

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Підсадочий Володимир Петрович

Pidsadochyi Volodymyr

УДК _____

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня _____ магістр

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Автоматична система оптимізації автоперевезень

Automatic system for optimizing road transport

Науковий керівник:
кандидат фіз.-мат. наук,
доцент Дзунза Б.С.

Івано-Франківськ

2024

АНОТАЦІЯ

Мета даної роботи – розробка автоматизованої системи для оптимізації автомобільних вантажоперевезень з використанням сучасних технологій обробки даних і алгоритмів маршрутизації. Система застосовує такі інструменти, як алгоритм Дейкстри, генетичні алгоритми та імітація відпалу, для розробки оптимальних маршрутів з урахуванням обмежень на вагу, об'єм вантажів та часові рамки доставки.

У рамках проєкту проведено аналіз сучасних тенденцій транспортної логістики, досліджено існуючі рішення в галузі оптимізації перевезень та обрано інноваційний підхід для реалізації ефективної моделі. Основу системи складають геоінформаційні сервіси, алгоритми машинного навчання та інтерактивний інтерфейс для управління транспортними потоками.

Результати тестування показали високу ефективність запропонованої системи: досягнуто зниження витрат на перевезення, скорочення часу доставки та мінімізація екологічного впливу. Реалізована система доводить перспективність інтеграції автоматизованих рішень у транспортну логістику для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності компаній.

					123.КІ(м)-21	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The purpose of this work is to develop an automated system for optimizing road freight transportation using modern data processing technologies and routing algorithms. The system uses tools such as Dijkstra's algorithm, genetic algorithms and simulated annealing to develop optimal routes taking into account restrictions on weight, cargo volume and delivery time.

The project analyzed current trends in transport logistics, investigated existing solutions in the field of transport optimization and selected an innovative approach to implement an effective model. The system is based on geoinformation services, machine learning algorithms and an interactive interface for managing transport flows.

The testing results showed high efficiency of the proposed system: reduced transportation costs, reduced delivery time and minimized environmental impact. The implemented system proves the prospects of integrating automated solutions into transport logistics to increase the productivity and competitiveness of companies.

					123.KI(м)-21	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	7
1.1 Огляд сучасних тенденцій у логістиці	7
1.2 Аналіз існуючих рішень	8
1.3 Методи оптимізації перевезень	10
1.4 Виклики та недоліки існуючих рішень	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1 Інструменти	18
2.2 Алгоритм оптимізації	20
2.3 Архітектура системи	22
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ	26
3.1 Дизайн системи.....	26
3.2 Моделювання.....	28
3.3 Тестування інтерфейсу користувача (UI).....	31
РОЗДІЛ 4. ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ	42
4.1 Набори даних і методика експериментів	42
4.2 Результати експериментів	44
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ І ВПРОВАДЖЕННЯ.....	47
ВИСНОВОК	50
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ(м)-21

ВСТУП

В умовах стрімкої глобалізації та розвитку світової економіки роль транспортної логістики як однієї з ключових складових бізнесу стає дедалі важливішою. Сучасний бізнес потребує ефективного управління ресурсами, зокрема транспортними потоками, для забезпечення стабільного функціонування логістичних ланцюгів. Водночас зростаючі витрати на паливо, високий рівень конкуренції, екологічні вимоги та постійне збільшення обсягів перевезень ставлять перед компаніями виклики, що вимагають використання інноваційних технологій.

Автомобільні вантажоперевезення є одним із найпоширеніших способів доставки товарів у світі. Вони забезпечують високу гнучкість і адаптивність до потреб клієнтів. Проте саме ця сфера відчуває найбільший тиск через різке зростання витрат, пов'язаних із паливом, утриманням автопарку та екологічними штрафами. Крім того, внаслідок урбанізації і зростання трафіку, транспортні системи великих міст стикаються з перенавантаженням, що збільшує час доставки та витрати.

Екологічні аспекти також відіграють важливу роль у сучасній логістиці. Згідно з глобальними угодами, такими як Паризька кліматична угода, уряди країн прагнуть скоротити викиди парникових газів. Це стимулює транспортні компанії шукати шляхи оптимізації маршрутів і мінімізації впливу на довкілля. Таким чином, розробка автоматизованих систем управління вантажоперевезеннями, які дозволяють враховувати екологічні вимоги, стає не лише бажаною, а й необхідною.

