


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО
ОБРАЗОВАНИЯ

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
 Лобаты А. А.

« 12 » 06 2018г.


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра техники и технологии

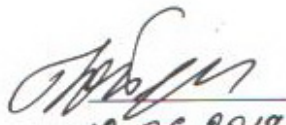
Система управления беспилотного летательного аппарата на
основе использования спутниковой навигационной системы

Специальность 1 - 53 81 02 Методы анализа и управления в технических и
экономических системах

Магистрант

 12.06.2018 А. В. Якутина
(подпись, дата)

Руководитель
кандидат технических наук,
доцент

 Ю. Н. Петренко
12.06.2018
(подпись, дата)

Минск 2018

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью исследования является оптимизация загрузки транспортных единиц и маршрутов перевозки, позволяющая сократить время доставки грузов и расходы с нею связанные, оптимальное планирование перемещения грузов, путем решения и автоматизации транспортной логистической задачи и создания системы управления беспилотным летательным аппаратом на основе использования навигационной спутниковой системы.

Задачи исследования:

1. Изучить технологические и технические аспекты сферы авиаперевозок;
2. Изучить и определить метод решения задачи маршрутизации транспорта;
3. Реализовать улучшенный метод решения задачи маршрутизации транспорта;
4. Провести вычислительный эксперимент, итоги которого после должны быть подвергнуты анализу и выявлению результатов;
5. Программная реализация управления беспилотным летательным аппаратом на основе использования навигационной спутниковой системы и улучшенного метода решения задачи маршрутизации транспорта.

Объектом исследования является процесс авиаперевозок.

Предметом исследования – оптимизация процесса грузовых авиаперевозок при помощи системы управления беспилотным летательным аппаратом на основе использования навигационной спутниковой системы.

Научная и практическая значимость результатов

Практическая значимость: основные положения и результаты диссертации были использованы автором в научных, учебных и практических целях.

Результаты исследования, основные выводы и рекомендации диссертации могут быть использованы на разных уровнях управления компаниями, а также могут послужить основой для дальнейших разработок в области повышения конкурентоспособности отрасли грузовых авиаперевозок на основе использования беспилотных летательных аппаратов.

Результаты исследования могут быть востребованы министерствами и ведомствами в сфере транспорта и внешнеэкономической деятельности, и, прежде всего, Министерством транспорта, Министерством экономического

развития, Министерством промышленности и торговли, Министерством иностранных дел.

Кроме того, практическая значимость исследования обусловлена возможностью использования материалов диссертации образовательными учреждениями при подготовке лекционных курсов и занятий по дисциплинам «Основы теории оптимальных систем», «Распределенная и параллельная обработка данных», «Транспортный менеджмент», «Транспортно-экспедиторские операции».

Структура и объем магистерской диссертации

Магистерская диссертация состоит из трех глав, каждая из которых является одним из этапов исследования.

В введении работы дается обзор круга вопросов, обосновывается актуальность магистерской диссертации, показывается необходимость проведения исследования по данной теме для решения поставленной задачи.

В первой главе приводится анализ состояния вопроса. На основе изучения отечественной и зарубежной научной литературы по исследуемой проблеме, приведена классификация и описание БПЛА, перспективные области применения БПЛА, векторы развития программного обеспечения в данной сфере.

Во второй главе рассматривается понятие задачи маршрутизации транспорта, из основных алгоритмов решения задачи выбирается оптимальный и улучшенный алгоритм – сбалансированной кластеризации вершин. Проводится вычислительный эксперимент, отображающий результаты работы улучшенного алгоритма в сравнении с существующим и эффективным на сегодняшний день алгоритмом.

В заключающей, третьей главе, изложен процесс реализации, автоматизации и оптимизации процесса грузовых авиаперевозок с помощью БПЛА на основе использования принципов ООП и инструментов разработки.

В заключении диссертации приводятся краткие выводы по результатам выполненной работы.

