**АНОТАЦІЯ**

**Структура та обсяг роботи.** Пояснювальна записка індивідуальної частини № 1 комплексного дипломного проекту складається з чотирьох розділів, містить 112 сторінок, 33 рисунків, 13 таблиці, 3 додатки, 21 джерел(о).

Комплексний дипломний проект присвячений комплексу задач складання плану перевезень продукції із метою зменшення витрат на перевезення. Індивідуальна частина № 1 присвячена складанню плану перевезень однорідної продукції із урахування вантажомісткості транспортних засобів.

У розділі з математичного забезпечення наведена математична постановка задачі, обґрунтовано обрані підході для розв’язання. Були розроблені алгоритм для розв’язання задачі складання плану перевезень однорідної продукції із урахуванням вантажомісткості транспортних засобів. Проведено порівняльний аналіз алгоритмів на основі отриманих експериментальних даних.

У технологічному розділі наведена інструкція користувача.

У розділі з охорони праці наведені гігієнічні норми для приміщень, у яких експлуатуються ЕВМ.

МАРШРУТ, ЦИКЛ, ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ВАНТАЖОМІСТКІСТЬ, ЗАДАЧА КЛАСТЕРИЗАЦІЇ, АЛГОРИТМ ЛАНЦЮГА НАЙБЛИЖЧОГО СУСІДА, ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ, БДЖОЛИНИЙ АЛГОРИТМ, ЗАДАЧА КОМІВОЯЖЕРА.

**ABSTRACT**

ROUTE, LOOP, VEHICLE ROUTING PROBLEM, CAPACITY, DATA CLUSTERING, NEAR-NEIGHBOR CHAIN ALGORITHM, HEURISTIC ALGORITHMS, BEES ALGOTIRHM, TRAVELING SALESMAN PROBLEM.

**ЗМІСТ**

[ВСТУП 7](#_Toc324855926)

[1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ 8](#_Toc324855927)

[Висновок до розділу 8](#_Toc324855928)

[2. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕНЯ 9](#_Toc324855929)

[2.1 Змістовна постановка задачі 9](#_Toc324855930)

[2.2 Математична постановка задачі 9](#_Toc324855931)

[2.3 Обґрунтування методу розв’язання 12](#_Toc324855932)

[2.4 Опис методів розв’язання 12](#_Toc324855933)

[2.4.1 Опис 2-етапного алгоритму для розв’язання CVRP 12](#_Toc324855934)

[2.4.1.1 Перший етап – кластеризація вершин графу 12](#_Toc324855935)

[2.4.1.1.1 Алгоритм ланцюга найближчих сусідів 12](#_Toc324855936)

[2.4.1.1.2 Бджолиний алгоритм кластеризації 14](#_Toc324855937)

[2.4.1.2 Другий етап – побудова маршрутів відповідно до проведеної кластеризації 16](#_Toc324855938)

[2.5 Порівняльний аналіз отриманих результатів 16](#_Toc324855939)

[Висновок до розділу 16](#_Toc324855940)

[3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 17](#_Toc324855941)

[Висновок до розділу 17](#_Toc324855942)

[4. РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ 18](#_Toc324855943)

[Висновок до розділу 18](#_Toc324855944)

[ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 19](#_Toc324855945)

[ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 20](#_Toc324855946)

# ВСТУП

# ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

## Висновок до розділу

# МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕНЯ

## Змістовна постановка задачі

## Математична постановка задачі

Постановка класичної задачі маршрутизації транспортних засобів (VRP) наведена у загальній частині дипломного проекту у п. 3.2.1. Розглянемо основні відмінності CVRP від VRP.