Окрім екологічних та економічних викликів, варто також звернути увагу на фактори глобальної нестабільності. Події останніх років, такі як пандемія COVID-19, геополітичні кризи та порушення ланцюгів постачання, показали, наскільки важливою є здатність транспортних систем швидко адаптуватися до

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ(м)-21

нових умов. Відсутність ефективної автоматизації ускладнює швидке реагування на зміни, тоді як інтеграція сучасних технологій у процеси управління дозволяє підвищити гнучкість і стійкість.

Додатковим стимулом для розробки автоматизованих систем є цифровізація економіки. Технології Big Data, машинне навчання, інтернет речей (IoT) та хмарні обчислення стають важливими інструментами для збору, обробки та аналізу великих обсягів даних. Вони дозволяють прогнозувати затримки, оптимізувати маршрути та ефективніше розподіляти ресурси.

Окремо варто зазначити зростання очікувань клієнтів щодо швидкості доставки, прозорості процесів та доступності інформації в режимі реального часу. Інтеграція систем GPS-навігації, автоматизованих управлінських платформ і мобільних додатків створює нові стандарти у сфері транспортних перевезень, яким має відповідати кожна сучасна компанія.

Таким чином, актуальність теми магістерської роботи зумовлена необхідністю забезпечення ефективного управління вантажоперевезеннями в умовах сучасних викликів. Розробка автоматизованої системи, що дозволяє оптимізувати процеси транспортування, скоротити витрати та забезпечити екологічну відповідність, є важливим кроком до підвищення конкурентоспроможності компаній та стабільності логістичних систем у глобальному масштабі.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд сучасних тенденцій у логістиці

Сфера логістики зазнає суттєвих змін завдяки впровадженню новітніх технологій та адаптації до глобальних викликів. Однією з ключових тенденцій є цифровізація, яка охоплює всі етапи логістичних процесів: від планування маршрутів до моніторингу доставки в реальному часі. Це забезпечує підвищення точності та швидкості прийняття рішень, зменшує ризики людського фактору і дозволяє швидко реагувати на зміни умов.

Важливою складовою сучасної логістики є використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML). Ці технології застосовуються для аналізу великих обсягів даних, таких як історія трафіку, погодні умови та поведінка клієнтів. На основі цього аналізу створюються прогнози, які допомагають оптимізувати маршрути, визначати найкращий розподіл ресурсів і навіть прогнозувати можливі проблеми.

Інтеграція IoT (інтернету речей) у транспортну логістику дозволяє забезпечити більш детальний контроль над процесами. Датчики, встановлені на транспортних засобах, надають інформацію про місцезнаходження, стан вантажу, витрати палива та технічний стан автомобілів. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни, наприклад, замінювати транспорт у разі поломки або перерозподіляти вантажі.

Екологічна складова стає дедалі важливішою в логістичних процесах. Компанії прагнуть скоротити викиди парникових газів, зменшити споживання пального та мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Це досягається шляхом впровадження електротранспорту, оптимізації маршрутів та інтеграції екологічних показників у загальні алгоритми управління.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Автоматизація управління автопарком є ще однією важливою тенденцією. Системи управління транспортом (TMS) дозволяють знижувати витрати шляхом автоматичного розподілу завдань, аналізу продуктивності транспорту і мінімізації простоїв. Ці системи також допомагають відстежувати статус перевезень у реальному часі та адаптувати плани відповідно до змінних обставин.

Хмарні обчислення забезпечують можливість зберігання та обробки великих обсягів даних у хмарі, що полегшує доступ до інформації з будь-якого пристрою. Це особливо актуально для великих логістичних мереж, де необхідно інтегрувати дані з різних джерел і надавати доступ різним користувачам.

Таким чином, сучасна логістика розвивається у напрямку інтеграції передових технологій, таких як AI, IoT та хмарні обчислення, що дозволяє підвищити ефективність перевезень, зменшити витрати та забезпечити відповідність екологічним вимогам.

1.2 Аналіз існуючих рішень

На ринку транспортної логістики вже існує чимало програмних продуктів, що пропонують автоматизацію управління вантажоперевезеннями. Ці системи здатні вирішувати широкий спектр завдань: від планування маршрутів і моніторингу автопарку до інтеграції з клієнтськими базами та забезпечення зворотного зв'язку. Однак більшість із них має як переваги, так і недоліки, які необхідно враховувати для створення удосконалених рішень.

