

УДК 004.891

А.В. Петров, Г.В. Худов, І.А. Таран

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПОСТАЧАННІ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Одним з завдань логістичного забезпечення є завдання планування постачання матеріально-технічних засобів автомобільним транспортом. Встановлюється, що рішення задачі маршрутизації обумовлено великою складністю та розмірністю, що не дозволяє існуючим методам планування перевезень знайти точне рішення або рішення може бути знайдено за невиправдано великий час роботи. Розроблено метод визначення маршруту руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів. У якості методу визначення маршруту руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів розглянуто простіший метаевристичний метод – мурашиний метод. Проведено розрахунок кількості феромону на кожному маршруті транспортного засобу та імовірність подальшого вибору напрямку маршруту. Визначені основні переваги та недоліки методу.

**Ключові слова:** логістика, транспортний засіб, маршрут руху, постачання, матеріально-технічні засоби, феромон, імовірність, випаровування.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

В сучасних умовах у країнах-членах НАТО стан Logistics<sup>1</sup> (логістика) розглядається як один з головних факторів бойової ефективності, а в, так званих, стабілізаційних операціях «низької інтенсивності» (щодо сприяння безпеки, гуманітарної та цивільної допомоги, евакуації не комбатантів тощо) дії підрозділів забезпечення можуть ставати вирішальними [1]. Концептуальними документами країн-членів НАТО визначено, що Logistics може вважатися ефективним лише за умови спроможності забезпечити розгортання та тривалі дії угруповань військ (сил) [1–4]. Ефективність досягається за рахунок оптимізації управління силами забезпечення, які мають бути достатніми, оперативними сумісними та максимально ефективними [2–4].

Приведене вище підтверджується також досвідом ведення антитерористичної операції (АТО) на сході України [5–6]. Досвід ведення АТО засвідчив, що відомчий підхід до забезпечення військ в ході ведення бойових дій не сприяє ефективному використанню ресурсів [1]. В умовах не визначеної лінії фронту і відсутності тилу як зони безпеки знищуються колони тилу, склади, гунуть люди [1]. Тому існує нагальна потреба в розвиненні систем забезпечення військ.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На виконання вимог Стратегічного оборонного бюлетеня України щодо удосконалення логістичного забезпечення сил оборони та з метою визначення єди-

них поглядів на організацію логістичного забезпечення Збройних Сил України відповідно до стандартів НАТО наказом Міністра оборони України [7] введені в дію «Основні положення логістичного забезпечення Збройних Сил України». В наказі визначено, що логістичне забезпечення – це комплекс взаємопов'язаних заходів, який забезпечує діяльність Збройних Сил України у мирний та воєнний час. Фактично логістичне забезпечення означає матеріально-технічне забезпечення як поєднання тилового й технічного забезпечення.

Одним з завдань логістичного забезпечення є завдання планування постачання матеріально-технічних засобів автомобільним транспортом. Актуальність пошуку оптимальних маршрутів руху транспортних засобів обумовлена великою складністю та розмірністю завдання маршрутизації, а також виникненням нових верифікацій вирішення указанного завдання, особливо при веденні сучасних мережецентричних та гібридних війн.

Задача маршрутизації автотранспорту (Vehicle Routing Problem – VRP) у відомих роботах зводиться до рішення задач комівояжера та упаковки [8–11].

Задача комівояжера (Traveling Salesman Problem – TSP): якщо вантажопідйомність  $C$  кожного транспортного засобу приймається нескінченною (точніше, достатньою  $C = \sum_{i \in S} d_i$ ), то задачі VRP переходять до множинної задачі комівояжера (Multiple Traveling Salesman Problem – MTSP).

Рішення задачі упаковки нагадує рішення задачі VRP при умові, що усі граничні затрати приймаються рівними нулю (таким чином, ефективність всіх рішень буде однаковою).

Фактично, рішення класичної задачі маршрутизації зводиться до побудови непересічних гамільто-

<sup>1</sup> Переклад наведених англійських термінів може не повною мірою розкривати їх сутність, оскільки на даний час немає стандартів, які б визначали сутність терміну. Тому в тексті статті наведені англійські оригінали термінів [1].

нових циклів для зв'язного зваженого графа, у вершинах якого знаходяться клієнти, а ребра показують вартість (час, відстань) маршруту. На рис. 1 представлений приклад рішення класичної задачі маршрутизації автотранспорту [8; 10].

