

Ю. А. КАПИТОНОВ, В. А. БОРОДАВКИН

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

## ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗНООБРАЗНЫХ ФОРМ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК В АВТОМОБИЛЬНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

*Рассматривается задача маршрутизации транспорта в региональной транспортной сети. Метод решения – задача о потоке минимальной стоимости, метод генерации столбцов. В докладе для условий вырожденных случаев предлагается описание транспортной системы в виде ориентированных графов. Это позволяет получить разнообразные формы маршрутов, как это принято в транспортной логистике автомобильных перевозок.*

Доставка товаров в региональных сетях является важной логистической задачей. Эта задача может решаться методом математического моделирования или как задача оптимизации маршрутов с целью минимизации общего пробега.

Задача маршрутизации транспорта VRP как задача математического программирования рассматривалась в очень большом числе научных работ западных специалистов. Часть полученных результатов обсуждается в работе [1]. Во многих обзорных работах приводится классификационная схема разновидностей задач маршрутизации и методы их решения. Задача имеет несколько формулировок. Основной формулировкой являлась формулировка о потоке минимальной стоимости с бинарными переменными. В работе [2] использована формулировка VRP как задачи разложения множеств. В работе [3] анализировалось применение метода генерации столбцов в задаче маршрутизации для региональной транспортной сети. Применение такого подхода позволяет последовательно решать задачи линейного программирования, что можно осуществить, привлекая на первом этапе некоммерческие решатели этих задач, входящие в состав офисного программного обеспечения. В результате работы [3] был исследован процесс сходимости к оптимальному решению, выявлена специфика – скачкообразный процесс, что объяснялось бинарным характером переменных задачи.

Однако в автомобильной региональной сети возможно некоторое разнообразие формы маршрутов, не только кольцевые, но и маятниковые маршруты. В этих маршрутах всего одна точка посещения и кольцевой маршрут становится вырожденным. Причинами возникновения маятниковых маршрутов могут быть ограничения по грузопместимости или небольшое количество клиентов при планировании рейсов. Аналогичная задача возникает и при планировании пассажирских маршрутов городской транспортной сети [4], в которой для задания формы маршрута приходится использовать дополнительную информацию.

Предлагается рассматривать графы автомобильные дороги так, как они рассматриваются в теории транспортных потоков. Каждая дорога представляется двумя ориентированными графами с соответствующими направлениями, но без детализации ее пропускной способности. Пересечения дорог – в виде перекрестков с разрешенными направлениями движения. В этом случае в математической модели транспортной системы простейшим элементом будет путь до объекта с разворотом, включающий четыре направленных дуги – две дуги туда и обратно и две дуги – разворота в обратном направлении. Происходит имитация движения по автомобильной дороге. Движение к объекту по правой стороне дороге, возврат по левой стороне. Движение в противоположном направлении запрещено.

Каждый объект посещения в графе предлагается представлять набором вершин, имитирующим «углы перекрестка». Посещение любой из вершин, входящих в этот набор, оценивается как посещение объекта. Минимальное количество вершин для объекта – два. Объект с несколькими соединяющими дорогами описывается угловыми вершинами. Для обычного перекрестка – это четыре вершины.

Исходный граф транспортной системы  $G=(V,A)$ , представим в виде  $G=(V_1,..V_i,..V_n,A_1,..A_i,..A_n,A)$ , где  $V_i$  – узлы ассоциированные с объектом  $i$ ,  $A_i$  – дуги, ассоциированные с объектом (перекрестком),  $A$  – набор ориентированных дуг между объектами (перекрестками).

Для каждого объекта существует набор входящих и набор исходящих дуг. Математически условие посещения объекта записывается как посещение точки, принадлежащей соответствующему объекту [5].

Алгоритм решения задачи маршрутизации на основании ориентированного графа дорог будет частично модифицирован по сравнению с классическим алгоритмом.

1. Задание стартовых значений. Исследования на примерах показали, что число стартовых значений в мастер-задаче должно быть не меньше, чем число объектов посещения.

2. Мастер-задача (задача о покрытии множеств) и двойственная задачи выполняется обычным образом.

3. Координирующая задача выполняется в соответствии с неравенствами, которые индексируют посещенные узлы.

Запрещаются кольцевые движения по дорогам, соединяющим объекты посещения, и кольцевые движения на объектах (перекрестках). Минимальная мощность множества  $S=4$ .

По модифицированной методике рассчитывались численные примеры в программе Microsoft Excel. Расчеты показали:

1. Появилась возможность расчета маршрутов в одиночные вершины.

2. Рассчитанные маршруты могут существенно отличаться от классических кольцевых маршрутов. Возврат часто происходит по тем же дорогам до группы объектов, что и движение к группе объектов, что больше соответствует практике автомобильных перевозок.

3. При посещениях группы объектов предпочтительным оказывается движение с правыми поворотами на перекрестках.

4. Как недостаток в задаче существенно возрастает количество переменных за счет дуг, описывающих направление движения на перекрестках. Возрастает также количество ограничений.

5. На рассмотренных примерах время расчета мало изменилось. На время расчета в большей степени влияет организация массивов данных, что относится к внутренней составляющей программы оптимизации.

6. Формы получаемых маршрутов позволяют говорить о маятниковых и кольцевых маршрутах, а также об их различных комбинациях, как это принято в классической транспортной логистике при автомобильных перевозках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications (MOS-SIAM Series on Optimization) Editors: Toth, Vigo–2015.
2. Desrochers M., Desrosiers J., Solomon M. New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows // Operations Research, Vol. 40, No. 2. (Mar. – Apr., 1992), pp. 342–354.
3. **Капитонов Ю.А. Бородавкин В.А.** Решение задачи маршрутизации в региональной транспортной сети методом генерации столбцов // Материалы XII Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): в 4 т., 2019. Издательство Южного федерального университета. Т3, стр. 134–137.
4. Borndorfer B, Groetschel M., Pfetsch M A Column-Generation Approach to Line Planning in Public Transport TRANSPORTATION Science, Vol. 41, No. 1, February 2007, pp. 123–132.
5. **Алексеева Е.В.** Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. Примеры и задачи: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т., Новосибирск, 2012. 131 с.

Yu.A. Kapitonov, V.A. Borodavkin (Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, St. Petersburg)

#### **Planning of Various Forms of Transportation Routes in the Automotive Regional Transportation Network**

The problem of transport routing in a regional transport network is considered. Solution Method – Minimum Cost Flow Problem, Column Generation Method. In the report for the conditions of degenerate cases, a description of the transport system in the form of directed graphs is proposed. This allows you to get various forms of routes, as is customary in the transport logistics of road transport.