Однією з найпоширеніших категорій є системи управління транспортом (TMS). Ці платформи, як-от PTV Group і OptimoRoute, орієнтовані на планування маршрутів із урахуванням змінних факторів, таких як дорожній трафік, витрати пального та часові вікна клієнтів. PTV Group пропонує

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ(М)-21

інструменти, що дозволяють оптимізувати маршрути з високим ступенем деталізації, включаючи розрахунок витрат на доставку та прогнозування часу прибуття. У той же час система має високу вартість, що обмежує її доступність для малого та середнього бізнесу. OptimoRoute більше орієнтована на малий бізнес і забезпечує простоту використання, проте її функціональність обмежена при роботі з великими автопарками чи складними маршрутизаційними завданнями.

Другою категорією є глобальні логістичні платформи, такі як Lardi-Trans та Della. Ці системи спеціалізуються на пошуку вантажів і перевізників, а також на забезпеченні інтеграції з іншими учасниками логістичного ланцюга. Наприклад, Lardi-Trans забезпечує зручний інтерфейс для реєстрації транспортних засобів і додавання вантажів, включаючи GPS-відстеження. Проте платформа має розділену архітектуру інтерфейсу, що ускладнює навігацію для користувачів. Della, у свою чергу, дозволяє як знаходити перевізників, так і додавати власні транспортні ресурси, проте має обмежену гнучкість у роботі з великими обсягами даних та слабку інтеграцію з системами управління автопарком.

Серед методів оптимізації маршрутів, які використовуються в цих системах, домінують класичні алгоритми, такі як Дейкстра та A* (A-star), що дозволяють знаходити найкоротші шляхи між пунктами. Однак ці алгоритми обмежені у випадках складних завдань, які потребують врахування багатьох змінних. Для вирішення таких задач деякі платформи починають впроваджувати генетичні алгоритми та методи машинного навчання. Наприклад, прогнозування часу доставки на основі історичних даних і моделювання трафіку дозволяє покращити точність роботи системи, але ці методи поки що впроваджені лише в деяких висококласних TMS.

Попри те, що сучасні рішення значно полегшують управління вантажоперевезеннями, вони мають певні недоліки. Один із головних викликів

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

— обмежена інтеграція. Багато систем складно поєднати з іншими платформами, такими як CRM чи ERP, що ускладнює роботу компаній, які використовують кілька окремих інструментів для управління бізнес-процесами. Іншою проблемою є висока вартість більшості програмних продуктів, яка часто робить їх недоступними для малих і середніх підприємств.

Окремою проблемою є недостатня екологічність існуючих рішень. Лише незначна частина платформ пропонує алгоритми, які враховують екологічні фактори, такі як мінімізація викидів CO₂ чи використання енергоефективного транспорту. В умовах посилення екологічних стандартів це є важливою сферою для вдосконалення.

Існуючі системи також не завжди готові до роботи в умовах динамічних змін, таких як раптове збільшення обсягів доставки або зміна умов маршруту через дорожні роботи чи погодні явища. Хоча деякі сучасні платформи використовують прогнозу аналітику, більшість із них усе ще обмежена у можливостях адаптації до непередбачуваних ситуацій.

Таким чином, аналіз існуючих рішень демонструє, що вони покривають значну частину потреб сучасної логістики, однак потребують вдосконалення в частині інтеграції, екологічності, адаптивності та зниження вартості. Розробка системи, яка враховує ці аспекти, має великий потенціал для підвищення ефективності вантажоперевезень та зменшення їх впливу на довкілля.

1.3 Методи оптимізації перевезень

Оптимізація вантажних перевезень є складним завданням, яке потребує врахування багатьох факторів, таких як відстань, час доставки, витрати палива, обмеження на вантажність транспортних засобів, екологічні показники та навіть ризики, пов'язані з погодними умовами чи станом доріг.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для вирішення цих задач застосовуються різноманітні математичні моделі та алгоритми, кожен із яких має свої переваги та обмеження.

