

## МЕТОДЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

**Е.Н. Живицкая, А.А. Мищук**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
[jivitskaya@bsuir.by](mailto:jivitskaya@bsuir.by), [mischuk\\_aa@tut.by](mailto:mischuk_aa@tut.by)

Значительная часть логистических операций на пути движения материального потока от первичного источника сырья до конечного потребителя осуществляется с применением различных транспортных средств.

Основное место в транспортной логистике занимают задачи составления маршрутов, которые позволяют до минимума сократить пробег транспортных средств или которые минимизируют затраты на перевозку грузов [2].

Организация движения автомобильного транспорта при перевозках продукции должна обеспечить наибольшую производительность подвижного состава и наименьшую себестоимость перевозок. Движение автотранспорта происходит по маршрутам. Маршрут движения – путь следования подвижного состава при выполнении перевозки. Задача маршрутизации грузопотоков становится особо актуальной в условиях многовариантности распределения грузовых потоков.

Во многих областях рынка доставка товара добавляет к его стоимости сумму, сравнимую со стоимостью самого товара. Тем не менее, использование компьютерных методов оптимизации доставки товара часто выражается в экономии порядка 5-20% от общей его стоимости.

Цели минимизации целевой функции в каждом конкретном случае могут быть различными. При маршрутизации автомобильного транспорта в зависимости от поставленных целей методами линейного программирования решаются следующие задачи:

- сокращение общего времени на доставку грузов потребителям;
- закрепление потребителей за поставщиками однотипной продукции, при которой обеспечивается минимум холостых пробегов;
- увязка поездок отдельных автомобилей с целью обеспечения минимума холостых пробегов;

Способов решения задач маршрутизации существует довольно много. Почти все из них — эвристические и мета-эвристические методы, так как точные алгоритмы не всегда дают решение за приемлемое время при большом размере задачи.

Для реализации алгоритма маршрутизации с ограничениями по времени работы погрузочно-разгрузочных пунктов, предельной грузоподъемностью автомобиля и различными потребностями потребителей удобно применять метод Кларка-Райта, оптимизировав ограничения этой задачи. Критерием оптимальности могут выступать минимум транспортной работы, затраты времени или стоимость перевозки.

Основная задача маршрутизации состоит в минимизации времени доставки груза от поставщика к конечному потребителю. Таким образом, данную задачу можно представить следующей зависимостью:

$$M = F(t) \rightarrow \min,$$

где  $F(t)$  – функция зависимости от времени.

Если мы выразим время через отношение расстояния маршрута к средней скорости движения автотранспортного средства, то функция примет измененный вид:

$$M = F(S, V) \rightarrow \min,$$

где  $S$  – длина маршрута,

$V$  – средняя скорость движения автомобиля на этом маршруте.

Здесь величина  $S$  является постоянной, так как расстояние между пунктами всегда задано. Величина же  $V$  – скорость, зависит от большого числа результирующих факторов.

При оптимизации маршрутов необходимо учитывать многочисленные параметры, влияющие на доставку груза и затраты по его транспортировке. Это такие параметры, как расстояние маршрута, вес груза, скорость и грузоподъемность автомобиля, время работы погрузочно-разгрузочных узлов на маршруте и качество дорог.

Чем больше грузоподъемность автотранспортного средства, тем меньшая зависимость падения скорости автомобиля от приращения веса груза транспортного средства. Это объясняется тем, что доля изменения веса груза относительно грузоподъемности машины обратнопропорциональна максимальному весу груза, который может перевезти автомобиль. Таким образом, переменную  $V$  можно записать как зависимость от загруженности автомобиля:

$$V = f(G),$$

где  $V$  – средняя скорость движения автомобиля на этом маршруте

$G$  – загруженность автомобиля на этом маршруте.

В связи с различными техническими характеристиками автомобиля, на среднюю скорость оказывает влияние и тип транспортного средства. Поэтому целесообразно предыдущую формулу дополнить еще одной переменной:

$$V = \{f(G), T\}$$

где  $V$  – средняя скорость движения автомобиля на этом маршруте

$G$  – загруженность автомобиля на этом маршруте.

$T$  – тип автомобиля.

Водителю гораздо проще перевозить груз по широкой ровной дороге, где скорость передвижения может быть высока или неограниченна вовсе, чем по узкой проселочной дороге через деревни и села. Таким образом, состояние дороги также достаточно важно для увеличения постоянной скорости автомобиля. Немаловажную роль в определении скорости машины играет состояние и тип дороги. Обычно выделяются четыре типа дорог:

- автомагистрали,
- дороги регионального значения,
- дороги областного значения,
- дороги местного значения.

