

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Устимук І. В., Литвинов В. А., Грибков С. В.

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

E-mail: ystum007@gmail.com

Research and Development of an Information System for Supporting the Organization of Efficient Transportation

The types of vehicle routing tasks for medium and small enterprises of Ukraine are investigated in the paper. An analysis of methods and approaches to solving this problem was conducted. A combination of metaheuristic and heuristic algorithms for solving vehicle routing problems is proposed. The considered algorithms and their combination are integrated into the decision support system of the logistician of IE "Ustymuk VS".

Задачі маршрутизації транспортних засобів (ЗМТЗ) виникають у різних сферах людської діяльності: доставка товару від постачальника замовникам, доставка біоматеріалів від медичних офісів до лабораторного комплексу, транспортування сировини до підприємства, список можна продовжувати нескінченно довго. Ефективне планування маршрутів дозволяє, з одного боку, забезпечити своєчасне обслуговування клієнтів, а з іншого — зменшити витрати на перевезення.

Через різні умови, потреби та обмеження при плануванні маршрутів ЗМТЗ набула багатьох варіацій. На даний момент є 9 найважливіших варіацій ЗМТЗ, а саме [1]: з обмеженням вантажомісткості; з часовими інтервалами; із завантаженням і доставкою; з поверненням; з доставкою та поверненням; з розділеною доставкою; періодична; стохастична; з декількома депо. Кожна ЗМТЗ додає додаткові умови та обмеження до класичної ЗМТЗ. В роботі розглянуто ЗМТЗ із обмеженням вантажомісткості. Роботу спрямовано на вибір алгоритму для розв'язання цієї ЗМТЗ для подальшої програмної реалізації цього алгоритму.

Серед різновидів ЗМТЗ найбільш дослідженою є ЗМТЗ із часовими інтервалами. Особливість такої задачі полягає в тому, що для кожного клієнта задано певний часовий інтервал, протягом якого транспортний засіб має відвідати клієнта. В роботі [2] наведено докладний аналіз методів і алгоритмів розв'язання такої задачі.

На практиці часто виникає потреба будувати маршрути з можливістю повторного виїзду машини для обслуговування клієнтів. Такий клас задач відомий як багаторейсові задачі маршрутизації, який на практиці комбінується з іншими варіантами задач маршрутизації. В роботі [3] запропоновано метод розв'язання багаторейсової ЗМТЗ з часовими вікнами та можливістю зворотного транзиту. Запропоновані модифікації в роботі [3] враховують можливість повернути частину раніше завезеного вантажу на склад.

Актуальною є проблема побудови маршрутів, коли товари надходять на склад протягом дня та мають бути доставлені замовникам. Тобто в момент планування ще не всі товари знаходяться на відповідному складі.

В роботі [4] розглянуто таку задачу з можливістю здійснення багатьох рейсів. Варіант задачі, де замовники розподілені на зони, а транспортний засіб може здійснювати декілька рейсів, досліджено в роботі [5]. Підходи до розв'язання різних варіацій ЗМТЗ суттєво відрізняються.

Під час дослідження було виявлено, що найбільш поширеною задачею з урахуванням вантажомісткості для середніх та малих українських логістичних підприємств є побудова мінімального за витратами плану перевезення будь-якого товару від складу до клієнтів (визначення набору маршрутів m , вартість яких в цілому зводиться до мінімуму) за наступних додаткових обмежень.

1. Кожен клієнт відвідується рівно один раз за один маршрут.
2. Кожен маршрут починається та закінчується на складі.
3. Загальні потреби клієнтів, які обслуговуються на маршруті, не перевищують пропускну здатності Q .
4. Довжина кожного маршруту не перевищує встановленого рівня L .

В такій задачі вводиться додаткове обмеження: об'єм вантажу на кожному маршруті R_i не повинен перевищувати заданої величини Q (однакової для всіх автомобілів). Основною метою задачі є мінімізація парку автомобілів, необхідних для виконання кожного завдання, а також загального часу виконання задачі [6].

