

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Ухань Надія Вікторівна**

УДК 004.021

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ  
ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ З ВРАХУВАННЯМ ЧАСОВИХ ОБМЕЖЕНЬ**

124 – Системний аналіз

Автореферат  
магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації  
«Магістр системного аналізу»

Миколаїв – 2020

Магістерська наукова робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: к.т.н., доцент, доцент  
кафедри

інтелектуальних інформаційних  
систем Кондратенко Юрій Пантелійович

Рецензент: д.т.н., професор, професор кафедри  
інженерії програмного забезпечення  
Коваленко Ігор Іванович

Захист відбудеться «26» лютого 2020 р. о 9<sup>30</sup> год. на засіданні  
екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті  
імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською науковою роботою можна ознайомитися в бібліотеці  
Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003,  
м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «\_\_\_» лютого 2020 р.

Секретар  
екзаменаційної комісії,

Болюбаш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність* дослідження визначається необхідністю покращення якості формування і оптимізації транспортних маршрутів із врахування часових обмежень, яка залежить від вибору методу оптимізації.

*Метою* є зменшення витрат на доставку вантажу і підвищення якості обслуговування клієнтів за рахунок підвищення ефективності планування та оптимізації транспортних маршрутів з часовими обмеженнями з використанням мета-евристичних методів.

*Об'єктом* дослідження є процеси планування і оптимізації транспортних маршрутів.

*Предметом* дослідження методи планування і оптимізації транспортних маршрутів із врахуванням часових обмежень.

*Практичне значення* даної магістерської наукової роботи полягає у можливості застосування мета-евристичних для розв'язку задачі транспортної маршрутизації з врахуванням часових обмежень.

*Апробація:*

1. Ухань Н. В., Кондратенко Ю.П. Дослідження методів планування і оптимізації транспортних маршрутів з врахуванням часових обмежень. Могілянські читання – 2019: тези доповідей: Комп'ютерні науки. Технічні науки, Миколаїв: ЧНУ, 11-16 листопада, 2019. – С. 39-41.

2. Ухань Н. В., Кондратенко Ю.П. Планування і оптимізації транспортних маршрутів з врахуванням часових обмежень – 2020: тези доповідей, Миколаїв: ЧНУ, 28-31 січня, 2020. – С. 39-41.

Магістерська наукова робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає 132 сторінки, 42 рисунки, 36 таблиць та 44 посилання на літературні джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі магістерської наукової роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження.

У першому розділі наведено огляд предметної області і питання необхідності здешевлення і підвищення якості обслуговування перевезень шляхом вибору ефективного методу планування і оптимізації транспортних шляхів. Розглянуті різні види транспортної задачі і основні фактори, які впливають на час перевезення. Сформовано постановку задачі.

У другому розділі проаналізовано існуючі методи планування і оптимізації транспортних шляхів. Були визначені основні недоліки і переваги різних груп методів оптимізації для розв'язку задачі транспортної маршрутизації з врахуванням часових обмежень. Аналіз показав, що перспективним напрямом у підвищенні ефективності і якості планування маршрутів з врахуванням часу обслуговування є використання мета-евристичних методів.

Точні методи дають найвищу точність розв'язку, але потребує найбільше часу. Евристичні методи при розв'язку евристичної задачі дають менш точний результат, але потребують значно менше часу на пошук оптимального рішення. Дана група методів є найменш ефективною при врахуванні при розв'язку часових обмежень, оскільки через відсутність ймовірнісної складової можуть пропустити найбільш ту частину області рішень, у якій знаходиться оптимальне рішення, і не врахувати її при розв'язку.

Мета-евристичні методи – основані на більш ретельному вивченні найбільш перспективних частин простору рішень. Дають більшу точність, ніж евристичні методи.

Для подальшого дослідження були обрані такі методи як: Ant Colony Optimization Algorithm (ACO, метод мурашиної колонії), Artificial Bee Colony Algorithm (ABC, метод штучної бджолоїної колонії).

У третьому розділі автор пропонує до класичних формулювань методів ACO і ABC ввести деякі уточнення, необхідні для їх застосування до задач. Таким чином,

для пришвидшення пошуку рішення мурашиним алгоритмом пропонується застосувати формули (1) - (3) і дослідити ефективність і доцільність даного уточнення.

