

УДК 656.072

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАЯТНИКОВЫХ МАРШРУТОВ

Семенов Юрий Николаевич¹,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: semenov63@mail.ru

Семенова Ольга Сергеевна¹,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: semenov63@mail.ru

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация

Описана модель выбора транспортных средств для осуществления перевозок грузов по маятниковым маршрутам. При этом учтены ограничения на грузоподъёмность и паллетоёмкость автомобиля, себестоимость перевозочного процесса, заявки на поставку.

Приведены результаты построения табличной модели в Microsoft Excel. Проведена оптимизация модели, получен оптимальный план назначений транспортных единиц. Отмечены достоинства и недостатки полученной модели.

Ключевые слова: задача маршрутизации транспорта, транспортная модель, моделирование, оптимизация

Введение

Необходимость в регулярном построении маршрутов перевозок грузов связана с наличием ежедневно меняющегося спроса на определенные группы товаров: продукты питания, средства масовой информации, лекарственные препараты и т.д. Для предприятий, занимающихся реализацией вышеперечисленных групп товаров, важным является минимизация затрат на перевозку [например, 1-4], в том числе временных [5]. Существуют различные пути снижения данного вида затрат: выбор оптимального подвижного состава, организация движения по кратчайшему пути, разработка развозочных маршрутов, кооперация перевозчиков на сети большой размерности [6-9].

В ряде случаев построение маршрутов, близких к оптимальным, возможно с помощью Microsoft Excel, в котором можно создать модель перевозочного процесса и провести её анализ. Для более сложных задач, учитывающих большое число различных факторов, например, для двухступенчатых задач размещения логистических пунктов и маршрутизации [10], задач CVRP большой размерности [1, 11, 12], используются эвристические и метаэвристические методы. Для одновременного построения маятниковых и развозочных маршрутов с учётом занятости транспортных средств (ТС), длительности рабочей смены, наличия специальных приспособлений для погрузки/выгрузки, условий подъезда к пунктам разгрузки применяют прикладное программное обеспечение, например, [13, 14].

Табличная модель снабжения подразделений товаром, хранящегося на n складах и поставляемых m подразделениям подробно описана в [15]. При этом предполагается, что весь парк транспортных средств имеет одну грузоподъёмность и к каждому складу прикреплен один автомобиль,

который осуществляет перевозку грузов подразделениям. Данная модель не учитывает ограничение на грузоподъёмность ТС и, следовательно, может использоваться только в случае, когда автомобили одинаковой грузоподъёмности работают каждый со своим складом.

В работах [2, 3, 16, 17] предлагается при постановке задач маршрутизации учитывать ряд дополнительных факторов: зависимость стоимости транспортировки от загрузки ТС и сложности маршрута, особенностей местности и района, технической оснащенности пунктов разгрузки, организации работ и квалификации обслуживающего персонала и др.

Математическая постановка задачи

Для иллюстрации учёта грузоподъёмности и паллетоёмкости автомобилей рассмотрим перевозку грузов парком ТС с одного склада нескольким потребителям по маятниковым маршрутам. Модель позволяет распределить автомобили i между подразделениями j с учётом себестоимости перевозочного процесса, грузоподъёмности, паллетоёмкости ТС и заявок на поставку.

Определим показатель эффективности, который необходимо максимизировать или минимизировать. В данной задаче этим показателем эффективности являются затраты на перевозку, которые необходимо минимизировать. Таким образом, целевая функция имеет вид

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{i,j} \cdot x_{i,j} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$x_{i,j} = \overline{0,1},$$

где $x_{i,j}$ – количество i -х ТС, перевозящих груз j -му подразделению;

