

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассадникова Е.Ю.¹, Коханчиков Л.А.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: rassadnikova.ekaterina@gmail.com

²ОАО «АНК», Уфа, Россия (450018, г. Уфа, ул. Кооперативная, 65а), e-mail: oooank@bk.ru

Анализ работ мировых и российских ученых в области задач маршрутизации с «временными окнами» позволил сделать вывод, что их значительная часть посвящена задачам маршрутизации транспорта с учетом реальных ограничений. Авторами предложена модификация математической модели задачи выбора рациональных маршрутов в системе управления доставкой готовой продукции. Подбор маршрутов для обеспечения поддержки управленческих решений при транспортировке готовой продукции осуществляется с учетом минимизации совокупных затрат на транспортировку и дополнительных ограничений, таких как, приемлемые затраты на маршруты по платным дорогам, удовлетворительное качество дорог, приемлемый риск ДТП на дорогах и возможный ущерб от ДТП на маршрутах. Предлагается использование модифицированного алгоритма поиска переменной окрестности для решения задачи.

Ключевые слова: система управления транспортировкой, модели дискретной оптимизации, задачи транспортной логистики, задача маршрутизации транспортных средств.

MATHEMATICAL MODEL OF RATIONAL CHOICE OF ROUTES IN TRANSPORTATION MANAGEMENT SYSTEM OF FINISHED PRODUCT

Rassadnikova E.Y.¹, Kokhanchikov L.A.²

¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, str. K. Marksa, 12), e-mail: rassadnikova.ekaterina@gmail.com

²OJSC «ANK», Ufa, Russia (450018, Ufa, str. Kooperativnaya 65a), e-mail: oooank@bk.ru

The analysis of International and Russian studies in the field of routing problems with "time windows» have led to the conclusion that these studies dealt with routing tasks taking into account the real constraints. Mathematical model modification of the problem of rational set route for goods transportation management system is proposed by the authors. A set of routes which provides decision support for goods transportation is selected taking into account the minimizing of total transportation cost and additional constraints such as accepted cost to the routes on toll roads, satisfactory quality of roads acceptable risk of accidents on the roads and potential damage from an accident on the trails. Modified variable neighborhood search algorithm for solving this problem is proposed.

Keywords: transportation management system, models of discrete optimization, transport logistics problems, vehicle routing problem.

Введение

В настоящее время перед компаниями, занимающимися производством продукции и ее доставкой клиентам, встает вопрос о повышении эффективности управления системой транспортировки. С этой целью компании используют так называемые системы управления транспортом (Transportation Management System (TMS)). Применение TMS позволяет компаниям за счет обеспечения поддержки управленческих решений сократить временные простои используемых для перевозки транспортных средств (ТС) и снизить их количество, обеспечив тем самым, снижение стоимостных затрат на транспортировку. Функциональными

возможностями систем управления транспортировкой являются планирование и подготовка принятия решений (по оптимизации маршрутов транспортных средств, входящему и исходящему режиму транспортировочных операций и др.), мониторинг, анализ, составление отчетности.

Тот или иной набор функциональных возможностей систем управления транспортом позволяет условно разделить их на два типа. Для первого типа TMS (например, пакеты прикладных программ ArcLogistics (Esri, Inc, 1998), DescartesRouting, Mobile&TelematicsSuite (DescartesSystemsGroup, 1998), DISC (MJC2, 1990), IBM ILOG TransportationAnalyst (IBM, 2000); а также ANTOR LogisticsMaster (ANTOR Бизнес Решения, 2003), TopLogistic (TopPlan)) характерны функции планирования, анализа и управления, составления отчетности. Системы второго типа (например, пакеты прикладных программ ГлонассOmnicom (Omnicom, 1998), ANTOR MonitorMaster (Информационные технологии, 2003)) связаны с мониторингом деятельности компании в реальном масштабе времени.

Важное место в TMS занимают функции планирования и оптимизации маршрутов транспортных средств. В приведенных выше примерах пакетов прикладных программ для нахождения рационального маршрута доставки грузов чаще всего решается задача маршрутизации транспортных средств с временными окнами (VRPTW) с учетом дополнительных ограничений. В статье предлагается оптимизировать маршруты доставки продукции на основе модели MultiDepotHeterogeneous VRP withTimeWindows (MDHVRPTW) [3] с учетом дополнительных ограничений, таких как риск ДТП, возможный ущерб компании от аварии во время транспортировки грузов, качество дорог.

