

Міністерство освіти і науки України  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра комп'ютерних наук

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
з теми: **«ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ З  
ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ»**

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи KN1-B21  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки  
Стефура Юрій Олегович

Керівник:  
Пилипюк Тетяна Михайлівна, кандидат  
фізико-математичних наук, доцент  
Рецензент:  
Громик Андрій Петрович, кандидат  
технічних наук, доцент

Кам'янець-Подільський – 2025 р.

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто задачу оптимізації логістичних маршрутів доставки піци в межах міста Кам'янець-Подільський із використанням графової моделі дорожньої мережі. Реалізовано мовою Python програмну систему, що базується на алгоритмі Дейкстри для пошуку найкоротших шляхів у зваженому графі, побудованому за допомогою даних OpenStreetMap. Здійснено геокодування введеної користувачем адреси та розраховано три варіанти доставки: найдешевший, найшвидший та оптимальний (за функцією оцінки ціна/час). Візуалізація результатів реалізована у вигляді інтерактивної HTML-карти з маркерами та маршрутами.

Отримані результати підтверджують коректність побудови маршрутів, точність обчислення часу доставки та наочність виводу. Система демонструє гнучкість і масштабованість – її можна адаптувати для інших міст або видів логістики. Результати можуть бути використані для створення систем планування доставки в реальних умовах.

Ключові слова: оптимізація маршрутів, граф, доставка, алгоритм Дейкстри, Python, логістика, геокодування, OpenStreetMap.

## ABSTRACT

The bachelor's thesis addresses the problem of optimizing logistics delivery routes in the city of Kamianets-Podilskyi using a graph-based model of the road network. A Python-based software system was developed, employing Dijkstra's algorithm to find the shortest paths in a weighted graph generated from OpenStreetMap data. The system performs geocoding of a user-specified address and calculates three delivery options: cheapest, fastest, and optimal (based on a combined price/time evaluation function). The results are visualized on an interactive HTML map with markers and route lines.

The results confirm the accuracy of route construction, reliability of time estimation, and clarity of the visual representation. The system is flexible and scalable, making it suitable for adaptation to other cities or logistics services. The developed solution can be applied in real-world delivery planning systems.

**Keywords:** route optimization, graph, delivery, Dijkstra's algorithm, Python, logistics, geocoding, OpenStreetMap.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ.....	8
1.1 Сутність та значення логістики в сучасній економіці .....	8
1.2 Основи транспортної логістики .....	9
1.3 Теоретичні основи оптимізації маршрутів.....	11
1.4 Графова модель в логістиці .....	12
1.5 Алгоритми пошуку оптимальних маршрутів .....	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ .....	18
2.1 Аналіз предметної області .....	18
2.2 Формалізація задачі оптимізації.....	20
2.3 Вибір методу та обґрунтування.....	21
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ.....	23
3.1 Реалізація моделі.....	23
3.2 Експериментальні дослідження.....	27
3.3 Аналіз результатів.....	29
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33
ДОДАТКИ.....	35

## ВСТУП

У сучасному світі, де щодня зростає попит на швидку та якісну доставку товарів, питання ефективного управління логістикою стає ключовим для багатьох компаній. Особливо це стосується сфери громадського харчування та електронної комерції, де час виконання замовлення напряму впливає на рівень задоволеності клієнтів. З кожним роком конкуренція у сфері доставки посилюється і компанії змушені шукати нові способи оптимізації своїх логістичних процесів. Одним із таких способів є використання математичних моделей, що дозволяють описати транспортну мережу у вигляді графа та застосовувати алгоритми пошуку найкоротших маршрутів.

**Актуальність теми** дослідження обумовлюється необхідністю впровадження сучасних комп'ютерних методів оптимізації логістичних процесів, зокрема у сфері міської доставки. Сучасні геоінформаційні сервіси надають великі обсяги просторових даних, а науково обґрунтовані алгоритми дозволяють ефективно їх використовувати для пошуку оптимальних рішень. Це відкриває широкі можливості для автоматизації задач маршрутизації, скорочення часу доставки, зменшення витрат і підвищення загальної ефективності логістичних систем.