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Назначение										
2		TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6				
3	П1	0	0	0	0	0	=СУММ(С3:Н3)	\leq	1		
4	П2	0	0	0	0	0	=СУММ(С4:Н4)	\leq	1		
5	П3	0	0	0	0	0	=СУММ(С5:Н5)	\leq	1		
6	П4	0	0	0	0	0	=СУММ(С6:Н6)	\leq	1		
7		=СУММ(С3:С6)	=СУММ(Д	=СУММ(Е	=СУММ(Ф	=СУММ(Г	=СУММ(Н				
8		\leq	\leq	\leq	\leq	\leq	\leq				
9		1	1	1	1	1	1				
10	Объём груза										
11		TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	Вес паллеты, кг			
12	П1	=C22*I12	=D22*I12	=E22*I12	=F22*I12	=G22*I12	=H22*I12	200			
13	П2	=C23*I13	=D23*I13	=E23*I13	=F23*I13	=G23*I13	=H23*I13	460			
14	П3	=C24*I14	=D24*I14	=E24*I14	=F24*I14	=G24*I14	=H24*I14	400			
15	П4	=C25*I15	=D25*K15	=E25*K15	=F25*L15	=G25*M7	=H25*N7	250			
16		=СУММ(С12:С15)	=СУММ(Д	=СУММ(Е	=СУММ(Ф	=СУММ(Г	=СУММ(Н				
17		\leq	\leq	\leq	\leq	\leq	\leq				
18	Грузоподъёмн ость	5000	1500	3000	10000	5000	20000				
19	Себестоимость перевозки 1 паллете	10	20	20	8	10	5				
20	Стоимость 1 км	17	11	15	30	17	50				
21	Количество перевезенных паллет								Спрос на товар, паллет	Остат Излиш к	
22	П1	=C3*C28	=D3*D28	=E3*E28	=F3*F28	=G3*G28	=H3*H28	=СУММ(С22:Н22)	\geq	16	=K22-
23	П2	=C4*C28	=D4*D28	=E4*E28	=F4*F28	=G4*G28	=H4*H28	=СУММ(С23:Н23)	\geq	26	=K23-
24	П3	=C5*C28	=D5*D28	=E5*E28	=F5*F28	=G5*G28	=H5*H28	=СУММ(С24:Н24)	\geq	10	=K24-
25	П4	=C6*C28	=D6*D28	=E6*E28	=F6*F28	=G6*G28	=H6*H28	=СУММ(С25:Н25)	\geq	6	=K25-
26		=СУММ(С22:С25)	=СУММ(Д	=СУММ(Е	=СУММ(Ф	=СУММ(Г	=СУММ(Н				
27		\leq	\leq	\leq	\leq	\leq	\leq				
28	Паллетоёмкост ь ТС	10	4	4	16	10	32				
29											
30	Себестоимость	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	Перевезено		Расстояни я	
31	П1	=C22*\$C\$19+2*C3*K31*\$C\$20	=D22*D\$1	=E22*E\$19	=F22*F\$1	=G22*G\$1	=H22*H\$1			12	
32	П2	=C23*\$C\$19+2*C4*K32*\$C\$20	=D23*D\$1	=E23*E\$19	=F23*F\$1	=G23*G\$1	=H23*H\$1			18	
33	П3	=C24*\$C\$19+2*C5*K33*\$C\$20	=D24*D\$1	=E24*E\$19	=F24*F\$1	=G24*G\$1	=H24*H\$1			24	
34	П4	=C25*\$C\$19+2*C6*K34*\$C\$20	=D25*D\$1	=E25*E\$19	=F25*F\$1	=G25*G\$1	=H25*H\$1			15	
35		=СУММ(С31:С34)	=СУММ(Д	=СУММ(Е	=СУММ(Ф	=СУММ(Г	=СУММ(Н	=СУММ(С35:Н35)			
36											

Рис. 1. Табличная модель

$C_{i,j}$ – удельные затраты, отражающие себестоимость перевозки 1 паллете i -м ТС и стоимость 1 км пробега от склада до j -го подразделения;

M – количество подразделений;

N – количество ТС в парке.

Ограничения данной модели:

$$\sum_{j=1}^M Q_{i,j} \leq q_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (2)$$

где $Q_{i,j}$ – объём груза, перевозимый i -м ТС j -му подразделению, кг,

q_i – грузоподъёмность i -го ТС, кг.

$$\sum_{j=1}^M P_{i,j} \leq p_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

где $P_{i,j}$ – количество паллет, перевозимое i -м ТС j -му подразделению, шт.,

p_i – паллетоёмкость i -го ТС, шт.