Автопарк складається із необмеженої кількості транспортних засобів, вантажомісткість яких . Із кожним споживачем пов’язане замовлення . Замовлення усіх споживачів мають бути виконані, і жодний транспортний засіб не може перевезти продукції більш ніж одиниць. Зрозуміло, що мінімальна кількість транспортних засобів, необхідних для виконання усіх замовлень, дорівнює:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

У класичні постановці CVRP замовлення одного клієнта не перевищує вантажомісткість транспортних засобів, тобто. Задачу, у якій замовлення може перевищувати вантажомісткість транспортних засобів будемо називати розширеною CVRP та позначати CVRP+. У випадку CVRP+ кожний споживач має бути відвіданий мінімально можливу кількість разів. Тобто:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

де – мінімальна кількість транспортних засобів необхідних для виконання замовлення споживача .

Наведемо загальне формулювання задач CVRP/CVRP+ як задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування. Використаємо наступну нотацію:

* – бінарна змінна, що приймає значення 1, якщо маршрут ‑ого транспортного засобу включає безпосередній переїзд із міста у місто , і значення 0 у іншому випадку;
* – кількість продукції доставленої -ому споживачу -им транспортним засобом; для CVRP ця змінна може приймати лише два значення – , якщо -ий транспортний засіб виконав замовлення споживача із міста , у іншому випадку , у випадку CVRP – .

Цільова функція – мінімізація сумарної вартості (довжини) складеного маршруту:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

Обмеження:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |
|  | (2.5) |
|  | (2.6) |
|  | (2.7) |
|  | (2.8) |
|  | (2.9) |
|  | (2.10) |
|  | (2.11) |
|  | (2.12) |

Обмеження (2.4) гарантують, що кожний споживач буде відвіданий лише мінімально можливою кількістю транспортних засобів. Обмеження (2.5) забезпечують виїзд транспортного засобу від кожного відвіданого ним споживача. Обмеження (2.6) гарантують виїзд кожного транспортного засобу із міста-складу, забезпечуючи таким чином використання усіх наявних транспортних засобів. Обмеження (2.7) унеможливлюють утворення у розв’язку маршрутів, які не містять склад. Обмеження (2.8) гарантують, що клієнт обслуговується транспортним засобом , тільки якщо він проїжджає через місто . Виконання усіх замовлень у повному обсязі забезпечується обмеженнями (2.9). Обмеження (2.10) унеможливлюють можливість перевезення транспортним засобом продукції обсягом більше ніж їх вантажомісткість.

Доведено, що якщо задача (2.3)-(2.12) має допустимі розв’язки, тоді існує повністю цілочисельний оптимальний розв’язок, тобто оптимальний розв’язок, у якому . Це має важливе значення для розв’язання задачі CVRP+.

Основною проблемою розв’язання задачі (2.3)-(2.12) є те, що кількість необхідних транспортних засобів невідома заздалегідь. Одним із варіантів вирішення даної проблеми є ітеративний запуск розв’язання задачі для різної кількості транспортних засобів:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

де – верхня межа необхідної кількості транспортних засобів.

Зрозуміло, що максимальна кількість необхідних транспортних засобів буде у випадку, якщо кожному споживачу приписати необхідну для нього мінімальну кількість транспортних засобів, які більше нікого не обслуговуватимуть:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.14) |

Динамічне визначення необхідної кількості машин у процесі роботи алгоритму видається більш ефективним методом порівняно із ітеративним запуском, особливо якщо розв’язання однієї задачі для фіксованої кількості транспортних засобів займає досить багато часу.

## Обґрунтування методу розв’язання

Враховуючи результати, отримані при розв’язанні класичної задачі транспортних засобів (VRP), яка є задачею складання плану перевезень малогабаритної продукції за умов наявності необмеженої кількості транспортних засобів (див. п. 3.5 загальної частини дипломного проекту), було вирішено застосовувати 2-етапний метод розв’язання для розв’язання задачі маршрутизації транспортних засобів із урахуванням вантажомісткості.

Для виконання першого етапу алгоритму було обрано два різних підходи, для виявлення ефективнішого методу розв’язку. У даній роботі досліджується алгоритм ланцюга найближчого сусіда (Nearest-neighbor chain algorithm) та модифікований бджолиний алгоритм для кластеризації вершин для класичної задачі транспортних засобів, описаний у загальній частині комплексного дипломного проекту у п. 3.4.2.1.3.

