

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Федюшин Олександр Іванович – доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, кафедра Радіоелектроніки та комп'ютерних систем; тел.: 063-109-44-64; e-mail: alex_f_08@mail.ru.

Федюшин Александр Иванович – доцент, Украинская инженерно-педагогическая академия, кафедра Радиоэлектроники и компьютерных систем; тел.: 063-109-44-64; e-mail: alex_f_08@mail.ru.

Fediushyn Alexander – associate, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Dep. of Radioelectronics and computer system, tel.: 063-109-44-64; e-mail: alex_f_08@mail.ru.

Баленко Олексій Іванович – доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра Обчислювальної техніки та програмування; тел. 066-802-45-58; e-mail: alex_aib@live.com.

Баленко Алексей Иванович – доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра Вычислительной техники и программирования; тел. 066-802-45-58; e-mail: alex_aib@live.com.

Balenko Alexey – associate, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Dep. of Software of computer systems, tel.: 066-802-45-58; e-mail: alex_aib@live.com.

УДК 656.96; 656.073

В. С. НАУМОВ

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ СТОХАСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОПИТУ

Представлений у загальному вигляді алгоритм формування маршрутів доставки вантажів автомобільним транспортом. Алгоритм розглядається для технологічного процесу обслуговування клієнтури транспортних і експедиторських підприємств, який характеризується стохастичним попитом на послуги з перевезення вантажів. Описана програмна реалізація основних процедур представленого алгоритму. Запропонований підхід дозволяє формувати маршрути доставки в оперативному режимі на підставі бази заявок, що динамічно змінюється.

Ключові слова: маршрут доставки вантажів, алгоритм, стохастичний попит, програмна реалізація.

Вступ. При прийнятті рішень в процесі обслуговування клієнтури транспортних підприємств необхідно враховувати велику кількість факторів, що визначають основні параметри технологічного процесу й особливості його організації. Перед підприємствами різних видів транспорту стоїть задача ув'язати суперечливі інтереси відправників вантажу, одержувачів і перевізників. Основною проблемою, що виникає в процесі обслуговування клієнтури, є прийняття обґрунтованих організаціями неоптимізованих рішень, що суттєво знижує ефективність процесу обслуговування [1]. Головним напрямком вирішення даної проблеми є розробка і впровадження оптимізаційних інструментів для підтримки прийняття управлінських рішень.

Одним з основних напрямків удосконалення процесів обслуговування на автомобільному транспорті є розробка маршрутів доставки вантажів. Під процесом формування маршрутів доставки вантажів при цьому розуміють вибір такої послідовності об'їзду транспортним засобом вантажовласників, що забезпечує найбільше значення критерію ефективності при відомих параметрах транспортного попиту.

Аналіз літературних джерел. Загальноприйняті підходи до формування оптимальних маршрутів засновані на методах лінійного і динамічного програмування, а також методах комбінаторного і евристичного аналізу [2]. Алгоритми планування трас маршрутів реалізовані для ситуацій, у яких попит на перевезення має детермінований характер [2, 3]. Для випадку стохастичного попиту на транспортні послуги, характерного для сучасного транспортного ринку, пропонуються моделі, що враховують певні обмеження та параметри: метаевристична модель з урахуванням наявних обмежень по завантаженню [4], розробка маршрутів на підставі моделі мурашиних колоній [5] на ін.

За останні роки з'явилися нові роботи, направлені на вирішення задачі маршрутизації в реальному часі, серед яких слід виділити: здійснення маршрутизації із урахуванням обмежень, що закладаються режимами роботи водіїв [6], визначення маршрутів доставки із використанням адаптивного алгоритму пошуку найближчого пункту заїзду [7], використання алгоритмів ітеративного пошуку для узгодження роботи транспортних засобів і постів навантаження [8]. Практичне використання будь-якої із моделей маршрутизації, що пропонуються сучасними авторами, передбачає створення і впровадження спеціалізованого програмного забезпечення, яке реалізує відповідні алгоритми.

