

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Транспортних систем і технічного сервісу

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

**на тему: «ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИКИ ЗА КРИТЕРІЯМИ
ЧАСУ І ВАРТОСТІ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 6ТТ
спеціальності

275 - Транспортні технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Денисенко А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Луб'яний П.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Войтович О.А.

(прізвище та ініціали)

Херсон – 2025

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ.

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Інженерії та транспорту

Кафедра, циклова комісія Транспортних систем і технічного сервісу

Рівня вищої освіти магістр

спеціальність 275 – Транспортні технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСТС

к.т.н., доц. _____ П.В.Луб'яний

“ ____ ” _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
СТУДЕНТУ**

Денисенко Андрію Олександровичу

1. Тема проекту (роботи) Застосування штучного інтелекту для підвищення ефективності логістики за критеріями часу і вартості.

керівник проекту (роботи. к.т.н., доцент Луб'яний П.В

затверджені наказом вищого навчального закладу від 28.08.2025 року № 352-С

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 09.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Загальні відомості про штучний інтелект

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1 Теоретичні основи логістики вантажоперевезень та методи штучного інтелекту для оптимізації комбінованих задач доставки вантажів 2. Задачі доставки вантажів та методи їх розв'язання 3. Розробка та програмна реалізація алгоритмів на основі штучного інтелекту для розв'язання комбінованих задач доставки вантажів. Висновки, Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) матеріали демонстраційної графічної частини формату А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теоретична частина	<u>Луб'яний П.В. – к.т.н., доцент</u>		
Конструкторська частина	<u>Луб'яний П.В. – к.т.н., доцент</u>		

7. Дата видачі завдання 28.08.2025.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	06.11.2023	
2	Теоретичні основи логістики вантажоперевезень та методи штучного інтелекту для оптимізації комбінованих задач доставки вантажів	16.11.2023	
3	Задачі доставки вантажів та методи їх розв'язання	23.11.2023	
4	Розробка та програмна реалізація алгоритмів на основі штучного інтелекту для розв'язання комбінованих задач доставки вантажів	30.11.2023	
5	Висновки	07.12.2023	

Студент _____ Андрій ДЕНИСЕНКО

Керівник проекту (роботи) _____ Павло ЛУБ'ЯНИЙ

(підпис)

АНОТАЦІЯ

У роботі показані методи і моделі штучного інтелекту для оптимізації та автоматизації рішень у комбінованих задачах транспортної логістики.

У роботі досліджено теоретичні основи та етапи розвитку логістики, проаналізовано основні аспекти транспортної логістики.. Проаналізовано існуючі методи розв'язання комбінованих задач транспортної логістики. Розроблена та протестована математична модель для оптимізації логістичних процесів у контексті комбінованих задач доставки вантажів. На базі фрагментарної моделі для задач CVRP, CVRPTW, OVRP та використання методів штучного інтелекту, розроблені методи пошуку наближених рішень цих задач. Побудовані програмні реалізації розроблених методів, проведена перевірка ефективності методів з використанням тестових баз даних, та генераторів тестових прикладів.

ANNOTATION

The paper shows methods and models of artificial intelligence for optimization and automation of solutions in combined transport logistics problems.

The paper explores the theoretical foundations and stages of logistics development, analyzes the main aspects of transport logistics.. Analyzes existing methods for solving combined transport logistics problems. A mathematical model for optimizing logistics processes in the context of combined cargo delivery problems is developed and tested. Based on a fragmentary model for CVRP, CVRPTW, OVRP problems and the use of artificial intelligence methods, methods for finding approximate solutions to these problems are developed. Software implementations of the developed methods are built, and the effectiveness of the methods is tested using test databases and test case generators.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

РЕФЕРАТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛОГІСТИКИ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНИХ ЗАДАЧ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ	10
1.1 Логістика вантажоперевезень: етапи розвитку, основні поняття теорії	10
1.2 Поняття комбінованої задачі доставки	23
1.3 Методи штучного інтелекту в логістиці	28
РОЗДІЛ 2 ЗАДАЧІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ТА МЕТОДИ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ	33
2.1 Постановка задач маршрутизації транспорту	33
2.2 Відомі алгоритми розв'язання транспортних задач.....	39
2.3 Фрагментарні підходи до моделювання задач доставки вантажів	45
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ КОМБІНОВАНИХ ЗАДАЧ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ	49
3.1 Метаевристики на множині перестановок	49
3.2 Побудова фрагментарних моделей для комбінованих задач CVRP, CVRPTW та їх програмна реалізація	54
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	80

ВСТУП

У сучасному глобалізованому світі, де економіка країн залежить від ефективності міжнародної торгівлі та логістичних ланцюгів, задача оптимізації вантажоперевезень стає все більш актуальною. За даними Державної служби статистики, існує пряма залежність між обсягами вантажоперевезень і валовим внутрішнім продуктом (ВВП) країни, що підкреслює важливість оптимізації цього процесу для економічного зростання.

Дослідження задач оптимізації вантажоперевезень розпочалося в 1980х роках із робіт Маріуса М. Соломона, який у 1987 році запропонував алгоритми для задач маршрутизації транспортних засобів із часовими вікнами (VRPTW). Ці алгоритми стали основою для подальших розробок у логістиці [1].

У 1990-2000-х роках дослідники, такі як Мішель Жандро, Жан-Ів Потвен, Паоло Тот і Даніель Віго, вдосконалювали метаевристичні методи, включаючи генетичні алгоритми та табу-пошук, що дозволило вирішувати задачі з численними обмеженнями [2-3]. Їхні роботи забезпечили фундамент для інтеграції нових підходів до оптимізації маршрутів.

У 2010-х роках акцент змістився на динамічне планування маршрутів, яке враховує зміни в реальному часі. Зокрема, Марко Балдаччі у 2011 році вдосконалив методи для CVRPTW, зробивши їх ефективнішими для використання в складних логістичних системах [4].

У 2020-х роках дослідження зосереджені на інтеграції штучного інтелекту. Дмитро Іванов та Александер Долгій досліджують стійкість логістичних ланцюгів [5], а Крістіана Архетті та Марія Дж. Сперанца аналізують моделі доставки з використанням екологічного транспорту [6].

Таким чином, задачі оптимізації вантажоперевезень еволюціонували від простих алгоритмів до інтелектуальних систем, що враховують численні реальні обмеження.

Останні дослідження, такі як роботи M. J. Fischer і S. A. P. Mohr в статті "Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Review and Future Directions", присвячені впливу штучного інтелекту на логістичні процеси. Вчені розглядають, зокрема, впровадження алгоритмів машинного навчання для підвищення ефективності управління логістичними потоками. Ці дослідження показують, що традиційні методи оптимізації часто не відповідають вимогам сучасності. Причинами цього є:

- недостатня адаптивність: Традиційні методи не можуть швидко реагувати на зміни в умовах ринку, такі як коливання попиту або зміни в

законодавстві. Це може призводити до затримок у доставці та збільшення витрат.

- обмежена обробка даних: Сучасні логістичні системи складають великі обсяги даних, які традиційні алгоритми не здатні ефективно обробляти. Наприклад, методи оптимізації, що базуються на фіксованих параметрах, не можуть враховувати динамічні зміни, такі як коливання цін на паливо чи зміни в трафіку.

- недостатня точність: Традиційні моделі часто не враховують багатofакторність, що призводить до неточних прогнозів і рішень. Вони можуть не враховувати такі аспекти, як часові вікна доставки, вартість, викиди CO₂ та варіативність попиту.

Метою цього дослідження є заповнення цієї прогалини через вивчення того, як алгоритми штучного інтелекту можуть покращити процеси прийняття рішень, знизити операційні витрати та підвищити якість обслуговування в системах доставки вантажів. Збільшення обсягів даних, доступних для аналізу, та прогрес у розробці алгоритмів машинного навчання відкривають нові шляхи для вирішення комплексних комбінованих задач доставки.

Для досягнення поставленої мети було поставлено та виконано наступні завдання:

- зробити огляд на основні логістичні поняття;
- визначити поняття комбінованої задачі транспортної логістики;
- зробити огляд відомих алгоритмів розв'язку складних задач транспортної логістики;
- побудувати фрагментарні моделі задач CVRP, CVRPTW, OVRP;
- побудувати алгоритми розв'язку задач CVRP, CVRPTW, OVRP;
- програмно реалізувати алгоритми пошуку оптимальних розв'язків на базі побудованих моделей для задач CVRP, CVRPTW, OVRP;
- перевірити ефективність розроблених алгоритмів на базі існуючих текстових бібліотек.