

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 656.072

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ

AUTOMATED ROUTE PLANNING FOR GOODS IN SMALL-LOT HAULAGE

Семенов Юрий Николаевич,

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

Semenov Yury.N., C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Семенова Ольга Сергеевна,

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

Semenova Olga .S., C. Sc. in Engineering, Associate Professor

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

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

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: вид груза, условия погрузки и выгрузки, дислокация потребителей и поставщиков.

Приведена математическая постановка задачи объединения пунктов доставки с ненулевыми потребностями в маршруты с учётом минимизации себестоимости перевозок.

Построен алгоритм, учитывающий ограничения на грузоподъёмность и паллетоёмкость автомобиля, себестоимость перевозочного процесса, заявки на поставку, занятость автомобиля, наличие аппарели.

Описан интерфейс программы поиска маршрутов. Указана возможность изменения количества ограничений, применяемых при поиске.

Abstract

A need to automated route planning for goods in a daily changing demand is substantiation. Conditions that must be followed in route planning are rewrite. Additional criteria that take into account the specific conditions of carriage are rewrite. They are type of cargo, conditions of loading and unloading, dislocation consumers and suppliers.

The mathematical formulation of join destination points in route with cost minimization is described.

The 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.

A software interface route planning for goods is rewrite. The possibility of changing the number of limits that use to route planning is rewrite.

Ключевые слова: задача маршрутизации транспорта, транспортная модель, моделирование

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

Введение

При планировании перевозок грузов по разветвленной сети потребителей первоочередной задачей является распределение крупной (по весу или по объёму) партии. При этом критерием оптимальности перевозочного процесса является минимизация суммарных затрат на перевозку [1-5].

Поиск оптимального по своим технико-эксплуатационным характеристикам подвижного состава и составление маршрутов его движения по маятниковым маршрутам в упрощенной поста-

новке задачи возможен средствами MS Excel [6,7], однако при введении дополнительных ограничений линейность модели нарушается, что говорит о необходимости применения других методов и способов решения поставленной задачи.

Ограничения, требующие учёта, могут быть различными для каждого грузоотправителя, поэтому универсальный алгоритм, устраивающий каждого поставщика, разработать не представляется возможным. Для большинства грузоотправителей ограничениями, требующими учёта, являются грузоподъёмность и паллетоёмкость по-

движного состава, время приёмы товара в пунктах разгрузки, наличие аппаратуры, занятость подвижного состава, дислокация и условия подъезда к пунктам разгрузки и др.

Алгоритм поиска транспортных средств для перевозки большой партии груза с учётом минимизации транспортных затрат и соблюдения заданных поставщиком ограничений описан в [8]. Реализуется такой алгоритм достаточно просто на языке программирования Visual Basic, время поиска не превышает нескольких минут [9].

Алгоритм поиска подвижного состава и составление маршрутов перевозок мелкопартионных грузов (так называемая задача коммивояжера) более сложен. Некоторые задачи подобного типа (задача о назначениях, k-маршрутная задача и т.д.) могут быть сведены к задачам линейного программирования и, следовательно, легко решены [6, 10]. К другим задачам можно применить точные методы, такие как динамическое программирование, метод ветвей и границ, множителей Лагранжа, отсекающих плоскостей, композитные методы [11]. Каждый из этих методов призван решать математическую задачу в конкретной постановке.

Для построения маршрутов перевозок мелкопартионных грузов на практике используют ряд эвристических методов, таких как алгоритмы построения тура, монотонные алгоритмы улучшения тура, немонотонные алгоритмы улучшения тура, комбинированные алгоритмы, человеко-машинные и гибридные алгоритмы, алгоритмы декомпозиции и агрегирования решения больших и сверхбольших задач. Появление эвристик обусловлено, в первую очередь, излишней чувствительностью точных алгоритмов по отношению к специфике задачи и наличию дополнительных условий. Эвристики представляют собой попытку учесть специфику задачи простыми средствами, создать прием, эффективный для решения задач с определенной особенностью [12].

Математическая постановка задачи

Необходимо объединить все пункты доставки с ненулевыми потребностями в маршруты таким образом, чтобы себестоимость перевозок была минимальна.

Затраты на перевозку груза j -му подразделению составят $d_j \cdot c_j$, где

d_j – объём груза, перевозимый j -му подразделению, кг;

c_j – удельные затраты на транспортировку груза j -му подразделению.