Існуючі підходи до формування розв'язних, збірних, а також маятникових і кільцевих маршрутів можуть бути застосовані відносно постійних характеристик попиту. Проте процеси доставки вантажів на сучасному ринку характеризуються параметрами потоку заявок, що динамічно змінюються [9]. Це вимагає ухвалення рішень щодо траси маршрутів протягом короткого проміжку часу для актуальних параметрів попиту і з урахуванням характеристик наявного вільного рухомого складу.

Мета роботи. Метою дослідження є розробка інструменту для формування маршрутів доставки вантажів в оперативному режимі в умовах стохастичного попиту.

Опис моделі формування маршрутів доставки вантажів. Рішення задачі формування маршрутів доставки для бази заявок, що динамічно змінюється, вимагає визначення критерію ефективності для вибору оптимальних або близьких до оптимальних трас маршрутів, математичної постановки задачі формування маршрутів, а також розробки і програмної реалізації алгоритмів формування трас маршрутів.

Результати проведених попередньо досліджень

© В. С. Наумов, 2015

[10] дозволяють стверджувати, що в якості критерію ефективності процесу обслуговування для сучасних транспортних і експедиторських підприємств доцільно розглядати рівень обслуговування R – відношення кількості обслужених заявок до загальної кількості заявок, що надійшли ($R \rightarrow 1$). При цьому в якості критерію оцінки сформованих маршрутів використовується динамічний коефіцієнт використання вантажності γ_d ($\gamma_d \rightarrow 1$).

Процес ухвалення рішення щодо формування маршруту доставки здійснюється після надходження чергової заявки на транспортне обслуговування на підставі наявної інформації про заявки, які поступили раніше. Таким чином, алгоритм рішення задачі є ітераційним, при цьому ознакою початку чергової ітерації є безпосередньо момент t_i надходження чергової i -ої заявки.

Для заявки, що знов надійшла, на підставі інформації про заявки, які надійшли раніше, підбирається парна заявка. Очевидно, що оптимальним варіантом пари заявок, сформованих у маршрут, є випадок, при якому $\gamma'_d = 1,0$. Якщо для тих заявок, що присутні у базі на момент часу t_i , така оптимальна пара не знайдена, то пошук необхідно продовжити далі, ітераційно з прийнятим кроком знижуючи допустиме значення γ'_d до нижньої границі γ^*_d .

В загальному вигляді даний підхід до вирішення задачі маршрутизації вантажів в умовах стохастичного попиту представлений на рис. 1.

В приведеному на рис. 1 алгоритмі як вхідне значення (аргумент процедури) використовується заявка на транспортне обслуговування r_i , що поступила у момент часу t_i , при цьому передбачається, що відомо також є інформація щодо всіх необслужених раніше заявок.

Пошук парної заявки з множини не обслужених раніше заявок починається для значення динамічного коефіцієнта використання вантажопідйомності $\gamma_d = 1$. Пошук пари r_i^* здійснюється спеціальною функцією, параметрами якої є аналізована заявка r_i і заданий рівень γ_d . У випадку, якщо пара знайдена, алгоритм повертає сформований маршрут $\rho_i = \{r_i, r_i^*\}$, що містить поточну і парну заявку. Якщо пара не знайдена, то допустиме значення динамічного коефіцієнта використання вантажопідйомності знижується на задану величину δ_γ :

$$\gamma'_d = \gamma_d - \delta_\gamma, \quad (1)$$

після чого процедура пошуку пари здійснюється для поточної заявки для нового, меншого, значення коефіцієнта γ'_d .

Даний крок циклічно повторюється до тих пір, поки не буде сформований маршрут, що характеризується значенням γ'_d , або не буде досягнуто критичного значення γ^*_d , при якому формування маршруту для обслуговування заявок є економічно недоцільним. Таким чином, в алгоритмі враховується обмеження по ефективності маршрутів доставки.

