными средствами различной грузоподъемности (вместимости), если это уменьшает общую стоимость транспортировки в задаче. Этот случай типичен для ситуации, когда объем заказа сравним по величине с вместимостью автомобиля и приходится заказ некоторым клиентам разбивать на несколько рейсов. Как правило, для задачи маршрутизации с раздельной (дробной) доставкой получить оптимальное решение сложнее, чем для классической задачи VRP.

Целью задачи является минимизация количества транспортных средств на маршрутах и общего времени обслуживания всех клиентов.

Преимущества задачи SDVRP по отношению к классической VRP заключаются в следующем:

- общий объем поставки разделяется на партии и каждая партия заводится соответствующим маршрутом потребителю;
- за счет разбиения могут сократиться транспортные расходы,
- повышается степень загрузки подвижного

состава;

- снижаются уровни запасов у потребителей.

Недостатки задачи SDVRP проявляются в следующем:

- увеличивается сложность приема груза (дополнительное выделение грузчиков, выделение временных окон);

- сложность планирования рейсов особенно с дополнительным ограничением по времени;

- неопределенность разбивки объема поставки на отдельные партии завоза каждому потребителю.

Задача SDVRP может использоваться при мелкопартионных перевозках при объеме поставок от 0,5 до 0,9 максимальной загрузки автомобиля, а также в некоторых случаях при меньших объемах спроса со стороны потребителей.

Применение задач периодической маршрутизации и со случайными данными позволяют учесть неопределенность в обслуживании клиентуры, случайную природу запросов потребителей, параметров транспортных циклов, моментов прибытия и отправления товаров. Дополнительно при периодической маршрутизации можно получить эффект за счет согласования транспортной политики с политикой управления запасами и снижения среднего уровня запасов на складах поставщиков и потребителей.

Ввиду того, что размерность задачи довольно большая, на практике для получения качественного решения задачи маршрутизации часто применяются эвристические и метаэвристические методы. Их использование позволяет получить приемлемые результаты за относительно небольшое время. Выбор того или иного метода зависит от

требований к точности решения, размерности задачи, специфики исходных данных и т.д.

Таблица 2. Исходные данные по потребителям

№ п/п	Время разгрузки, мин	Объем поставки, т	Раннее время обслуживания, ч:мин	Позднее время обслуживания,
1	16	0,54	10:00	13:00
2	14	0,48	8:00	12:00
3	1	0,06	9:00	13:00
4	16	0,56	9:30	12:00
5	19	0,65	11:00	15:00
6	4	0,17	9:00	15:00
7	10	0,35	11:00	16:00
8	7	0,27	8:00	13:30
9	21	0,71	8:00	10:00
10	18	0,63	8:00	10:00
11	12	0,43	7:00	12:00
12	7	0,25	7:30	13:00
13	16	0,56	8:00	16:00
14	19	0,65	10:00	17:00
15	20	0,69	8:00	16:00
16	15	0,51	11:00	17:00
17	29	0,97	6:00	13:00

В качестве примера рассмотрим случай решения VRPTW-задачи при обслуживании 17 потребителей подвижным составом различной грузоподъемности. Данные по потребителям представлены в таблице 2. Матрица времени проезда между потребителями (1-17) и поставщиком (0) представлена в табл. 3. Информация о подвижном составе представлена в табл. 4.

Таблица 3. Матрица времени проезда между пунктами в мин

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	-	16	10	26	18	6	30	16	14	20	18	12	22	30	20	28	20	26
1	16	-	20	22	16	20	2	10	6	8	28	26	4	14	26	20	16	24
2	10	20	-	8	6	14	22	28	20	28	10	6	24	12	8	20	6	26
3	26	22	8	-	2	16	6	26	14	26	16	10	18	20	22	16	12	8
4	18	16	6	2	-	2	14	22	12	2	2	16	28	6	2	24	16	4
5	6	20	14	16	2	-	30	20	20	26	24	8	26	4	16	28	2	18
6	30	2	22	6	14	30	-	20	18	12	14	18	4	14	10	14	22	24
7	16	10	28	26	22	20	20	-	20	26	22	6	26	6	10	26	14	24
8	14	6	20	14	12	20	18	20	-	30	26	22	26	24	10	16	4	14
9	20	8	28	26	2	26	12	26	30	-	4	22	14	22	12	8	22	20
10	18	28	10	16	2	24	14	22	26	4	-	22	28	20	26	16	20	8
11	12	26	6	10	16	8	18	6	22	22	22	-	2	12	18	28	16	2
12	22	4	24	18	28	26	4	26	26	14	28	2	-	24	8	4	2	22
13	30	14	12	20	6	4	14	6	24	22	20	12	24	-	4	16	28	10
14	20	26	8	22	2	16	10	10	10	12	26	18	8	4	-	30	26	20
15	28	20	20	16	24	28	14	26	16	8	16	28	4	16	30	-	2	22
16	20	16	6	12	16	2	22	14	4	22	20	16	2	28	26	2	-	28
17	26	24	26	8	4	18	24	24	14	20	8	2	22	10	20	22	28	-