Для k -го маршрута получаем целевую функцию

$$F_k = \sum_{j=1}^{M_k} d_j \cdot c_j \rightarrow \min,$$

где M – количество подразделений;

M_k – количество подразделений, входящих в k -й маршрут; $j = \overline{1, M_k}$.

Для всех маршрутов получаем целевую функцию

$$F = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M_k} d_{jk} \cdot c_{jk} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K – количество маршрутов, $k = \overline{1, K}$.

Удельные затраты c_{jk} зависят от используемого подвижного состава и расстояния между j -м и j -м подразделением на k -м маршруте.

Объединение пунктов в маршрут осуществляется в том случае, когда суммарный объём груза, перевозимый по маршруту, не превышает грузоподъёмность i -го транспортного средства, работающего по k -му маршруту, т.е.

$$\sum_{j=1}^{M_k} d_{jk} \leq q_i + q'_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где q_i – грузоподъёмность i -го автомобиля, кг;

q'_i – грузоподъёмность прицепа i -го автомобиля, кг;

N – количество подвижных единиц в парке (включая наёмный транспорт).

Для грузов, упакованных в паллеты, получаем аналогичное (2) ограничение на паллетоёмкость i -го автомобиля, работающего по k -му маршруту:

$$\sum_{j=1}^{M_k} P_{jk} \leq p_i + p'_i, \quad (3)$$

Время работы на маршрутах, обслуживаемых i -м транспортным средством, не должно превышать время рабочей смены водителя, т.е.

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{j=1}^{M_k} t_{i,j} \leq 8, \quad (4)$$

где K_i – количество маршрутов i -го автомобиля в течение рабочей смены.

Условие (4) необязательно для выполнения при междугородних перевозках.

Оценить возможность использования i -го автомобиля для работы на k -м маршруте можно с помощью логической переменной F_{ik} , для которой справедливо выражение

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

Если автомобиль имеет аппаратуру, то жела-

тельно, чтобы оно работало с подразделениями, которые требуют наличия аппараты на автомобиле, то есть такие подразделения необходимо объединять в один маршрут:

$$\prod_{k=1}^{K_i} R_{jk} = 1, \quad A_{ik} = 1, \quad (6)$$

где $A_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i-\text{е ТС имеет аппарату,} \\ 0, & \text{если } i-\text{е ТС не имеет аппарату;} \end{cases}$

$$R_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } j-\text{е требует аппарату,} \\ 0, & \text{если } j-\text{е не требует аппарату.} \end{cases}$$

Автомобили, не имеющие специальных приспособлений для разгрузки, должны работать с подразделениями, которые не требуют наличия аппараты на автомобиле, то есть

$$\sum_{k=1}^{K_i} R_{jk} = 0, \quad A_{ik} = 0, \quad (7)$$

Если условия (6) или (7) не выполняются, то подразделения объединяются в один (менее оптимальный) маршрут без соблюдения этих условий.

Наличие ограничений на подъезд к пунктам разгрузки в зависимости от номинальной грузоподъёмности автомобиля и прицепа задаётся следующим условием:

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

т.е. k -й маршрут должно обслуживать транспортное средство с суммарной грузоподъёмностью, не превышающей максимальное значение для каждого из M_k подразделений.

Построение алгоритма программы и

его реализация

Для составления развозочных маршрутов широко используется эвристический метод Кларка-Райта, при этом можно учитывать описанные выше ограничения. Однако чем больше их задано в алгоритме, тем больше результирующий алгоритм будет отличаться от оптимального, так как введение дополнительных ограничений ухудшает либо оставляет неизменным найденное оптимальное решение [6, 13-15]. Проще всего показать истинность данного утверждения на примере ограничения по времени приёма товара. Пусть необходимо развезти груз по 5-и пунктам доставки (см. табл. 1).