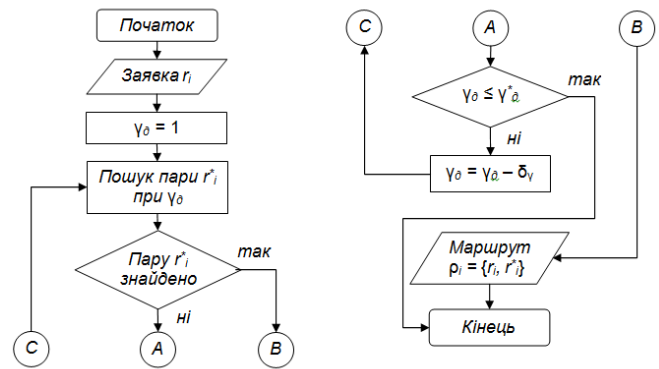


Рис. 1 – Алгоритм методики формування маршрутів доставки в умовах бази заявок, що динамічно змінюється

Реалізація алгоритму вирішення задачі. Алгоритм методики формування маршрутів доставки вантажів в умовах бази заявок, що динамічно змінюється, реалізований з використанням мови програмування PHP.

Пошук парної заявки з множини не обслужених раніше заявок в запропонованій програмній реалізації здійснюється функціями `pair ($idx)` і `circ_pair ($idx, $gamma)`. Функція `pair ($idx)` здійснює для заявки в потоці з індексом `$idx` пошук парної заявки серед безлічі заявок, що поступили раніше, для випадку маятникового маршруту із зворотним порожнім пробігом при доставці вантажу першого класу. Функція `circ_pair ($idx, $gamma)` дозволяє визначити для заявки в потоці з індексом `$idx` парну заявку з множини заявок, що поступили раніше і ще не обслужені, за умови, що параметр функції `$gamma` не перевищує динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності для сформованого маршруту. Функції `pair ($idx)` і `circ_pair ($idx, $gamma)` повертають номер парної заявки в потоці послідовних заявок (її індекс), якщо така заявка знайдена, або значення `-1`, якщо парна заявка не була знайдена.

Алгоритм функції `pair ($idx)` представлений на рис. 2.

На етапі ініціалізації допоміжних змінних алгоритм функції `pair ($idx)` привласнює значення `-1` робочій змінній `pair`, яка буде використана для зберігання номера парної заявки, якщо така виявиться, а також значення `0` змінній-лічильнику `i`, яка використовуватиметься для посилання на необроблені заявки, що поступили раніше. На наступному етапі алгоритм визначає дану заявку r_c (заявку з індексом idx), а також першу заявку r_p з необроблених заявок в потоці (заявку з індексом $i = 0$). Запропонована програмна реалізація алгоритму використовує для зберігання заявок з вхідного потоку масив `input_reqs`.

Алгоритм функції `pair ($idx)` визначає заявку r_p як парну, якщо виконуються наступні умови:

- 1) індекс даної заявки r_c не рівний індексу заявки r_p , тобто відсівається варіант порівняння однієї і тієї ж заявки: $pair \neq i$;
- 2) географічний сегмент одержувача O_R заявки r_p співпадає з географічним сегментом відправника S_R для заявки r_c : $r_p.O_R = r_c.S_R$;
- 3) географічний сегмент відправника S_R заявки r_p співпадає з географічним сегментом одержувача O_R для заявки r_c : $r_p.S_R = r_c.O_R$.

Якщо кожна з приведених умов виконується, то змінній *pair* привласнюється значення *i* та дане значення повертається функцією. Якщо будь-яка з умов не виконується, то значення лічильника збільшується на 1. Якщо перевірені не всі заявки з множини заявок, що надійшли раніше, то алгоритм переходить до перевірки парності наступної заявки, в протилежному випадку – алгоритм закінчує роботу і повертає значення -1 (це є ознакою того, що парна заявка не була знайдена).

Алгоритм функції *circ_pair (\$idx, \$gamma)* представлений на рис. 3.