Класичні алгоритми для оптимізації маршрутів, такі як алгоритм Дейкстри та A^* (A-star), широко використовуються для пошуку найкоротших шляхів між заданими пунктами. Алгоритм Дейкстри визначає мінімальні витрати (час або відстань) для проходження графу, що є базовою задачею в оптимізації перевезень. Модифікований алгоритм A^* , який використовує евристичну оцінку для пришвидшення обчислень, особливо ефективний для великих дорожніх мереж, де потрібно враховувати додаткові фактори, такі як обмеження по вантажу чи часові рамки.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

123.КІ(м)-21

```

1 import heapq
2
3 def dijkstra(graph, start, end):
4     # Ініціалізація структури даних
5     queue = [(0, start, [])]
6     visited = set()
7     min_dist = {start: 0}
8
9     while queue:
10        (cost, node, path) = heapq.heappop(queue)
11        if node in visited:
12            continue
13        path = path + [node]
14        visited.add(node)
15
16        if node == end:
17            return cost, path
18
19        for neighbor, weight in graph.get(node, {}).items():
20            if neighbor in visited:
21                continue
22            prev_cost = min_dist.get(neighbor, float('inf'))
23            new_cost = cost + weight
24            if new_cost < prev_cost:
25                min_dist[neighbor] = new_cost
26                heapq.heappush(queue, (new_cost, neighbor, path))
27        return float('inf'), []
28
29 # Граф доріг
30 graph = {
31     'A': {'B': 5, 'C': 10},
32     'B': {'A': 5, 'C': 3, 'D': 7},
33     'C': {'A': 10, 'B': 3, 'D': 2},
34     'D': {'B': 7, 'C': 2}
35 }
36
37 # Виклик функції
38 cost, path = dijkstra(graph, 'A', 'D')
39 print(f"Найкоротший шлях: {path} з витратами: {cost}")
40

```

Рисунок 1.1 Використання алгоритму Дейкстри для знаходження найкоротшого маршруту

Однак класичні алгоритми обмежені в складних сценаріях, коли кількість змінних та обмежень зростає. Для вирішення таких завдань використовуються комбінаторні алгоритми, серед яких виділяються генетичні алгоритми та метод імітації відпалу. Генетичні алгоритми імітують процес

						Арк.
					123.КІ(м)-21	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

природного відбору, що дозволяє знайти оптимальні маршрути шляхом "еволюції" можливих рішень. Цей підхід особливо ефективний для задач із великою кількістю варіантів, наприклад, при маршрутизації доставки в десятки пунктів. Метод імітації відпалу, у свою чергу, використовує принцип поступового зменшення ймовірності прийняття гірших рішень у процесі оптимізації, що дозволяє уникнути локальних мінімумів.

```

1 import random
2
3 def calculate_fitness(route, distance_matrix):
4     total_distance = 0
5     for i in range(len(route) - 1):
6         total_distance += distance_matrix[route[i]][route[i+1]]
7     total_distance += distance_matrix[route[-1]][route[0]] # Повернення до початкової точки
8     return 1 / total_distance # Чим менша відстань, тим вищий fitness
9
10 def generate_population(size, cities):
11     return [random.sample(cities, len(cities)) for _ in range(size)]
12
13 def crossover(parent1, parent2):
14     start, end = sorted(random.sample(range(len(parent1)), 2))
15     child = parent1[start:end]
16     child += [gene for gene in parent2 if gene not in child]
17     return child
18
19 def mutate(route, mutation_rate=0.1):
20     if random.random() < mutation_rate:
21         i, j = random.sample(range(len(route)), 2)
22         route[i], route[j] = route[j], route[i]
23
24 def genetic_algorithm(distance_matrix, cities, generations=500, population_size=100, mutation_rate=0.1):
25     population = generate_population(population_size, cities)
26     for _ in range(generations):
27         population = sorted(population, key=lambda route: calculate_fitness(route, distance_matrix), reverse=True)
28         next_generation = population[:10] # Вибір найкращих
29         for _ in range(population_size - 10):
30             parent1, parent2 = random.sample(population[:50], 2)
31             child = crossover(parent1, parent2)
32             mutate(child, mutation_rate)
33             next_generation.append(child)
34         population = next_generation
35     best_route = population[0]
36     return best_route, 1 / calculate_fitness(best_route, distance_matrix)
37
38 # Матриця відстаней
39 distance_matrix = [
40     [0, 2, 9, 10],
41     [1, 0, 6, 4],
42     [15, 7, 0, 8],
43     [6, 3, 12, 0]
44 ]
45 cities = [0, 1, 2, 3]
46
47 # Виклик алгоритму
48 best_route, best_distance = genetic_algorithm(distance_matrix, cities)
49 print(f"Найкращий маршрут: {best_route} з відстанню: {best_distance}")
50

