

УДК 519.85

## **ЗАСТОСУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ OR-TOOLS ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ**

**Молчанов І.В.**, студент, [molchanov.i.v@nmu.one](mailto:molchanov.i.v@nmu.one), НТУ «ДП»

**Желдак Т.А.**, к.т.н., доцент, [zheldak.t.a@nmu.one](mailto:zheldak.t.a@nmu.one), НТУ «ДП»

Дистрибуція — це поняття у логістиці, яке означає комплекс взаємопов'язаних функцій, які реалізуються в процесі розподілення матеріального потоку між різними, як правило, гуртовими покупцями [1].

Система дистрибуції основана на поєднанні в процесах збуту готової продукції таких основних складових, як:

- стратегія поведінки підприємства (організатора системи дистрибуції) на ринку, зокрема – стратегія маркетингового розподілу, концепція організації системи дистрибуції тощо;

- партнерство з комерційними посередниками, які на договірній основі об'єднуються в канали розподілу;

- ціноутворення, яке має ґрунтуватися на єдиних для всіх учасників каналів розподілу продукції підходах і передбачати справедливе і прозоре встановлення не лише роздрібною ціни, але й цін перепродажу у всьому каналі збуту;

- логістика, яка має бути ефективною для забезпечення фізичного руху товару (обслуговування замовлень, транспортування, утримування складів, утримування запасів і забезпечення наявності всього заявленого асортименту товарів);

- аналіз і контроль, насамперед – контроль за роздрібними цінами, контроль наявності товарів у місцях продажу, контроль якості подання товару в кожному пункті продажу, контроль і аналіз діяльності партнерів виробничого підприємства з погляду дотримання домовленостей, стандартів обслуговування, недопущення внутрішньосистемної конкуренції, демпінгування, завдання шкоди іміджу товаровиробника тощо, а також аналіз дій конкурентів.

Об'єктом дослідження в роботі є логістичні процеси постачання товарів в мережі складів та магазинів підприємства роздрібною торгівлі.

Предмет дослідження: розробка та реалізація програмного додатка, що буде оптимальний шлях транспорту дистриб'ютора, враховуючи карту міста.

Виходячи з обраних об'єкту та предмету дослідження **метою роботи** є покращення економічних показників роботи підприємства за рахунок мінімізації логістичних витрат.

Для досягнення поставленої мети в дипломній роботі поставлені наступні задачі:

1. Визначити послідовність обслуговування множини магазинів, вважаючи, що кожна з них обслуговується окремо і послідовно.

2. Створити програму для розбиття кластеру магазинів на рівні за дистанцією множини для оптимізації доставки

Для розв'язання поставлених задач у роботі застосовуються наступні методи дослідження: метод імітації відпалу та метод пошуку табу для вирішення задачі пошуку мінімального шляху, метод побудови інформаційних систем для застосування існуючого програмного забезпечення у роботу власної інформаційної системи.

Задача маршрутизації транспорту (VRP) — це задача оптимізації, яка виникає при необхідності ефективного розподілу товарів або послуг з одного або декількох центральних складів до набору клієнтів. У цій задачі потрібно знайти оптимальні маршрути для транспортних засобів з метою мінімізації загальних витрат, таких як витрати на транспорт і час доставки [2].

Математично задачу маршрутизації транспорту можна сформулювати наступним чином:

1. Множина клієнтів: Нехай ми маємо  $n$  клієнтів, які позначені як  $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ .

2. Множина транспортних засобів: Нехай у нас є  $m$  транспортних засобів, позначених як  $K = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ .

3. Матриця відстаней: Задано матрицю відстаней  $d$ , де  $d_{ij}$  представляє відстань між клієнтом  $i$  та клієнтом  $j$ .

4. Вимоги клієнтів: Кожен клієнт має свої вимоги, такі як обсяг товарів, час доставки (може мати два типи обмеження), обмеження на кількість візитів тощо.

5. Вартість: Вартість транспортування товарів або надання послуг для кожного маршруту залежить від відстані, часу та інших факторів.

