

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗКИ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

© 2016 А.А. Юшин\*

**Ключевые слова:** мебельная продукция, городская логистика, типология, маршрутизация, оптимальное решение, грузовые перевозки, точки продаж, метод ветвей и границ.

Рассматриваются экономические, социальные и экологические факторы эффективности оптимизации маршрутов перевозки товаров грузовым автотранспортом в городских условиях. Приводится постановка задачи оптимизации маршрута перевозки товаров методом ветвей и границ. Решается задача коммивояжера для поставок мебельной продукции в точки ее розничных продаж с временными окнами.

В настоящее время отмечается рост интенсивности городских грузовых перевозок из-за увеличения частоты поставок товаров по системе точно в срок и расширения номенклатуры партий, а также вследствие развития электронной коммерции и услуг централизованной доставки, повышения требований клиентов к мобильности, надежности и своевременности доставки товаров<sup>1</sup>. Грузовые перевозки в городских условиях обостряют экономические, социальные и экологические проблемы современных агломераций, основными из которых являются сокращение дорожного пространства и замедление трафика общественного и личного транспорта, создание заторов и пробок, негативное влияние шума и выбросов на окружающую среду<sup>2</sup>.

Существующие проблемы в организации перевозок грузов в городских условиях до некоторой степени устраняются их нормативно-правовым регулированием, в частности правилами перевозок грузов автомобильным транспортом<sup>3</sup>. Имеет значение также повышение ответственности перевозчиков по договорам перевозки грузов<sup>4</sup>. Решению экологических проблем грузоперевозок, сохранения дорожного полотна посвящен законопроект о взимании платы с транспортных средств массой более 12 т<sup>5</sup>.

Логистические варианты организации смешанных перевозок грузов включают в себя использование принципов и моделей логистики и позволяют оптимизировать данный процесс<sup>6</sup>. Совершенствование транспортно-тех-

нологического процесса доставки разнородных грузов в городских условиях базируется на таком принципе логистики, как оптимальность<sup>7</sup>.

Оптимальное распределение товаров и планирование маршрутов их перевозки по городу позволяют сократить пробег грузового транспорта и увеличить коэффициент его использования, освободить дорожное полотно для общественного и личного транспорта, уменьшить общий расход топлива и воздействие на окружающую среду, повысить эффективность деятельности транспортных операторов. Оптимальное планирование маршрутов перевозки грузов с временными окнами заключается в выборе такого маршрута движения транспортного средства, который минимизирует его общий пробег по обслуживаемым клиентам и полностью удовлетворяет их потребность в товарах<sup>8</sup>.

Определение оптимального маршрута перевозки (доставки товаров) грузовым транспортом является одной из наиболее интенсивно изучаемых проблем в экономике и вычислительной математике (задача коммивояжера) - это проблема поиска кратчайшего маршрута последовательной доставки товаров каждому потребителю один раз и возвращение транспортного средства к отправной точке (распределительному центру)<sup>9</sup>.

Задача коммивояжера может быть симметричной, когда расстояния между пунктами (потребителями) доставки товаров в прямом и обратном направлениях являются равными, и асимметричной, когда расстояния

\* Юшин Александр Александрович, соискатель Самарского государственного экономического университета. E-mail: alexandery003@gmail.com.

между потребителями в прямом и обратном направлениях не совпадают, например из-за различной организации транспортного потока в городских условиях. Эта задача, или управленческое решение (с точки зрения менеджмента), решается экономико-математическими или эвристическими методами. К экономико-математическим методам относятся прямой метод перебора всех возможных маршрутов перевозки товаров потребителям с целью определения минимального общего расстояния пробега транспортного средства, метод динамического программирования и метод ветвей и границ. Эвристическими методами решения задачи оптимизации маршрута перевозки товаров выступают алгоритм ближайшего соседства, генетический алгоритм (имитация процесса естественного отбора), имитация отжига (использование описания физических процессов в металлургии) и запрет поиска (поиск наилучшего решения по набору определенных правил).