Дослідження показують, що впровадження графових методів та сучасних технологій у процес планування маршрутів може призвести до значного скорочення часу доставки та підвищення задоволеності клієнтів. Наприклад, оптимізація маршрутів з урахуванням часових вікон доставки та пріоритетності замовлень дозволяє більш ефективно використовувати ресурси та уникати запізнь. Використання графових методів у малих містах потребує врахування специфіки місцевої інфраструктури. Наприклад, вузькі вулиці або обмеження руху можуть вимагати адаптації стандартних алгоритмів для забезпечення їхньої ефективності. Крім того, інтеграція даних про реальний стан доріг та прогнозування трафіку може покращити точність побудови маршрутів.

**Об'єктом дослідження** в даній кваліфікаційній роботі є логістичні процеси доставки товарів у межах міста.

**Предметом дослідження** – методи оптимізації маршрутів на основі графових моделей і алгоритмів пошуку найкоротших шляхів.

**Метою** даної роботи є розробка програмної системи для оптимізації логістичних маршрутів доставки піци в місті Кам'янець-Подільський на основі графа дорожньої мережі та алгоритмів пошуку оптимального шляху, з урахуванням таких критеріїв, як ціна, час доставки та загальна ефективність.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Провести теоретичний аналіз основ логістики та методів оптимізації маршрутів.
2. Формалізувати задачу оптимізації у вигляді зваженого графа.
3. Побудувати математичну модель на основі транспортної мережі міста.
4. Реалізувати програмне забезпечення для побудови маршрутів із використанням алгоритму Дейкстри.
5. Забезпечити введення користувачької адреси та геокодування.
6. Розрахувати три варіанти доставки: найдешевший, найшвидший і оптимальний (за функцією оцінки).
7. Реалізувати візуалізацію результатів на інтерактивній карті.
8. Перевірити коректність роботи системи за допомогою експериментальних сценаріїв.

Для реалізації поставлених завдань використовувалися такі **методи дослідження**: аналіз наукових джерел з логістики та теорії графів; методи побудови графових структур за допомогою бібліотек Python; алгоритм Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху у зваженому графі; геокодування адрес за допомогою Geopy; створення візуалізації на основі Folium.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в можливості застосування розробленої системи для побудови маршрутів доставки в

реальних умовах. Рішення може бути адаптоване до інших міст, змінено під інші види доставки (не лише піца), а також доповнене новими параметрами, такими як врахування завантаженості трафіку, облік годин пік, підрахунок вартості доставки тощо. Система є масштабованою, зручною для користувача та може бути інтегрована у вебсервіси чи мобільні застосунки.

**Апробація результатів.** Результати досліджень були оприлюднені на науковій конференції за підсумками науково-дослідної роботи здобувачів вищої освіти фізико-математичного факультету Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка у 2024-2025 н.р., 9-10 квітня 2025 (тези доповіді) [6] та у Віснику Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Фізико-математичні науки. Випуск 17 (стаття) [7].

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблено та реалізовано програмну систему для оптимізації логістичних маршрутів доставки піци в межах міста Кам'янець-Подільський із використанням графової моделі дорожньої мережі та алгоритмічних методів пошуку найкоротших шляхів. У результаті виконаного дослідження досягнуті усі поставлені цілі та виконані заплановані завдання.

На першому етапі проведено теоретичне дослідження предметної області, розглянуто поняття логістики та транспортної логістики, а також основи оптимізації маршрутів. Особливу увагу приділено графовому підходу до моделювання транспортних мереж, який дозволяє ефективно застосовувати математичні алгоритми для вирішення задач оптимізації. Розглянуто основні алгоритми пошуку найкоротшого шляху – алгоритм Дейкстри та A\*, проведено їх теоретичне порівняння, описано переваги та недоліки кожного.

На основі теоретичних знань сформульовано математичну модель у вигляді зваженого графа, де вершини представляють точки на мапі (піцерії та адреса користувача), а ребра – відрізки дороги з певною вагою (час проходження). Це дозволило формалізувати логістичну задачу доставки як задачу пошуку найкоротших шляхів у графі з вагами. Залежно від критерію оптимізації (ціна, час або їх комбінація) запропоновано різні стратегії вибору найкращого маршруту.

У другій частині роботи проведено детальний аналіз поставленої задачі, а також визначено вимоги до побудови моделі. Обґрунтовано вибір методу – алгоритм Дейкстри як ефективного для задач маршрутизації з фіксованими невід'ємними вагами. Для комбінованої оцінки варіантів доставки розроблено функцію оцінки на основі нормалізованих значень ціни та часу, що дозволяє об'єктивно оцінювати баланс між швидкістю доставки та вартістю.