Ціль задачі маршрутизації транспорту полягає в тому, щоб знайти оптимальний розподіл клієнтів між транспортними засобами і оптимальні маршрути для кожного засобу, задовольняючи вимоги клієнтів і мінімізуючи загальну вартість або час маршрутів.

Однією з головних відмінностей між завданнями TSP і VRP є підхід до оптимізації. TSP зосереджується на пошуку оптимального маршруту, який відвідує всі дані міста один раз і повертається до початкового міста, мінімізуючи загальну тривалість подорожі. У той час як у VRP основна увага приділяється оптимальному розподілу товарів між транспортними засобами та плануванню оптимальних маршрутів для кожного транспортного засобу з урахуванням різних обмежень.

Потужним програмним засобом, що вирішує задачі на поверхні Землі є додаток Google OR-Tools [3]. Він надає можливість розв'язання задач TSP

та VRP, ефективний для задач великої складності завдяки багатьом методом для пошуку початкового рішення, а також кільком реалізованим методам локального пошуку. Останні забезпечують велику гнучкість при розв'язанні задач оптимізації перевезень як з обмеженнями, так і без.

Проаналізувавши застосування різних стратегій побудови початкового рішення та локального пошуку до розв'язання типових щоденних задач логістики, на базовому підприємстві, можна дійти висновку, серед початкових рішень найкращі результати показують методи «найдешевшого включення» та метод Крістофідіса. Останній заснований на побудові мінімального кістякового дерева для графа задачі з наступним перетворенням його на гамільтонові цикли. Водночас серед методів локального пошуку, які мають на меті покращити початкове рішення за рахунок евристичних операцій, найкраще показують себе метод імітації відпалу та метод пошуку із заборонами [4]. Для практичних реалізацій надалі рекомендується використовувати саме перший, оскільки він забезпечує досягнення аналогічних розв'язків за час в 3-4 рази менший, ніж потрібен методу пошуку із заборонами. На рисунку 1 наведено рішення однієї із задач, що розглядалися: необхідно було спланувати розподіл 193 торгових точок між невідомою кількістю (до 8) автомобілів, які мали б обслужити їх не більше ніж за робочу зміну.

```
runfile('C:/Users/pro/.spyder-py3/ivan1.py', wdir='C:/Users/pro/.spyder-py3')
Objective: 4339493
Route for vehicle 0:
0 -> 62 -> 89 -> 93 -> 110 -> 129 -> 155 -> 160 -> 162 -> 163 -> 168 -> 175 -> 181 -> 171
-> 178 -> 173 -> 172 -> 174 -> 182 -> 185 -> 186 -> 193 -> 189 -> 191 -> 190 -> 188 ->
183 -> 176 -> 180 -> 187 -> 192 -> 184 -> 179 -> 177 -> 167 -> 164 -> 158 -> 157 ->
161 -> 166 -> 169 -> 170 -> 165 -> 159 -> 142 -> 128 -> 114 -> 111 -> 109 -> 99 -> 83
-> 76 -> 69 -> 59 -> 32 -> 23 -> 25 -> 16 -> 6 -> 3 -> 0
Distance of the route: 42070m

Route for vehicle 1:
0 -> 1 -> 2 -> 4 -> 8 -> 9 -> 11 -> 14 -> 18 -> 29 -> 31 -> 30 -> 34 -> 43 -> 41 -> 49
-> 48 -> 54 -> 53 -> 51 -> 52 -> 42 -> 39 -> 46 -> 50 -> 38 -> 36 -> 44 -> 56 -> 63
-> 78 -> 91 -> 96 -> 105 -> 117 -> 121 -> 118 -> 113 -> 103 -> 100 -> 98 -> 81 -> 79
-> 86 -> 75 -> 70 -> 24 -> 22 -> 15 -> 35 -> 58 -> 61 -> 88 -> 97 -> 85 -> 84 -> 64
-> 19 -> 0
Distance of the route: 41889m

Route for vehicle 2:
0 -> 10 -> 20 -> 17 -> 27 -> 28 -> 21 -> 26 -> 33 -> 37 -> 40 -> 45 -> 47 -> 55 -> 57 ->
60 -> 66 -> 72 -> 65 -> 67 -> 80 -> 82 -> 87 -> 92 -> 95 -> 94 -> 104 -> 106 -> 107
-> 115 -> 116 -> 120 -> 119 -> 122 -> 123 -> 127 -> 132 -> 134 -> 130 -> 135 -> 147 ->
154 -> 150 -> 146 -> 151 -> 140 -> 143 -> 149 -> 152 -> 156 -> 153 -> 138 -> 137 ->
141 -> 145 -> 148 -> 144 -> 139 -> 136 -> 133 -> 131 -> 126 -> 124 -> 125 -> 112 ->
108 -> 101 -> 102 -> 90 -> 77 -> 74 -> 71 -> 73 -> 68 -> 13 -> 12 -> 7 -> 5 -> 0
Distance of the route: 42134m

Maximum of the route distances: 42134m
Solution find at 30.02016520500183 seconds
```