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{(f_{ij})^\alpha \left(\frac{1}{c_{ij+k\cdot\tau+(1-k)\cdot w}\right)^\beta}{\sum_j (f_{ij})^\alpha \left(\frac{1}{c_{ij+k\cdot\tau+(1-k)\cdot w}\right)^\beta}, & \text{можна відвідати,} \\ 0, & \text{якщо вузол неможливо відвідати з поточної позиції} \end{cases} \quad (1)$$

$$\tau\tau = \begin{cases} t_1 - t, & t < t_1 \\ 0, & t_1 \leq t \leq t_2 \\ 1000, & t > t_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$w = t_2 - t, \quad (3)$$

де  $f_{ij}$  – значення елемента матриці феромонів;

$c_{ij}$  – вартість шляху між  $i$ -м і  $j$ -м вузлами;

$\alpha$  – параметр «жадібності» алгоритму;

$\beta$  – параметр «стадності» алгоритму.

$\tau$  – «штраф» за недоцільне використання часу;

$[t_1, t_2]$  – період, в який має бути обслужений клієнт;

$t$  – час прибуття.

$t_2$  – права границя часового вікна вузла;

$t$  – час прибуття у точку;

$w$  – штраф за великий запас часу;

$k$  – коефіцієнт пріоритетності.

Експериментальним шляхом було визначено, що найкращим співвідношенням між штрафами за недоцільне використання часу і за великий запас часу  $k \in 0,7$ . З цим значенням формула 3.6 дає найбільшу збіжність.

Таким чином, вузли, які мають занадто маленький запас часу від часу прибуття до правої гранці їх часового вікна, матимуть більше шансів, що мураха-агент їх вибере у першу чергу.

Оновлення матриці феромонів відбуватиметься за формулою (4) і (5). Так як феромон має властивість з часом вивітрюватись, то на кожній ітерації алгоритму всі елементи матриці феромонів будуть зменшуватись за формулою (4). У той самий

час, якщо мураха скористався певним ребром, то значення відповідного елемента матриці феромонів необхідно збільшити за формулою (5).

$$f_{ij} = (1 - \rho)f_{ij} + pher, \quad (4)$$

$$pher = \begin{cases} \frac{Len_{\min}}{Len}, & \text{якщо ребром скористувались,} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (5)$$

де  $Len_{\min}$  – довжина найкращого рішення, знайденого мурахами;

$Len$  – довжина маршруту поточного рішення.

Результат, отриманий при застосуванні методу бджолоїної колонії, залежить від значень його внутрішніх параметрів, які налаштовує експерт, таких як: відношення різних груп бджіл у колонії, загальна кількість бджіл, загальна кількість повтору пошуку однією бджолою у певній області, без знаходження кращого рішення, загальна кількість ітерацій алгоритму. Але для даної задачі важливий ще принцип, за яким визначається подібність рішень.

У роботі пропонується вважати подібними рішення, які є перестановками одне одного.

Елементи можна міняти у межах кожного маршруту, з різних маршрутів. Якщо додатково враховувати обмеження по максимальній вантажомісткості транспортних засобів, то другий варіант генерації рішення з околиці не підходить, оскільки не відомо чи буде сумарне замовлення зміненого маршруту не перевищувати вантажомісткість транспортної одиниці, яка буде обслуговувати його.

Отже, кожна нова генерація рішення із околиці непоганого рішення, знайденого бджолою-розвідником, відбуватиметься шляхом переміщення двох випадкових сусідніх його елементів у випадковому маршруті (рис. 1).

Спочатку випадковим шляхом обирається номер маршруту  $r \in [1; k]$ , в якому буде виконана перестановка. Далі знову випадковим чином визначається індекс вузла  $p1 \in [2; m_r - 1]$ . Якщо індекс вузла менший за номер передостаннього вузла  $p1 < m_r - 1$ , то його міняють місцями з наступним сусіднім, інакше його міняють з другим вузлом (перший і останній вузли у послідовності – нульовий вузол-склад).

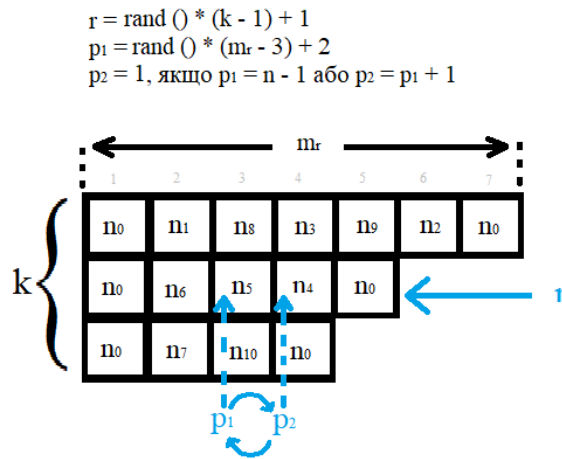


Рисунок 1. Утворення рішення з околиці непоганого рішення шляхом перестановки

Визначені основні показники ефективності, згідно з якими буде оцінюватись результат рішень, знайдених обома рішеннями.

