

# МЕТОДИ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДРІБНОПАРТІОННИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Вінницький національний технічний університет.

## *Анотація*

*Проведено аналіз методів маршрутизації дрібнопартійних перевезень, на основі даного аналізу складено порівняння методів, їх позитивних та негативних сторін.*

**Ключові слова:** дрібнопартійні перевезення, метод, маршрут, задача, вантаж, маршрутизація.

## *Abstract*

*The analysis of routing methods of small-batch transportations, on the basis of this analysis compares methods, their positive and negative sides.*

**Keywords:** small batch transportation, method, route, task, cargo, routing.

Задача маршрутизації на автомобільному транспорті є досить актуальною з огляду на те, що мережа автомобільних доріг досить широка і дозволяє досягати пункту призначення різними шляхами в залежності від умов руху. В загальному вигляді її можна сформулювати в наступним чином – потрібно доставити однорідний вантаж від відправників всім одержувачам певною кількістю автомобілів найефективніше (з мінімальною довжиною маршруту). Для випадку дрібнопартійних перевезень відправник, як правило, один, а собівартість перевезень є досить високою.

Існують такі можливості зниження собівартості дрібнопартійних перевезень: якщо прийняти скорочення транспортних витрат за 100%, то з них 25% припадає на раціональний вибір маршрутів і 75% на оптимізацію структури парку автотранспортного підприємства (АТП). Реальні умови планування роботи АТП такі, що найбільша свобода є в виборі маршрутів руху, але не у виборі виду автомобілів. Отже, одна з основних задач, яку слід вирішити для зниження собівартості дрібнопартійних перевезень – це задача маршрутизації. Тому метою роботи є аналіз методів маршрутизації та вибір найбільш оптимального для забезпечення мінімальних витрат при дрібнопартійних перевезеннях.

Серед основних груп методів вирішення задачі маршрутизації для дрібнопартійних перевезень можна виділити такі: динамічне програмування, цілочислове лінійне програмування, метод «гілок і меж», методи локальної оптимізації, методи випадкового пошуку, евристичні методи, метаевристичні методи, теорія розкладів, імітаційне моделювання. Перші три методи прийнято називати оптимальними, тому що вони дозволяють наблизитися до оптимуму цільової функції. Інші методи називають субоптимальними, так як вони дозволяють знайти серед безлічі наближених рішень найкраще. Евристичні методи характеризуються своєю економічністю.

Розглянемо найбільш відомі методи розв'язання задачі маршрутизації.

*Методи динамічного програмування.*

Основна ідея цього методу полягає в наступному [1, 2]. Весь процес обчислень розбивається на  $n+1$  етап ( $n$  – загальна кількість пунктів доставки) і на кожному  $k$ -му етапі розглядається пункт, номер якого дорівнює номеру етапу. Для кожної дуги, що виходить з цього пункту, підраховується оцінка (функція стану)  $F_{k-i}$ , і з усіх оцінок вибирається та, яка має мінімальне значення та перевіряються умови оптимальності [1, 2]. Якщо на даному етапі всі дуги порушують визначені в [1, 2] умови, то проводиться повернення на одну стадію назад і прийнята на цій стадії дуга  $(k-1)-j$  ігнорується і вибирається наступна за оцінкою  $F_{(k-1)-i} > F_{(k-1)-j}$  дуга. Якщо умови не порушені хоча б для однієї дуги, то проводиться перехід на один етап вперед. Обчислення закінчуються, коли досягнута  $n+1$  етап.

*Методи цілочисельного програмування.*

Розв'язання задачі комівояжера методами цілочисельного програмування представлено в [3]. У задачах маршрутизації ми маємо справу з дискретними ресурсами: є кінцеве ціле число автомобілів,

кінцеве ціле число одержувачів. Виникає система лінійних обмежень в просторі цілочисельних змінних, що зводиться до розв'язання задачі цілочисельного програмування.

*Метод «гілок і меж».*

Використання методу «гілок і меж» для вирішення задачі комівояжера вперше описано в роботі [4]. Процес побудови оптимального плану здійснюється наступним чином. На кожному кроці уся множина шляхів комівояжера розбивається на дві підмножини, що не перетинаються, і для кожного підмножини визначається нижня межа рішення. Одна підмножина шляхів утворює шляхи, які включають дугу  $(i-j)$ , а інша – шляхи, які цю дугу не включають. У процесі розв'язку будується «дерево» варіантів, яке дозволяє виключити з гілок «дерева» варіанти, довжина шляху яких більша, ніж верхня межа для вже знайденого варіанта. Процес обчислень триває, поки не буде знайдено шлях, довжина якого не перевищує нижніх меж нерозбитих підмножин або пройдені всі шляхи.

*Методи локальної оптимізації (локального пошуку).*

Методи локального пошуку дозволяють наблизитися до глобального оптимуму. Сутність методів локальної оптимізації зводиться до такого: вибирається початкове припустиме рішення задачі і потім досить простими операціями перетворення робиться спроба поліпшити його. Йде постійне поліпшення цільової функції. Алгоритм працює, поки не буде досягнутий локальний екстремум (мінімум). Серед недоліків цього методу можна виділити такі: число кроків для досягнення локального оптимуму може бути досить великим (зростає експоненціально); локальний оптимум може істотно відрізнятись від глобального [5].