$$P_j \geq \sum_{i=1}^N p_{i,j}, \quad j = \overline{1, M} \quad (4)$$

где P_j – количество паллет, заказанное j -м подразделением, шт.,

$p_{i,j}$ – паллетоёмкость i -го ТС, перевозящего груз j -му подразделению, шт.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Назначение	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6				
3	П1	0	0	0	1	0	0		1 ≤	1	
4	П2	0	0	0	0	0	1		1 ≤	1	
5	П3	1	0	0	0	0	0		1 ≤	1	
6	П4	0	0	0	0	1	0		1 ≤	1	
7		1	0	0	1	1	1				
8		≤	≤	≤	≤	≤	≤				
9			1	1	1	1	1				
10	Объём груза							Вес			
11		TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	паллеты, кг			
12	П1	0	0	0	3200	0	0	200			
13	П2	0	0	0	0	0	14720	460			
14	П3	4000	0	0	0	0	0	400			
15	П4	0	0	0	0	0	0	250			
16		4000	0	0	3200	0	14720				
17		≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤			
18	Грузоподъёмность	5 000	1500	3000	10000	5000	20000				
19	Себестоимость перевозки 1 паллете										
20	Стоимость 1 км	10	20	20	8	10	5				
21	Количество перевезенных паллет	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	Перевезено	Спрос на товар, паллет	Остаток/Излишек	
22	П1	0	0	0	16	0	0	16 >	16	0	
23	П2	0	0	0	0	0	32	32 >	26	-6	
24	П3	10	0	0	0	0	0	10 >	10	0	
25	П4	0	0	0	0	10	0	10 >	6	-4	
26		10	0	0	16	10	32				
27		≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤			
28	Паллетеёмкость TC	10	4	4	16	10	32				
29											
30	Себестоимость	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6		Расстояния		
31	П1	0	0	0	848	0	0		12		
32	П2	0	0	0	0	0	1960		18		
33	П3	916	0	0	0	0	0		24		
34	П4	0	0	0	0	610	0		15		
35		916	0	0	848	610	1960	4334			
36											

Рис. 2. Результат оптимизации табличной модели

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \geq 1,$$

$$\sum_{j=1}^M x_{i,j} \leq 1,$$

то есть, в каждое подразделение должен быть направлен хотя бы один автомобиль, при этом не каждый автомобиль направляется по маршруту.

$$\sum_{i=1}^N Q_{i,j} \geq Q_j^*, \quad i = \overline{1, N} \quad (5)$$

где Q_j^* – объём груза, заказанный j -м подразделением, кг.

Так как данная модель является моделью минимизации, то ограничения в виде неравенств (4, 5) будет стремиться к равенству.

Построение табличной модели

Представим модель в табличном виде (рис.1).

Переменные решения (количество i -х ТС, перевозящих груз j -му подразделению) находятся в ячейках C3:H6. Параметрами модели являются: паллетеёмкость и грузоподъёмность автомобиля, вес паллете, себестоимость перевозки одной паллете, стоимость 1 км пробега, спрос, расстояния от склада до потребителей. В целевой ячейке I35 рассчитываются суммарные затраты на транспортировку груза (1), которые необходимо минимизировать. Переменные решения, параметры и целевая ячейка выделены серым цветом на рис. 1. Ограничениями построенной модели являются (2-5):

\$C\$16: \$H\$16 ≤ \$C\$18: \$H\$18
\$C\$3: \$H\$6 ≥ 0
\$C\$7: \$H\$7 ≤ \$C\$9: \$H\$9
\$I\$21: \$I\$25 ≥ \$K\$22: \$K\$25
\$I\$33: \$I\$6 ≤ \$K\$3: \$K\$6

Условие целочисленности переменных решения не указаны, так как если все значения спроса и предложения являются целыми числами, оптимальные значения переменных решения также будут целыми, что является исключением для транспортной модели [15].

В результате оптимизации модели с помощью надстройки Microsoft Excel *Поиск решения* получаем оптимальное назначение транспортных средств по подразделениям с учётом ограничений на паллетоёмкость, грузоподъёмность и согласно заявкам на перевозку (рис. 2).

Выводы

Данная модель несбалансированная, следовательно, грузоподъёмность и паллетоёмкость ТС используется не полностью. Колонка "Остаток/Излишек" показывает возможности парка ТС, которые могут быть использованы менеджером,

например, при построении развозочных маршрутов. При отсутствии собственного парка ТС модель позволяет нанимать автомобили необходимой грузоподъёмности и паллетоёмкости.