**В четвертому розділі** досліджується вплив внутрішніх параметрів на результати отримані методами ABC і ACO і виконується їх порівняльний аналіз.

Для тесту була обране завдання з одинадцятьма вузлами: одним «нульовим» сховищем і десятьма вузлами, на які необхідно було доставити замовлену кількість товарів за певний період часу.

**Мурашиний алгоритм.** Так званий «жадібний» параметр  $\alpha$  алгоритму ACO – це параметр, який визначає ступінь впливу концентрації феромону при виборі наступного вузла.

Чим більше параметр  $\alpha$ , тим більше вплив концентрації феромону на ребро при розрахунку ймовірності вибору конкретного вузла.

Таким чином, на рисунку 2, є видно, що чим більше параметр  $\alpha$ , тим швидше виконується пошук оптимального рішення.

Добре видно, що найкраща середня ефективність використання часу (відсоток часу, витраченого на поїздку, зі всього часу, витраченого на обслуговування) була отримана при  $\alpha = 0$ , але найменше відхилення від найкращої знайденої довжини шляху і найменший час було отримано при  $\alpha = 0,3$ , тому для подальшого тестування вирішили залишити його.

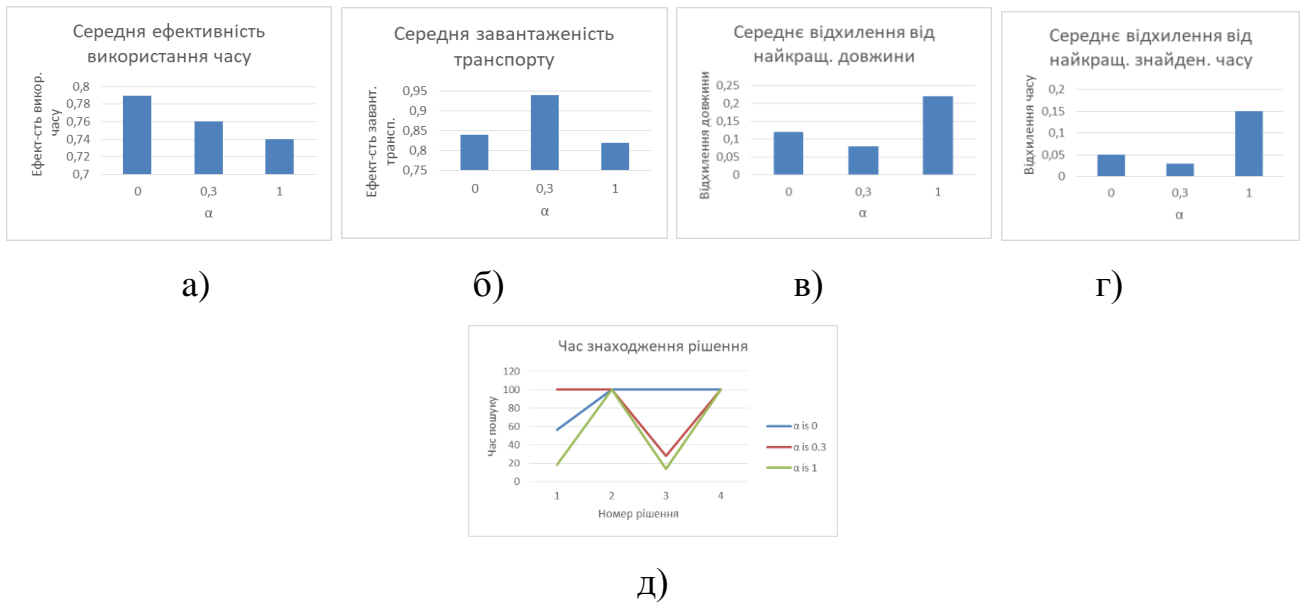


Рисунок 2. Залежність результатів від  $\alpha$ : а) ефективність використання часу; б) ефективність транспортного навантаження; в) відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу; е) час пошуку

Чим більше параметр  $\beta$ , тим більше часу, що витрачається на його обслуговування з відповідними штрафами, впливає на ймовірність вибору вузла.

На рисунку 3, є видно, що найшвидше виконується пошук при  $\beta = 0,75$ , а найбільша точність результатів досягається при  $\beta = 0,6$ .

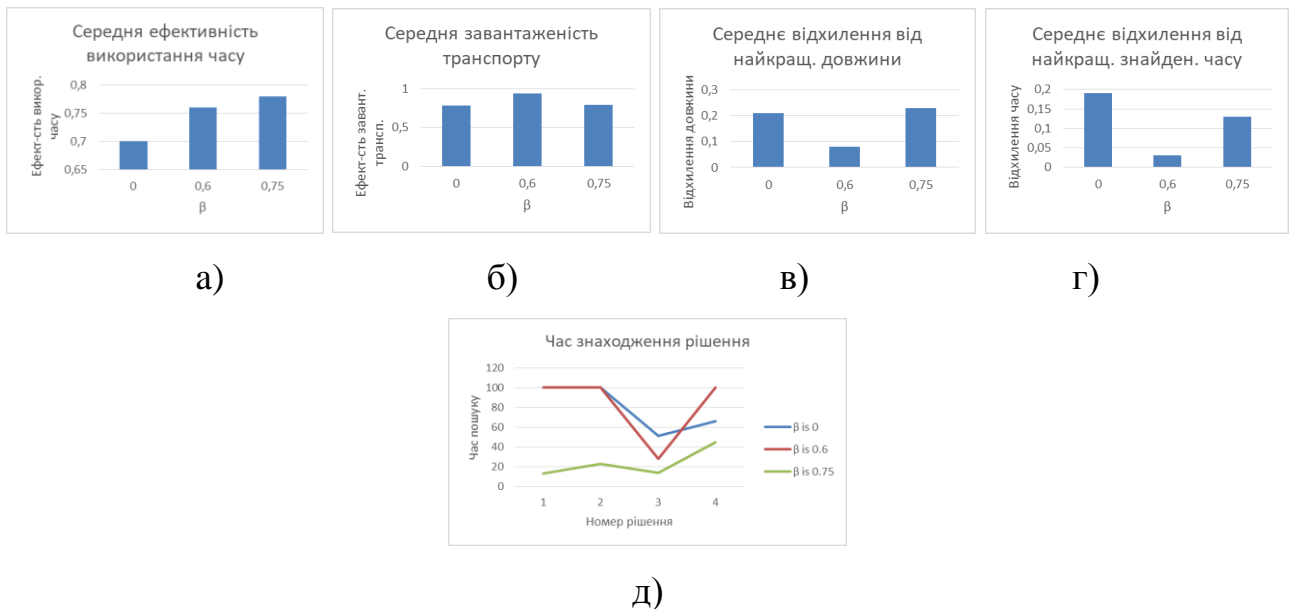


Рисунок 3. Залежність результатів від  $\beta$ : а) ефективність використання часу; б) ефективність транспортного навантаження; в) відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу; е) час пошуку



На рисунку 4 показано, що чим вище швидкість руйнування феромону, тим більша ймовірність того, що алгоритм сходиться на певному екстремумі, а отже, швидше виконується пошук оптимального рішення.

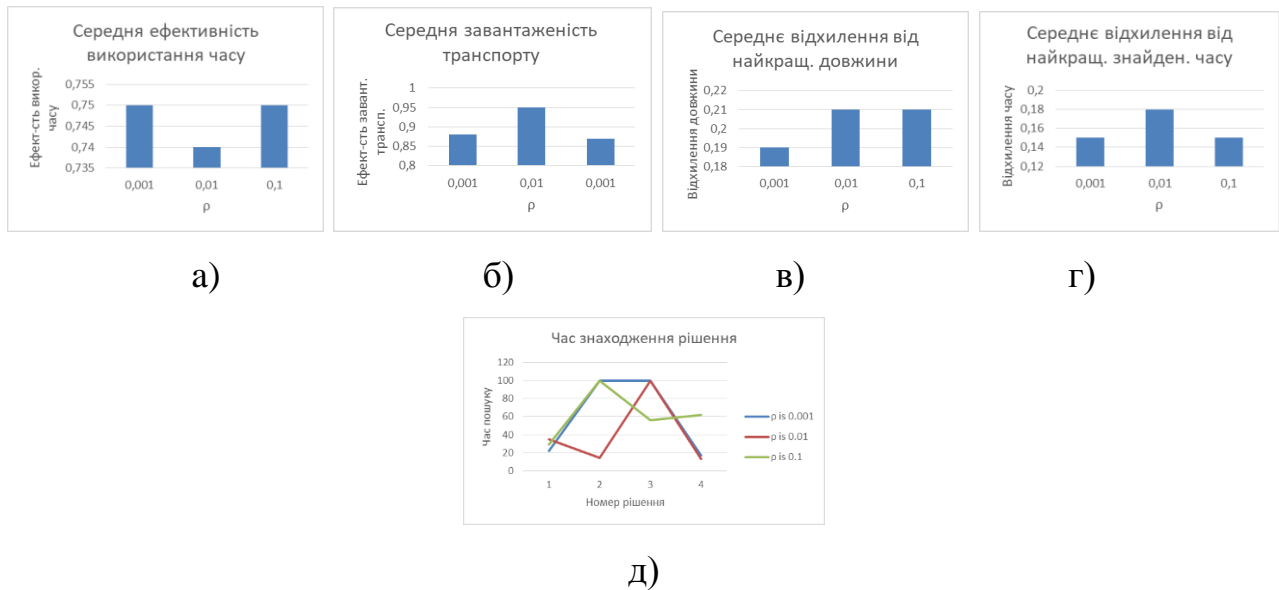


Рисунок 4. Залежність результатів від  $\rho$ : а) ефективність використання часу; б) ефективність транспортного навантаження; в) відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу; е) час пошуку

Чим менше агентів задіяно в роботі алгоритму, тим менше циклів необхідно обробляти на кожній ітерації алгоритму. Однак важливо відзначити, що якщо число мурах занадто велике або занадто мале, точність результатів буде погіршуватися.

**Метод штучної бджолої колонії.** У різних джерелах і для різних типів завдань комбінаторної оптимізації рекомендується різне співвідношення різних видів бджіл в колонії. Для завдання транспортування в рекомендується вибрати наступне співвідношення: 20% неактивних бджіл, 50% активних і 30% бджіл-розвідників.

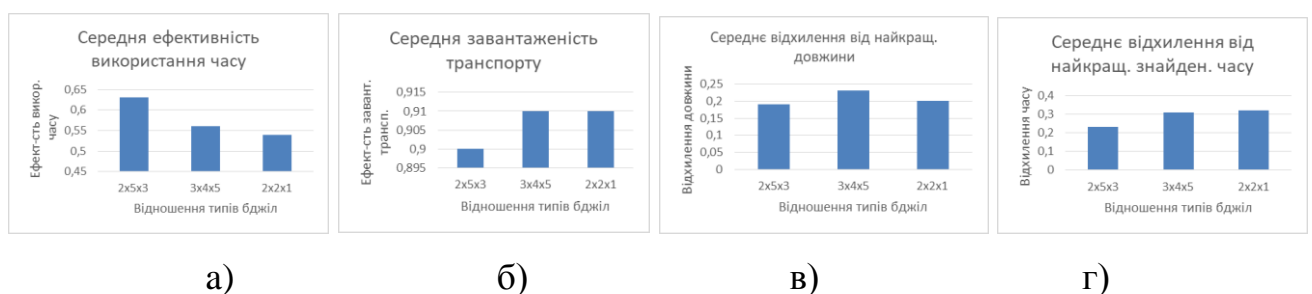
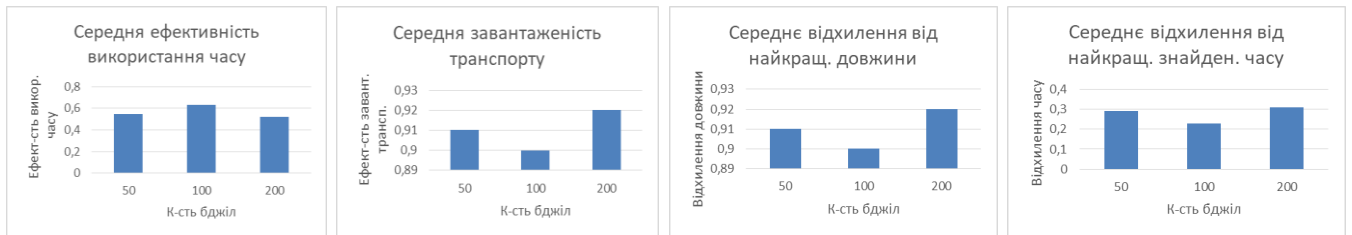


Рисунок 5. Залежність результатів від співвідношення видів бджіл: а) ефективність

використання часу, б) ефективність транспортного навантаження; в) відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу

На думку автора, точність результатів залежить більше від співвідношення бджіл-розвідників та інших видів бджіл, ніж від співвідношення активних і неактивних бджіл і бджіл-розвідників. На рисунок 6 показано, що найбільш підходящою кількістю бджіл в колонії для даних тестових даних становить 100 бджіл, оскільки при цьому результат є найбільш точним.



