

УДК 658.7

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

А.Ю. Тюрин, д-р экон. наук, доцент, профессор

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

Для перевозок грузов можно использовать два основных типа транспортных средств – одиночные грузовые автомобили и автопоезда, которые могут быть составлены из следующих комбинаций: одиночный автомобиль и прицеп, тягач и полуприцеп, тягач с полуприцепом и прицепом. Для составления маршрутов движения транспортных средств был разработан специальный класс задач (VRP), полный список которых с указанием особенностей их применения приведен в [1].

Так как для одиночных автомобилей задачи VRP довольно хорошо изучены и с успехом применяются на практике, то для комбинированных грузовых отправок оптимизация представляет некоторую сложность и изучена не столь успешно. Некоторые исследователи считают, что комбинированная задача маршрутизации грузовиков (CTRP) по меньшей мере так же сложна, как и VRP. Поскольку различные типы комбинированных грузовиков используются логистическими предприятиями по всему миру, CTRP может иметь различные практические предпосылки. Исследователи до сих пор выдвинули три типа CTRP: проблема маршрутизации грузовиков и прицепов (TTRP), проблема маршрутизации транспортных средств rollon-rolloff (RRVRP) и проблема маршрутизации тягачей и полуприцепов (TSRP).

Как самая ранняя выдвинутая форма CTRP, TTRP привлекает внимание исследователей уже более двадцати лет. В [2] описана задача TTRP, основанная на VRP, следующим образом. Набор клиентов с известным спросом и местоположением обслуживается парком однородных комбинированных транспортных средств с известной мощностью. Транспортными средствами могут быть грузовик, тянувший прицеп, называемый полным транспортным средством, или один грузовик, называемый чистым грузовиком. Из-за некоторых условий, клиентам могут подать лишь чистый грузовик (потребители класса TC), а к другим можно добраться либо на чистом грузовике или на укомплектованном транспортном средстве (автопоезде) (потребители класса VC). Существует три типа путей в решении TTRP:

а) маршрут чистого грузовика (PTR), который содержит потребителей VC или TC, обслуживаемых только одиночным автомобилем,

б) маршрут чистого автопоезда (PVR), который содержит только потребителей VC,

в) полный маршрут транспортного средства (CVR), который состоит из основного тура автопоезда, и, по меньшей мере, одно субтура, обслуживаемого чистым грузовиком. Субтур начинается с клиента, найденного в основном туре, и возвращается к нему. Грузовик отсоединяет прицеп и паркует его у основного клиента суб-тура и возвращается, чтобы прикрепить прицеп после обслуживания клиентов в суб-туре. Основной тур содержит только клиентов VC, в то время как суб-туры содержат VC или TC. Цель состоит в том, чтобы свести к минимуму общую стоимость планируемого маршрута.

В [3] представлены некоторые фактические приложения, связанные с TTRP в начале 1990-х гг. Проблема возникла в крупном сетевом магазине с 45 продуктовыми магазинами, из которых 9 были трейлерными магазинами и 36-грузовыми магазинами, расположенными в Швейцарии. Для обслуживания магазинов использовался разнородный автопарк, состоящий из 21 грузовика и 7 прицепов. Цель состояла в том, чтобы определить расписание маршрутов с использованием разнородного парка с минимальными транспортными расходами. Учитывались также временные окна магазинов и расходы, зависящие от транспортных средств. В работе [4] предложена другая проблема, связанная с TTRP, названная проблемой маршрутизации транспортных средств с прицепами (VRPT). В VRPT использование комбинированных транспортных средств может вызвать проблемы при обслуживании клиентов с ограничениями. Время и неприятности можно было бы сэкономить, если бы этих клиентов обслуживал один грузовик. Трейлер нужно было припарковать в некоторых точках, и грузовик доставлял продукты клиентам по определенному маршруту.

Для решения задач TTRP ввиду их сложности применялись в основном следующие эвристические методы:

\* Поиск с запретами. В [3] использован стандартный метод поиска с запретами для решения реального экземпляра TTRP. Проблема касалась от 70 до 90 заказов. Имелся разнородный парк транспортных средств, состоящий из 21 грузовика и 7 прицепов. Проведенные вычислительные испытания показали, что предложенный подход позволяет последовательно, эффективно и результативно решать задачи TTRP.

\* Поиск по окрестностям. Чтобы решить проблему TTRP, в [5] использован двухфазный алгоритм (первая фаза – маршрутизация, вторая фаза – кластеризация) с применением инструментов адаптивной процедуры поиска по переменным окрестностям. При решении 21 эталонного примера предложенный подход позволил получить средние разрывы между наиболее известными решениями менее 1%.

Для задач класса RRVRP сбор отходов является основным практическим приложением. В задаче рассматриваются три типа проблем сбора отходов: бытовые, коммерческие и промышленные. Клиенты требуют услуг уровня большого контейнера, и полученная проблема абстрагируется как RRVRP.