Таблица 1 Пример

Номер пункта доставки	Время приёмы
1	12-13
2	16-18
3	8-9
4	8-9
5	8-9

Пусть с учётом ограничения на грузоподъёмность подвижного состава и матрицы кратчайших расстояний найдены оптимальные маршруты k_1 (включает пункты 1-2) и k_2 (включает пункты 3-4-5). В этом случае одно транспортное средство подходящей грузоподъёмности может осуществить перевозку заданных грузов. Однако, при наличии значительных расстояний между 3, 4 и 5 пунктом и/или значительном времени простоя при разгрузке в этих узлах прибыть вовремя на все 3 пункта разгрузки водитель транспортного средства не успеет. А при достаточно малом расстоянии между 1 и 2 пунктом возникнет простой

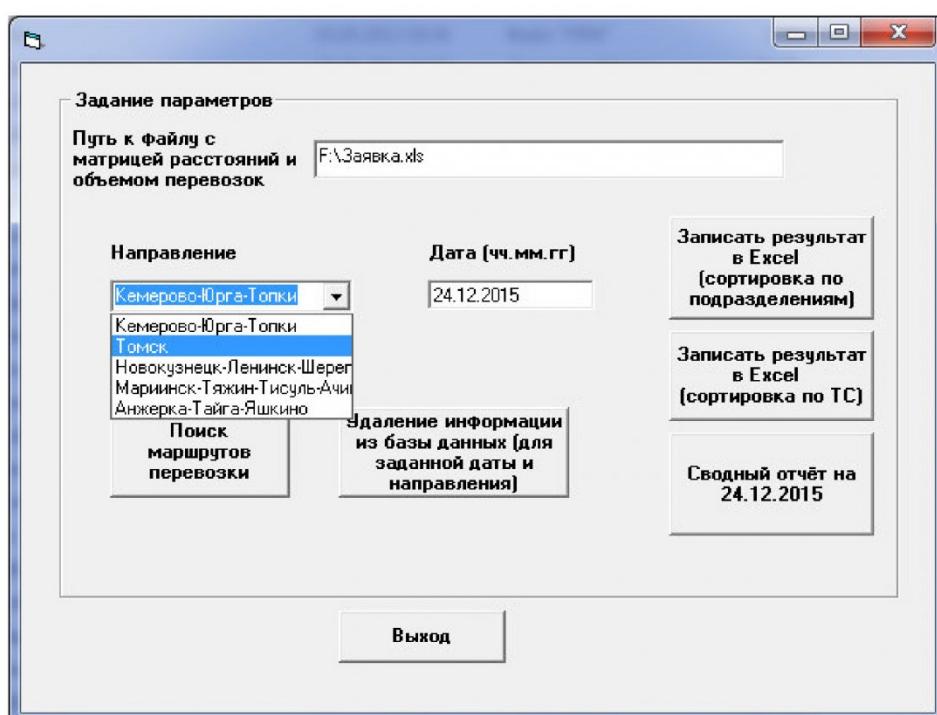


Рис. 1. Главное окно программы поиска маршрутов

транспортного средства перед разгрузкой. Таким образом, наличие большого числа ограничений может привести к невозможности объединения

пунктов в один маршрут, и как следствие, к построению только маятниковых маршрутов и увеличению затрат на перевозки.