Даний алгоритм по структурі відповідає алгоритму функції *pair (\$idx)*. Ключова відмінність міститься у блоці перевірки парності заявок: алгоритм визначає заявку r_p як парну, якщо одночасно виконуються умови:

1) індекс даної заявки r_c не рівний індексу заявки r_p (відсівається варіант порівняння однієї і тієї ж заявки); аналогічно відповідній умові для функції *pair (\$idx)*;

2) динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності γ_p на потенційному маршруті має значення, не менше, ніж задане *gamma*.

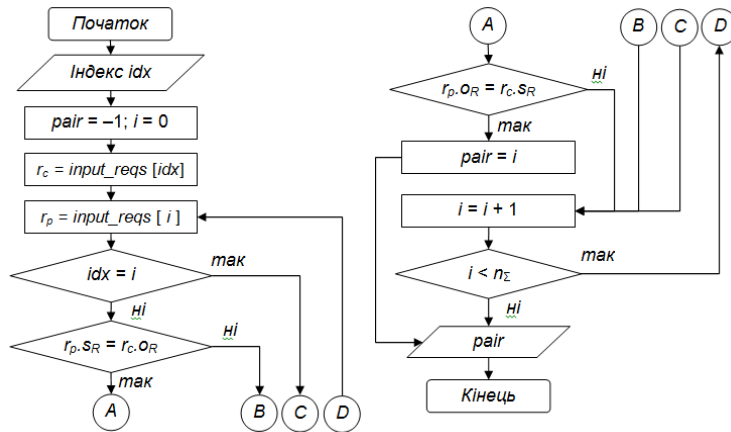


Рис. 2 – Алгоритм функції *pair (\$idx)*

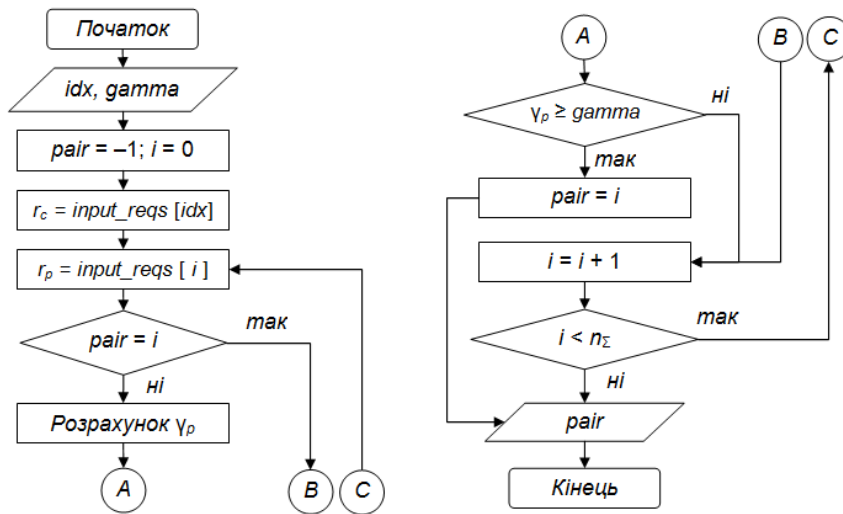


Рис. 3 – Алгоритм функції *circ_pair (\$idx, \$gamma)*

Процедура формування маршруту є закінченою, якщо для пари заявок виконується обмеження за часом. В запропонованій програмній реалізації дане обмеження розглядається при виклику функції обслуговування заявки *serve_req (\$idx, \$pair)*. Параметр функції *\$idx* указує на індекс поточної даної заявки r_c , а параметр *\$pair* – на індекс парної заявки r_p , одержаний при виклику функції *pair (\$idx)* або *circ_pair (\$idx, \$gamma)*.

Алгоритм функції *serve_req (\$idx, \$pair)* послідовно розглядає наступні випадки для пари заявок r_c і r_p :

1. Параметр *\$pair* рівний -1: в цьому випадку для заявки r_c не знайдена пара, а значить, вона може бути виконана тільки за рахунок використання варіан-

ту маятникового маршруту із зворотним порожнім пробігом. В алгоритмі рішення задачі маршрутизації така заявка відхиляється, оскільки маятниковий маршрут із зворотним порожнім пробігом є економічно недоцільним.