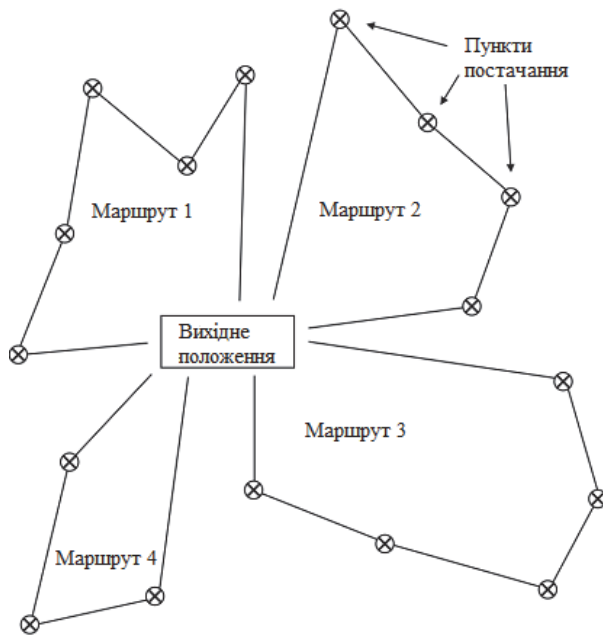


Рис. 1. Рішення класичної задачі маршрутизації автотранспорту [8; 10]

Для задачі маршрутизації виділяють декілька обмежень та додаткових умов [8–11]. В простішому випадку критерієм оптимізації служить сумарна довжина маршрутів усього транспорту. Також, одним з важливих критеріїв оптимізації задачі маршрутизації автотранспорту є число використаного автотранспорту. Метою оптимізації в такому випадку є зменшення такого числа. Позначимо кількість автотранспорту, що задіяний, змінною  $m'$ . Класична задача маршрутизації автотранспорту може бути записана виразом (1) [8, 10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{i=1}^{m'} \left( \sum_{j=1}^{|E_i|} C_{r_i, r_{i,j+1}} + C_{r_i, |E_i|} \right), \\ m' \leq m, \\ \sum_{i=1}^{m'} |r_i| = |V| - |V_0|, \\ \sum_{j=1}^{|E_i|} d_{r_i} < w_i, \quad 1 < i < m', \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $F$  – цільова функція;

$m$  – кількість автотранспорту у всьому автопарку;

$r_{i,j}$  –  $j$ -й за порядком обходу пункт призначення

$i$ -го транспорту;

$d_{r_i}$  – вантажопідйомність автотранспорту за  $r_i$  ма-

ршрутом;

$|V|$  – відстань між пунктами призначення.

Метою класичної задачі маршрутизації є мінімізація функції  $F$ . Цільова функція представляє мультиплікативну функцію виду (2) [8; 10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} F' = \left( \frac{m'}{m} \right)^a * \left( \frac{F}{Q} \right)^b, \\ a, b \geq 0, \\ F \leq Q, \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $F$  – сумарна довжина маршрутів;

$Q$  – сумарна довжина маршрутів початкового рішення;

$a$  – коефіцієнт, що характеризує «важливість» або «ціну» критерію числа задіяних транспортних засобів;

$b$  – коефіцієнт, що характеризує «важливість» або «ціну» критерію сумарної довжини маршрутів.

Мета оптимізації – мінімізація функції  $F'$ . Коефіцієнти  $a$  та  $b$  є вхідними параметрами та повинні регулюватися.

З аналізу виразів (1–2) витікає, що вирішення задачі маршрутизації обумовлено великою складністю та розмірністю, що не дозволяє існуючим методам планування перевезень знайти точне рішення або рішення може бути знайдено за не виправдано великий час роботи.

**Мета статті** – розробити метод визначення маршруту руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів.

## Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

У якості методу визначення маршруту руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів розглянемо простіший метаевристичний метод – мурашиний метод, який вперше був запропонований в роботі [12] при вирішенні задачі комівояжера.

В найпростішому маршрут транспортних засобів можна представити як сукупність наступних ділянок руху транспортних засобів (рис. 1): вихідна точка маршруту (ВТМ), прямі ділянки, кінцева точка маршруту (КТМ). Прямі ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна напрямку руху транспортних засобів.

Розглянемо застосування методу [12] до вирішення задачі визначення маршруту руху транспортних засобів. Основою методу є визначення феромону, що відкладається на ділянках маршруту транспортних засобів:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t), \quad (3)$$

де  $\tau_{ij}(t+1)$  – кількість феромону, що відкладене на маршруті  $D_{ij}(t)$  момент часу  $t$ ;

$0 < \rho < 1$  – коефіцієнт випаровування феромону;  
 $\Delta\tau_{ij}(t)$  – змінна, що показує наскільки збільшиться кількість феромону на маршруті  $D_{ij}$  в проміжку часу  $[(t-1), t]$ .