*Методи випадкового пошуку.*

Замовлення вантажоодержувача постійно змінюється, проте, вантажовідправник хоче працювати в умовах стабільності. Замовлення вантажоодержувача розглядається як випадкова величина, проводиться статистична обробка замовлень, по набраній статистиці виявляються закономірності. Потім проводиться мікрорайонування клієнтів або ситуаційне планування [6]. Мікрорайонування клієнтів передбачає об'єднання в групи вантажоодержувачів, що мають близькі графіки завезення вантажу та знаходяться в одному мікрорайоні. Територія мікрорайону може бути обмежена або квадратом з діагоналлю 5-6 км, або сектором з вершиною в пункті дислокації постачальника. Основний принцип ситуаційного планування – виділення базових транспортних ситуацій, чергуванням яких можна відтворити всю вихідну множину ситуацій.

*Евристичні методи.*

Евристичні методи здатні знаходити за прийнятний час рішення близьке до оптимального. Якщо позначити цільову функцію завдання маршрутизації  $f(x)$ , то для ітерації  $(i+1)$   $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ .

1. Метод Кларка-Райта, він же економізуючий метод, він же метод «функції вигоди» [7]. Основна ідея методу полягає в перетворенні початкової системи маршрутів таким чином, щоб кожне окреме перетворення давало найбільше поліпшення. Початкові маршрути при цьому радіальні. Внаслідок перетворень радіальні маршрути добуваються до кільцевих. Для цього застосовується матриця економії, розрахована на матриці відстаней.

При застосуванні даного методу до розвезення дрібнопартійних вантажів виділяють  $n$  одержувачів, для яких складають систему з  $n$  радіальних маршрутів  $\{0, i, 0\}$ , де  $i = (1, 2, 3, 4, \dots, n)$ . Система радіальних маршрутів задовольняє умовам задачі розвезення, але містить багато дрібних маршрутів. Цю систему перетворюють, поступово об'єднуючи маршрути (перетворюючи радіальні маршрути в кільцеві). Маршрути об'єднуємо з урахуванням значень функції вигоди, прагнучи до найбільшого скорочення довжини маршрутів.

2. Метод підсумовування по стовпцях [8].

Застосовується заздалегідь складена матриця найкоротших відстаней між пунктами. Вибираємо трьох одержувачів (наприклад, А, В, С), так щоб даний маршрут був найбільшим. Це вихідний маршрут, в нього додаємо інших одержувачів. Першим включається пункт, якому відповідала б велика сума стовпців в матриці найкоротших відстаней. Щоб знайти місце для включення пункту D в початковий маршрут, його включають по черзі між кожною парою сусідніх пунктів початкового маршруту: між А і В, між В і С, між А і С. При цьому для кожної пари пунктів розраховують величину приросту довжини маршрутів. Пункт D включається в маршрут між двома пунктами, для яких приріст буде мінімальним. Далі аналогічним чином включається наступний пункт E і т.д. Процес триває до тих пір, поки в маршрут не ввійдуть всі точки. Алгоритм досить простий, але в міру зростання числа пунктів його трудомісткість збільшується.

3. Вибір маршрутів по найкоротшій мережі, що зв'язує [8].

Найкоротша мережа, що зв'язує, має найменшу довжину. Застосовуємо матрицю найкоротших відстаней. Вибираємо два пункти з мінімальним відстанню між ними. На наступному кроці додаємо пункт, найбільш близький до початкових пунктів мережі. Далі шукаємо пункт, найближче розташований до отриманого третього пункту і т.д. Встановлена послідовність може бути неоптимальною, тому її використовують тільки для визначення набору пунктів, що входять в маршрут.

#### 4. Метод «мітли» (sweep algorithm).

Цей метод імітує дії диспетчера і полягає в наступному. На карті району перевезень будується промінь, причому початок його – це сам відправник, наступна точка променя – довільно обраний одержувач. Далі промінь обертається за (або проти) годинниковою стрілкою. Одержувач, якого торкнувся промінь, включається в маршрут. Маршрут сформований, коли промінь повернувся на  $360^\circ$ .

#### *Метаевристичні методи.*

В метаевристиці, перебираючи все нові і нові локальні оптимуми, можна «наштотуватися» на глобальний оптимум. В NP-повних задачах може бути багато локальних оптимумів і тут важливо за допомогою почергового виходу з локальних оптимумів прийти в глобальний оптимум. Програма може «застрягти» (заиклитися) в локальному оптимумі. Також методи метаевристики відрізняються від евристичних тим, що для ітерації  $(i+1)$  не обов'язково виконується нерівність  $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ .

#### 1. Метод генетичних алгоритмів [9]

Для вирішення задачі маршрутизації маршрут уподібнюється хромосомі. Спочатку одним з відомих методів («жадібний» алгоритм, метод «гілок і меж», генератор випадкових чисел та ін.) формуються першопочаткові маршрути (стартова популяція хромосом). Попередньо задачу можна спростити за допомогою мікрорайонування. Так як кожен сформований маршрут можна уподібнити хромосомі, то, відповідно, кожен ген – це елемент маршруту, конкретний одержувач. Далі починається цикл еволюції. На кожному витку цього циклу формуються хромосоми (маршрути) нового покоління за допомогою операторів вибору батьків, кросинговеру, мутації і селекції.

#### 2. Метод мурашиної колонії (Ant Colony Optimization) [10]

Мурахи прокладають оптимальні маршрути до джерел їжі, позначаючи свій маршрут виділенням для цієї мети хімічною речовиною – феромонами. Кожен новий мураха на цьому маршруті також позначає його. Чим вигідніше маршрут, тим більше феромона нанесено на цей маршрут. Існує позитивний зворотний зв'язок (чим коротше маршрут, тим повільніше випаровується феромон) і негативний зворотний зв'язок (на довгому маршруті феромон випаровується і маршрут стає непривабливим для мурашок). У цьому методі віртуальні мурахи спочатку розміщуються в вершинах графа, потім починають своє пересування, покриваючи свій шлях феромонами. Пам'ять мурахи не дозволяє їй відвідати вже пройденого одержувача. Чим коротше шлях, тим більше буде на ньому феромону.

#### *Метод імітаційного моделювання*

Методи імітаційного моделювання є перспективним для вирішення задач маршрутизації. Їх доцільно застосувати для вирішення задачі розвезення дрібнопартійних вантажів з таких причин:

- 1) складна структура маршрутів і складна структура часових вікон навантаження і розвантаження створюють складний об'єкт моделювання;
- 2) замовлення одержувачів продукції постійно змінюються в часі і просторі, відповідно, змінюються і маршрути розвезення дрібнопартійних вантажів;
- 3) необхідно досліджувати в динаміці процес функціонування системи розвезення дрібнопартійних вантажів.

### **Висновки**

Методи, що забезпечують отримання оптимального рішення (динамічне програмування, цілочислове програмування, метод «гілок і меж» тощо), доцільні для задач малої розмірності (до 50 в разі методу «гілок і меж»). Евристичні методи дозволяють при економних витратах праці, коштів та часу одержати не оптимальний результат, але придатний для практичного використання – субоптимальне рішення. Метаевристичні методи вимагають великої кількості параметрів, потребують стратегії, що перешкоджає «застряганню» в локальному оптимумі і сприяє переходу до глобального оптимуму.

Враховуючи специфіку дрібнопартійних переїзень, вважаємо, що найбільш доцільно застосовувати евристичні методи, зокрема метод Кларка-Райта.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беллман Р. Применение динамического программирования к задаче о коммивояжёре // Кибернетический сб. – 1964. – Вып. 9. – С. 219–222..
2. Хелд М. Применение динамического программирования к задачам упорядочения / М. Хелд., Р. Карп // Кибернет. сб. – 1964. – Вып. 9. – С. 208–218.
3. Miller C. E. Integer programming formulation of travelling Salesman problems / C. E. Miller, A. W. Tucker, R. A. Zemlin // J. Association for Computing Machinery. - 1960. - № 4. - P. 326-329.
4. Алгоритм решения задачи коммивояжёра / Дж. Литтл, К. Мурти, Д. Суини и др. // Экономика и математические методы. – 1965. – № 1. – С. 94–107.
5. Tovey C. A. Local improvement on discrete structures // Local search in combinatorial optimization / ed. E. Aarts, J. K. Lenstra. - N. Y.: Wiley, 1997. - P. 57-90.
6. Evans S. R. The impact of a decision support system for vehicle routing in food service supply situation / S. R. Evans, J. P. Norback // J. Operational Research Society. - 1985. - V. 36, № 4. - P. 467 - 472.
7. Clark G. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points / G. Clark, J. Wright // Operational Research. – 1964. – V. 12, № 4. – P. 568–581.
8. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. – 2-е изд, доп. и перераб. – Киев : Вища шк., 1986. – 447 с. : ил.
9. Емельянов В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. М. Курейчик, В. В. Курейчик. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 431 с. : ил.
10. Colomi A. Distributed optimization by ant colonies / A. Colomi, M. Dorigo, V. Maniezzo // Proceedings of the First European Conference on Artificial Life: Paris, December 1991 / ed. by F. J. Varela, P. Bourguine. - Cambridge, MA: The MIT Press, 1993. - P. 134-142.

**Ярослав Юрійович Крупський** – студент групи ТТ-18м, факультет машинобудування і транспорту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: dadadydidi@gmail.com;

**Євгеній Валерійович Смирнов** – канд. тех. наук, доцент кафедри автомобілів і транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua.

**Yaroslav Y. Krupsky** - student of ТТ-18m group, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnitsa National Technical University, e-mail: dadadydidi@gmail.com;

**Yevheniy V. Smyrnov** - Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of Department of Automobiles and Transport Management, Vinnitsa National Technical University, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua