

УДК 656.072

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК КРУПНОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ

Семенов Юрий Николаевич,
канд. техн. наук, доцент, e-mail: semenov63@mail.ru
Семенова Ольга Сергеевна,
канд. техн. наук, доцент, e-mail: semenov63@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация

Обоснована необходимость в автоматизации построения маршрутов в условиях ежедневно меняющегося спроса. Описаны условия, которые необходимо соблюдать при построении маршрутов. Обозначены дополнительные критерии, учитывающие конкретные условия перевозок: вида груза, условия погрузки и выгрузки, дислокация потребителей и поставщиков.

Построен алгоритм, учитывающий ограничения на грузоподъёмность и паллетоёмкость автомобиля, себестоимость перевозочного процесса, заявки на поставку, занятость автомобиля, наличие аппарели. Указаны возможные пути оптимизации программного кода.

Обоснована необходимость использования базы данных для хранения информации о парке автомобилей, потребителях, маршрутах. Приведен пример наполнения таблицы базы данных, в которой хранится информация о составленных маршрутах.

Ключевые слова: задача маршрутной транспортной модели, моделирование

Введение

При наличии ежедневного изменяющегося спроса на определенные группы товаров существует необходимость в регулярном построении маршрутов перевозок грузов. При этом важным является минимизация затрат на перевозку [1-5]. В ряде случаев построение маршрутов, близких к оптимальным, возможно с помощью Microsoft Excel, в котором можно создать модель перевозочного процесса и провести её анализ [6].

Однако, при необходимости учета таких факторов, как разномарочный подвижной состав, различная грузоподъемность транспортных средств (ТС), наличие специальных приспособлений для погрузки/выгрузки, занятость автомобиля, наличие прицепа, паллетоёмкость транспортного средства и прицепа, условия подъезда к пунктам разгрузки, ежедневно меняющийся спрос, необходимость максимального использования собственных автомобилей и т.д. требуется автоматизация построения маршрутных схем [2, 7, 8].

При смешанном характере перевозок (крупные и мелкие партии) логично предположить необходимость в первичном построении маршрутов для перевозки крупнопартионных грузов, которыми будем считать грузы, превышающие грузоподъемность и/или паллетоёмкость транспортного средства или суммарную грузоподъемность и/или паллетоёмкость транспортного средства и прицепа (при наличии).

Математическая постановка задачи

Существует достаточное количество алгоритмов, позволяющих оптимизировать построение маршрутов перевозок грузов крупными партиями

[9-11]. Обычно при этом используется критерий минимизации себестоимости перевозок при максимальной загрузке транспортного средства и прицепа с соблюдением условий:

$$Q_i \leq q_i + q'_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где Q_i – объём груза, перевозимый i -м ТС, кг;

q_i – грузоподъемность i -го ТС, кг;

q'_i – грузоподъемность прицепа i -го ТС, кг;

N – количество ТС в парке (включая наёмный транспорт).

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P t_{i,j} \leq 8, \quad (2)$$

где $t_{i,j}$ – время работы i -го ТС с j -м потребителем; P – количество потребителей.

Таким образом, отобранные и загруженные согласно условиям (1, 2) ТС движутся по маятниковым маршрутам. В случае междугородних перевозок вышеуказанные ТС считаются занятыми на весь текущий день и не могут быть выбраны для перевозок по другим или аналогичным маршрутам. При этом время работы на маршруте может превышать продолжительность рабочей смены, то есть условие (2) может не выполняться.

Существуют различные пути снижения затрат на транспортировку груза: выбор оптимального подвижного состава, организация движения по кратчайшему пути, разработка развозочных маршрутов, кооперация перевозчиков на сети большой размерности [12,13].

На практике количество критериев существенно возрастает. К вышеперечисленным критериям добавляют дополнительные, учитывающие конкретные условия перевозок и зависящие от вида груза, условий погрузки и выгрузки, дислокации потребителей и поставщиков [2, 7, 8]. Часть критериев относится к транспортным средствам, часть к потребителям груза (подразделениям).