Магистерская диссертация: 72 с., 11 рис., 11 табл., 112 источников, 1 прил.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А. О. Экспериментальная оценка эффективности алгоритмов решения задачи коммивояжера / А. О. Алексеев, О. Г. Алексеев, О. А. Кулагин / Экономика и математические методы, 1993 № 3. с. 496 – 502.
2. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики / Больше Л. Н., Ершов Н. В. / М.: Наука. Главная редакция ФМЛ, 1983. 416 с.
3. Гэри М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Джонсон / М.: Мир, 1982.
4. Кормен, Т. Х. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейверсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн / М.: МЦНМО, 1990. 960 с.
5. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Приближенные алгоритмы / И. И. Меламед, С. Сергеев, И. Сигал / Автоматика и телемеханика. 1989, №11.
6. Меламед, И. К задаче нескольких коммивояжеров / Межвуз. сб. Вып. 1981. М.: МИИТ, 1981.
7. Пожидаев, М. С. Исследование алгоритмов приближённого решения сбалансированной задачи к коммивояжеров / Ю. Л. Костюк, М. С. Пожидаев / Информационные технологии: Материалы XLV Международной научно-практической конференции (10 – 12 апреля 2007 г.). – Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та, 2007. – С. 118 – 119.
8. Пожидаев, М. С. Приближённые алгоритмы решения сбалансированной задачи коммивояжеров / Ю. Л. Костюк, М. С. Пожидаев / Вестник ТГУ. УВТиИ. – 2008. - № 1(2). – С. 106 – 112.
9. Пожидаев, М. С. Сбалансированная задача к коммивояжеров для нескольких баз / Ю. Л. Костюк, М. С. Пожидаев / Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ – 2008): Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 4-5 ноября
10. Пожидаев, М. С. Сбалансированная задача маршрутизации транспортных средств и проблемы практического применения эвристических стратегий / Ю. Л. Костюк, М. С. Пожидаев / Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ — 2009): Материалы VIII Всерос. научн.-практ. конф. с межд. участием (13-14 ноября 2009 г.). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. – Ч. 2. – С. 233-235.
11. Пожидаев, М. С. Сбалансированная эвристика для решения задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности / Ю. Л. Костюк, М. С. Пожидаев / Вестник ТГУ. УВТиИ. – 2010. – Ш 3.
12. Пожидаев, М. С. Исследования алгоритмов приближённого решения сбалансированной задачи к коммивояжеров / Информационные

технологии и математическое моделирование (ИТММ — 2007): Материалы VI Международной научно-практической конференции (9-10 ноября 2007 г.). — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. — С. 148 – 149.

14. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. — М.: Мир, 1989. — 478 с.
15. Шеймос М. : Мир, 1989. - 478 с.
16. Alfa A.S. A 3-opt based simulated annealing algorithm for vehicle routing problems / A.S. Alfa, S.S. Heragu, M. Chen // Computers & Industrial Engineering. - 1991. - № 21. — P. 635-639.
17. Aksent D. Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines / D. Aksent, Z. Zyurt, N. Aras // Journal of the Operational Research Society, Volume: 58, Issue: 9 (2006).
18. Altinkemer K. Parallel savings based heuristic for the delivery problem / K. Altinkemer, B. Gavish // Operations Research. — 1991. — № 39. — P. 456-469.
19. Barbarosoglu G. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem / G. Barbarosoglu, D. Ozgur. // Computers & Operations Research. — 1999. — № 26. — P. 255-270.
20. Bean J.C. Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization // ORSA Journal on Computing. — 1994. — № 6. — P. 154-160.
21. Beasley J.E. Route-first cluster-second methods for vehicle routing // Omega. - 1983. - № 11 - P. 403-408.
22. Bertsimas D.J. A new generation of vehicle routing research: Robust algorithms addressing uncertainty / D.J. Bertsimas, D. Simchi-Levi // Operations Research. — 1996. — № 44. — P. 286-304.
23. Blanton J.L. Multiple vehicle routing with time and capacity constraints using genetic algorithms. In S. Forrest, editor / J.L. Blanton, R.L. Wainwright // Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms. — Morgan Kaufmann. — San Mateo, CA, 1993. — P. 452- 459.
24. Boctor F. F. Optimal solution of column-circular set-partitioning problems / F. F. Boctor and J. Renaud // Working Paper — Faculte des sciences de l'Administration, Universite Laval, Canada — 1993. — P. 93-97.
25. F. F. Boctor and J. Renaud // Working Paper — Faculte des sciences de l'Administration, Universite Laval, Canada — 1993. — P. 93-97.
26. Bramel J.B. A location based heuristic for general routing problems / J.B. Bramel, D. Simchi-Levi // Operations Research. — 1995. — № 43. — P. 649-660.
27. Bullnheimer B. Applying the ant system to the vehicle routing problem. In W. Voß, S. Martello, I.H. Osman, and C. Roucairol, editors / B. Bullnheimer, R.F. Hartl, C. Strauss // Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization. — Kluwer, Boston, 1998a. — P. 109-120.