Стоит также обратить внимание на влияние погодных условий на состояние дорожного полотна. Особенно необходимо учесть количество осадков и сочетание температуры и влажности. Так, чем больше осадков на дороге, тем меньше у автомобиля будет коэффициент сцепления шин с дорогой. По этой причине для обеспечения одинакового уровня безопасности на дороге требуется определенное снижение скорости, что влияет на время движения груза. Температура и влажность окружающего воздуха также влияет на скорость движения. Но в этом случае зависимость очень небольшая, так как эти факторы влияют в основном на водителя и зависят от его физического и психологического состояния.

Существуют определенные ограничения, налагающиеся на представленную задачу.

Во-первых, каждый пункт маршрута должен быть пройден один раз.

Во-вторых, сумма весов или объемов грузов, направленных по определенному маршруту, не должна быть более грузоподъемности или вместительности автомобиля. Если это условие не выполняется, маршрут необходимо разбивать на несколько кольцевых маршрутов.

В-третьих, при составлении маршрута нельзя не учитывать и такой важный фактор, как время работы погрузочно-разгрузочных узлов. Ведь несовпадение времени прибытия в пункт назначения и времени его работы ведет к простоям и издержкам хранения.

С учетом всех ограничений общая форма задачи маршрутизации может быть записана как:

$$M = F(S, \{f(G), T_a, T_d, W\}) \rightarrow \min,$$

где  $V$  – средняя скорость движения автомобиля на этом маршруте

$G$  – загруженность автомобиля на этом маршруте.

$T_a$  – тип автомобиля.

$T_d$  – тип дороги.

$S$  – длина маршрута.

$W$  – состояние погоды.

С ограничениями:

$$\begin{aligned} T_{\min} &\leq T \leq T_{\max} \\ \sum S_j &\leq Q \\ \sum X_{ij} &= 1, \end{aligned}$$

где  $S_j$  – объем товара в каждом пункте маршрута ( $j=1..n$ ).

$Q$  – грузоподъемность машины.

$T_{\min}, T_{\max}$  – границы временного интервала работы узлового пункта.

$T$  – время прибытия машины в узел.

$X_{ij}$  – выбранный узел в маршруте.

Суть метода заключается в том, чтобы, отталкиваясь от исходной схемы развозки, по шагам перейти к оптимальной схеме развозки с кольцевыми маршрутами. Для этого необходимо составить матрицу километровых выигрышей. При ее составлении надо учесть ограничения, приведенные выше: тип дороги между пунктами маршрута, погода на этих участках и загруженность автомобиля. На основании этого, вводится такая величина, как виртуальное расстояние между пунктами.

**Виртуальное расстояние** – это реальное расстояние между пунктами маршрута, скорректированное в большую или меньшую сторону при помощи различных коэффициентов зависимости от учитываемых факторов.

Затем, составляются маршруты развозки грузов в соответствии с классическим методом Кларка-Райта [1, 3], но при этом после каждой итерации проверяется дополнительное ограничение по времени: попадает ли время прибытия и отправления автомобиля в интервал работы пункта назначения. Обычно время автомобиля берется с определенной погрешностью, заранее заданной экспертом. Это необходимо для включения различных форс-мажорных ситуаций, а также для учета личных качеств водителя, таких как опыт, ответственность, исполнительность и другие.

После построения маршрута развозки груза строится план развозки с включением времени прибытия, разгрузки, погрузки и отправления автомобиля из пунктов маршрута.

Таким образом, при использовании данного метода оптимизации маршрутизации транспортных перевозок были дополнительно учтены различные факторы, влияющие на время доставки грузов

по пунктам назначения. Учитывая эти параметры, оптимизация маршрута методом Кларка-Райта стала более точной и экономичной. Затраты на реализацию этого алгоритма невелики, что с учетом большой экономии времени и средств на разработку оптимального маршрута представляет собой довольно выгодные условия для различных транспортных фирм-перевозчиков и крупных логистических компаний.

***Список использованных источников:***

1. Вагнер, Г. Основы исследования операций. / Г. Вагнер. Т. 1, 2 – Москва: Мир, 1972.
2. Смехов, А.А. Введение в логистику. / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993
3. Транспортная логистика: учебное пособие. – М.: Бранусс, 1996