Рассмотрим построение маршрутов перевозки продуктов питания, упакованных в паллеты. В этом случае необходимо учитывать ограничения:

$$P'_j \leq p_i + p'_i, \quad (3)$$

$$F_i = 1, \quad (4)$$

где P'_j – количество перевозимых паллет j -му подразделению, шт;

p_i – паллетоёмкость i -го ТС, шт;

p'_i – паллетоёмкость прицепа i -го ТС, шт;

F_i – возможность использования i -го ТС для работы, т.е. проверка на занятость:

$$F_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{е ТС свободно,} \\ 0, & \text{если } i - \text{е ТС занято.} \end{cases} \quad (5)$$

Если ТС имеет аппарель, предпочтительнее, чтобы оно работало с подразделениями, которые требуют наличия аппарели на автомобиле, то есть

$$A_i = 1, R_j = 1, \quad (6)$$

где

$$A_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{е ТС имеет аппарель,} \\ 0, & \text{если } i - \text{е ТС не имеет аппарель;} \end{cases}$$

$$R_j = \begin{cases} 1, & \text{подразделение требует аппарели,} \\ 0, & \text{подразделение не требует аппарели.} \end{cases}$$

Если ТС не имеет аппарель, то предпочтите-

тельнее, чтобы оно работало с подразделениями, которые не требуют наличия аппарели на автомобиле, то есть

$$A_i = 0, R_j = 0. \quad (7)$$

При невыполнении условий (6) или (7) подразделение обслуживает автомобиль менее пригодный по своим характеристикам, чем требуется.

Дислокация некоторых подразделений предполагает наличие ограничений на грузоподъёмность автомобилей, то есть

$$q_i + q'_i \leq Q_j^{\max} \quad .(8)$$

Построение алгоритма программы и его реализация

Перед построением маршрутов необходимо найти кратчайшие расстояния между начальным и конечным пунктом. В данной работе матрица кратчайших расстояний была получена не расчётными методами, а экспериментальным путём с помощью GPS-навигаторов. Сохранена матрица была в отдельном файле Microsoft Excel, что позволяет при необходимости оперативно изменять данные. В этом же файле прописана текущая потребность в паллетах каждого подразделения и вес одной паллеты.

Информация о подразделениях (наименование, адрес, вид приёмки продукции, ограничение по грузоподъёмности, необходимость в аппарели, время погрузки, время приёма, время оформления и др.), парке транспортных средств (государственный номер, грузоподъёмность ТС и прицепа, паллетоёмкость ТС и прицепа, наличие аппарели, стоимость 1км, стоимость 1ч, и др.) была помещена в отдельные таблицы MS Access.

Информация о построенных маршрутах также хранится в базе данных [14] в виде отдельной таблицы "Маршруты" (рис. 1).

ID	Дата	Под-раз-деле-ние	ID ТС	Но-мер реи-са	№ пп	Тип	Кол- пал-лет ЗК	Кол- пал-лет ХК	Стои-мость рейса	Время работы, мин	Вес	Длина ездки	Направле-ние
2900	10.06.2013	Ч28	78	1	1	маятниковый	16	0	6271,8	393,4483	4,8	216	Анж/Тайга/Яшкино
2901	10.06.2013	Ч64	75	1	1	маятниковый	11	1	7427,995	466,5517	3,48	306	Анж/Тайга/Яшкино
2902	10.06.2013	Ч65	76	1	1	маятниковый	12	0	5475,835	379,6552	3,6	222	Анж/Тайга/Яшкино
2903	10.06.2013	Ч68	56	1	1	маятниковый	10	0	3883,365	328,2758	3	182	Анж/Тайга/Яшкино
2904	10.06.2013	Ч78	57	1	1	маятниковый	10	0	4712,865	371,7242	3	224	Анж/Тайга/Яшкино
2905	10.06.2013	Ч65	58	1	1	развозочный	1	1	5364,657	430,3675	0,5	227,75	Анж/Тайга/Яшкино
2906	10.06.2013	Ч30	58	1	2	развозочный	4	1	5364,657	430,3675	1,272	227,75	Анж/Тайга/Яшкино
2907	10.06.2013	Ч28	58	1	3	развозочный	0	1	5364,657	430,3675	0,262	227,75	Анж/Тайга/Яшкино

Рис. 1. Пример наполнения таблицы "Маршруты"

