

Решение задачи планирования маршрутов с учётом временных окон

Т.В. Бондаренко, А.И. Гарибов, Е.А. Федотов

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород*

Аннотация: Многие организации в процессе своей деятельности обращаются к услугам, связанным с доставкой различных категорий грузов. За процесс перемещения необходимого количества груза в заданную точку с использованием оптимального маршрута отвечает транспортная логистика. При этом часто возникает дополнительное ограничение - доставка груза в заданную точку должна осуществляться строго в течение определённого временного интервала, то есть временного окна. Наличие временных окон приводит к тому, что сформированные без их учёта маршруты не являются допустимыми. В рамках данной статьи рассматривается разработка собственного варианта решения задачи планирования и оптимизации маршрута с учётом временных окон.

Ключевые слова: маршрут, планирование маршрута, оптимизация маршрута, временные окна, задача планирования маршрутов.

В повседневной профессиональной деятельности людей достаточно часто возникают проблемы, связанные с решением задач планирования и оптимизации маршрутов. Это задачи, которые решают водители, почтальоны, менеджеры и руководители отделов, решающие вопросы доставки различных грузов в рамках города, области и страны. Налаженная работа транспортного комплекса обеспечивает важнейшие условия функционирования многоотраслевой экономики и реализацию основных направлений социально-экономического развития страны. Автомобильный транспорт обеспечивает более 55% объема грузоперевозок, при этом основной сферой его использования является подвоз грузов к магистральным видам транспорта, доставка грузов на короткие расстояния, внутригородские перевозки, доставка товара к месту реализации или к получателю [1].

Логистика — это наука, которая изучает организацию и управление различными грузовыми потоками. При этом перевозку материальных грузов изучает отдельный подраздел логистики, транспортная логистика.

Транспортная логистика – организация движения заданного количества товара в определенную точку, использующая оптимальный маршрут с

минимально возможными затратами [2].

Производство любого вида товара требует существенных затрат, в состав которых включается себестоимость товара, оплата заработной платы, стоимость доставки и хранения. Затраты, связанные с движением материальных грузов, начиная от сырья и заканчивая получением продукта потребителем, могут достигать 50% от суммарных затрат. Основная цель транспортной логистики — выполнение следующих задач: нужный груз в требуемой точке, в определённое время, в заданном количестве и с наименьшими возможными затратами [3].

Успешная логистическая деятельность основана на сокращении транспортных затрат, достигаемых применением эффективных транспортных маршрутов, которые получаются при решении задачи построения оптимального маршрута для заданного числа клиентов.

В 1959 году была опубликована первая официальная работа по оптимизации маршрутов, посвященная задаче маршрутизации транспорта Vehicle Routing Problem (VRP). Задача VRP принадлежит классу NP-сложных задач, сложность которых экспоненциально зависит от объема исходных данных. Алгоритмами решения VRP задачи являются: алгоритм Кларка-Райта, алгоритм заметания, алгоритм лепестков [4].

Задача маршрутизации доставки грузов имеет наибольшую значимость при использовании автомобильных транспортных средств, так как сеть автомобильных дорог является широкой и постоянно растущей. Для любого маршрута существуют его характеристики и критерии оценивания, среди которых можно выделить траекторию движения, дальность маршрута, гибкость и сложность. *Гибкость* — это возможность выбора одного маршрута из нескольких доступных, а также возможность изменения направления маршрута.

Задача транспортной маршрутизации позволяет получить оптимальные

маршруты доставки груза от склада ко всем клиентам с учетом определенных ограничений. Существует множество вариантов решения задачи маршрутизации, различающихся по ключевым признакам. Если число найденных маршрутов превышает количество доступных транспортных средств, то необходима корректировка найденного решения [5, 6]. В задаче VRP применяются понятия: транспортное средство, вершина (точка, клиент, заказчик), депо (склад, база, пункт производства). Параметром оптимизации маршрута может служить общая стоимость объезда транспортным средством всех клиентов согласно выбранному маршруту. Для расчёта стоимости используется количество израсходованного топлива, которое напрямую зависит от пройденного расстояния, а также от характеристик транспортного средства [7].

Одним из популярных и удобных методов решения задачи планирования маршрута является алгоритм Кларка-Райта. Каждый маршрут начинается и заканчивается в вершине-депо. Множество маршрутов покрывает все вершины-клиенты, причем каждая из них входит в состав только одного маршрута, однократно. Минимально необходимое количество маршрутов определяется в процессе решения задачи и не должно превышать количество имеющихся транспортных средств [8].