На основі матеріалу, наведеного в роботі [5], описуємо ЗМТЗ із використанням повного неорієнтованого графу $G = (V, E)$. Множина $V = \{0, \dots, n\}$ є множиною вершин. Кожна вершина $i \in V \setminus \{0\}$ є клієнтом, який має невід'ємний попит q_i , а вершині 0 відповідає склад, із якого необхідно здійснити постачання. Кожному ребру $e \in E = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ співвідноситься вартість поїздки c_e або c_{ij} . Парк машин є фіксованим та включає транспортні засоби, кожен із яких має ємність Q . ЗМТЗ потребує визначення набору маршрутів m , вартість яких у цілому зводиться до мінімуму з урахуванням усіх додаткових умов.

Зазвичай прийнято припускати постійну швидкість, аби відстань, час у дорозі та витрати на проїзд вважались однаковими. Розв'язок можна розглядати як набір із m циклів, які розділяють загальну вершину на складі.

Далі для кожного ребра $e \in E$ змінна X_e вказує кількість перетину ребра e у розв'язку. Через $r(S)$ позначимо мінімальну кількість транспортних засобів, необхідних для обслуговування клієнтів підмножини S клієнтів. Значення $r(S)$ можна визначити, розв'язавши пов'язану задачу формування послідовностей обходу графа з набору елементів S і враховуючи ємність Q . Нарешті, для $S \subset V$ нехай $\delta(S) = \{(i, j) : i \in S, j \notin S \text{ або } i \notin S, j \in S\}$. Якщо $S = \{i\}$, тоді просто будемо писати $\delta(i)$.

У роботі проведено аналіз літературних джерел, у яких розглянуто багато різних ЗМТЗ. Фактично всі алгоритми доцільно розбити на точні (метод меж і гілок), евристичні та метаевристичні (мурашиний алгоритм, генетичні

алгоритми, пошук із заборонами). Своєю чергою, евристичні поділяються на конструктивні (алгоритм Кларка—Райта), двофазні (алгоритм пелюсток, алгоритм замітання), покращуючі алгоритми (покращення в середині маршруту, покращення між маршрутами).

Фактично розглянута задача належить до класу NP-складних комбінаторних задач і при збільшенні вхідних даних не може бути розв'язана класичними методами оптимізації за короткий час, а враховуючи, що час розв'язання в логістиці є одним з важливих критеріїв застосування точних алгоритмів, вважаємо це недоцільним.

Метаевристичні алгоритми доцільно застосовувати для пошуку розв'язку задач, у яких доступно дуже мало допоміжної інформації. Вони розроблені спеціально для того, щоби знайти рішення, яке буде «достатньо гарним» за «малий» проміжок часу. Але мінусом цього класу алгоритмів є затрати на адаптацію алгоритмів до конкретної проблеми для досягнення високої продуктивності роботи [7–8]. Застосування та модифікації метаевристичних алгоритмів, розглянуті в роботах [7–8], застосовуються до планування виконання замовлень, але їх доцільно використати для ЗМТЗ.

У роботі пропонується комбінація евристичних та метаевристичних алгоритмів. Коли маршрут отримано за задану кількість операцій із використання метаевристичних алгоритмів пропонується покращувати з використанням описаних евристичних алгоритмів, описаних у роботі [9].

Оператор переміщення, продемонстрований на рис. 1, переміщує одного клієнта в інший маршрут у той час, як оператор обміну обмінює двох клієнтів у двох різних маршрутах, зберігаючи їхні позиції в маршрутах (Рис. 2).

Оператор перетину обмінює другу частину двох різних маршрутів, зберігаючи послідовність запитів у частинах маршруту, які було змінено (Рис. 3).