28. Bullnheimer B. An improved ant system for the vehicle routing problem / Bullnheimer, R.F. Hartl, C. Strauss // *Annals of Operations Research*, 1998b. — *in press*.
29. Christofides N. The vehicle routing problem. In N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Sandi, editors / N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth // *Combinatorial Optimization*. — Wiley, Chichester, 1979. — P. 315-338.
30. Clarke G. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points / G. Clarke, J.W. Wright // *Operations Research*. — 1964. — № 12 — P. 566-591.
31. Colomi A. Distributed optimization by ant colonies. In F. Varela and P. Bourgine, editors / A. Colomi, M. Dorigo, V. Maniezzo // *Proceedings of the European Conference on Artificial Life*. Elsevier. — Amsterdam, 1991.
32. Colomi A. Ant system for job-shop scheduling / A. Colomi, M. Maniezzo, M. Trubian // *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*. - 1994. — № 34. — P. 39-53, 1994.
33. Costa D. Ants can colour graphs / D. Costa, A. Hertz // *Journal of the Operational Research Society*. — 1997. — № 48. — P. 275-305.
34. Desrochers M. A matching based savings algorithm for the vehicle routing problem / M. Desrochers, T.W. Verhoog // *Les Cahiers du GERAD G-89-04*, Université des Hautes Etudes Commerciales de Montreal, 1989.
35. Dorigo M. Ant colony system: A cooperative learning approach for the travelling salesman problem / M. Dorigo, L.M. Gambardella // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. — 1997. — № 1. — P. 53-66.
36. Dorigo M. Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents / Dorigo, M. Maniezzo, A. Colomi // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. — 1996. - № 26. — Part B. — P. 29-41.
37. Dror M. A vehicle routing improvement algorithm. Comparison of a 'Greedy' and a 'Matching' implementation for inventory routing / M. Dror, L. Levy // *Computers & Operations Research*. — 1986. — № 13. — P. 33-45.
38. Dueck G. New optimization heuristics: The great deluge algorithm and record-to-record travel // *Journal of Computational Physics*. — 1993. — № 104. — P. 86-92.
39. Dueck G. Threshold accepting: A general purpose optimization algorithm / Dueck, T. Scheurer // *Journal of Computational Physics*. - 1990. - № 90. - P. 161-175.
40. Durbin R. An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method / R. Durbin, D. Willshaw // *Nature*. — 1987. — № 326. — P. 68-691.