Для другого етапу складання маршрутів застосовується бджолиний алгоритм розв’язання задачі комівояжера, оскільки для розв’язання даної задачі він на практиці показав себе як дуже ефективний метод.

## Опис методів розв’язання

### Опис 2-етапного алгоритму для розв’язання CVRP

#### Перший етап – кластеризація вершин графу

Постановка задачі кластеризації наведена у п. 3.4.2.1.1 загальної частини дипломного проекту. Основна проблема кластеризації для CVRP полягає у тому, що оптимальна кількість кластерів не відома заздалегідь, відома лише нижня межа необхідної кількості кластерів (див. формулу (2.1)). Це унеможливлює застосування методів кластеризації, які застосовуються для задачі VRP.

##### Алгоритм ланцюга найближчих сусідів

Алгоритм ланцюга найближчих сусідів (Nearest-neighbor chain algorithm) полягає у повторюваній побудові ланцюгів найближчих сусідів , де кожний кластер є найближчим сусідом попереднього, до тих пір доки не буде досягнута пара кластерів які є взаємно найближчими сусідами.

Наведемо більш формальний опис даного методу у вигляді покрокового алгоритму.

**Крок 1.** Формується початкова множина активних із активних кластерів, шляхом формування окремого кластеру для кожної точки.

**Крок 2.** Нехай – стекова структура даних, елементи якої є кластерами. Ініціаліазуємо її як порожню структуру.

**Крок 3.** Якщо поточне розбиття на кластери задовольняє умові задачі, завершити роботу алгоритму. Інакше перейти на крок 4.

**Крок 4.** Побудова ланцюга найближчих сусідів

**4.1** Якщо стек порожній, обрати довільний кластер і помістити його у верхівку стеку .

**4.2** Нехай кластер на верхівці стеку . Розрахувати відстані від до усіх інших кластерів. Нехай – найближчий кластер.

**4.3** Якщо не міститься у , помістити його у верхівку стеку та перейти до кроку 4.2.

**4.4** Якщо уже міститься у (він має бути безпосереднім попередником кластеру ), видаляємо кластери та із стеку та із множини активних кластерів, та додаємо об’єднаний кластер до множини активних кластерів.

**4.5** Перейти на крок 3.

Для того, щоб даний алгоритм застосувати як перший етап 2-етапного алгоритму розв’язку CVRP необхідно внести модифікації пов’язані із обмеженнями «місткості» кластеру (оскільки обмеженою є місткість транспортних засобів).

Наведемо модифіковану схему алгоритму призначену для кластеризації вершин CVRP.

**Крок 1.** Нехай – двозв’язаний список. Формуємо цей список шляхом формування окремого кластеру для кожної точки і додаванням її до списку.

**Крок 2.** Нехай – стекова структура даних, елементи якої є кластерами. Ініціаліазуємо її як порожню структуру.

**Крок 3.** Обираємо перший кластер із списку і встановлюємо його як поточний кластер та додаємо до стеку .

**Крок 4.** Побудова ланцюга найближчих сусідів

**4.1** Нехай кластер на верхівці стеку . Розрахувати відстані від до усіх інших кластерів. Нехай – найближчий кластер.

**4.2** Якщо не міститься у , помістити його у верхівку стеку та перейти до кроку 4.1.

**4.3** Якщо уже міститься у (він має бути безпосереднім попередником кластеру ) і можливе об’єднання та (тобто ), видаляємо кластери та із стеку та списку , та додаємо об’єднаний кластер до списку та у верхівку стеку .

**4.4** Якщо поточний кластер А був не останнім у списку обрати наступний за ним кластер, встановити його як поточний, спустошити стек та додати у його верхівку новий поточний кластер і перейти до кроку 4.