Задача решается для производственных предприятий, имеющих широкую номенклатуру выпускаемой продукции и расположенные в различных городах структурные подразделения. Доставка продукции осуществляется потребителям в отдаленные города. Примером такого предприятия может служить нефтехимическое, производящее реагент, который используется для защиты трубопроводов от коррозии, а также в качестве исходного сырья для производства присадок к маслам и смазочно-охлаждающим жидкостям.

Постановка задачи транспортировки готовой продукции

Для транспортировки нескольких видов готовой продукции (ГП), производимых в разных городах используются ТС различного типа, которые размещаются в нескольких депо-производственных пунктах. Основными требованиями при транспортировке продукции считаются снижение затрат, удовлетворение всех потребителей готовой продукции с учетом предпочтительного времени обслуживания и возвращение транспортных средств в депо в установленный период, обеспечение безопасности доставляемой ГП. Для обеспечения безопасности транспортировки ГП дополнительно необходимо учитывать такие требования,

как приемлемый риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП), возможный ущерб от ДТП и др.

Для обеспечения поддержки решений при управлении транспортировкой готовой продукции необходимо осуществить выбор набора маршрутов, что сводится к задаче маршрутизации транспорта (VehicleRoutingProblems, VRP). Целью подбора маршрутов транспортировки ГП является минимизация общих стоимостных и временных затрат.

Анализ работ мировых и российских ученых в области задач маршрутизации с «временными окнами» позволил сделать вывод, что их значительная часть посвящена задачам маршрутизации транспорта с учетом реальных ограничений (таблица 1)[5].

Таблица 1 – Обзор моделей VRP with TW

VRP with Time Window (VRPTW)	P. Toth, D. Vigo (2002)
Open VRP with Time Window (OVRPTW)	P.P. Repoussis, C.D. Tarantilis, G. Ioannou,(2007), K. Fleszar, I.H. Osman, K.S. Hindi (2008)
Capacitated OVRP with Time Window (COVRPTW)	D. Aksen, Z. Ozyurt, N. Aras (2008)
Multi Depot VRP with Time Window (MDVRPTW)	I.D. Giosa, I.L. Tansini, I.O. Viera (2002), M. Polacek, R.F. Hartl, K.F. Doerner, M. Reimann(2004)
Multi Depot Heterogeneous VRP with Time Windows (MDHVRPTW)	Andrea Bettinelli, Alberto Ceselli, Giovanni Righini (2011), Rodolfo Dondo, Jaime Cerdá (2013)
Multi depot VRP with Pick-up and Delivery, and Time Window (MDVRPPDTW)	P. Sombuntham, V. Kachitvichayanukul (2010)
Fleet size and mixed VRP with Time Window (FSMVRPTW)	F.H. Liu, S.Y. Shen (1999), N.A. Wassan, I.H. Osman(2002), Monaci M. Dell'Amico, C. Pagani, D. Vigo (2006), P. Belfiore, L. Favero(2007), O. Braysy, W. Dullaert, G. Hasle, D. Mester, M. Gendreau(2008), O. Braysy, P.P. Porkka, W. Dullaert, P.P. Repoussis, C.D. Tarantilis (2009)
Split-Delivery VRP with Time Window (SDVRPTW)	S.C. Ho, D. Haugland(2004), M. Gendreau, G. Laporte, R. Seguin (2006)
Periodic VRP with Time Window (PVRPTW)	N. Belanger, G. Desaulniers, F. Soumis, J. Desrosiers(2006), S. Pirkwieser, G.R. Raidl (2008), S. Pirkwieser, G.R. Raidl(2009), S. Pirkwieser, R. Gunther(2009)
VRPTW with stochastic travel and service time (VRPTWSTST)	Xiangyong Li, PengTian, Stephen C.H. Leung(2010)
VRP with fuzzy time window (VRPFTW)	R. Cheng, M. Gen (1995), Jiafu Tang, Zhendong Pan, Richard Y.K. Fung, Henry Lau(2009), H.F. Wang, Y.P. Wen (2002)
VRP with fuzzy travel time (VRPFT) and VRP with fuzzy service time (VRPFST)	Mohammad HosseinFazelZarandi, Ahmad Hemmati, SoheilDavari (2011)
VRP with hard time window (VRPHTW)	Tsung-Sheng Chang, Yat-wah Wan, Wei Tsang (2009)
VRP with soft time window (VRPSTW)	A.G. Qureshi, E. Taniguchi, T. Yamada(2009), Ali GulQureshi, Eiichi Taniguchi, Tadashi Yamada(2010)
VRP with flexible time windows and	Hideki Hashimoto, Toshihide Ibaraki, Shinji Imahori,

traveling times	Mutsunori Yagiura (2006)
Vehicle routing problem with stochastic travel times including soft time windows and service costs	Duygu Taş, Nico Dellaert, Tom van Woensel, Ton de Kok (2013)

