

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУ

*У статті проведено аналіз методів вирішення задач маршрутизації транспорту з обмежуючими факторами.*

*Розглянуто теоретичні підходи до вирішення задач маршрутизації транспорту, питання евристики та оцінки методів їх реалізації. Проведено аналіз методів вирішення задач з часовими, транспортними, та періодичними обмеженнями, а також один з можливих варіантів їх комбінування.*

*Таким чином, знайдено досить раціональне рішення поставленої задачі, яке може бути використане в якості основи для порівняння, або методу для вдосконалення під нові обмеження.*

*Ключові слова: задача маршрутизації транспорту, евристика.*

**Вступ.** Задачі маршрутизації являються ключовими в областях транспортних перевезень, переміщення і логістики та представляють величезний практичний інтерес. У рішенні подібних задач зацікавлено багато організацій, наприклад служби, швидкої допомоги, інтернет-магазини, оптові бази, автотранспортні підприємства, компанії, що займаються вантажоперевезеннями.

Кількість обмежень які постають перед компанією для вирішення задачі, зводять усе до різних типів існуючих задач маршрутизації транспортних засобів (ЗМТ, Vehicle Routing Problems, VRP).

Задача формулюється наступним чином. Є безліч клієнтів і безліч агентів. Агенти обслуговують клієнтів. Суть обслуговування полягає в доставці (зборі) товару (наданні послуг). Кожен товар має набір характеристик (вага, об'єм, вартість та ін.). Для кожного агента задані місце розташування на початку і кінці робочого дня, інтервал роботи, обмеження на сумарні характеристики постачаємих товарів. Для кожного клієнта задані інтервал часу, протягом якого повинен бути доставлений товар, характеристики товару, який він має отримати, і пріоритет. Необхідно обслужити максимальну кількість клієнтів з урахуванням пріоритетів так, щоб були виконані часові обмеження і обмеження на сумарні характеристики товарів що доставляються. При цьому потрібно мінімізувати сумарні накладні витрати (час роботи, час простою, сумарні транспортні витрати, кількість задіяних агентів і т.д.).

Розглянутий клас задач становить інтерес з наукової точки зору. В даному напрямку протягом останніх сорока років ведуться інтенсивні дослідження. Величезна кількість вхідних параметрів, з одного боку, роблять завдання настільки складним, що багато існуючих алгоритмів або не застосовні, або погано адаптуються до практичного застосування. З іншого боку, ця ж особливість надає простір для нових доліджень.

Перші наближені алгоритми були створені в 1970-х роках (Clarke G., Wright J.W.). В 1980-ті роки були закладені основні підходи до наближення розв'язання задач маршрутизації транспорту (Cook T., Russel RA, Christofides N., Mingozzi A., Toth P.). З середини 1990-х років дослідження зосередилися на побудові метаевристик, в основі яких лежать такі методи як пошук з винятками, метод відпалу, генетичні алгоритми, метод мурашиних колоній, нейромережі та інші (Gendreau M., Osman IH, Matsuyama Y.). В останні десять років дослідження схилились в сторону обробки складних видів обмежень (Frazzoli E., Bullo F.).

Головною метою більшості дослідників є підвищення якості результатів розрахунків. При цьому швидкість роботи алгоритмів йде на другий план. У той же час високий темп росту ІТ-індустрії та інтернет-технологій призводить до необхідності створення програмних продуктів, орієнтованих на широке коло користувачів. Для задач масового обслуговування кількість клієнтів може досягати декількох тисяч, але при цьому час роботи не повинно перевищувати заданого часового порогу. Таким чином, пошук алгоритмів, здатних знаходити рішення прийнятної якості за заданий час, стає все більш актуальним завданням.

Задачі маршрутизації є ключовими в областях транспортних перевезень, переміщення та логістики. У багатьох областях ринку доставка товару додає до його вартості суму, порівнянну з вартістю самого товару. Тим не менше, використання комп'ютерних методів оптимізації доставки товару часто виражається в економії близько 5-20% від загальної його вартості.