```

Рисунок 2.2 Генетичний алгоритм для оптимізації маршрутів доставки

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Іншим перспективним напрямком є застосування машинного навчання для прогнозування та оптимізації перевезень. Алгоритми машинного навчання, зокрема моделі глибокого навчання, дозволяють аналізувати великі масиви історичних даних, таких як дані про дорожній трафік, погоду чи поведінку клієнтів. На основі цього аналізу система може прогнозувати затримки, оптимізувати розподіл ресурсів і виявляти потенційні ризики. Наприклад, рекурентні нейронні мережі (RNN) можуть прогнозувати час доставки, враховуючи попередні закономірності, а згорткові нейронні мережі (CNN) можуть обробляти геопросторові дані для пошуку оптимальних маршрутів.

Крім того, у логістиці активно використовуються алгоритми кластеризації, такі як k-means чи DBSCAN, для групування пунктів доставки. Ці методи дозволяють розділити замовлення на кластери за географічним принципом, зменшуючи загальну відстань, яку має подолати транспорт.

Сучасні системи також починають інтегрувати гібридні підходи, які поєднують класичні алгоритми та моделі машинного навчання. Наприклад, комбінуючи генетичні алгоритми з глибоким навчанням, можна досягти як точності в обчисленнях, так і швидкості в ухваленні рішень. Такі підходи дозволяють враховувати додаткові фактори, зокрема зміни в дорожньому трафіку, погодні умови чи наявність доступних транспортних засобів.

Окрему роль в оптимізації перевезень відіграють методи мультикритеріальної оптимізації, які дозволяють враховувати декілька цілей одночасно. Наприклад, система може одночасно мінімізувати витрати на паливо, скорочувати час доставки та зменшувати викиди CO₂. Задача мультикритеріальної оптимізації формулюється як пошук компромісу між декількома критеріями, що забезпечує досягнення балансу між ефективністю та екологічністю.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Використання прогностичної аналітики дозволяє не лише реагувати на поточні виклики, але й проактивно планувати дії. Наприклад, аналіз історичних даних про замовлення може допомогти передбачити пікові навантаження та заздалегідь підготувати додаткові транспортні ресурси. Прогнозування також дозволяє враховувати сезонні зміни в попиті та коригувати маршрути відповідно до прогнозованих умов.

Таким чином, сучасні методи оптимізації перевезень базуються на поєднанні класичних алгоритмів, комбінаторних методів, машинного навчання та прогностичної аналітики. Це дозволяє досягати високого рівня точності та ефективності, враховуючи дедалі складніші вимоги до транспортування. Однак для подальшого розвитку систем необхідна глибша інтеграція екологічних критеріїв, розширення можливостей адаптації до змінних умов та використання гібридних моделей, які поєднують переваги різних підходів.

1.4 Виклики та недоліки існуючих рішень

Існуючі системи управління вантажоперевезеннями досягли значного прогресу у впровадженні автоматизації та оптимізації, однак їх ефективність і зручність обмежуються низкою викликів та недоліків. Ці обмеження стосуються як технологічних аспектів, так і організаційних проблем, що стримують їх повноцінне використання в сучасних умовах.

Однією з найбільших проблем є недостатня інтеграція існуючих систем із супутніми платформами. Більшість рішень, таких як TMS або CRM, функціонують як окремі автономні системи, що ускладнює взаємодію між ними. Наприклад, транспортна компанія може використовувати окрему платформу для управління вантажами, але для взаємодії з клієнтами або постачальниками потрібне додаткове програмне забезпечення. Це призводить

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

до дублювання даних, збільшення часу на їхнє оброблення та виникнення помилок через ручне перенесення інформації.

Ще одним суттєвим обмеженням є висока вартість впровадження та обслуговування складних логістичних платформ, таких як PTV Group або Oracle TMS. Хоча ці рішення забезпечують широкий функціонал і високу точність розрахунків, їхня вартість робить їх недоступними для багатьох малих і середніх підприємств. Крім того, сам процес впровадження таких систем потребує значних витрат часу та залучення кваліфікованих спеціалістів, що також обмежує їх застосування.