Исследователи расширили базовую задачу RRVRP на ряд форм. Например, в [6] предложено несколько объектов захоронения и несколько

складских помещений RRVRP (M-RRVRP). Рассматриваются пять видов поездок. M-RRVRP моделируется как ограниченная по времени VRP на мультиграфе. Окно времени обслуживания - еще один фактор расширения. В [7] рассмотрено временное окно и представлено RRVRP с временными окнами (RRVRPTW). В RRVRPTW имеется несколько объектов утилизации и несколько складских помещений. Цель RRVRPTW-минимизировать количество необходимых тягачей в первую очередь и общее время прохождения всех маршрутов во вторую. В работе. [8] автор обратился к другому типу RRVRP, в котором рассматриваются четыре типа поездок. Рассматриваются также многочисленные склады, объекты утилизации и типы контейнеров. Цель состоит в том, чтобы свести к минимуму общее время для завершения всех поездок.

В [9] протестировано четыре эвристики на четырех классах эталонных экземпляров в диапазоне от 50 до 199 поездок. Четырьмя эвристиками были алгоритм декомпозиции, метод частичного перечисления, алгоритм вставки/улучшения отключения и имитационный отжиг. В [10] использован подход, сочетающий стандартный локальный поиск и большой поиск по окрестностям при двух беспараметрических/плохих метаэвристических управлени-ях. Двадцать эталонных примеров, представленных в [9], были использованы для проверки подхода.

В работе. [6] разработан точный метод для M-RRVRP. Метод основан на процедуре ограничения, объединяющей три нижние границы, полученные из различных релаксаций формулировки M-RRVRP. Результаты вычислений показывают, что метод эффективен в получении оптимального или близкого к оптимальному решения M-RRVRP за разумное вычислительное время.

В работе [7] предложен итерационный эвристический подход, основанный на поиске больших окрестностей, состоящий из нескольких алгоритмов для RRVRPTW. Было разработано 34 эталонных экземпляра, из которых 14 были получены от реальной компании по сбору отходов в США, а 20-искусственно. Предложенный подход дает гораздо лучшие решения с точки зрения количества требуемых тягачей и общего времени маршрута для исходных данных, чем текущая практика компании.

Основной вклад TSRP в литературу заключается в том, что он расширяет существующие исследования по RRVRP до проблемы с тягачом и полу-прицепом, рассматриваемой в междугородной магистральной сети с большим спросом. По сравнению с большинством исследований VRP, использующих грузовики для обслуживания доставки и (или) вывоза городской логистики, TSRP использует комбинации тягача с полуприцепом для обслуживания междугородней логистики. Даётся набор полных грузовых автомобилей (т. е. пар поставщик-потребитель с соответствующим обменным требованием за-груженного полуприцепа), которые необходимо транспортировать. В сети есть два типа терминалов: один центральный и несколько дополнительных. Вначале все тягачи отводятся на центральный склад, куда они должны возвращаться после каждого маршрута. На каждом терминале может быть не-

сколько груженых полуприцепов, ожидающих отправки на другие склады. Каждый тягач может выехать из депо и вернуться в него один или несколько раз. Тягач может тащить один загруженный полуприцеп и может самостоятельно ездить на склады. Как правило, дополнительные депо должны отправлять более одного загруженного полуприцепа и должны быть посещены более одного раза.

Виды автомобильных перевозок можно разделить на дальнемагистральные и распределительные по дальности транспортировки. Типы транспортных средств, используемых при автомобильных грузовых перевозках, и типы перевозок, классифицированные по расстояниям транспортировки, теоретически обеспечивают четыре ситуации для фона исследования VRP:

- а) грузовики, используемые для дальнемагистральных перевозок,
- б) грузовики, используемые для распределительных перевозок,
- в) комбинированные транспортные средства, используемые для дальнемагистральных перевозок,
- г) комбинированные транспортные средства, используемые для распределительных перевозок.

Большинство распределительных транспортных средств, работающих вокруг терминалов, имеют короткие расстояния. Несмотря на сравнительно небольшие расстояния по сравнению с дальними перевозками, распределительные перевозки могут составлять до 40% от общей стоимости перевозок [11]. Большая часть исследования VRP сосредоточена на распределительных перевозках. Кроме того, на VRP могут быть наложены дополнительные эксплуатационные требования и ограничения в отношении транспортных средств. Существуют очевидные различия между задачами VRP и CTRP.