Основным методом поиска оптимального маршрута перевозки товаров по отдельным потребителям (точкам продаж) служит метод ветвей и границ, относящийся к классу задач целочисленного линейного программирования. Формальная постановка задачи оптимизации маршрута содержит целевую функцию общего пробега транспортного средства на маршруте перемещения товаров по  $n$ -точкам продаж из распределительного центра и обратно  $F(x_{ij})$ , которую необходимо минимизировать, а также систему ограничений, где  $x_{ij}$  - расстояние от  $i$ -й до  $j$ -й точки продаж:

$$F(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad i \neq j,$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad j \neq i.$$

Принятие управленческого решения по оптимизации маршрута перевозки товаров методом ветвей и границ апробировано в разработанной автором экономико-математической модели поставок мебельной продукции ОАО "Шатура" в точки ее розничных про-

даж (салоны мебели) г.о. Самара<sup>10</sup>. Это логистическое решение входит во второй этап общей оптимизации распределительно-сбытовых процессов мебельной компании и принимается после оптимизации сбыта мебельной продукции в точки ее розничных продаж по критерию минимальных расходов и затрат по комплектованию мебельной продукции на складе компании, транспортных расходов на доставку товара в салоны мебели и затрат по содержанию комплектов на складе предприятий розничной торговли, являющихся подразделениями организационной структуры сбыта ОАО "Шатура".

В результате оптимизации сбыта мебельной продукции определяются, соответственно, оптимальные объемы единовременных партий ее поставок в натуральном и стоимостном измерении, интервалы и частота поставок, максимальная величина текущего запаса на складах торговых организаций, объемы грузовых единиц в количестве комплектов мебельной продукции. На втором этапе общей оптимизации осуществляется выбор оптимального маршрута доставки комплектов мебели организациям собственной торговой сети мебельной компании.

Подготовка исходных данных для проведения оптимальных расчетов выявила необходимость реформирования системы сбыта и распределительно-сбытовых процессов мебельной компании. Суть предлагаемых изменений сбытовой системы поставок мебельной продукции заключается в организации доставки ее крупных оптовых партий на склад предприятия розничной торговли, выполняющего функции распределительного центра, а при существенных инвестициях в складское хозяйство - логистического центра. Последующая доставка комплектов мебели производится распределительным (логистическим) центром оптимальными партиями и маршрутами перевозок другим торговым организациям ОАО "Шатура", расположенным на территории г.о. Самара.

Расчет оптимального маршрута доставки комплектов мебели организациям розничной торговли г.о. Самара со склада предприятия розничной торговли, выполняющего функции распределительного (логистического) центра, связан с выполнением ряда процедур принятия управленческого решения:

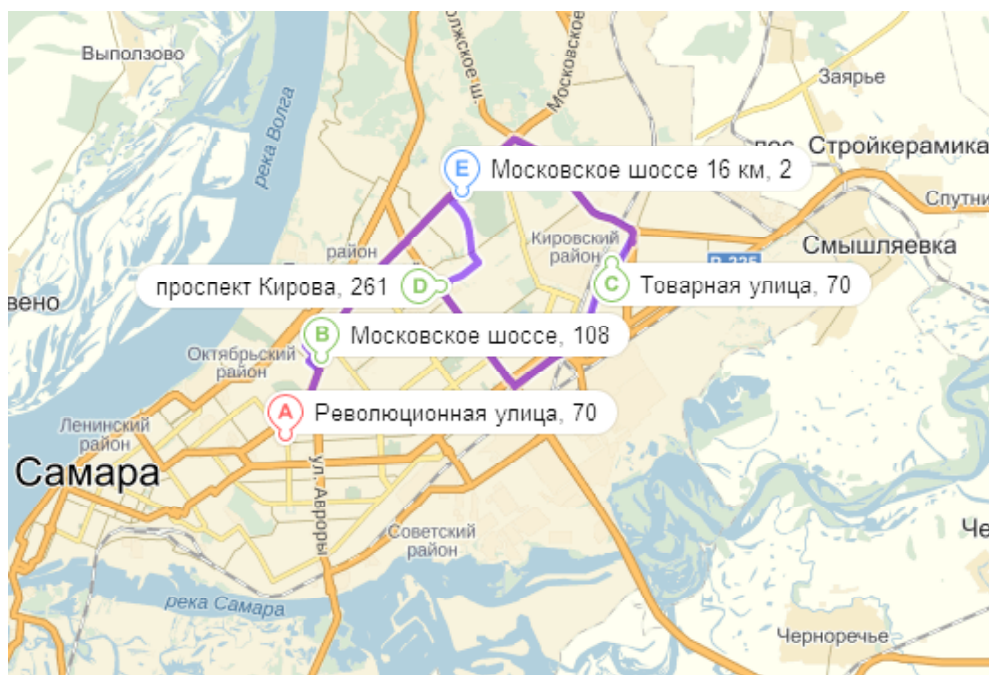


Рис. Расположение точек продаж мебельной продукции на территории г.о. Самара

♦ вначале определяется местоположение организаций розничной торговли мебельной продукции ОАО “Шатура” на карте г.о. Самара с сетью исходящих (входящих) дорог (дорожно-транспортная инфраструктура);

♦ затем выбирается транспортное средство, соответствующее грузоподъемности, скорости перевозки, специфике мебельной продукции и операций ее погрузки, размещения на транспортном средстве, транспортировки и разгрузки;

♦ далее выявляются расстояния между торговыми организациями, входящими в общий маршрут доставки мебельной продукции, в прямом и обратном сообщениях во временных окнах наименьших пробок и заторов на дорогах маршрута по сайту “Яндекс. Карты”;

♦ потом методом ветвей и границ с установленными ранее временными окнами решается задача коммивояжера. Возможно решение задачи с сезонными окнами.

Выполнение первой процедуры принятия оптимального управленческого решения о маршруте перевозки мебельной продукции позволило определить местоположение торговых организаций, входящих в маршрут, на территории г.о. Самара (см. рисунок).

Затем были просчитаны расстояния перевозок мебельной продукции между всеми точками ее продаж в прямом и обратном сообщениях с учетом объезда пробок во вре-

менном окне 7.00-8.00. Эти данные представлены в матрице (табл. 1).

Таблица 1  
Расстояния перевозок мебельной продукции в прямом и обратном сообщениях

<i>ij</i>	1	2	3	4	5
1		11	11	13	7.4
2	7.7		8.3	5.9	3.8
3	15	10		3	7.7
4	15	10	2.6		7.4
5	10	3.6	7.9	5.5	

В разработанной матрице адреса точек продаж мебельной продукции в прямом (*i*) и обратном (*j*) сообщениях пронумерованы в следующем порядке:

1. Ул. Товарная, 70.
2. Московское шоссе, 16 км, 26.
3. Ул. Революционная, 70, ТЦ “Мягкофф”.
4. Московское шоссе, 108.
5. Пр-т Кирова, 261.

Для решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ был выбран произвольный маршрут:

$$X_0 = 1 - 2 - 3 - 4 - 5,$$

тогда

$$F(X_0) = 11.0 + 8.3 + 3.0 + 7.4 + 10.0 = 39.7(\text{км}).$$

Для определения нижней границы множества осуществляется операция редукции или приводится матрица по строкам, для чего в каждой строке матрицы находится мини-

мальный элемент. Затем минимальный элемент вычитается из элементов каждой рассматриваемой строки. Такая же операция редуцирования проводится по столбцам. После вычитания минимальных элементов получается полностью редуцированная матрица.

Дальнейшие расчеты совершаются по шагам 1, 2, 3. На каждом из шагов определяется ребро ветвления, и все множество маршрутов перевозки мебельной продукции для этого ребра разбивается на два подмножества. Затем производятся операции исключения и включения ребер ветвления, по результатам которых устанавливается включение каждого из ребер в маршрут перевозки мебельной продукции. Результаты решения задачи оптимизации перевозок мебельной продукции в прямом и обратном сообщениях во временном окне 7.00-8.00 (местное время) следующие:

$$X_{ij} = 1 - 5 - 4 - 3 - 2 - 1, F(X_{ij}) = 33.2 \text{ (км)}.$$

Соответственно, расстояние перевозки мебельной продукции в прямом и обратном сообщениях по точкам ее продаж по оптимальному маршруту короче расстояния перевозки по произвольному маршруту на 6,7 км (39,7 - 33,2).