2. Значення параметра *\$pair* є відмінним від -1: для заявки r_c знайдена пара, яка дозволяє при виконанні часових обмежень сформувати ефективний маршрут доставки:

2. 1. Поточна заявка r_c поступила пізніше, ніж парна r_p :

$$t_n^{(c)} \geq t_n^{(p)} \tag{2}$$

де $t_n^{(c)}$, $t_n^{(p)}$ – час надходження заявок r_c і r_p відповідно, год.

2.1.1. Інтервал часу між заявками r_c і r_p перевищує допустимий час очікування початку обслуговування для парної заявки: заявки r_c і r_p не формуються в маршрут, проте залишаються в списку заявок, оскільки можуть надалі аналізуватися для менших допустимих значень γ_d^* :

$$t_n^{(c)} - t_n^{(p)} \geq t_{оч}^{(p)} \quad (3)$$

де $t_{оч}^{(p)}$ – допустимий час очікування початку обслуговування для заявки r_p , год.

2.1.2. Інтервал часу між заявками r_c і r_p менше допустимого часу очікування початку обслуговування парної заявки: заявки r_c і r_p формуються в кільцевий (або маятниковий із зворотним навантаженням) маршрут:

$$t_n^{(c)} - t_n^{(p)} < t_{оч}^{(p)} \quad (4)$$

2.2. Поточна заявка r_c поступила раніше парної r_p :

$$t_n^{(c)} < t_n^{(p)} \quad (5)$$

2.2.1. Інтервал часу між заявками r_c і r_p перевищує допустимий час очікування початку обслуговування поточної заявки: заявки не формуються в маршрут, проте залишаються в списку заявок для подальшого аналізу:

$$t_n^{(p)} - t_n^{(c)} \geq t_{оч}^{(c)} \quad (6)$$

Де $t_{оч}^{(c)}$ – допустимий час очікування початку обслуговування для заявки r_c , год.

2.2.2. Інтервал часу між заявками r_c і r_p менший за допустимий час очікування початку обслуговування заявки r_c : формується маршрут:

$$t_n^{(p)} - t_n^{(c)} < t_{оч}^{(c)} \quad (7)$$

Алгоритми описаних процедур можуть розглядатися як послідовність розрахункових заходів при неавтоматизованому методі формування маршрутів доставки вантажів, проте більш ефективним, очевидно, є використання їх програмної реалізації у складі інформаційних систем підтримки ухвалення рішень.

Висновки. Наведений алгоритм дозволяє вирішити задачу формування колових маршрутів доставки вантажів в умовах недетермінованого попиту, а його програмна реалізація може використовуватись в інформаційних системах підтримки прийняття рішень при транспортному й експедиторському обслугову-

ванні. Перспективним напрямком подальших досліджень по темі роботи є розробка процедур формування колових маршрутів із кількістю пар вантажовласників, більшою, ніж 2.