Для формализации описанной задачи используется математическая модель MultiDepot Heterogeneous VRP with Time Windows (MDHVRPTW) [3]. Авторами предлагается модификация математической модели MDHVRPTW для выбора маршрутов с учетом введения условий и ограничений:

- доставка заказа может быть разделена между ТС, то есть клиент может быть обслужен несколькими ТС;
- осуществляется доставка нескольких видов ГП;
- грузоподъемность ТС не должна быть превышена;
- ТС может быть назначено не больше, чем на одно депо;
- обслуженные заказы ТС не должны превышать вместимость депо;
- каждый клиент должен быть полностью удовлетворен – это означает, что каждый клиент должен быть обслужен хотя бы один раз;
- выбранный период возвращения ТС в депо должен быть выполнен, если этот период не выполняется, планируемые затраты увеличиваются;
- «временные окна» для каждого клиента должны быть выполнены, если эти «окна» не выполняются, планируемые затраты увеличиваются;
- выбранные маршруты должны проходить по качественным дорогам;
- плата за используемые дороги на выбранном маршруте не должна быть выше, чем допустимая величина;
- выбранный маршрут не должен превышать допустимый риск ДТП.

Специальные обозначения и определения

Для решения задачи выбора маршрута используются следующие обозначения и определения, принятые в разрабатываемой модели.

Множества:

- $G = (E, D, P, A)$ – взвешенный граф, где $V = (E \cup D \cup P)$ – все вершины в этом графе;
- $P = \{p_1, \dots, p_{N_{city}}\}$ – множество вершин-городов, через которые транспортные средства могут проходить, N_{city} – количество сквозных городов;
- $D = \{d_1, \dots, d_{N_{prod}}\}$ – множество вершин городов депо-производственных пунктов, где реагент производится, N_{prod} – количество депо-производственных пунктов;

- $E = \{e_1, \dots, e_{N_{cust}}\}$ – множество городов-клиентов, где N_{cust} – количество городов-клиентов; $N_{cc} = (E \cup P)$ – объединение множества E и P ;
- $A = \{A_1, \dots, A_{N_{as}}\}$ – множество ребер (дорог) графа, N_{as} – количество ребер.
- $v = \{1, \dots, K\}$ – множество транспортных средств с грузоподъемностью $Q_v = \{Q_1, \dots, Q_K\}$, размещенных в депо-производственных пунктах $D = \{d_1, \dots, d_{N_{prod}}\}$; $l = \{1, \dots, L\}$ – несколько типов товаров, произведенных предприятием.

Параметры:

- cf^v – фиксируемая стоимость использования ТС v ;
- c_{ij}^v – стоимость, зависящая от пройденной дистанции между двумя точками для ТС v ;
- c_{di}^v – стоимость, зависящая от пройденной дистанции между депо и клиентом для ТС v ;
- c_{id}^v – стоимость, зависящая от пройденной дистанции между клиентом и депо для ТС v ;
- c_t^v – стоимость пройденного времени в единицу времени;
- cp_{ij} – стоимость «платности» для ребра (i, j) ;
- w_{ij} – вес для каждого ребра (i, j) (введен для учета качества дорог);
- q_{il} – спрос каждого города-клиента i для продукта l ;
- R_d – вместимость депо;
- a_i – раннее возможное время обслуживания вершины i ;
- b_i – позднее время обслуживания вершины i ;
- t_{ij}^v – время в пути между вершинами i и j ;
- t_{di}^v – время в пути между депо d и вершиной i ;
- t_{id}^v – время пути между вершиной i и депо d ;
- s_i^v – время обслуживания вершины i .

Вершины «депо» $\{d_1, \dots, d_{N_{prod}}\}$ и «сквозные» города $\{p_1, \dots, p_{N_{city}}\}$ не имеют спроса и сервисного времени, т.е. $q_{il} = s_i^v = 0; \forall i \in 1, \dots, N$.