Для временного окна 15.30-16.30 расстояния перевозок мебельной продукции между всеми точками ее продаж в прямом (*i*) и обратном (*j*) сообщениях с учетом объезда пробок по данным сайта “Яндекс. Карты” представлены в матрице (табл. 2).

Таблица 2

**Расстояния перевозок мебельной продукции между всеми точками ее продаж**

<i>ij</i>	1	2	3	4	5
1		8.5	12	13	7.4
2	7.7		8.4	5.9	3.8
3	11	8.9		3	7.7
4	12	7.4	2.7		6.1
5	7.2	3.2	7.6	5.5	

Решение задачи определения оптимального маршрута перевозки мебельной продукции для временного окна 15.30-16.30 проведено методом ветвей и границ аналогично предыдущему алгоритму для временного окна 7.00-8.00.

Для решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ был выбран произвольный маршрут:

$$X_0 = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1,$$

тогда

$$F(X_0) = 8.5 + 8.4 + 3.0 + 6.1 + 7.2 = 33.2 \text{ (км)}.$$

По итогам решения задачи был разработан оптимальный маршрут:

$$X_{ij} = 1 - 5 - 2 - 4 - 3 - 1, F(X_{ij}) = 30.2 \text{ (км)}.$$

Таким образом, расстояние перевозки мебельной продукции в прямом и обратном сообщениях по точкам ее продаж по оптимальному маршруту короче расстояния перевозки по произвольному маршруту на 3,0 км (33.2-30.2).

<sup>1</sup> Хезай Ю.А. Состояние и перспективы развития грузовых автомобильных перевозок в Российской Федерации // Теория и практика общественного развития. 2014. № 11. С. 137-143.

<sup>2</sup> Gonzalez-Feliu J., Ambrosini C., Routhier J.L. New trends on urban goods movement modelling: modelling and simulation of e-commerce distribution // European Transport. 2012. № 6. P. 1-23.

<sup>3</sup> Об утверждении правил перевозок грузов автомобильным транспортом : постановление Правительства РФ от 15.04.2011. № 272. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=home&rnd=0.3858279573532506&> (дата обращения: 29.05.2016).

<sup>4</sup> Стоян К.К. Ответственность перевозчика по договору перевозки груза // Евразийский Союз Ученых. 2015. № 9-2 (18). С. 156-158.

<sup>5</sup> Готкевич Г.К. Анализ законопроекта «О взимании платы в счет возмещения вреда, причиняемого автомобильным дорогам общего пользования федерального значения транспортными средствами, имеющими разрешенную максимальную массу свыше 12 тонн» // Juvenisscientia. 2015. № 1. С. 79-81.

<sup>6</sup> Мартынова Е.С., Гусев С.А. Смешанные перевозки грузов и пассажиров: логистика вариантов организации // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 3. С. 145-153.

<sup>7</sup> Николаев Н.Н., Сенькевич А.А. Совершенствование транспортно-технологического процесса доставки разнородных грузов в городских условиях // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 92 (08). С. 1-13.

<sup>8</sup> Understanding urban freight activity - key issues for freight planning / T. Cherrett [et al.] // Journal of Transport Geography. 2012. № 24. P. 22-32.

<sup>9</sup> Носков С.В. Управленческие решения в распределительной логистике коммерческих предприятий // Вестник Самарского государственного экономического университета. Самара, 2012. № 2 (88). С. 82-85.

<sup>10</sup> ОАО «Мебельная компания Шатура». Отчеты. URL: <http://www.e-disclosure.ru/portal/company.aspx?id=363> (дата обращения: 29.05.2016).

Поступила в редакцию 10.07.2016 г.