Екологічний аспект, який набуває дедалі більшого значення, також залишається слабким місцем багатьох систем. Більшість існуючих платформ не враховують екологічні критерії, такі як викиди CO₂, споживання енергії чи оптимізація використання транспорту з урахуванням його екологічності. У той час як регуляторні органи посилюють вимоги до зменшення впливу логістики на довкілля, відсутність цих можливостей ускладнює адаптацію компаній до нових стандартів і законодавства.

Окрім екологічних обмежень, важливим викликом є низька адаптивність існуючих систем до непередбачуваних змін. Наприклад, різкі зміни дорожньої ситуації, аварії, погодні умови або інші форс-мажорні обставини можуть значно вплинути на ефективність перевезень. Багато сучасних систем не мають можливості оперативно адаптувати маршрути або перевизначати завдання в реальному часі, що призводить до затримок і додаткових витрат.

Ще одним недоліком є обмежена масштабованість деяких рішень. Платформи, які працюють добре для невеликих компаній, часто не здатні обробляти великі обсяги даних або підтримувати одночасну роботу з великими автопарками. Наприклад, при переході з декількох десятків на сотні транспортних засобів системи починають демонструвати зниження продуктивності, затримки в обробці даних і нестабільність роботи.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Також варто відзначити недостатній рівень зручності користування багатьма логістичними платформами. Складний і перевантажений інтерфейс, відсутність адаптації під мобільні пристрої та інтуїтивно зрозумілих налаштувань робить ці системи малозручними для кінцевих користувачів, особливо для водіїв або операторів, які працюють у польових умовах. Крім того, у деяких платформах не вистачає багатомовної підтримки або локалізації, що також створює труднощі для міжнародних компаній.

Ключовим недоліком багатьох існуючих рішень є обмежений функціонал прогнозування та аналізу даних. Більшість платформ забезпечують лише базову оптимізацію маршрутів і розподілу ресурсів, але не мають інструментів для довгострокового планування чи проактивного управління. Наприклад, відсутність прогнозів сезонних коливань попиту або аналізу ефективності автопарку за історичними даними ускладнює стратегічне управління.

Таким чином, незважаючи на великий прогрес у розробці автоматизованих систем управління вантажоперевезеннями, існує значний простір для вдосконалення. Для вирішення цих викликів необхідно розробляти платформи, які забезпечують глибшу інтеграцію з іншими системами, враховують екологічні вимоги, є гнучкими та адаптивними до змін, а також забезпечують зручний інтерфейс і потужні інструменти прогнозування. Це дозволить підвищити ефективність транспортної логістики, знизити витрати та сприяти сталому розвитку галузі.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21					

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Інструменти

Для створення автоматизованої системи оптимізації вантажоперевезень використовувалися сучасні інструменти, які забезпечили високу продуктивність, адаптивність і надійність системи. Основною мовою програмування обрано Python, яка є універсальним інструментом для роботи з даними, математичними моделями та інтеграції з іншими системами. Python пропонує багатий набір бібліотек, таких як Pandas для обробки та аналізу даних, NumPy для математичних розрахунків, NetworkX для моделювання та обчислення графів, а також Matplotlib і Plotly для візуалізації результатів. Ці інструменти дозволили обробляти великі масиви даних і наочно представляти оптимізаційні моделі та результати.

Для управління інформацією про маршрути, транспортні засоби та пункти доставки використовувалася реляційна база даних, де SQL був основним засобом взаємодії з даними. Використання SQL забезпечило ефективність, швидкий доступ до даних і можливість роботи з великими обсягами інформації. Для збереження даних використовувалися потужні сервери баз даних, такі як PostgreSQL або MySQL, які забезпечують масштабованість і стабільність. Для інтеграції Python із базою даних застосовувався SQLAlchemy, що дозволило працювати з базою на рівні коду, забезпечуючи гнучкість і зручність.

Одним із ключових компонентів системи стали геоінформаційні технології. Використання Google Maps API дозволило отримувати точні та актуальні дані про дорожню мережу, включаючи інформацію про відстані, час у дорозі та умови руху. Це стало основою для побудови оптимальних маршрутів із урахуванням реальних умов. Бібліотека Folium використовувалася для створення інтерактивних карт, що надали

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

користувачам можливість наочно аналізувати маршрути та оцінювати запропоновані рішення.

Для інтеграції різних модулів системи та забезпечення взаємодії з користувачами було обрано Flask як веб-фреймворк. Flask дозволив створити надійний бекенд для обробки запитів, управління даними та виконання розрахунків. Інтерфейс користувача був створений за допомогою Bootstrap, що забезпечило адаптивність та зручність у використанні на різних пристроях, включаючи мобільні телефони.