- $T_d'^v$ – время отправления транспортного средства v из депо;
- $maxTV^v$ – максимальное время окончания работы для транспортного средства v ;
- Cr^{max} – максимально допустимая оплата за платные дороги;
- w_{ij} – минимально возможный уровень качества дорог «ребер»;

- ρ_i – штрафная стоимость при нарушении временного окна вершины (клиента) i ;
- ρ^v – штрафная стоимость для нарушения максимального времени работы для ТС v ;
- p_{ij} – вероятность ДТП на дороге (ребре);
- d^v – ущерб компании от ДТП;
- R^{max} – допустимый риск.

Логические переменные:

- x_{ij}^v – принимает значение 1, если ТС v движется в направлении от вершины i к вершине j , и 0 – при движении в обратном направлении, и обозначает, что вершина i посещается до или после вершины j ;
- X_d^v – обозначает назначение ТС v к депо d ;
- Y_i^v – обозначает назначение ТС, v к вершине i .

Переменные:

- y_{ii}^v – спрос i -ого клиента, удовлетворенный ТС v ;
- Δa_i^v – нарушение начала времени обслуживания i –го клиента;
- Δb_i^v – нарушение окончания времени обслуживания i -ого клиента;
- C_{di} – стоимость пройденного расстояния от депо d to к вершине i ;
- C_i – стоимость пройденного расстояния до вершины i ;
- C_j – стоимость пройденного расстояния до вершины j ;
- CV^v – стоимость пройденного расстояния ТС v ;
- T_i^v – время прибытия ТС к клиенту (в вершину) i ;
- TV^v – время возвращения ТС v ;
- ΔTV^v – нарушение времени возвращения ТС v ;
- R^v – риск ДТП на маршруте для ТС v .

Приведенные обозначения используются далее для описания математической модели.

Математическая модель для задачи выбора рациональных маршрутов

Выбор рационального маршрута основывается на минимизации общих сервисных затрат (1), которые включают в себя фиксированную стоимость использования ТС cf^v ; стоимость, зависящую от пройденного расстояния CV^v и времени в пути $c_t^v TV^v$; стоимость времени ожидания и сервисного обслуживания Δa_i^v и Δb_i^v ; штрафные величины $-\rho^v \Delta TV^v$ и ρ_i ; величину риска в маршруте $d^v R^v$.

$$\min(cf^v \sum_{d \in D} X_{dv} + c_t^v TV^v + CV^v + \rho^v \Delta TV^v + d^v R^v) + \sum_{i \in E} \rho_i (\Delta a_i^v + \Delta b_i^v)$$

$$v \in V \quad (1)$$

При решении задачи выбора рациональных маршрутов, направленной на минимизацию общих сервисных затрат, необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Маршруты ТС не могут заканчиваться в городах-клиентах и «сквозных» городах:

$$\sum_{i \in N_{cc}} x_{ih}^v - \sum_{j \in N_{cc}} x_{hj}^v = 0, \text{ где } h = 1, \dots, N, v = 1, \dots, K$$

h – посещенная вершина.

2. Каждое, использованное ТС v должно быть размещено в одном депо d , в которое ТС будет возвращаться после посещения всех назначенных для него клиентов:

$$\sum_{d \in D} X_d^v \leq 1, v = 1, \dots, K.$$

3. Каждый клиент может быть посещен несколькими транспортными средствами:

$$\sum_{v=1}^K Y_e^v \geq 1; e \in E, v = 1, \dots, K.$$

4. Удовлетворенный спрос клиента e ТС v должен быть не больше спроса на продукт l клиента e :

$$y_{el}^v \leq q_{el} \sum_{j \in V} x_{ej}^v, e = 1, \dots, e_{N_{cust}}, v = 1, \dots, K; l = 1, \dots, L.$$

5. Спрос каждого клиента должен быть удовлетворен полностью:

$$\sum_{v=1}^K y_{el}^v * Y_e^v = q_{il}, e = 1, \dots, e_{N_{cust}}; l = 1, \dots, L;$$

6. Количество доставляемого товара ТС v не должно превышать его грузоподъемность:

$$\sum_{e \in e_{N_{cust}}} y_{el}^v * Y_e^v \leq Q_v, v = 1, \dots, K, l = 1, \dots, L.$$

7. Стоимость пройденного расстояния до вершины i из депо для ТС v :

$$C_{di} \geq c_{di}^v - M_c(1 - x_{di}^v) - M_c(2 - X_d^v - Y_i^v), \forall i \in N_{cc}, d \in D,$$

$$v = 1, \dots, K.$$

8. Стоимость пройденного расстояния между $i, j \in E$ на одном маршруте

$$C_j \geq C_{di} + c_{ij}^v - M_c(1 - x_{ij}^v) - M_c(2 - Y_i^v - Y_j^v)$$

$$C_i \geq C_j + c_{ji}^v - M_c x_{ij}^v - M_c(2 - Y_i^v - Y_j^v)$$

$$\forall i, j \in N_{cc}, i < j$$

$$v = 1, \dots, K.$$

9. Общая стоимость пройденного расстояния ТС v .