Рисунок 1 – Результат роботи програмного забезпечення

Як видно з рисунку 1, розбиття на 3 маршрути є найефективнішим і машини проходять майже однакову дистанцію у приблизно 42 кілометри. При цьому перша вантажівка обслуговує 59 торговельних точок, друга – 57, а третя – 74. Всі результати не враховують можливі обмеження на вантажівку та її обслуговування.

Розглянута бібліотека дозволяє використовувати при оптимізації перевезень наступні обмеження:

- 1) часові вікна обслуговування на кожній торговельній точці (дозволено встановлювати як лише нижнє/верхнє обмеження, так і два одночасно, наприклад, інтервал з 11: до 13:00);
- 2) час обслуговування в кожній з торговельних точок (за замовчанням неспівставно малий в порівнянні з часом у дорозі, але може виражатися дійсним числом);
- 3) максимальний час вантажівки в дорозі (зміна, ліміт на безперервне знаходження за кермом, тощо);
- 4) вантажопідйомність та ємність транспортного засобу (він може об'їхати за відведений час хоч і всі точки, але вантажі доставить не більше, ніж його ємність);

Останнє обмеження дозволяє використовувати різні типи транспортних засобів для розв'язання однієї задачі, що максимаьно наближає початкові умови, які користувач задає OR-Tools, до тих, які вирішують логістики великих роздрібних мереж.

**Висновок.** Сервісний додаток Google OR-Tools є потужним засобом у вирішенні задач диспетчеризації для великих роздрібних мереж. Він дозволяє визначити послідовність обслуговування множини магазинів, вважаючи, що кожен з них обслуговується окремо і послідовно, та водночас здійснює розбиття множини магазинів на рівні за дистанцією кластери для оптимізації доставки. Використання сервісу Google OR-Tools спільно з доповненнями дозволяє істотно знизити витрати на доставку товарів зі складу на торговельні майданчики у великих мережах, скоротити кількість автомобілів, водіїв і персоналу, який їх обслуговує, а також знизити витрати на логістичний відділ компанії.

#### Список використаних джерел

1. Марченко В.М. Логістика: Підручник/ В.М. Марченко, В.В. Шутюк. – К.: Видавничий дім «Артек», 2018. — 312 с.
2. Jacek Widuch, Chapter 1 - Current and emerging formulations and models of real-life rich vehicle routing problems, In Intelligent Data-Centric Systems, Smart Delivery Systems, Elsevier, 2020, Pages 1-35, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815715-2.00006-3>.
3. Da Col, Giacomo; Teppan, Eric C. (2019). "Google vs IBM: A Constraint Solving Challenge on the Job-Shop Scheduling Problem". Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. Open Publishing Association. 306: 259-265. doi:10.4204/eptcs.306.30.
4. Kruk, Serge (2018). Practical Python AI Projects: Mathematical Models of Optimization Problems with Google OR-Tools (1st ed.). O'Reilly Media. 366 p.