Таблица 4. Сведения о подвижном составе

№ п/п	Грузоподъемность, т	Время начала работы, ч:мин	Время окончания работы, ч:мин	Общее время работы, ч:мин
1	2,5	6:00	16:00	10:00
2	4,5	7:00	16:00	8:00
3	1,75	5:00	13:00	8:00
4	1	10:00	15:00	10:00
5	1,5	5:00	12:00	12:00
6	1,5	5:00	12:00	12:00

Таблица 5. Результаты решения задачи

№ п/п	Порядок объезда пунктов	Объем перевозок на маршруте, т	Грузоподъемность, т	Степень использования грузоподъемности
1	0-2-12-11-17-0	2,14	2,5	0,86
2	0-9-10-13-8-0	2,17	4,5	0,48
3	0-4-3-6-15-0	1,48	1,75	0,84
4	0-7-1-0	0,88	1	0,88
5	0-14-5-0	1,3	1,5	0,87
6	0-16-0	0,51	1,5	0,34

Решение задачи представлено в табл. 5. Анализ показывает, что кроме 2 и 6 маршрутов неплохо используется грузоподъемность автомобилей (0,84-0,88). Низкие значения степени использования грузоподъемности на 6 маршруте объясняются остатком груза для развоза, а на 2 маршруте – ограничением периода работы автомобиля.

Рассмотренный пример показывает, что для выполнения заказов в отведенные интервалы времени приходится ухудшать показатели эксплуатации автотранспорта, приводящие к повышенным затратам на доставку по сравнению с задачей без «временных окон». Однако такой подход позволит сохранить клиентуру, оставить на прежнем уровне или повысить доход от продаж, тем самым компенсировав повышенные затраты на доставку.

В случае использования только наемного транспорта расходы перевозчика можно будет компенсировать повышенным тарифом на его транспортные услуги со стороны поставщика.

Применение моделей других типов определяется условиями функционирования цепей поставок пищевой промышленности, физико-химическими свойствами самой продукции, сроком ее годности и другими факторами [2].

Также возможен учет bullwhip-эффекта, возникающего в цепях поставок, при планировании отгрузок и транспортировки продукции предприятий пищевой промышленности [3]. Удаленность потребителей друг от друга приводит к необходимости кластеризации (зонирования) региона обслуживания и применения особого алгоритма и некоторых моделей маршрутизации [4], которые позволяют не нарушить предел времени работы водителей на маршрутах и обслужить всех клиентов за данный период времени. Все рассмотренные выше подходы могут привести к повышению конкурентоспособности предприятий пищевой промышленности в сложившихся рыночных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The VRP Web. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Тюрин, А.Ю. Особенности выбора схем транспортировки продукции предприятий пищевой промышленности с различными сроками годности // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2010. – № 1. – С. 136-139.
3. Тюрин, А.Ю. Влияние bullwhip-эффекта на устойчивость цепей поставок пищевой промышленности и выбор моделей функционирования автотранспорта в них // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2010. – № 2. – С. 166-171.
4. Тюрин, А.Ю. Проблемы регионального транспортного обслуживания предприятий пищевой промышленности // Региональная экономика: теория и практика. – 2010. – № 28. – С. 61-68.

□ Автор статьи:

Тюрин
Алексей Юрьевич,
канд. экон. наук, доц. каф. автомобильных перевозок КузГТУ.
E-mail: alexturin07@rambler.ru