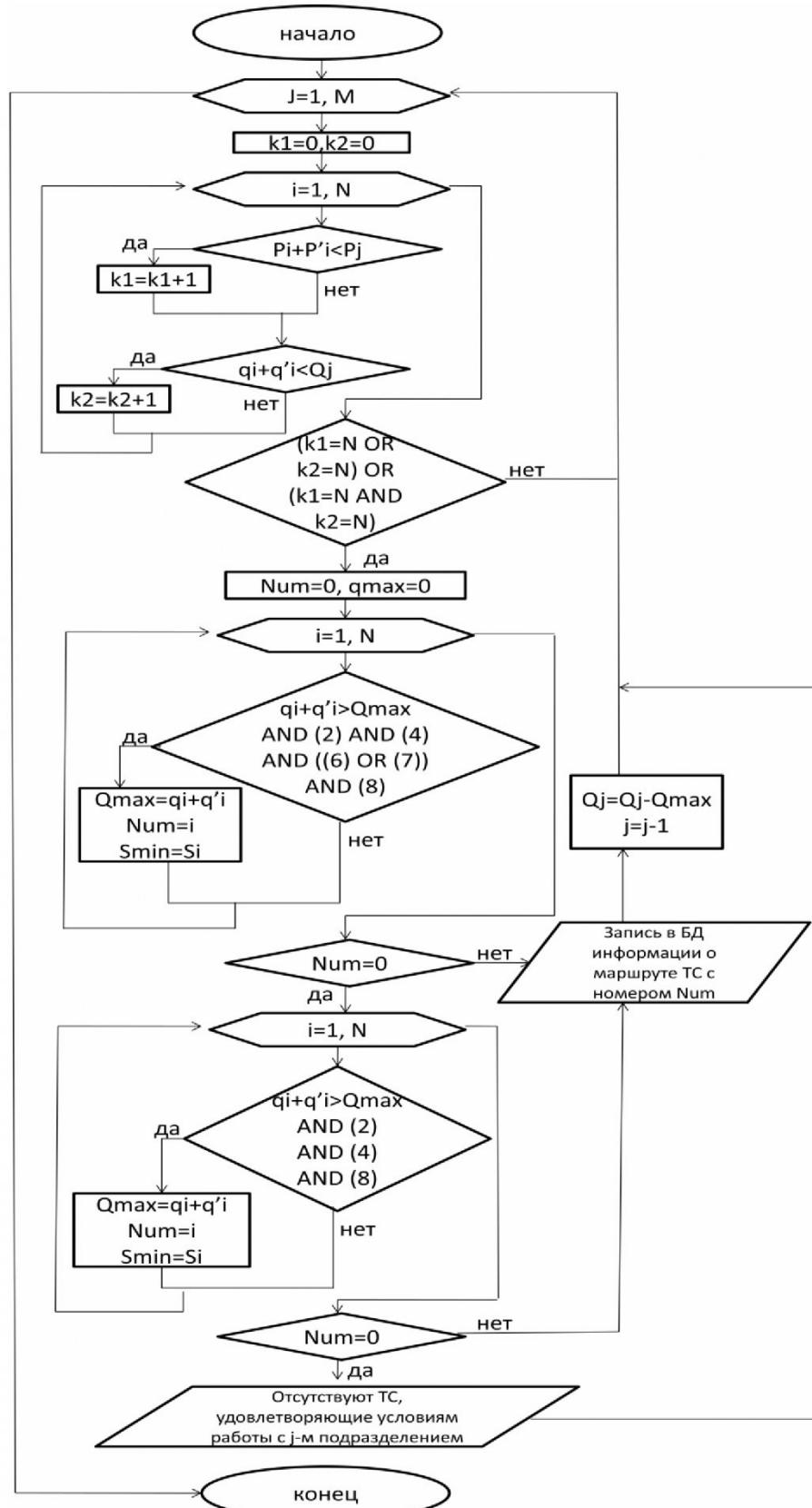


Рис. 2. Блок-схема поиска ТС для перевозки крупнопартионных грузов

При этом для каждого рейса отводится одна запись (для маятникового маршрута) или несколько (для развозочного маршрута). Так, например,

автомобиль №78 работает с подразделением Ч28 по маятниковому маршруту (запись 2900), а автомобиль №58 с тем же подразделением по раз-

возочному (запись 2907), обслуживая дополнительно подразделения Ч65, Ч30 (записи 2905, 2906).

Таким образом, при наличии объёма груза, предназначенного для j-го подразделения и превышающего грузоподъёмность и/или паллетоёмкость любого из автомобилей, строится один маршрут перевозки, на который привлекается несколько транспортных средств. Малая часть груза, которая осталась неперевезенной, доставляется транспортными средствами, работающими по развозочным маршрутам.

Укрупненный алгоритм поиска транспортных средств, удовлетворяющих критериям (1-8), представлен на рис. 2.