**Проблемні питання.** Складність завдання полягає в тому, що при оптимізації алгоритму маршрутизації необхідно врахувати велике число складних характеристик і параметрів досліджуваного алгоритму. Тому розробка алгоритмів маршрутизації залишається завданням актуальним і викликає інтерес багатьох дослідників.

Вирішуючи дане питання я зіткнувся з такими труднощами [3, 4]:

- Дана задача відноситься до класу *NP*-повних, а це означає що обчислювальна складність задачі залежить від розміру вхідних обмежень експоненціально.

- Таким чином, більш серйозна проблема займе дуже великий час на обчислення та вирішення, використовуючи традиційний підхід, який обчислює усі можливості.

- Отже, для цього використовують евристичні методи, щоб знайти “добре” рішення проблеми за кінцевий час.

- Зазвичай в такому випадку процес пошуку розв'язку розбивається на два етапи: побудова початкового рішення та покращення рішення. (Тобто створення одного або декількох допустимих розв'язків, котрі будуть стартовою точкою при наступному етапі покращення).

- А це означає, що добре підібраний евристичний метод надає досить наближений результат до ідеального рішення.

Зазвичай, в реальних задачах оптимізації виникають досить багато додаткових обмежень та варіацій, тому обов'язково не можна обійтись без комбінування різних існуючих методів [4].

1. Маршрутизація з обмеженням за часом (VRP with Time Windows, VRPTW) [1]:

- Кожен замовник повинен бути обслужений в певне “часове вікно”.
- Рішення є неприйнятним, якщо клієнт обслуговується після верхньої часової межі.
- Машина, яка прибула раніше нижньою часовою межею, очікує її настання.
- Як варіант, запізнення не впливає на саме рішення, але додає деякі штрафні значення до цільової функції.

На рисунку 1 представлений типовий варіант вирішення задачі з обмеженням за часом. Для виконання замовлення кожного клієнта існує допустимий інтервал часу (показаний білим кольором), реальний момент виконання замовлення у відповідності з отриманим рішенням відзначений рисою.

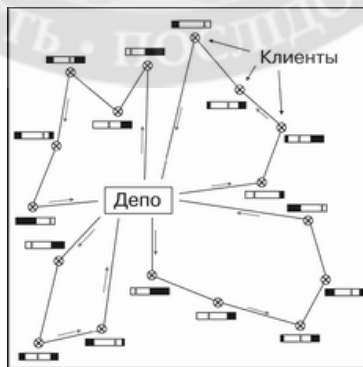


Рис. 1. Варіант рішення задачі з обмеженням в часі

2. Маршрутизація з декількома депо (Multiple Depot VRP, MDVRP):

- В наявності може бути кілька депо, якими обслуговуються споживачі.
- У разі, якщо споживачі згруповані навколо кожного депо, задача може бути розбита на кілька незалежних.

- Однак, якщо споживачі і депо розташовані в безладді, потрібно шукати рішення для задачі маршрутизації з множинним депо (MDVRP).

Дана задача вимагає розподілу споживачів за різними депо. У кожному депо розташовується парк транспорту. Кожна машина виїжджає зі свого депо, обслуговує споживачів, прикріплених до даного депо, і потім повертається назад.

### 3. Періодична маршрутизація (Periodic VRP, PVRP):

- В завданнях з періодичною маршрутизацією ЗМТ узагальнюється розширенням періоду планування до декількох днів. (інші форми ЗМТ завжди плануються на 1 день).

- Клієнт має щоденний попит на проміжок в декілька днів. Транспортний засіб може здійснити доставку за декілька підходів, таким чином, щоб клієнту завжди вистачало ресурсів на зазначений проміжок днів.

- Більш того, транспортний засіб не змушений повертатись назад в депо того ж дня.