$$CV^k \geq C_i + c_{id}^v - M_c(2 - X_d^v - Y_i^v)$$

$$d \in D, i \in N_{cc}$$

$$v = 1, \dots, K.$$

10. Время прибытия в вершину i

$$T_i^v \geq T_d^v + t_{di}^v - M_c(1 - x_{di}^v) - M_c(2 - X_d^v - Y_i^v)$$

$$d \in D, i \in N_{cc}$$

$$v = 1, \dots, K.$$

11. Начала времени обслуживания в паре вершин (i, j) на одном маршруте

$$T_j^v \geq T_i^v + s_i^v + t_{ij}^v - M_T(1 - x_{ij}^v) - M_T(2 - Y_i^v - Y_j^v)$$

$$T_i^v \geq T_j^v + s_i^v + t_{ij}^v - M_T x_{ij}^v - M_T(2 - Y_i^v - Y_j^v)$$

$$\forall i, j \in N_{cc}, i < j$$

$$v = 1, \dots, K.$$

12. Время окончания маршрута ТС v

$$TV^v \geq T_i^v + s_i^v + t_{id}^v - M_T(2 - X_d^v - Y_i^v)$$

$$d \in D, i \in N_{cc}$$

$$v = 1, \dots, K.$$

13. Время отправления из вершины i

$$T_i^v \geq (T_i^v + s_i^v) * Y_i^v$$

$$i \in N_{cc}$$

$$v = 1, \dots, K.$$

14. Штрафные величины из-за нарушений времени обслуживания клиентов:

$$\Delta a_e^v \geq (a_e - T_e^v) * Y_e^v$$

$$\Delta b_e^v \geq (T_e^v - b_e) * Y_e^v$$

15. Штрафная величина из-за нарушений времени возвращения ТС v

$$\Delta TV^v \geq (TV^v - \max TV^v) * X_d^v$$

16. Сумма спроса клиентов не может превышать вместимость обслуживающего депо:

$$\sum_{v=1}^K \sum_{e \in E} q_{el} Y_e^v - R_d \sum_{d \in D} X_d^v \leq 0$$

$$l = 1, \dots, L,$$

17. Для учета качества дорог использована классификация дорог согласно постановлению от 28 сентября 2009 г. № 767 «Правила классификации автомобильных дорог в Российской Федерации и их отнесения к категориям автомобильных дорог»:

М – для автодорог федерального значения, соединяющих Москву со столицами иностранных государств и административными центрами субъектов РФ;

Р – для автодорог федерального или регионального значения, соединяющих административные центры РФ;

А – для автодорог федерального или регионального значения, являющихся подъездом к крупнейшим транспортным узлам (например, аэропортам), подъездом к специальным объектам, либо подъездом от административного центра субъекта РФ, не имеющего дорожной связи с Москвой, к морским или речным портам, аэропортам и железнодорожным станциям либо границам других государств. Также применяется для автодорог, соединяющих дороги федерального значения между собой.

К – для прочих автодорог регионального значения.

Н – для автодорог межмуниципального значения.

Выбранные маршруты могут включать в себя дороги типов А, Р, М.

$$w_{ij} * x_{ij}^v \leq W_{ij}$$

Для всех $v = 1, \dots, K ; i, j \in V$

$$w_{ij} \in \{N, K, A, P, M\} \rightarrow w_{ij} \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, W_{ij} = 3.$$

18. Плата за используемые дороги на выбранном маршруте не должна быть выше, чем максимально допустимая оплата за платные дороги:

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c p_{ij} x_{ij}^v \leq C p^{max}$$

$$v = 1, \dots, K$$

19. Найденный риск ДТП маршруте должен быть не больше допустимой величины риска:

Для нахождения величины риска ДТП на дороге (ребрах) примем два допущения:

- ущерб от ДТП на любом интервале маршрута одинаков;
- если ДТП случается, маршрут все равно продолжается.