**Крок 5.** Якщо на кроці 4 не було здійснено жодного об’єднання кластерів, завершити роботу алгоритму, інакше перейти до кроку 2.

##### Бджолиний алгоритм кластеризації

Для кластеризації вершин для задачі CVRP було модифіковано бджолиний алгоритм кластеризації для задачі VRP (див. п. 3.4.2.1.3). Модифікація полягала у обмеженні «місткості» кластеру, тобто для точок кластеру має виконуватись наступне:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

Така модифікація необхідна для виконання обмеження на вантажомісткість транспортних засобів. Початкові розв’язки формуються наступним чином: випадкові вершини із множини вершин додавались до кластеру до тих пір, поки дозволяє місткість кластеру. Як тільки кластер заповнюється, створюється новий, який так само заповнюється випадковим чином.

При застосування стратегії пошуку сусідніх розв’язків, що полягає у випадковому переміщенні точок із одного кластеру в інший (див п. 3.4.2.1.3 загальної частини дипломного проекту), виявилось що ця стратегія має суттєвий недолік у випадку задачі CVRP. Цей недолік полягає у тому, що у випадку наповненості двох будь-яких кластерів, виникає ситуація, коли алгоритм не може обміняти дві точки із цих кластерів між собою.

На рисунку 2.? наведений відповідний приклад. Розглянемо його детальніше. «Червоний» кластер має місткість 20 одиниць продукції, а «зелений» – 18 одиниць, а вантажомісткість одного транспортного засобу – 20 одиниць. Очевидно, що для отримання кращого розв’язку необхідно поміняти вершини із замовленням 6 од. і 7 од. продукції. Але це неможливо зробити послідовно перемістивши спочатку одну вершину, а потім іншу, оскільки місткості кластерів цього не дозволяють.



Рисунок 2.? – Приклад застосування стратегії пошуку сусідніх розв’язків для задачі CVRP

Для розв’язання цієї проблемо було введено додатковий метод у стратегію пошуку сусідніх розв’язків. Цей метод полягає у випадковому обміні двома вершинами між кластерами, якщо це дозволяє їх місткість. На рисунку 2.? наведена графічна ілюстрація цього методу.

 Рисунок 2.? – Формування сусіднього розв’язку шляхом здійснення обміну вершинами між кластерами

#### Другий етап – побудова маршрутів відповідно до проведеної кластеризації

Другий етап даного алгоритму розв’язання CVRP полягає у побудові маршрутів для кожного кластеру, він є таким самим як і другий етап даного алгоритму для розв’язання VRP. Для знаходження окремих маршрутів необхідно розв’язати задачу комівояжера для кожного кластеру (див. п. 3.4.2.2 загальної частини дипломного проекту).

### Опис 2-етапного алгоритму для розв’язання CVRP+

## Порівняльний аналіз отриманих результатів

## Висновок до розділу

# ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

## Керівництво користувача

## Висновок до розділу

# РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

## Висновок до розділу

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Article “” [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://neo.lcc.uma.es/radi‑aeb/WebVRP/index.html?/Problem\_Descriptions/VRPPDDesc.html](http://neo.lcc.uma.es/radiaeb/WebVRP/index.html?/Problem_Descriptions/VRPPDDesc.html);
2. Article “Vehicle routing problem” [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\_routing\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering);
3. ФИО первого автора. The Vehicle Routing Problem: Last Advances and New Challenges [Текст] // ИОФ всех авторов // Город печатания: Springer, 2008. – 589 с.
4. Article “Travelling salesman problem” [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling\_salesman\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering);
5. Article “Cluster analysis” [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis>;
6. Article “k-means clustering” [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://en.wikipedi a.org/wiki/K-means\_clustering;
7. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин;
8. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин;
9. ДСН 3.3.6.042-99 [Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень](http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972);
10. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
11. НАПБ Б.03.002-2007Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою;
12. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок;
13. НАПБ Б.03.001-2004 Типові норми належності вогнегасників