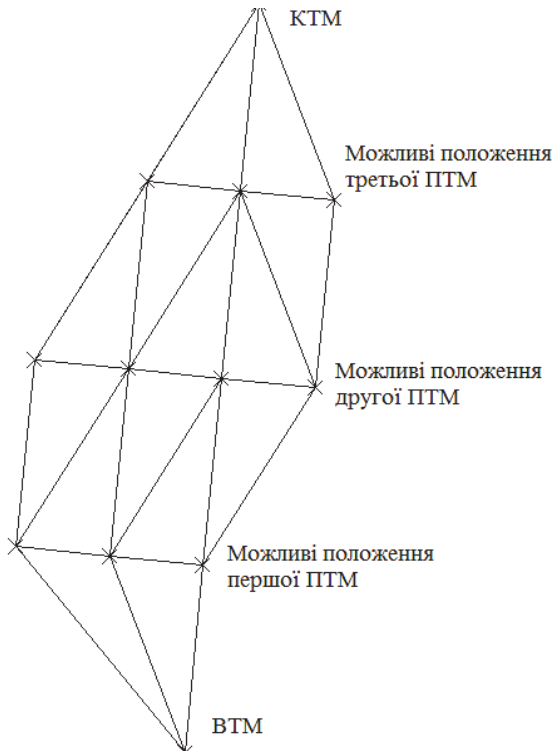


Рис. 1. Приклад представлення маршруту руху транспортних засобів від ВТМ до КТМ

Змінна  $\Delta\tau_{ij}(t)$  представляє суму всього феромону, що відкладається кожним транспортним засобом, що рухається по даному маршруту в даний період часу, тобто

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_k \Delta\tau_{ij}^k(t), \quad (4)$$

де  $\Delta\tau_{ij}^k(t)$  – кількість феромону, що відкладається  $k$ -м транспортним засобом на маршруті  $D_{ij}$  в проміжку часу  $[(t-1), t]$ .

В [12] запропоновано три різних методи для визначення  $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ : ANT-Density, ANT-Quantity та ANT-Cycle. Серед цих методів найкращим за продуктивністю є метод ANT-Cycle. Кількість феромону  $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ , що відкладається на кожному маршруті  $k$ -м транспортним засобом визначається за виразом (5):

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & (i, j) \in T_k, \\ 0, & (i, j) \in T_k, \end{cases} \quad (5)$$

де  $T_k$  – означає, що маршрут завершено  $k$ -м транспортним засобом;

$L_k$  – довжина маршруту  $k$ -го транспортного засобу;

$Q$  – константа.

Результат виразу (5) є засобом виміру маршруту – короткі маршрути характеризуються більшою концентрацією феромону, довгі – меншою. Імовірність подальшого вибору напрямку маршруту (з пункту  $x_j$  до пункту  $x_i$  в момент часу  $t$ ) визначається за виразом (6):

$$P_{ij}^k(t) = \frac{|\tau_{ij}(t)|^\alpha \cdot |\eta_{ij}(t)|^\beta}{\sum_{k \in J_{i,j}} |\tau_{ik}(t)|^\alpha \cdot |\eta_{ik}(t)|^\beta}, \quad j \in J_{i,k}, \quad (6)$$

де  $P_{ij}^k(t)$  – імовірність подальшого вибору напрямку маршруту (з пункту  $x_j$  до пункту  $x_i$  в момент часу  $t$ );

$\eta_{ij}(t)$  – привабливість маршруту з пункту  $x_j$  до пункту  $x_i$ . Зазвичай  $\eta_{ij}(t) = \frac{1}{D_{ij}}$ ;

$D_{ij}$  – геометрична відстань в двовірному просторі між пунктом  $x_j$  та пунктом  $x_i$ , визначається за виразом (7):

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (7)$$

де  $(x_i, y_i)$  – координати пункту  $x_i$ ;

$(x_j, y_j)$  – координати пункту  $x_j$ ;

$J_{i,k}$  – множина пунктів, в які не заходив  $k$ -й транспортний засіб, що вийшов з пункту  $x_i$ ;

$\alpha, \beta$  – параметри, що задають вагу феромону і привабливості ділянки, відповідно (при  $\alpha = 0$  транспортний засіб обирає найкоротший маршрут, при  $\beta = 0$  – маршрут з найбільшою кількістю феромону).