41. Fahrion R. On a principle of chain-exchange for vehicle-routing problems (1-VRP) / R. Fahrion, W. Wrede // Journal of the Operational Research Society. - 1990. - № 41. - P. 821-827.
42. Fisher M.L. A generalized assignment heuristic for vehicle routing / M. Fisher, R. Jaikumar // Networks. - 1981. — № 11. - P. 109-124.
43. Foster B. A. An integer programming approach to the vehicle scheduling problem / B. A. Foster, D. M. Ryan // Opl Res. Q. - 1976. - № 27. —307-384.
44. Gambardella L.M. Ant colonies for the Quadratic Assignment Problem / M. Gambardella, E.D. Taillard, M. Dorigo // Technical Report IDSIA / 4-97, IDSIA - Lugano, Switzerland, 1997.
45. Gaskell T.J. Bases for vehicle fleet scheduling // Operational Research Quarterly. - 1967. - № 18. - P. 281-295.
46. Gendreau M. Metaheuristics for the vehicle routing problem / M. Gendreau, J. Laporte, Y. Potvin // Technical Report CRT-963, Centre de Recherche sur les Transports. — Universit de Montral, jan 1994.
47. Laporte, J.- Y. Potvin // Technical Report CRT-963, Centre de Recherche sur les Transports. — Universit de Montral, jan 1994.
48. Gendreau M. New insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem / M. Gendreau, A. Hertz, G. Laporte // Operations Research. - 1992. - № 40. - P. 1086-1094.
49. Gendreau M. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem / M. Gendreau, A. Hertz, G. Laporte // Management Science. — 1994. — № 40. —1276-1290.
50. Ghaziri H. Solving routing problems by a self-organizing map. In T. Kohonen, Makisara, O. Simula, J. Kangas, editors // Artificial Neural Networks. — North-Holland, Amsterdam, 1991. - P. 829-834.
51. Ghaziri H. Algorithmes connexionnistes pour l'optimisation combinatoire : These de doctorat, Ecole Polytechnique / H. Ghaziri. — Federate de Lausanne, Switzerland, 1993.
52. Ghaziri H. Supervision in the self-organizing feature map: Application to the vehicle routing problem. In I.H. Osman and J.R Kelly, editors // Meta-Heuristics: Theory and Applications. — Kluwer, Boston, 1996. — P. 651-660.
53. Gillett B.E. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem / B.E. Gillett, L.R. Miller // Operations Research. — 1974. - № 22. - P. 340-349.
54. Glover F. Tabu search: part I // ORSA J. Corp. v1. - 1989. - P. 190-206.
55. Glover F. Tabu search: part II // ORSA J. Corp. v2. — 1990. — P. 4-32.
56. Glover F. Tabu search methods for optimization // Feature Issue of European J. Oper. Res. V.106. - - 1998. - № 2-3.
57. Glover F. Tabu search. / F. Glover, M. Laguna // Boston: Kluwer Acad. Press, 1997.

58. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
59. Goldberg D.E. Alleles, loci and the traveling salesman problem. In J.J. Grefenstette, editor, D.E. Goldberg and R. Lingle // Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms. — Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1985. — P. 154-159.
60. Golden B.L. Implementing vehicle routing algorithms / B.L. Golden, L. Magnanti, H.Q. Nguyen // Networks. — 1977. — № 7. — P. 113-148.
61. Haimovich M. Bounds and heuristics for capacitated routing problems / Haimovich, A.H.G. Rinnooy Kan // Mathematics of Operations Research. — 1985. - № 10. - P. 527-542.
62. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems / J.H. Holland. — The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
63. Hopfield J.J. Neural computation of decisions in optimization problems / Hopfield, D.W. Tank // Biological Cybernetics. - 1985. — № 52. — P. 141-152.
64. Jeon G. A vehicle routing problem solved by using a hybrid genetic algorithm / G. Jeon, H. Leep, J. Shim // Computers Industrial Engineering, Volume: 53, Issue: 4 (2007).
65. Johnson D. S. The Traveling Salesman Problem: A Case Study in Local Optimization. Local Search in Combinatorial Optimization / . S. Johnson, A. McGeoch // Aarts E. H. L., Lenstra J. K. (eds.). N, Y.: John Willey & Sons, 1995.
66. Johnson D.S. The traveling salesman problem: A case study. In E.H.L. Aarts and J.K. Lenstra, editors, / D.S. Johnson, L.A. McGeoch // Local Search in Combinatorial Optimization. — Wiley, Chichester, 1997. — P. 215-310.
67. Kawamura H. Cooperative search on pheromone communication for vehicle routing problems / H. Kawamura, M. Yamamoto, T. Mitamura, K. Suzuki, Ohuchi // IEEE Transactions on Fundamentals, E81-A. - 1998. - P. 1089-1096.
68. Kinderwater G.A.P. Vehicle routing: Handling edge exchanges. In E.H.L. Aarts, J.K. Lenstra, editors / G.A.P. Kinderwater and M.W.P. Savelsbergh // Local Search in Combinatorial Optimization. — Wiley, Chichester, 1997. - P. 337-344.
69. Kohonen T. // Self-Organization and Associative Memory. — Springer, Berlin, 1988.
70. Laporte G. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem / G. Laporte, Semet // Les Cahiers du GERAD, G98-54, Group for Research in Decision Analysis. — Montreal, Canada, 1998.
71. Lin S. Computer solutions of the traveling salesman problem // Bell System Technical Journal. — 1965. - № 44. - P. 2245-2269.