Обмеження: ті ж, як і в класичній ЗМТ. Крім того, машина може повернутися в депо не в той же день. Після закінчення *M*-денного періоду кожен клієнт повинен бути відвіданий як мінімум один раз.

### 4. Маршрутизація з різним транспортом (Split Delivery VRP, SDVRP):

- Дана задача розширює VRP, дозволить обслуговувати одного клієнта різними видами транспорту, якщо це зменшує загальну вартість завдання.

- Роблячи це, можна знизити витрати, використовуючи потенціал автомобіля в повному обсязі.

Обмеження: на відміну від класичної VRP, в задачах SDVRP знімається обмеження на те, що клієнт повинен бути обслугований тільки однією машиною. Крім того, парк транспорту включає машини різної місткості.

### **Методи рішення комбінованих задач:**

- Точні підходи обчислюють кожне рішення проблеми поки не буде знайдено раціональне рішення. Математичне формулювання цього завдання широко відома як задача маршрутизації транспорту (ЗМТ). Існує ряд різновидів ЗМТ з різними додатковими умовами, що дозволяє враховувати вантажопідйомність транспортних засобів та інші обмеження для більш повного уявлення деталей реальної дійсності. ЗМТ є узагальненням відомого завдання комівояжера (ЗК) на випадок побудови відразу декількох замкнутих маршрутів, що проходять через деяку загальну вершину, звану депо. ЗМТ і ЗК належать до класу задач дискретної оптимізації і є NP-важкими. Не існує методів знаходження їх точних рішень та перевірки оптимальності наближених за поліноміальний час. Відома точна алгоритм вирішення ЗМТ на основі методу гілок і меж, але в силу надмірно швидкого зростання часу обчислень його неможливо застосовувати для задач з більш ніж 25-30 вершинами.

- Евристичні методи (друга назва Евристики) дозволяють пришвидшити процес розв'язання задач. Широко використовуються для вирішення задач, коли перебір усіх інших рішень займає неприйнятну кількість часу на розв'язок такої задачі. Виробляється відносно обмежений пошук по простору рішень, і зазвичай знаходяться добрі рішення за прийнятний час. Конструктивні методи: поступово будують підходяще рішення, беручи до уваги яка утворюється загальну вартість. Перевіряються допустимі рішення на задовільність заданих умов, та необхідність поліпшення результату. Є багато алгоритмів для цієї процедури. Двофазний алгоритм: задача розділяється на дві частини: в цьому методі вершини розподіляються на певні групи. Маршрути визначають певний шлях, котрий поєднує ці групи вершин у вигляді петлі.

- Мета-евристики. В мета-евристичних методах упор робиться на ретельному вивченні найбільш перспективних частин простору рішень. Якість одержуваних рішень виходить вище, ніж у отриманих класичними евристикими.

### **Реалізації та результати.** Алгоритм має дві фази:

- Фаза побудови: Допустиме рішення швидко формується за допомогою найближчого сусіда.

- Фаза поліпшення: Рішення, отримане на попередньому етапі поліпшується відомим алгоритмом розв'язування задачі комівояжера 2-орт. Оптимізація відбувається вилученням двох або більше ребер шляху та додаванням нових ребер так, щоб його довжина зменшилась.

Алгоритм на вході отримує матрицю відстаней які відповідають відстаням між різними клієнтами, так вектор попиту, який зберігає значення, що кожен клієнт вимагає.

Обмеження, що накладаються на рішення [2]:

- Є 600 клієнтів з різними вимогами.
- Усі клієнти повинні бути обслуженими за однаковий термін в 180 хвилин (3 год.). (Швидкість становить 40 кілометрів за годину, час на розгрузку 5 хвилин в усіх точках).

- Транспорт не може проїхати більш ніж 65 кілометрів.
- Транспорт не може обслужити більше 20 клієнтів.
- Кожний транспорт вміщує 1000 кг.
- Клієнту може бути доставлений товар лише одним транспортом (Не маршрутизація з різним транспортом).