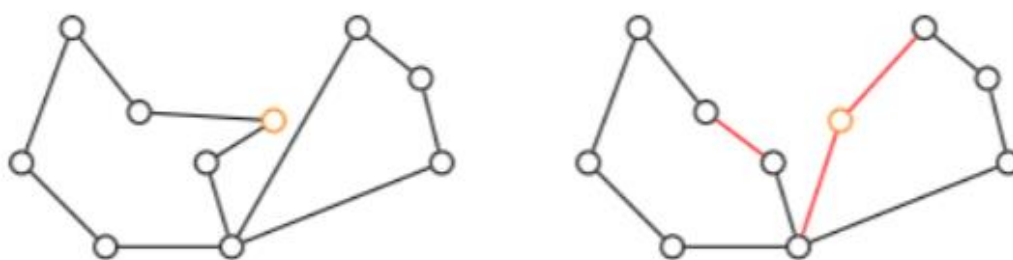


Рис. 1. Приклад застосування алгоритму переміщення

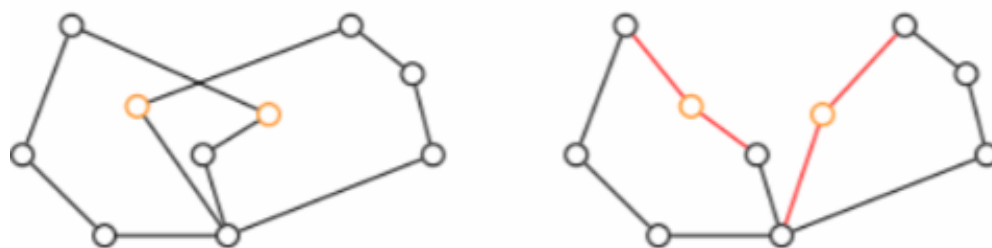


Рис. 2. Приклад застосування алгоритму обміну

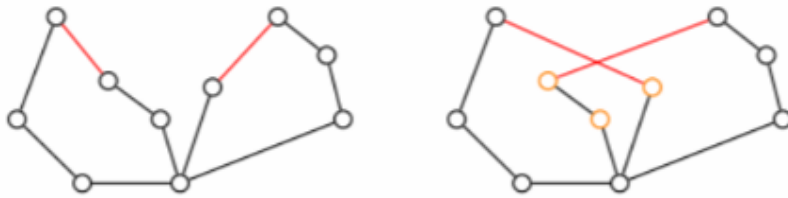


Рис. 3. Приклад застосування алгоритму перетину

У роботі проведено дослідження стосовно запропонованої комбінації евристичних і метаевристичних алгоритмів. Спершу застосовується мурашиний або генетичний алгоритм для отримання початкового наближеного маршруту, що дозволяє скоротити подальшу кількість ітерацій при застосуванні евристичних. Тобто отримані з використанням метаевристичних алгоритмів маршрути покращуються з використанням алгоритмів переміщення, обміну та перетину. Така комбінація забезпечує уникнення потрапляння в локальний оптимум при розв'язанні задачі. Комбіновані алгоритми інтегровано до системи підтримки прийняття рішень логіста ФОП «Устимук В. С.». Їх використання показало зменшення часу при прийнятті рішення та формування оптимальних маршрутів із урахуванням вантажомісткості.

Література

1. Дзундза В. С., Михальчук Г. Й. (2022) *Програмна система розв'язання задач маршрутизації транспортних засобів* [online], URL: <https://readcube.com/articles/10.15421/431707>.
2. Bräysy O., Gendreau M. (2005) *eVehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms*, *Transportation Science*, vol. 39, pp. 104–118.
3. Ong J. O. (2011) 'Suprayogi Vehicle Routing Problem with Backhaul, Multiple Trips and Time Window', *Jurnal Teknik Industri*, vol. 13, pp. 1–10.
4. Cattaruzza D., Absi N., Feillet D., Guyon O., Libeaut X. (2013) 'The Multi Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows and Release Dates', *10th Metaheuristics International Conference (MIC 2013) Singapore*, pp. 3–12.
5. Crainic T. G., Gajpal Y., Gendreau M. (2012) 'Multi-Zone Multi-Trip Vehicle Routing with Time Windows', *CIRRIELT*. vol. 36, 34 p.
6. *Маршрутизация с ограничением по грузоподъемности* (2022) [online], URL : <https://lektsii.com/1-119780.html>.
7. Hrybkov S., Oliinyk H., Litvinov V. (2018) 'Web-oriented decision support system for planning agreements execution', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3(2), pp. 13–24.
8. Hrybkov S., Kharkianen O., Ovcharuk V., Ovcharuk I. (2020) 'Development of Information Technology for Planning Order Fulfillment at a Food Enterprise', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1(103), pp. 62–73.
9. Ferrucci F.(2013) 'Pro-active Dynamic Vehicle Routing', *Operations Research*, p. 280.