72. Lin S. An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem / Lin and B. Kernighan // *Operations Research*. — 1973. — № 21. — P. 498-516.
73. Little J. D. C. An algorithm for the traveling salesman problem / J. D. C. Little, K. G. Murty, D. W. Sweeney, C Karel // *Operations Research*, vll (1985), pp 972-989.
74. Manolis N. Kritikos The balanced cargo vehicle routing problem with time windows / Manolis N. Kritikos, George Ioannou // *International Journal of Production Economics*, vol. 123, Issue 1, pages 42 - 51. January 2010.
75. Matsuyama Y. Self-organization via competition, cooperation and categorization applied to extended vehicle routing problems // In *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. — Seattle, WA, 1991. - P. 385-390.
76. Oliver I.M. A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem. In J.J. Grefenstette, editor / I.M. Oliver, D.J. Smith, J.R.C Holland // *Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*. — Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987. — P. 224-230.
77. Or. I. Traveling salesman-type combinatorial optimization problems and their relation to the logistics of regional blood banking. Ph.D. dissertation. — Northwestern University, Evanston, IL, 1976.
78. Osman I.H. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem // *Annals of Operations Research*. — 1995. — 41. - P. 421-451.
79. Osman I. H. A comparison of heuristics for the generalised assignment problem Working paper, University of Kent, Canterbury, UK, 1990.
80. Paessens H. The savings algorithm for the vehicle routing problem // *European Journal of Operational Research*. — 1988. — № 34. — P. 336-344.
81. Pisinger D. A general heuristic for vehicle routing problems / D. Pisinger, Ropke // *Computers & Operations Research*, Volume: 34, Issue: 8 (2007).
82. Potvin J.-Y. The vehicle routing problem with time windows-Part I: Tabu Search / J.-Y. Potvin, T. Kervahut, B.L. Garcia, J.-M. Rousseau // *INFORMS Journal on Computing*. - 1992. — № 8. — P. 158-164.
83. Potvin J.-Y. Genetic algorithms for the traveling salesman problem // *Annals of Operations Research*. - 1996. — № 63. — P. 339-370.
84. Potvin J.-Y. A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling / Potvin, C Duhamel, F. Guertin // *Applied Intelligence*. — 1996. - № 6. - 345-355.
85. Potvin J.-Y. The vehicle routing problem with time windows / J.-Y. Potvin and S. Bengio // *INFORMS Journal on Computing*. — Part II: Genetic search. — 1996. - № 8. - P. 165-172.