В соответствии с алгоритмом Кларка-Райта распределение точек по маршрутам выполняется таким образом, чтобы сумма расстояний по всем маршрутам была минимальной. В один маршрут с большей вероятностью попадут те точки, при добавлении которых общий пробег маршрута увеличивается незначительно. Соответственно, основной оценкой эффективности маршрута является расстояние [9].

Однако в случае наличия временных окон критерии эффективности меняются. Под временным окном для точки понимается промежуток времени, в течение которого клиент готов принять груз. Если транспортное

средство приезжает в нерабочее время, необходимо ждать, когда точка начнёт работу. Наличие времени ожидания должно приводить к уменьшению эффективности маршрута, причём ухудшение оценки маршрута должно быть пропорционально времени ожидания открытия точки с момента, когда транспортное средство приехало в указанный пункт. Соответственно, при оценке эффективности маршрута основным критерием теперь является время, за которое выполняется маршрут [10].

Рассмотрим процесс оценки на примере двух точек маршрута A и B , для которых заданы временные окна. Расстояние между точками A и B 150 км. Транспортное средство отправляется из точки A в точку B со средней скоростью 75 км/ч. В первую точку маршрута A транспортное средство прибывает вовремя, а выезжает в конце временного окна. Рассмотрим примеры оценки маршрута при различных временных окнах (рис. 1).

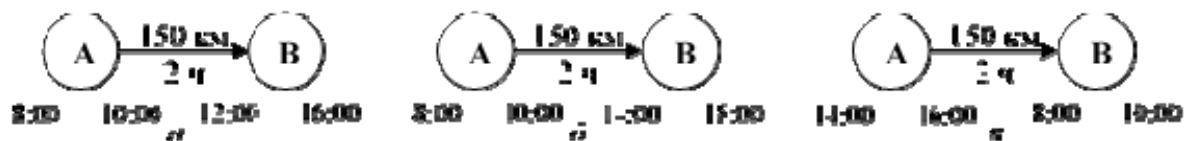


Рис. 1 — Маршрут между точками A и B с учётом временных окон

Во всех трёх случаях расстояние по маршруту составляет 150 км, но с учётом разного времени открытия и закрытия заданных точек будет разная оценка времени маршрута.

Случай a : транспортное средство выезжает из точки A в 10:00. Транспортное средство приезжает в точку B в 12:00. Время по маршруту: 2 ч.

Случай b : транспортное средство выезжает из точки A в 10:00. Транспортное средство приезжает в точку B в 12:00. Время по маршруту: 4 ч. Так как транспортное средство приезжает в точку B до открытия временного окна, то оно вынуждено простаивать 2 часа, значит общее время маршрута с учетом времени простоя составит 4 часа.

Случай v : транспортное средство выезжает из точки A в 16:00.

Транспортное средство приезжает в точку B в 18:00. Время по маршруту: 16 ч. Так как транспортное средство приезжает в точку B после закрытия объекта, то оно вынуждено простаивать в ожидании его открытия 14 часов, значит общее время маршрута с учетом времени простоя составит 16 часов.

Для того чтобы алгоритм Кларка-Райта мог эффективно планировать маршруты с учётом временных окон, оценка эффективности должна учитывать не только расстояние между каждой парой точек, но и возможное время ожидания открытия второй точки после выезда из первой. При этом главная проблема заключается в том, что необходимо объединить оценки по расстоянию и по времени таким образом, чтобы они были соразмерными и адекватными действительности.

Предлагается время ожидания открытия объекта с момента его посещения считать временем простоя, или временем упущенной выгоды. Минимальное время простоя равно $\text{MAX}(dT(i, j) - t_{ij}, 0)$, где t_{ij} — время пути из точки i в точку j , $dT(i, j)$ — минимальное «расстояние по времени» между временными окнами точек i и j . Соответственно, если транспортное средство может выехать во время работы первой точки и приехать во вторую в её рабочее время, минимальное время простоя равно нулю.

Оценкой времени простоя можно считать расстояние, которое транспортное средство могло бы проехать за это время с назначенной средней скоростью. Средняя скорость может быть выбрана произвольно, с учётом характеристик транспортного средства или с учётом особенностей маршрута. Таким образом, выполняется переход от оценки времени к «фиктивному» расстоянию, которое прибавляется к расстоянию между двумя точками. В итоге получается так называемое «оценочное» расстояние между двумя объектами, учитывающее минимально возможное время простоя.