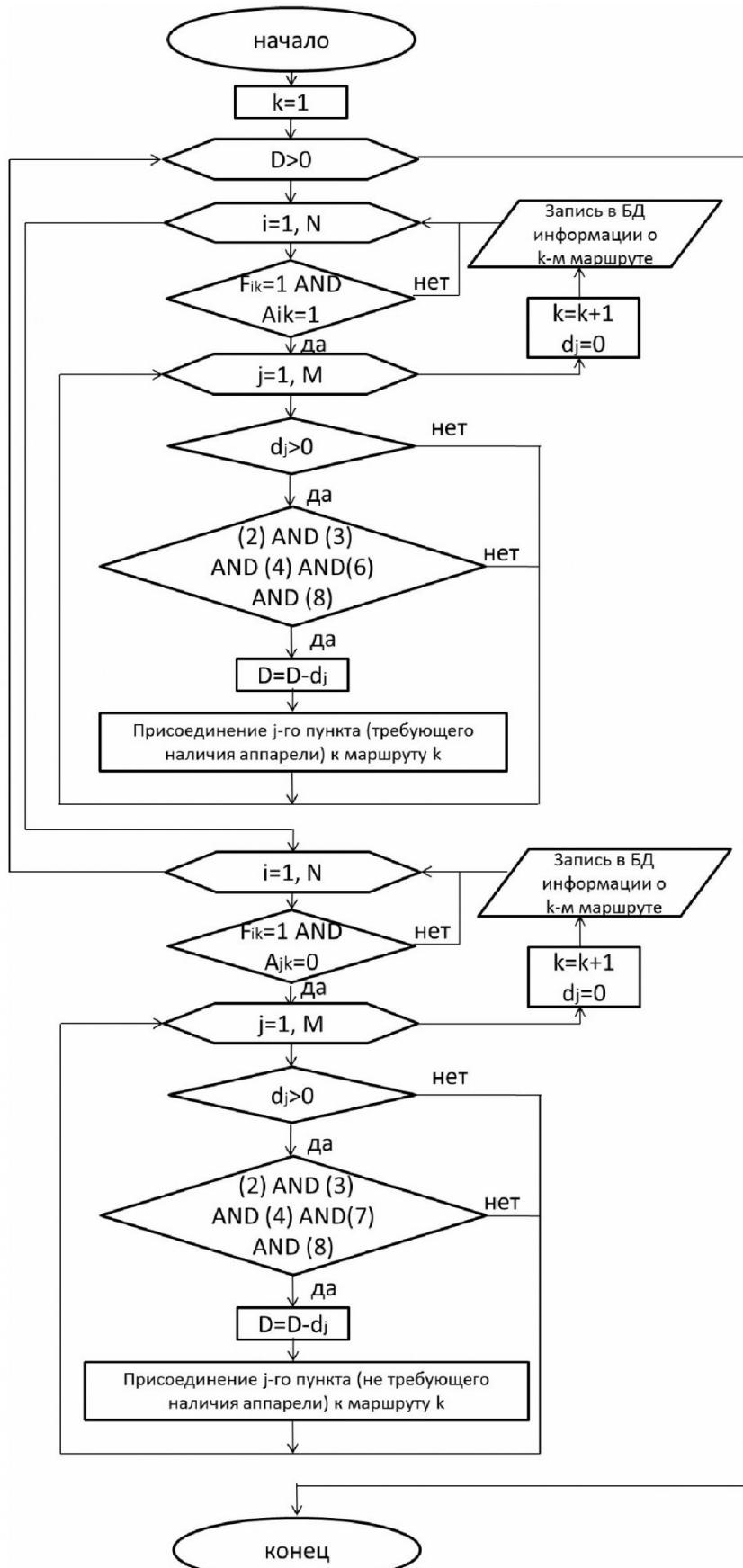


Рис. 2. Блок-схема поиска маршрутов перевозки мелкопартионных грузов

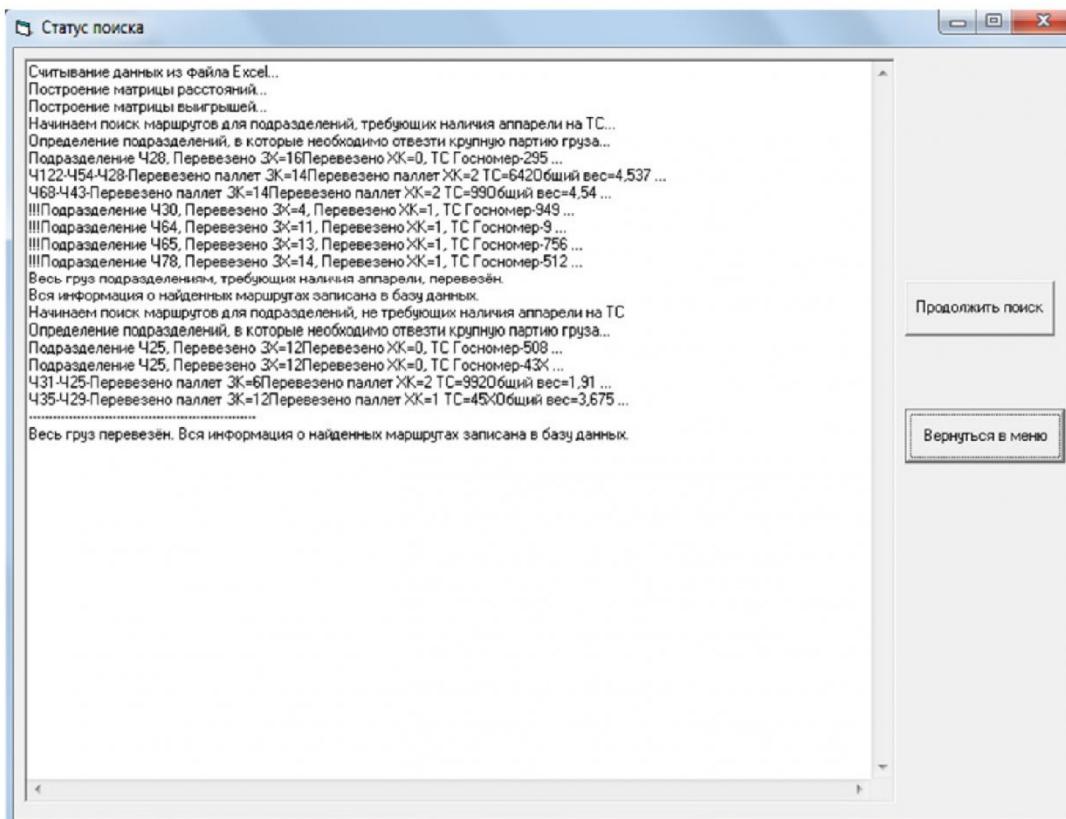


Рис. 3. Окно поиска маршрутов

Разработанный алгоритм позволяет учесть возможность принудительного сокращения ограничений. При загрузке программы первоначально выбирается направление перевозки (рис. 1). Пункты по направлениям группируются таким образом, чтобы их можно было объединить в маршрут, по которому ТС может совершить езdkу в течение рабочей смены. Группировка по направлениям позволяет сократить матрицу кратчайших расстояний, и, следовательно, время расчёта.

После выбора пункта меню «Поиск маршрутов перевозки» первоначально выполняется операция поиска маршрутов для перевозки крупной партии груза, описанная в [8] затем, согласно ал-

горитму (рис. 2), – операция поиска маршрутов для перевозки мелкой партии груза.

При необходимости в продолжении поиска (т.е., если не весь груз перевезен с учётом заданных условий), можно выборочно снять условия (4), (6), (7) и (8), нажав на кнопку «Продолжить поиск» (рис. 3).

Приведенные в данной статье и в [2] алгоритмы реализованы на языке Visual Basic. Базирующаяся на них программа «Маршрутизация перевозок грузов, упакованных в паллеты» [15] зарегистрирована в ФГУ ФИПС. Тестовый вариант программы 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 / Джейффи Мур [и др.], 6 изд. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1020 с.

7. Семенов Ю.Н. Использование методов моделирования для построения маятниковых маршрутов / Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова // Вестник КузГТУ. - 2015. - №3. - С. 136-140.
8. Семенов Ю.Н. Автоматизация построения маршрутов перевозок крупнопартионных грузов / Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова // Вестник КузГТУ. - 2015. - №3. - С. 131-135.
9. 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.
10. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Вопросы теории / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автомат. и телемех. – 1989. – № 9. – С. 3–33.
11. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Точные методы / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автомат. и телемех. – 1989. – № 10. – С. 3–29.
12. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Приближенны алгоритмы / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автомат. и телемех. – 1989. – № 11. – С. 3–26.
13. 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.
14. Ипатов, А.В. Модифицированный метод имитации отжига в задаче маршрутизации транспорта / А. В. Ипатов // Тр. ИММ УрО РАН . – 2011. – № 4. – С. 121–125.
15. 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.

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. Semenov, Yu.N., Semenova, O.S., The use of modeling techniques to make pendulum routes. *The bulletin of KuzSTU*. 2015. №3. Pp. 136-140. (rus)
8. Semenov, Yu.N., Semenova, O.S., Automated route planning for goods in bulk haulage. *The bulletin of KuzSTU*. 2015. №3. Pp. 131-135. (rus)
9. 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)
10. Melamed I. I., Sergeev S . I ., Sigal I. Kb. The traveling salesman problem. Issues in theory. *Automation and Remote Control*. 1989. №.9. Pp.3–33. (rus)
11. Melamed I. I., Sergeev S . I ., Sigal I. Kb. The traveling salesman's problem. Exact methods. *Automation and Remote Control*. 1989. №.10. Pp.3–29. (rus)
12. Melamed I. I., Sergeev S. I., Sigal I. Kh. The traveling salesman problem. Approximate algorithms. *Automation and Remote Control*. 1989. №.11. Pp.3–26. (rus)
13. 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.
14. 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)
15. 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.

Поступило в редакцию 04.03.2016

Received 4 February 2016