На третьому етапі реалізовано програмну модель мовою Python з використанням бібліотек OSMnx, NetworkX, Geopy, Folium, що забезпечили



завантаження дорожнього графа з OpenStreetMap, геокодування адрес, обчислення маршрутів і побудову інтерактивної карти. Користувач вводить адресу доставки, а система автоматично визначає три найкращі варіанти: найдешевший, найшвидший і оптимальний (за критерієм ціна/час), після чого результати виводяться на карту з відповідними кольорами, піктограмами та спливаючими підказками.

У ході експериментального дослідження система успішно обробила дані по 17 піцеріях у Кам'янці-Подільському. Виявлено технічні проблеми, пов'язані з неточностями у геокодуванні адрес, які були вирішені шляхом ручного збору координат через Google Maps. Також реалізована перевірка даних перед візуалізацією, що дозволило уникнути помилок при побудові маршрутів. Результати експериментів підтвердили, що система працює коректно, стабільно, будує реалістичні маршрути, обчислює час доставки та адекватно ранжує варіанти доставки.

Основними перевагами реалізованої моделі є наочна візуалізація маршрутів на карті, висока точність завдяки ручному введенню координат піцерій, автоматичний підбір оптимального варіанту доставки, можливість масштабування на інші міста або типи логістичних задач, простота у використанні для кінцевого користувача – достатньо лише ввести адресу.

Таким чином, у кваліфікаційній роботі успішно реалізовано задачу оптимізації логістичних маршрутів з використанням графів. Система може бути корисною як приклад побудови логістичного сервісу доставки на основі відкритих даних та алгоритмів маршрутизації. У майбутньому її можна доповнити новими функціями, такими як врахування «пробок» через API, введення годин пік, підрахунок витрат на паливо тощо.

Отже, розроблена модель підтвердила свою ефективність і практичну придатність для використання у реальних умовах. Робота повністю відповідає поставленій меті, має значну прикладну цінність і може бути використана в подальших дослідженнях та розробках у сфері логістики й транспортного моделювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жердієв Д. О. Оптимізація маршрутів руху транспортних засобів з використанням методу Ant-логістики у ТОВ «АВТО ТРЕЙД 2021» (м. Кропивницький) [Магістерська робота]. ЦНТУ, м. Кропивницький.
2. Загурський О. М., Загурська С. М. Моделювання маршрутів транспортно-логістичної системи постачань швидкопсувних харчових продуктів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2022. 1(3). С. 216–228.
3. Крєневич А. П. Алгоритми і структури даних. Підручник. Київ: ВПЦ «Київський Університет», 2021. 200 с.
4. Мінакова С., Грігорі О. Сучасні методи оптимізації логістичних процесів. Підприємництво та управління розвитком соціально-економічних систем, №2, 2023. С. 107-127.
5. Помаз А. С. Оптимізація транспортних маршрутів в логістиці за допомогою динамічного програмування. XXIV Міжнародна конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», К.: НАУ, 3–4 квітня 2024. С. 128–129.
6. Стефура Ю. Графові методи для мінімізації часу доставки у малих містах. Збірник матеріалів наукової конференції за підсумками науково-дослідної роботи здобувачів вищої освіти фізико-математичного факультету Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка у 2024-2025 н.р., 9-10 квітня 2025 року [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, фізико-математичний факультет, 2025. С. 10-13. URL: <http://elar.kpnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/8094>.
7. Стефура Ю. Методи оптимізації логістичних маршрутів за допомогою графів. Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Фізико-математичні науки. Випуск 17. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені

ІВАНА ОГІЄНКА, 2024. С. 158-163. URL: <https://fizmat.kpnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/visnyk-17-2024-17-12-2024.pdf>

8. Bilski P., Markowski T. (2021). Optimization of autonomous agent routes in logistics warehouse. *International Journal of Electronics and Telecommunication*.
9. Boyles S. D., Lownes N. E., Unnikrishnan A. (2025). *Transportation Network Analysis, Volume I: Static and Dynamic Traffic Assignment*. ArXiv.
10. Lusiani A., Sartika E., Binarto A., Habinuddin E., Azis I. (2021). Determination of the Fastest Path on Logistics Distribution by Using Dijkstra Algorithm. *Advances in Engineering Research, ISSAT*.
11. Wang R., Lu Z., Jin Y., Liang C. (2022). Application of A\* algorithm in intelligent vehicle path planning. *Mathematical Models in Engineering*, Vol. 8, 82–90.