• Таким чином, ця проблема є варіантом «Маршрутизація з обмеженням за вантажопідйомністю з обмеженням за часом».

Розробка евристики:

- Розробка евристики виконується алгоритмом найближчого сусіда.
- Спочатку ми маємо один фургон розташований в депо. Ми повинні знайти найближчий магазин серед множини не відвіданих магазинів і призначили його цьому фургону.

• Таким чином магазини постійно додаються, поки деякі обмеження не порушуються, тоді фургон повертається в депо і додається наступний фургон.

- Фургони додаються поки усі магазини не будуть відвідані.



Рис. 2. Приклад побудови маршрутів фургонами за алгоритмом найближчого сусіда

Далі ми застосували алгоритм 2-орт для поліпшення знайденого рішення. 2-орт алгоритм оглянув маршрути обрані фургонами, та замінив усі перехрещення, що потребують більшу відстань (рис. 3).



Рис. 3. Заміна перехрещень алгоритмом 2-орт, для зменшення кінцевої відстані

**Отримані результати.** Алгоритм був реалізований мовою «1С Підприємство», з випадково згенерованими даними для 600 магазинів.

Кількість магазинів	600
Використаних фургонів	31
Мінімальна отримана кінцева відстань (Після першої фази)	638.3 км.
Мінімальна отримана кінцева відстань (Після другої фази)	593.8 км.
Затрачений час на розрахунки	0.120 с.

## Висновки.

- Методи найближчого сусіда та 2-орт, що описувались тут, не являються найкращим рішенням, але він є досить економічним в часі, через що його ефективність висока.
- Однак він може бути використаний в якості основи для порівняння, або створення більш просунутих алгоритмів.
- Отриманий результат за допомогою цього алгоритму можна розглядати як верхню межу.
- З появою та використанням GPS навігації на мобільних платформах, це буде велика перевага для логістичних команд, якщо алгоритми ЗМТ інтегровані для забезпечення динамічної навігації для кожного транспортного засобу.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Лахно А.П. Модификация метода Османа в задачах маршрутизации автотранспорта с временными окнами / Лахно А.П., Чернышев С.В. – К: МГУ, 2008. – 229-230 с.
2. Чернышев С.В. Построение начального приближения в задаче маршрутизации с ограничениями по времени и другими вспомогательными условиями / Чернышев С.В. – К.: МГУ, 2006 г. – 139 с.
3. Ананий В.Л. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / Ананий В. Л. – К.: Москва «Вильямс», 2006. – С. 159–160.
4. Дмитрий Трофимов. Задача маршрутизации транспорта 2007. <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unordered/vrp-2006>

**Рецензент:** к.т.н., доц. Джулій В.М., доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Хмельницького національного університету

**Барбашов И.А., к.т.н., доц. Огневой О.В.**

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*В статье проведен анализ методов решения задач маршрутизации транспортных средств с ограничивающими факторами.*

*Рассмотрены теоретические подходы к решению задач маршрутизации транспортных средств, вопросы эвристики и оценки методов их реализации. Проведен анализ методов решения задач с временными, транспортными и периодическими ограничениями, а так же один из возможных вариантов их комбинирования.*

*Таким образом, найдено достаточно рациональное решение поставленной задаче, которое может быть использовано в качестве основы для сравнения, или метода для усовершенствования под новые ограничения.*

**Ключевые слова:** задача маршрутизации транспортных средств, эвристика.

**Barbashov I.A., Ph.D. Ognevoy O.V.**

## EVALUATION OF METHODS FOR SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEMS

*This paper analyzes methods of Vehicle Routing Problems solutions with restrictions.*

*The theoretical foundations of Vehicle Routing Problems solutions, heuristic and assessment of methods for their implementation are considered. The analysis of problem-solving techniques with time windows, split delivery and periodic, also one of the possible options to combine them.*

*Thus, found quite a rational solution of the task, which can be used as a basis for comparison, or a method to improve under the new restrictions.*

**Keywords:** vehicle routing problems, heuristic.