Во-первых, различные уровни логистических систем определяют графики и транспортный спрос в моделях задач маршрутизации. Например, в двухуровневых системах городской логистики первый уровень включает транспортные средства, доставляющие грузы из городских распределительных центров (CDC) [12, 13] на дополнительные объекты, а второй уровень включает транспортные средства, выполняющие маршруты доставки с дополнительных объектов клиентам. Существует уровень междугородней магистрали, который включает в себя крупнотоннажные транспортные средства, перевозящие грузы между CDC различных городов. В литературе TTRP и RRVRP – это проблемы по схеме «от одного ко многим», в то время как TSRP – это проблема «от многих ко многим». Кроме того, крупнотоннажные транспортные средства, на которые приходится основная часть перевозок между CDC, позволяют экономить на масштабе, тем самым снижая расходы на междугородние перевозки. На промежуточных объектах городских логистических систем, таких как CDC, крупнотоннажные транспортные средства переводятся на малотоннажные транспортные средства.

Во-вторых, автомобильная грузовая отрасль в основном имеет два типа сегментов услуг: помашинная перевозка грузов (FTL) и сборная перевозка грузов (LTL). FTL больше подходит для терминалов с большими объемами

отгрузки, которые требуют индивидуальных услуг; LTL больше подходит для клиентов, которым приходится делиться транспортными ресурсами перевозчика с другими клиентами. Исследования VRP и TTRP сосредоточены на оптимизации доставки или вывоза LTL-сервиса, в то время как полуприцепы подходят для FTL в RRVRP и TSRP. Поэтому единицы измерения для транспортных потребностей различных задач маршрутизации, возможно, различны. VRP и TTRP принимают вес груза в качестве единицы измерения, тогда как RRVRP и TSRP принимают полуприцеп в качестве единицы измерения.

Подводя итог, можно отметить, что типы транспортных средств и расстояния транспортировки могут использоваться для классификации различных форм CTRP и VRP. По сравнению с VRP, TTRP стремится эффективно применять прицепы, которые могут легко присоединять/отсоединять грузовики. Цель RRVRP TSRP – достигнуть высоких норм использования для тягачей в различных практических задачах. При рассмотрении транспортного спроса между узлами на графах, TTRP и RRVRP являются проблемами «один-ко-многим», в то время как TSRP является проблемой «много-ко-многим». В области формулировок моделей и точных алгоритмов очевидно, что CTRP значительно сложнее описать и решить, чем VRP. CTRP является очень богатой и многообещающей областью исследований, особенно учитывая тенденцию к постановке проблем, включая постоянно увеличивающееся число атрибутов. Поэтому для эффективного и своевременного решения практических задач маршрутизации необходимы более общие формулировки и более универсальные решатели, способные обрабатывать широкий спектр CTRP. В общем случае решение широкого круга CTRP требует лучшего понимания основ проблемы и методов.

### **Список литературы:**

1. Тюрин А.Ю. Модели транспортного обслуживания в цепях поставок пищевой промышленности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №4. – С.89-92.
2. Lin, S. W., Yu, V. F., Chou, S. Y. Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. // Computers and Operations Research. – 2009. – 36(5). – P. 1683-1692.
3. Semet, F., Taillard, E. Solving real-life vehicle routing problems efficiently using tabu search. // Annals of Operations Research. – 1993. – 41. – P. 469-488.
4. Gerdessen, J. C. Vehicle routing problem with trailers. // European Journal of Operational Research. – 1994. – 93. – P. 135-147.
5. Villegas, J. G., Prins, C., Prodhon, C., Medaglia, A. L., Velasco, N. A GRASP with evolutionary path relinking for the truck and trailer routing problem. // Computers & Operations Research. – 2011. – 38. – P. 1319-1334.
6. Baldacci, R., Bodin, L., Mingozzi, A. The multiple disposal facilities and multiple inventory locations rollon–rolloff vehicle routing problem. // Computers & Operations Research. – 2006. – 33. – P. 2667-2702.
7. Wy, J., Kim, B. I., Kim, S. The rollon-rolloff waste collection vehicle

routing problem with time windows. // European Journal of Operational Research. – 2013. – 224. – P. 466-476.

8. Hauge, K., Larsen, J., Lusby, R. M., Kräpper, E. A hybrid column generation approach for an industrial waste collection routing problem. // Computers & Industrial Engineering. – 2014. – 71. – P.10-20.

9. Bodin, L., Mingozzi, A., Baldacci, R., Ball, M. The rollon-rolloff vehicle routing problem. // Transportation Science. – 2000. – 34. – P. 271-288.

10. Derigs, U., Pullmann, M., Vogel, U. A short note on applying a simple LS/LNS-based metaheuristic to the rollon–rolloff vehicle routing problem. // Computers & Operations Research. – 2013. – 40. – P. 867-872.

11. Bontekoning, Y. M., Macharis, C., Trip, J. J. Is a new applied transportation research field emerging?—A review of intermodal railtruck freight transport literature. // Transportation Research Part A,. – 2004. – 38(1). – P. 1-34.

12. Тюрин А.Ю. Городские распределительные центры в концепции городской логистики // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 1. – С. 146-148.

13. Тюрин А.Ю. Особенности решения задач многоуровневой системы доставки товаров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1. – С.130-135.