Список літератури: 1. Наумов, В. С. Транспортно-експедиционное обслуживание в логистических системах: Монография [Текст] / В. С. Наумов. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 220 с. 2. Кожин, А. П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками [Текст] / А. П. Кожин, В. Н. Мезенцев. – М.: Транспорт, 1994 – 304 с. 3. Vov, P. H. L. On modelling route choice sets in transportation networks: A synthesis [Text] / P. H. L. Vov // Transport Reviews, 2009. – Vol. 29(1). – P. 43–68. 4. Doerner, K. Metaheuristics for vehicle routing problems with loading constraints [Text] / K. Doerner, G. Fuellerer, M. Gronalt, R. Hartl, M. Iori // Networks, 2007. – Vol. 49. – P. 294–307. 5. Fuellerer, G. Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem [Text] / G. Fuellerer, K. Doerner, R. Hartl, M. Iori // Computational Operation Research, 2009. – Vol. 36. – P. 655–673. 6. Rancourt, M.-E. Long-Haul Vehicle Routing and Scheduling with Working Hour Rules [Text] / M.-E. Rancourt, J.-F. Cordeau, G. Laporte // Transportation Science, 2013. – Vol. 47(1). – P. 81–107. 7. Stenger, A. An Adaptive Variable Neighborhood Search Algorithm for a Vehicle Routing Problem Arising in Small Package Shipping [Text] / A. Stenger, D. Vigo, S. Enz, M. Schwind // Transportation Science, 2013. – Vol. 47(1). – P. 64–80. 8. Dell'Amico, M. Optimization of a Real-World Auto-Carrier Transportation Problem [Text] / M. Dell'Amico, S. Falavigna, M. Iori // Transportation Science, 2014. – Vol. 49(2). – P. 402–419. 9. Naumov, V. An approach to modelling of demand on freight forwarding services [Text] / V. Naumov // Trip Modelling and Demand Forecasting, 2014. – Vol. 1(103). – P. 267–277. 10. Наумов, В. С. Повышение эффективности информационных систем управления процессами транспортно-экспедиционного обслуживания [Текст] / В. С. Наумов, О. А. Скорик, А. А. Васютина // Вісник Севастопольського нац. техн. ун-ту: 36. наук. пр. – Севастополь, 2013. – Вип. 143. – С. 211–214.

Bibliography (transliterated): 1. Naumov, V. S. (2012) Transportno-ekspeditsonnoje obsluzhivaniye v logisticheskikh sistemah. Kharkov: HNADU, 220. 2. Kozhin, A. P., Mezencev, V. N. (1994) Matematicheskiye metody v planirovaniy i upravleniiy gruzovymi avtomobil'nymi perevozkami. M. – Moscow: Transport, 304. 3. Vov, P. H. L. (2009) On modelling route choice sets in transportation networks: A synthesis. Transport Reviews, 29(1), 43-68. 4. Doerner, K., Fuellerer, G., Gronalt, M., Hartl, R., Iori, M. (2007) Metaheuristics for vehicle routing problems with loading constraints. Networks, 49, 294-307. 5. Fuellerer, G., Doerner, K., Hartl, R., Iori, M. (2009) Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem. Comput. Oper. Res., 36, 655-673. 6. Rancourt, M.-E., Cordeau, J.-F., Laporte, G. (2013) Long-Haul Vehicle Routing and Scheduling with Working Hour Rules. Transportation Sci, 47(1), 81-107. 7. Stenger, A., Vigo, D., Enz, S., Schwind, M. (2013) An Adaptive Variable Neighborhood Search Algorithm for a Vehicle Routing Problem Arising in Small Package Shipping. Transportation Sci, 47(1), 64-80. 8. Dell'Amico, M., Falavigna, S., Iori, M. (2014) Optimization of a Real-World Auto-Carrier Transportation Problem. Transportation Sci, 49(2), 402-419. 9. Naumov, V. (2014) An approach to modelling of demand on freight forwarding services. Trip Modelling and Demand Forecasting, 1(103), 267-277. 10. Naumov, V. S., Skorik, O. A., Vasiutina, A. A. (2013) Povysheniye effektivnosti informatsionnykh sistem upravleniya processami transportno-ekspeditorskogo obsluzhivaniya. Visnyk SevNTU, 143, 211-214.

Надійшла (received) 07.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Наумов Віталій Сергійович – доктор технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри транспортних технологій; тел.: 067-983-30-94; e-mail: naumov.vs@gmail.com.

Наумов Віталій Сергеевич – доктор технических наук, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, профессор кафедры транспортных технологий; тел.: 067-983-30-94; e-mail: naumov.vs@gmail.com.

Naumov Vitalii – D.Sc., Kharkiv National Automobile and Highway University, professor at Transportation Technologies Chair; tel.: 067-983-30-94; e-mail: naumov.vs@gmail.com.