Для оптимизации программного кода часть операций проверки истинности или ложности условий осуществляется средствами Microsoft Access. Например, запрос, выделяющий из парка транспортных средств только те, которые свободны и те, которые не проработали в текущую дату заданного количества часов, позволяет исключить подобную проверку из программного кода и сократить время поиска.

Приведенный алгоритм реализован на языке Visual Basic, полученная программа зарегистрирована в ФГУ ФИПС [15]. Тестовый вариант программы "Маршрутизация перевозок грузов, упакованных в паллеты" внедрен в ООО «Система Чибис».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомин, А. М. Вероятностный анализ одной задачи маршрутизации // Дискретн. анализ и исслед. опер. – 2014. – № 21:4. – С. 42–53.
2. Корягин, М. Е. Исследование и оптимизация математических моделей процессов циклической перевозки в логистических системах. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. (05.13.18). Кемерово, 2003. 12 с.
3. Зак, Ю. А. Математические модели и алгоритмы оперативного управления потоками корреспонденции и грузов в сети почтовых перевозок/ Ю.А. Зак, Е.Б. Турок//Пробл. управл.– 2011. – № 5, С. 32–39.
4. Григорьева, И. С. Один класс эвристических алгоритмов для задачи маршрутизации / И.С. Григорьева // Исслед. по прикл. матем. – Казань: Изд-во Казанского ун-та. – 1992. – №18. – С. 38–48.
5. Бронштейн, Е. М. О построении семейства маршрутов доставки школьников за минимальное время / Е. М. Бронштейн, Д. М. Вагапова, А. В. Назмутдинова // Автомат. и телемех.–2014. – № 7. –С. 43–51.
6. Мур, Дж. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Джейффири Мур [и др.], 6 изд. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1020 с.
7. Бронштейн, Е. М. Об оптимальной доставке грузов транспортным средством с учетом зависимости стоимости перевозок от загрузки транспортных средств по нескольким циклическим маршрутам / Е. М. Бронштейн, П. А. Зелёв // Информ. и её примен.– 2014. – №8:4. – С. 53–57.
8. Kara, I. Energy minimizing vehicle routing problem. Combinatorial optimization and applications / Kara, I., B. Y. Kara, and M. Kadri Yetis // Lecture notes in computer science ser. – 2007. – 4616:62–71.
9. Тюрин А.Ю. Особенности решения задач многоуровневой системы доставки товаров / А.Ю. Тюрин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1. – С. 130-134.
10. Ипатов, А.В. Модифицированный метод имитации отжига в задаче маршрутизации транспорта / А. В. Ипатов // Тр. ИММ УрО РАН . – 2011. – № 4. – С. 121–125.
11. Cordeau, J. New heuristics for the vehicle routing problem / J.Cordeau, M.Gendreau, A.Hertz, G.Laporte, J.Sormany // Logistics systems: Design and optimization. New York: Springer. – 2005. – Р. 279–297.
12. Зенкевич, Н.А. Кооперативное сильное равновесие в игре маршрутизации транспортных средств / Николай А. Зенкевич, Андрей В. Зятчин // МТИП. – 2013. – №5:3. – С.3–26.
13. Ergun, Ö. Shipper collaboration / Ergun Ö., Kuyzu G., Savelsbergh M.W.P.// Computers & Operations Research. – 2007. – V. 34. – P. 1551–1560.
14. База данных №2014620080 Российская Федерация. Маршруты перевозки грузов, пакетированных в паллеты / Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова; заявитель и правообладатель КузГТУ. – №2013621507; заявл. 15.11.13; рег. 15.01.14.
15. Программа для ЭВМ №2014610429 Российская Федерация. Маршрутизация перевозок грузов, упакованных в паллеты / Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова; заявитель и правообладатель КузГТУ. – №2013660329; заявл. 12.11.13; рег. 09.01.14.

AUTOMATED ROUTE PLANNING FOR GOODS IN BULK HAULAGE

Semenov Yriy N.,
C.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: semenov63@mail.ru
Semenova Olga S. ,
C.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: semenov63@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

Need for automated route planning for goods in bulk haulage in changing conditions is substantiated. Conditions to meet in route planning are described. Additional criteria taking into account the specific conditions of haulage are described, i.e. type of cargo, conditions of loading and unloading, location of consumers and suppliers.

Algorithm takes into account the limits on the demand, vehicle carrying capacity and pallet capacity, vehicle ramp access, trailer availability, vehicle availability, accessways to unloading points. Possible ways of optimizing the code are indicated.