Построенная модель позволяет оптимизировать только маятниковые маршруты. Изменение ограничений, учитывающих привязку ТС к одному потребителю, и изменение расчёта себестоимости перевозок для развозочных маршрутов приводит к тому, что модель перестаёт быть линейной. Связано это с тем, что для учёта перемещения ТС от одного потребителя к другому возникает необходимость либо использовать функцию Excel ЕСЛИ, либо перемножать переменные решения между собой.

Кроме того, модель не учитывает занятость ТС, длительность рабочей смены, наличие специальных приспособлений для погрузки/выгрузки, условия подъезда к пунктам разгрузки.

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. Турук // 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. Зенкевич, Н.А. Кооперативное сильное равновесие в игре маршрутизации транспортных средств / Николай А. Зенкевич, Андрей В. Зятчин // МТИП. – 2013. – №5:3. – С.3–26.
7. Ergun, Ö. Shipper collaboration / Ergun Ö., Kuyzu G., Savelsbergh M.W.P.// Computers & Operations Research. – 2007. – V. 34. – P. 1551–1560.
8. Krajewska, M.A. Horizontal cooperation among freight carriers: request allocation and profit sharing / Krajewska M.A., Kopfer H., Laporte G., Ropke S., Zaccour G. // Journal of the Operational Research Society. – 2008. – V. 59. – P. 1483–1491.
9. Shchegryaev, A. Multi-period cooperative vehicle routing games / A. Shchegryaev, V. Zakharov. // Contributions to Game Theory and Management, 7 (2014), 349–359
10. Тюрин А.Ю. Особенности решения задач многоуровневой системы доставки товаров / А.Ю. Тюрин // Вестник КузГТУ. – 2015. – №1. – С. 130-134.
11. Ипатов, А.В. Модифицированный метод имитации отжига в задаче маршрутизации транспорта / А. В. Ипатов // Тр. ИММ УрО РАН . – 2011. – № 4. – С. 121–125.
12. 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. – P. 279–297.
13. 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.
14. 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.
15. Мур, Дж. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Джейфри Мур [и др.], 6 изд. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1020 с.
16. 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. Зелев // Информ. и ее примен.– 2014. – №8:4. – С. 53–57.
17. 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.

THE USE OF MODELING TECHNIQUES TO MAKE PENDULUM ROUTES

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 str. Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

In the paper the model of a car search for goods haulage is studied. The modeling techniques are used to plan pendulum routes. The model takes into consideration limits on the demand, vehicle carrying capacity and pallet capacity, cost of transportation. The resulting table model in Microsoft Excel is shown. The model is optimized; the optimum plan of assignments of transport units is received. The advantages and disadvantages of the model are described.

Keywords: VRP, Capacitated Vehicle Routing Problem, transport model, modeling, optimization

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 tsiklicheskoj 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. 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)
7. Ergun Ö., Kuyzu G., Savelsbergh M.W.P. Shipper collaboration. *Computers & Operations Research*. 2007. V. 34. Pp. 1551–1560.
8. Krajewska M.A., Kopfer H., Laporte G., Ropke S., Zaccour G. Horizontal cooperation among freight carriers: request allocation and profit sharing. *Journal of the Operational Research Society*. 2008. V. 59. Pp. 1483–1491.
9. Shchegryaev Alexander, Zakharov Victor V. , Multi-period cooperative vehicle routing games. *Contributions to Game Theory and Management*. 2014. No.7. Pp. 349–359.
10. Tyurin A.Yu. Osobennosti resheniya zadach mnogourovnevoy sistemy dostavki tovarov [Features solving problems of multi-tier system of delivery of goods]. The bulletin of KuzSTU. 2015. №1. Pp. 130-134. (rus)
11. Ipatov A. V., Modifitsirovanny 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)
12. 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.
13. 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)
14. 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)
15. Jeffrey H. Moore, Larry R. Weatherford Decision modeling with Microsoft Excel, 6 edition. Moscow : Izdatel'skiy dom "Vil'yams", 2004. 1020 p. (rus)
16. Bronshteyn E. M., Zel'ev P. A. Ob optimal'noy dostavke gruzov transportnym sredstvom s uchetom zavisimosti stoinosti 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 transports on loading of vehicles on several cyclic routes], *Informatics and Applications*. 2014. No. 8:4. Pp. 53–57. (rus)
17. 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.

Received 29 April 2015