В алгоритме Кларка-Райта вместо матрицы расстояний можно использовать матрицу «оценочных» расстояний. Такая матрица в общем

случае не будет симметричной. Точки с непересекающимися временными окнами с большей вероятностью попадут в разные маршруты.

После распределения точек по маршрутам для каждого маршрута выполняется решение задачи оптимизации маршрута (TSP). Для этого можно использовать любой известный метод. Однако для учёта временных окон необходимо задавать время выезда из точки-депо (склада), основным критерием минимизации может являться время прибытия в конечную точку. Выбираем первый маршрут и применяем к нему все возможные варианты перестановок, при этом начало и конец каждого из маршрутов не изменяются. По каждой перестановке корректируем время в пути и расстояние с учетом временных окон. Вычисляем показатель оптимальности, расход топлива, по формуле: $S = \sum_{i=1}^p \rho_i w$, где ρ_i — расстояние между двумя точками маршрута; w — вес перевозимого груза, который уменьшается после отгрузки каждому из клиентов по очереди. Выбираем перестановку с лучшим показателем. Таким образом, будут получены маршруты, реализующие все заявки на транспортировку грузов, с учетом временных окон.



Литература

1. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Хачатурян А.В Планирование и организация грузовых автомобильных перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/869 (дата обращения 14.09.2019)
2. Логистика: эффективный стратегический инструмент // infostart.ru. URL: www.infostart.ru/public/443585 (дата обращения: 14.09.2019).
3. Аникин Б.А Логистика: учебник. - М.: ИНФРА-М, 2012. – 368 с.
4. Скукис А.Е. Теория оптимальных решений: оптимизационные задачи в транспортной логистике. - М.: АСВ, 2015. - 106 с.
5. Dantzig G. B., Ramser J. H. The Truck Dispatching Problem. Management Science. 2008. №1. pp. 86-89 URL: jstor.org/stable/2627477 (дата обращения 14.09.2019)
6. Крупко А.М. Исследования направлений повышения эффективности автомобильного транспорта леса // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/984
7. Schrijver A. On the history of combinatorial optimization. Handbook of Discrete Optimization. 2005. 63 p.
8. Павлов Д.И. Метод Кларка-Райта. Оптимальное планирование маршрутов грузоперевозок // URL: infostart.ru/public/443585/ (дата обращения: 11.10.2019)
9. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов: учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2009. - 384 с.
10. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 240 с.

References

1. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., KHachaturyan A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/869mkom (data obrashcheniya: 14.09.2019).
 2. Logistika: effektivnyy strategicheskij instrument [Logistics: an effective strategic tool]. infostart.ru. URL: infostart.ru/public/443585 (data obrashcheniya: 14.09.2019).
 3. Anikin B.A Logistika: uchebnik [Logistics: textbook]. M.: INFRA-M. 2012. 368 p.
 4. Skukis A.E. Teoriya optimal'nyh reshenij: optimizacionnye zadachi v transportnoj logistike [Theory of optimal solutions: optimization problems in transport logistics]. M.: ACB. 2015. 106 p.
 5. Dantzig G. B., Ramser J. H. Management Science. 2008. №1. pp. 86-89. URL: jstor.org/stable/2627477 (data obrashcheniya 14.09.2019)
 6. Krupko A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/984 (data obrashcheniya: 14.09.2019).
 7. Schrijver A. K istorii kombinatornoj optimizacii. Spravochnik po diskretnoj optimizacii [On the history of combinatorial optimization. Handbook of Discrete Optimization]. 2005. 63 p.
 8. Pavlov D.I. Metod Klarka-Rayta. Optimal'noye planirovaniye marshrutov gruzoperevozok [Clark-Wright Method. Optimal freight route planning]. infostart.ru URL: infostart.ru/public/443585/ (data obrashcheniya: 11.010.2019)
 9. Novikov F. A. Diskretnaya matematika dlya programmistov: uchebnik dlya vuzov [Discrete Mathematics for Programmers: A Textbook for High Schools]. SPb.: Piter. 2009. 384 p.
 10. Sigal I.KH., Ivanova A.P. Vvedeniye v prikladnoye diskretnoye programmirovaniye: modeli i vychislitel'nyye algoritmy [Introduction to Applied Discrete Programming: Models and Computational Algorithms]. M.: FIZMATLIT.
-



2007. 240 p.