Need to use a database to store information about the car fleet, consumers, routes is proved. The database table with the information about mapped routes is given as an example.

Keywords: VRP, capacitated vehicle routing problem, transport model, modeling, routing

REFERENCES

1. Istomin A. M. Veroyatnostnyy analiz odnoy zadachi marshrutizatsii [Probabilistic analysis of a routing problem]. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. No. 21:4 (2014). Pp. 42–53. (rus)
2. Koryagin M. E. Issledovanie i optimizatsiya matematicheskikh modeley protsessov tsiklicheskoy perevozki v logisticheskikh sistemakh [Investigation and optimization of mathematical models of cyclic processes of transportation in logistics systems] : PhD thesis. Kemerovo. 2003. (rus)
3. Zak Yu. A., Turok E. B., Matematicheskie modeli i algoritmy operativnogo upravleniya potokami korrespondentsii i gruzov v seti pochtovykh perevozok [Mathematical models and algorithms for efficient flow management of mail and cargo in the network of postal traffic]. *Control Sciences*. 2011. No. 5. Pp. 32–39. (rus)
4. Grigor'eva I. S. Odin klass evristicheskikh algoritmov dlya zadachi marshrutizatsii [A class of heuristic algorithms for the routing problem]. *Journal of Mathematical Sciences*. 18, Izd-vo Kazanskogo un-ta, Kazan'. 1992. Pp.38–48. (rus)
5. Bronshteyn E. M., Vagapova D. M., Nazmutdinova A.V. O postroenii semeystva marshrutov dostavki shkol'nikov za minimal'noe vremya [On constructing a family of student delivery routes in minimal time]. *Automation and Remote Control*. 2014. No.7. Pp.43–51. (rus)
6. Jeffrey H. Moore, Larry R. Weatherford Decision modeling with Microsoft Excel, 6 edition. Moscow : Izdatel'skiy dom "Vil'yams", 2004. 1020 p. (rus)
7. Bronshteyn E. M., Zel'ev P. A. Ob optimal'noy dostavke gruzov transportnym sredstvom s uchetom zavisimosti stiostnosti perevozok ot zagruzki transportnykh sredstv po neskol'kim tsiklicheskim marshrutam [About optimum delivery of freights by the vehicle taking into account dependence of cost of transportsations on loading of vehicles on several cyclic routes], *Informatics and Applications*. 2014. No. 8:4. Pp. 53–57. (rus)
8. Kara, I., B. Y. Kara, and M. Kadri Yetis. 2007. Energy minimizing vehicle routing problem. Combinatorial optimization and applications. Eds. A.W.M. Dress, Y. Xu, and B. Zhu. Lecture notes in computer science ser. 4616:62–71.
9. Tyurin A.Yu. Osobennosti resheniya zadach mnogourovnevoy sistemy dostavki tovarov [Features solving problems of multi-tier system of delivery of goods]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2015. №1. Pp. 130-134. (rus)
10. Ipatov A. V., Modifitsirovannyy metod imitatsii otzhiga v zadache marshrutizatsii transporta [Enhanced simulated annealing in the vehicle routing problem], *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics (Supplementary issues)*, 2011. No. 4. Pp. 121–125. (rus)
11. J.Cordeau, M.Gendreau, A.Hertz, G.Laporte, J.Sormany New heuristics for the vehicle routing problem. *Logistics systems: Design and optimization*. New York: Springer. 2005. Pp. 279–297.
12. Zenkevich Nikolay A., Zyatchin Andrey V., "Kooperativnoe sil'noe ravnovesie v igre marshrutizatsii transportnykh sredstv [Cooperative strong equilibrium in the routing game vehicles]. *Automation and Remote Control*. 2013. No.5:3. Pp. 3–26. (rus)
13. Ergun Ö., Kuyzu G., Savelsbergh M.W.P. Shipper collaboration. *Computers & Operations Research*. 2007. V. 34. Pp. 1551–1560.
14. Semenov Yu.N., Semenova O.S., The database №2014620080 Russian Federation. Marshruty perevozki gruzov, paketirovannykh v palleyt [Routes the transport of goods, in pallets packed]. №2013621507; Appl. 15.11.13; reg. 15.01.14. (rus)
15. Semenov, Yu.N., Semenova, O.S., The computer software №2014610429 Russian Federation. Marshrutizatsiya perevozok gruzov, upakovannykh v palleyt [Routes the transport of goods, in pallets packed]. №2013660329; Appl. 12.11.13; reg. 09.01.14. (rus)