а)

б)

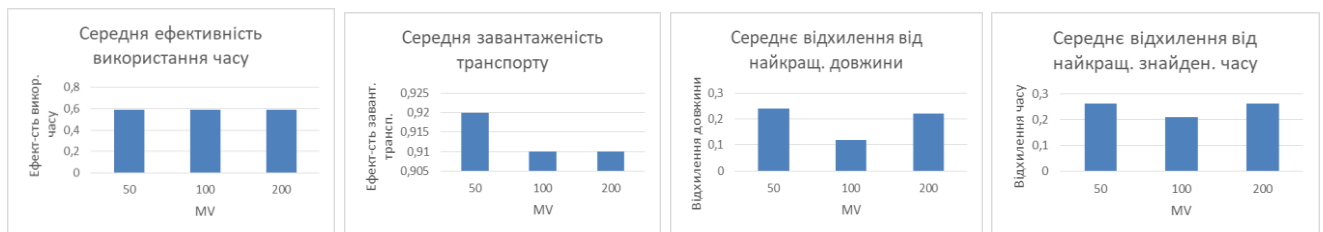
в)

г)

Рисунок 6. Залежність результатів від кількості бджіл у колонії: а) ефективність використання часу, б) ефективність транспортного навантаження; в) відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу

У природі бджоли не можуть постійно збирати нектар. Час від часу їм доводиться повертатися у вулик, щоб залишити там весь зібраний нектар і відпочити. Тому в алгоритм був введений параметр, який вказує, скільки разів бджола може відвідувати конкретне «джерело нектару», не знаходячи більш ефективного суміжного рішення.

На рис. 7 показано, що найкраща точність по довжині досягається при  $MV = 100$ , але швидкість пошуку краще при  $MV = 200$ .



а)

б)

в)

г)

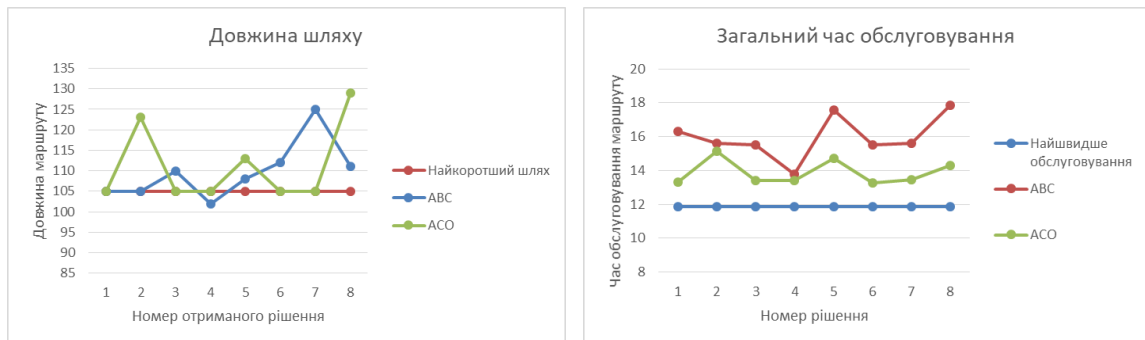
Рисунок 7. Залежність результатів від кількості разів, коли бджола може відвідати конкретне «джерело нектару», не знаходячи більш ефективного суміжного рішення:

а) ефективність використання часу, б) ефективність транспортного навантаження; в)

відхилення від найкращої знайденої довжини; г) відхилення від кращого знайденого часу

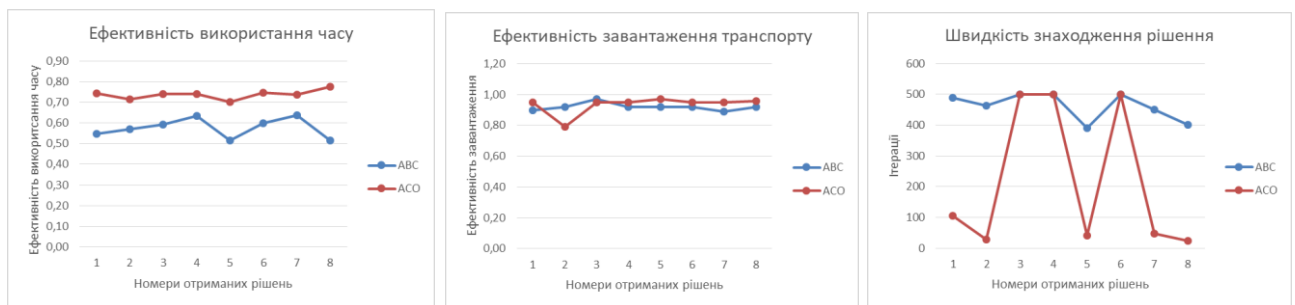
Потім ці методи порівнюються відповідно по основними критеріями: довжина шляху, час обслуговування маршруту, ефективність використання часу, ефективність транспортного навантаження та швидкість прийняття рішення.

На рисунку 8, а показано, що алгоритм АСО можна вважати трохи кращим, ніж метод АВС, оскільки в більшості рішень він дає менше відхилення, ніж метод АВС.



а)

б)



в)

г)

д)

Рисунок 8. Порівняння методів АСО і АВС: а) відхилення від найкращої знайденої довжини; б) відхилення від кращого знайденого часу; в) ефективності використання часу; г) ефективність завантаження транспорту; д) час пошуку рішення

На рисунку 10, б добре видно, що метод АВС дає рішення, які набагато ближчі за часом обслуговування до найкоротшому часу рішення, знайденого обома способами. На зображенні 10, в видно, що метод АСО дає більш високу ефективність використання часу. На рисунку 10, г можна побачити, що алгоритм АСО в більшості випадків дає рішення з дещо більш високою ефективністю завантаження транспортної одиниці, але, оскільки значення майже однакове,

прийнято вважати обидва методи приблизно однаковими. На малюнку 10, д видно, що в більшості випадків метод АСО знаходить рішення швидше, ніж метод АВС.

Таким чином, результати порівняння двох методів можна побачити в таблиці 1.

Отже, результати порівняння двох методів можна побачити у таблиці 4.29.

*Таблиця 1. Результат попарного порівняння методів АВС і АСО*

Критерій	АВС	АСО
Відхилення довжини маршрутів від найкращого рішення, знайденого обома методами		*
Відхилення часу обслуговування маршрутів від найкращого рішення, знайденого обома методами	*	
Ефективність використання часу у маршрутах		*
Ефективність завантаженості транспорту	*	*
Швидкість знаходження рішення		*

Отже, з таблиці стає зрозуміло, що метод АСО за низкою параметрів, а саме за: відхиленням часу обслуговування маршрутів від найкращого рішення, знайденого обома методами; ефективністю використання часу у маршрутах, швидкістю знаходження рішення; – дає кращі результати, аніж АВС метод.

Метод АВС кращий за АСО метод лише за критерієм відхилення довжини маршрутів від найкращого рішення, знайденого обома методами. Він переважає над методом мурашиної колонії за меншою кількістю критеріїв, значить мурашиний алгоритм є кращим для вирішення транспортної задачі з врахуванням часових обмежень.

**У методичній частині** розроблена практична робота на тему «Прийняття рішень в умовах визначеності».

**У спеціальній частині** магістерської наукової роботи з «Охорони праці та безпеки життєдіяльності» розглянуто мікрокліматичні умови праці на робочих місцях на предмет виробничого освітлення та дотримання вимог експлуатації ПК у відділі аспірантури ЧНУ імені Петра Могили. В результаті розрахунків встановлено,

що передбаченої кількості вікон, тобто їх загальної площі вистачає для забезпечення вимог санітарних норм щодо природного освітлення і систем кондиціонування приміщення для якого проводився аналіз умов праці. Визначено, що для забезпечення штучного освітлення слід використовувати 3 світильники. Розроблено інструктаж з техніки безпеки під час типових надзвичайних ситуацій.

### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У даній магістерській науковій роботі досліджена робота методів мурашиної і штучної бджолоїної колонії для вирішення задачі транспортної маршрутизації з врахуванням часових обмежень. У першому розділі проведено аналіз предметної області і питання необхідності здешевлення і підвищення якості обслуговування перевезень шляхом вибору ефективного методу планування і оптимізації транспортних шляхів. Розглянуті різні види транспортної задачі і основні фактори, які впливають на час перевезення.

У другому розділі проаналізовано існуючі методи планування і оптимізації транспортних шляхів. Були визначені основні недоліки і переваги різних груп методів оптимізації для розв'язку задачі транспортної маршрутизації з врахуванням часових обмежень. Аналіз показав, що перспективним напрямом у підвищенні ефективності і якості планування маршрутів з врахуванням часу обслуговування є використання мета-евристичних методів. Для дослідження були обрані методи мурашиної і штучної бджолоїної колоній. До їх класичних формулювань запропоновано ввести уточнення: штрафи за недоцільне використання часу і занадто великий запас часу при розрахунку ймовірності потрапляння мурахи у вузол, для того, щоб з більшою ймовірністю мураха обирав ті вузли, в які він ще не запізнився, а також ті, в які залишилось дуже мало часу до закінчення періоду очікування обслуговування. Для бджолоїного алгоритму пропонується вибирати суміжне рішення шляхом перестановки найкращих і перспективних маршрутів.

У четвертому розділі було досліджено вплив параметрів на роботу мурашиного і бджолоїного алгоритмів, а також порівняльний аналіз обох методів. В результаті порівняння було встановлено, що метод мурашиної колонії за більшістю

критеріїв краще підходить для розв'язку транспортної задачі з часовими обмеженнями, аніж бджолиний алгоритм.

У методичній частині магістерської роботи розроблена практична робота з курсу методи і засоби прийняття рішень на тему «Прийняття рішень в умовах визначеності».

У спеціальній частині магістерської роботи з «Охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях» здійснено аналіз умов праці у відділі аспірантури ЧНУ імені Петра Могили. Виконано перевірочний розрахунок природного освітлення та системи кондиціонування. Розроблено інструктаж для дій працівників та керівництва компанії на випадок виникнення типових надзвичайних ситуацій.

## АНОТАЦІЯ

**Ухань Надія Вікторівна. Дослідження методів планування і оптимізації транспортних маршрутів з врахуванням часових обмежень.** – На правах рукопису.

Магістерська наукова робота на здобуття освітньої кваліфікації «Магістр системного аналізу». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2020.

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності підвищення ефективності планування і оптимізації транспортних маршрутів із врахування часових обмежень, розробці програмного забезпечення з використанням сучасних мета-евристичних методів для вирішення відповідної задачі. Це дозволить зменшити витрати на перевезення вантажу та підвищити якість обслуговування клієнтів.

Об'єктом дослідження є процеси планування і оптимізації транспортних маршрутів.

Предметом дослідження є методи планування і оптимізації транспортних маршрутів із врахуванням часових обмежень.

Метою дослідження є зменшення витрат на доставку вантажу і підвищення якості обслуговування клієнтів за рахунок підвищення ефективності планування та оптимізації транспортних маршрутів з часовими обмеженнями з використанням мета-евристичних методів.

В результаті виконання роботи було досліджено два мета-евристичних методи оптимізації (метод мурашиної і штучної бджолиної колоній), проаналізовано вплив їх внутрішніх параметрів на роботу алгоритмів, визначені основні їх переваги та недоліки, а також розроблено програмне забезпечення, в якому реалізовані відповідні методи.

Дана робота складається з шести розділів. Кожен розділ відповідно присвячений: аналізу предметної області, математичним моделям і методам, використаним у магістерській роботі, моделюванню і проектуванню системи планування і оптимізації маршрутів, аналізу отриманих результатів, охороні праці і безпеці життєдіяльності, методичній частині магістерської роботи. Загальний обсяг роботи – 132 сторінки. Магістерська робота містить два додатки, 42 рисунки, 36 таблиць і посилання на 44 джерела.

**Ключові слова:** задача маршрутизації транспорту, часові обмеження, оптимізація транспортних маршрутів, АОС-метод, АВС-метод.

**ABSTRACT**

**Ukhan Nadiia. Research methods of planning and optimization of transport routes with time windows.** – On the rights of the manuscript.

Master's scientific work for obtaining an educational qualification "Master of Systems Analysis". – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2020.

A relevance of this study lies in the need to improve the quality of the formation and optimization of transport routes taking into account time constraints, which depends on the choice of optimization method.

An object of research is the planning and optimization of transport routes

A subject of the research is the methods of planning and optimizing transport routes with time windows.

A purpose of the study is to reduce the cost of delivery of goods and improve the quality of customer service by improving the planning and optimization of transport routes with time constraints using metaheuristic methods.

As a result of the work, two meta-heuristic optimization methods (the ant optimization and artificial bee colonies methods) and an influence of their internal parameters on the operation of the algorithms were examined, their main advantages and disadvantages were determined, and a decision-making support system in which both methods are implemented was developed.

This work consists of six sections. Each of them is devoted to: analysis of the subject area, mathematical models and methods used in the thesis, modeling and design of decision-making support system, labor protection and life safety, methodological part of the master's work.

The overall scope of the work is 132 pages. Thesis contains two applications, 42 figures, 36 tables and 44 sources in it.

**Key words:** vehicle routing problem, time windows, optimization of transport routes, AOC method, ABC method.