Определение вероятности ДТП зависит от типа дорог в соответствии с нормативным документом «Автомобильные дороги и мосты. Влияние развития и состояния дорожной сети на уровень безопасности движения на дорогах России» от 2003 г., Москва, то есть p_{ij} –

вероятность ДТП (величина на 100 км) на участке дорог. Значит $p_{ij}^M = p_1, p_{ij}^P = p_2, p_{ij}^A = p_3, p_{ij}^K = p_4, p_{ij}^N = p_5$.

$$R_v = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v, v = 1, \dots, K$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} p_{ij} * x_{ij}^v \leq R^{max}$$

20. Ущерб компании от ДТП на выбранном маршруте определяется следующим образом:

$$D^v = d^v R^v$$

d^v – ущерб компании от ДТП включает в себя $\phi_{dd/id}$ – ущерб водителя (ущерб от смерти водителя); ϕ_{veh} – ущерб транспортного средства; ϕ_{cargo} – ущерб потери партии товара, т.е. $d^v = \phi_{dd/id} + \phi_{veh} + \phi_{cargo}$.

Ограничения математической модели были проверены на работоспособность в программном продукте Xpress IVE.

Методы решения задачи

Поставленная задача является NP-трудной проблемой. Алгоритмы для решения таких задач должны быть эффективными, простыми и способными получать решение за минимальное время.

В настоящее время для решения задач маршрутизации с временными окнами, наибольший интерес вызывают следующие алгоритмы: поиск с исключениями (M.Gendreau, A. Hertz, G. Laporte, I. H. Osman и др.), генетический алгоритм (J. L. Blanton, G. Jeon и др.), алгоритм на основе муравьиных колоний (B. Bullnheimer и др.) и нейронные сети (Y. Matsuyama и др.), моделируемый и детерминированный отжиг (I. H. Osman и др.), поиск переменной окрестности (Mladenović, Hansen, и др.).

Для решения поставленной задачи используется алгоритм модифицированного поиска переменной окрестности. В настоящее время эффективность предложенного алгоритмического обеспечения проверяется посредством опытной эксплуатации программного продукта «Optimizationofgoodstransportation».

Заключение

Результаты анализа особенностей деятельности транспортных служб нефтехимического предприятия позволили сделать вывод о возможности использования математической модели MDHVRPTW с учетом введения дополнительных ограничений, таких как, приемлемые затраты на маршруты по платным дорогам, удовлетворительное качество дорог, приемлемый риск ДТП на дорогах и возможный ущерб от ДТП на маршрутах.

Для поддержки принятия решения в системе управления транспортировкой ГП осуществляется выбор набора маршрутов на основе алгоритма поиска переменной

окрестности, так как данный метод позволяет получить хорошие решения за приемлемое время в задачах большой размерности.

Работа частично поддержана грантами РФФИ 11-07-00579-а (Интеллектуальная система принятия решений в задачах оптимизации раскроя и упаковки на основе многоагентного подхода) и 12-07-00631-а (Информационные системы, нацеленные на решение практических задач упаковки многомерных ортогональных многогранников) и выполнены в рамках научно-исследовательской работы по теме 8.1224.2011. Результаты работы были получены во время стажировки в Рурском университете Бохума на кафедре Исследования операций, финансируемой международной программой ErasmusMundusMultic.

Список литературы

1. Юсупова Н.И., Валеева А.Ф., Рассадникова Е.Ю., Латыпов И.М., Кошечев И.С. Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям //Логистика и управление цепями поставок.2011. №6.С. 60-82
2. Bettinelli A., CeselliA., RighiniG. A branch-and-cut-and-price algorithm for the multi-depot heterogeneous vehicle routing problem with time windows// Original Research Article, Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2011. Volume 19. Issue 5. P. 723-740
3. Dondo R., Cerdá J. A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows // European Journal of Operational Research. 2007. Volume 176. Issue 3. P. 1478-1507
4. Leonelli P., Bonvicini S., Spadoni G. Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology//Journal of Hazardous Materials. 2000. Volume 71. Issues 1–3. P. 283-300
5. Reza Z.F., Rezapour Sh., Kardar L. Logistics Operations and Management, Concepts and Models // Elsevier Inc. 2011.P. 469
6. Zografos K.G., Androutopoulos K.N.A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems // European Journal of Operational Research. 2004. Volume 152. Issue 2. P. 507-519
7. Zografos K.G., Androutopoulos K.N. A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions//Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2008.Volume 16. Issue 6.P. 684-703

Рецензенты:

Сметанина О.Н., д.т.н., профессор кафедрой вычислительной математики и кибернетики, ФГБОУ ВПО Уфимского государственного авиационного технического университета, г.Уфа.
Юсупова Н.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники, ФГБОУ ВПО Уфимского государственного авиационного технического университета, г.Уфа.