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі запропонований метод визначення маршруту руху транспортних засобів, в основу якого покладений еволюційний (мурашиний) метод. Основні переваги методу:

- можливість виконувати паралельні обчислення;

- позитивний зворотній зв'язок;

- адаптація под. динамічні умови обстановки.

Основні недоліки методу:

- складність теоретичного аналізу;

- отримання деяких випадкових величин;

- вимір розподілу імовірності з кожною новою ітерацією;

- експериментальне дослідження методу більш ефективно, ніж теоретичне.

Напрямок подальших досліджень є оцінка ефективності методу визначення руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів.

### Список літератури

1. Ролін І.Ф. Зміст основних термінів у сфері логістичного забезпечення військових формувань / І.Ф. Ролін, І.С. Морозов, О.В. Минько // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХНУПС, 2017. – № 1 (49). – С. 61-64.
2. Joint Logistics (JP 4-0) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/dod/joint/jp4\\_0\\_2008.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/dod/joint/jp4_0_2008.pdf).
3. Sustainment (FM 4-0) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/4-0/fm4\\_0\\_2009.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/4-0/fm4_0_2009.pdf).
4. The NATO Handbook [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.freeinfosociety.com/media/pdf/3123.pdf>.
5. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2 (27). – С. 19-25.
6. Світова гібридна війна: український фронт: монографія / за заг. ред. В.П. Горбуліна. – К.: НІСД, 2017. – 496 с.

7. Наказ про затвердження Основних положень логістичного забезпечення Збройних Сил України від 11.10.2016 року № 522. – К.: МО України.

8. Кажаров А.А. Обзор задач коммьютера и маршрутизации автотранспорта / А.А. Кажаров, В.М. Курейчик // Сборник трудов Международной научно-технической конференции по интеллектуальным системам AIS'13. – М, 2013. – С. 47-53.

9. Кажаров А.А. Разработка среды маршрутизации грузоперевозок / А.А. Кажаров, А.А. Рокотянский // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – Т. 93, № 4. – С. 174-181.

10. Toth P. The Vehicle Routing Problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications / P. Toth, D. Vigo. – SIAM. Philadelphia, 2001. – 321 p.

11. Cordeau J.-F., Desaulniers G., Desrosiers J., Solomon M.M., Soumis F. VRP with Time Windows. In P. Toth and D. Vigo (eds.): The Vehicle Routing Problem. SIAM. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. – 2001. – Vol. 9. Philadelphia. – Pp. 157-193.

12. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies. Proceeding of ECAL91. – 1991. – Pp. 38-49.

Надійшла до редколегії 26.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. К.С. Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПОСТАВКЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

А.В. Петров, Г.В. Худов, И.А. Таран

Одной из задач логистического обеспечения является задача планирования поставки материально-технических средств автомобильным транспортом. Устанавливается, что решение задачи маршрутизации обусловлено большой сложностью та размерностью, что не позволяет существующим методам планирования перевозок найти точное решение или решение может быть найдено за неоправданно большое время. Разработан метод определения маршрута движения транспортных средств при поставке материально-технических средств. В качестве метода определения маршрута транспортных средств рассмотрен простейший метаэвристический метод – муравьиный метод. Проведен расчет количества феромона на каждом маршруте транспортного средства и вероятность дальнейшего выбора направления маршрута движения. Определены основные достоинства и недостатки метода.

**Ключевые слова:** логистика, транспортное средство, маршрут движения, поставка, материально-технические средства, феромон, вероятность, испарение.

### METHOD OF DETERMINING THE ROUTE OF MOVING VEHICLES WITH THE DELIVERY OF MATERIAL AND TECHNICAL MEANS

A. Petrov, H. Khudov, I. Taran

One of the tasks of logistical support is the task of planning the supply of material and technical means by road. It is established that the solution of the routing problem is caused by the large complexity of the dimension, which does not allow the existing methods of traffic planning to find the exact solution or the solution can be found for an unreasonably long time. A method for determining the route of movement of vehicles for the supply of material and technical means has been developed. As a method of determining the route of vehicles, the simplest meta-heuristic method is considered - the ant method. The calculation of the amount of pheromone on each route of the vehicle and the probability of further choice on the route are carried out. The main advantages and disadvantages of the method are determined.

**Keywords:** logistics, vehicle, route of movement, delivery, material and technical means, pheromone, probability, evaporation.