86. Renaud J. A fast composite heuristic for the symmetric traveling salesman problem / J. Renaud, F.F. Boctor, G. Laporte // *INFORMS Journal on Computing*. - 1996. - № 8. - P. 134-143.
87. Rego C. A subpath ejection method for the vehicle routing problem // *Management Science*. — 1998. — № 44. — P. 1447-1459.
88. Rego C. A parallel tabu search algorithm using ejection chains for the vehicle routing problem In I.H. Osman and J.P. Kelly, editors / C. Rego, C. Desautels.
89. *Meta-Heuristics: Theory and Applications*. — Kluwer, Boston, 1996. — P. 467-475.
90. Renaud J. An improved petal heuristic for the vehicle routing problem / J. Renaud, F. F. Bostor, G. Laporte // *Journal of Operational Research Society* - 1996. - № 47. - P. 329-336.
91. Robuste F. Implementing vehicle routing models/ F. Robuste, C.F. Daganzo, Souleyrette II // *Transportation Research*, 24B. —1990. — P. 263-286.
92. Ryan D. M. Extension of the petal method for vehicle routing / D. M. Ryan, Hjørting, F. Glover // *J. Opl Res. Soc.* - 1993. - № 44. - P. 289-296.
93. Schmitt L.J. An empirical computational study of genetic algorithms to solve order based problems: An emphasis on TSP and VRPTC : Ph.D. Dissertation / L. Schmitt; Fogelman College of Business and Economics. — University of Memphis, 1994.
94. Schmitt L.J. An evaluation of a genetic algorithmic approach to the vehicle routing problem // Working paper, Department of Information Technology Management. — Christian Brothers University, Memphis, 1995.
95. Schumann M. Self-organizing maps for vehicle routing problems minimizing an explicit cost function. In F. Fogelman-Soulie, editor / M. Schumann and H. Bezdek // *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks*. - Paris, 1995. EC2&Cie. - P. 11-401- 406.
96. Stewart W.R. A Lagrangean relaxation heuristic for vehicle routing / W.R. Stewart Jr and B.L. Golden // *European Journal of Operational Research*. - 1986. - № 15. - P. 84-88.
97. Salhi S. Improvements to vehicle routing heuristics / S. Salhi, G.K. Rand // *Journal of the Operational Research Society*. — 1987. — № 38. — P. 293-295.
98. Taillard E.D. Parallel iterative search methods for vehicle routing // *Computational Networks*. - 1993. - № 23. - P. 661-673.
99. Thangiah S.R. Vehicle routing with time windows using genetic algorithms // Technical report SRU- CpSc-TR-93-23. — Slippery Rock University, Slippery Rock, PA, 1993.
100. Tang J. Vehicle routing problem with fuzzy time windows / J. Tang, Z. Wang, Tang, H. Lau // *Fuzzy Sets and Systems*, Volume: 160, Issue: 5 (2009).

101. Thangiah S.R. An adaptive clustering method using a geometric shape for vehicle routing problems with time windows. In L.J. Eshelman, editor // *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms*. — Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1995. — P. 536-543.
102. Thangiah S.R. Algorithms for the vehicle routing problem with time windows S.R. Thangiah, I.H. Osman, R. Vinayagamorthy, T. Sun // *American Journal of Mathematical and Management Sciences*. — 1993. — № 13. — P. 323-332.
103. Thompson P.M. Cyclic transfer algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems / P.M. Thompson, H.N. Psaraftis // *Operations Research*. — 1993. — № 41. — P. 935-946.
104. Ulusoy G. The fleet size and mix problem for capacitated arc routing // *Oper Res*. — 1985. — № 22. — P. 329-337.
105. Van Breedam A. An analysis of the behavior of heuristics for the vehicle routing problem for a selection of problems with vehicle-related, customer-related, and route-related constraints. Ph.D. dissertation. — University of Antwerp, 1994.
106. Vigo D. A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem // *European Journal of Operational Research*. — 1996. — № 89. — P. 24-35.
107. Volgenant A. The symmetric traveling salesman problem and edge exchange in minimal 1-trees / A. Volgenant, R. Jonker // *European Journal of Operational Research*. — 1983. — № 12. — P. 394-403.
108. Whitley D. Scheduling problems and traveling salesmen: The genetic algorithm recombination operator. In J.D. Schaffer, editor / D. Whitley, T. Starkweather, editor // *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*. — Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1989. — P. 133-140.
109. Wren A. *Computers in Transport Planning and Operation*. — Ian Allan, London, 1971.
110. Wren A! Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points / A. Wren and A. Holliday // *Operational Research Society*. — 1972. — № 23. — P. 333-344.
111. Xu J. A network flow-based tabu search heuristic for the vehicle routing problem / J. Xu, J.P. Kelly // *Transportation Science*. — 1996. — № 30. — P. 379-393.
112. Yellow P. A computational modification to the savings method of vehicle scheduling // *Operational Research Quarterly*. — 1970. — № 21. — P. 281-288.