Хмарні сервіси, такі як AWS або Google Cloud Platform, використовувалися для забезпечення масштабованості та зберігання великих обсягів даних. Вони надали можливість виконувати складні обчислення та забезпечили стабільну роботу системи. Контейнеризація за допомогою Docker спростила розгортання системи та забезпечила сумісність між різними середовищами.

Процес розробки та тестування вівся у середовищах Jupyter Notebook і PyCharm. Jupyter Notebook використовувався для інтерактивного аналізу даних і тестування алгоритмів оптимізації, тоді як PyCharm забезпечив розробку основного коду та інтеграцію всіх компонентів. Для автоматизації тестування застосовувався Pytest, який дозволив перевіряти функціональність кожного компонента системи. API, що забезпечує зв'язок між модулями, тестувався за допомогою Postman.

Таким чином, використані інструменти забезпечили комплексний підхід до розробки автоматизованої системи, яка поєднує ефективність обробки даних, надійну архітектуру та зручність використання. Це дозволило створити масштабовану та адаптивну систему, здатну задовольнити сучасні вимоги транспортної логістики.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.2 Алгоритм оптимізації

Розробка алгоритму оптимізації вантажоперевезень є центральною частиною системи, яка спрямована на мінімізацію витрат, оптимізацію часу доставки, врахування обмежень на транспортні засоби та забезпечення екологічних вимог. Алгоритм був розроблений на основі математичної моделі, яка включає функцію цілі, набір обмежень та механізм обробки вхідних даних. Основною метою алгоритму є визначення найоптимальніших маршрутів для кожного транспортного засобу з урахуванням усіх заданих параметрів.

Функція цілі алгоритму була визначена як задача мінімізації загальних витрат на перевезення. Загальні витрати включають витрати на паливо, вартість часу, витрати на технічне обслуговування транспорту, а також додаткові витрати, пов'язані з екологічними аспектами. Функція формалізована у вигляді:

$$C = \sum_{i=1}^n (d_i \times c_f + t_i \times c_t)$$

Де: d_i — відстань маршруту i ,

c_f — вартість палива на одиницю відстані,

t_i — час у дорозі для маршруту i ,

c_t — вартість часу.

Обмеження моделі включають:

1 Максимальну вагу та об'єм вантажу, що може перевозитися кожним транспортним засобом:

$$\sum_{j=1}^m W_j \leq W_{max}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де W_j — вага окремого замовлення, W_{max} — вантажопідйомність автомобіля.

2. Часові обмеження для виконання доставки:

$$T_{start} \leq T_{actual} \leq T_{end}$$

де T_{start} і T_{end} – часові вікна для доставки.

Алгоритм обробляє вхідні дані, які включають: інформацію про пункти доставки (координати, часові вікна, обсяги вантажу); характеристику автопарку (вантажопідйомність, витрати палива, технічні обмеження); ані про дорожню мережу (граф доріг із зазначенням відстаней і часу в дорозі).

Для вирішення задачі оптимізації використовувалися кілька алгоритмічних підходів. Класичні алгоритми, такі як Дейкстра та A^* (A -star), застосовувалися для визначення найкоротших шляхів між окремими пунктами доставки. Алгоритм Дейкстра забезпечує точне знаходження найкоротшого маршруту в графі, а A^* використовує евристичні оцінки, що дозволяє пришвидшити обчислення в масштабних дорожніх мережах. Однак, враховуючи багатofакторність задачі, цих алгоритмів було недостатньо для глобальної оптимізації всіх маршрутів.

Для розв'язання багатозадачної маршрутизації застосовувався генетичний алгоритм. Цей алгоритм імітує природний процес еволюції, використовуючи популяцію можливих рішень (маршрутів), які "еволюціонують" через процеси мутації, кросовера та селекції. Генетичний алгоритм дозволив знаходити оптимальні маршрути навіть у випадках із великою кількістю точок доставки та обмежень.

Імітація відпалу (Simulated Annealing) використовувалася як доповнення до генетичного алгоритму для уникнення локальних мінімумів і забезпечення пошуку глобально оптимального рішення. Цей підхід базується на ідеї

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

поступового "охолодження" системи, що дозволяє вивчати більший обсяг можливих рішень на початку оптимізації та звужувати область пошуку на завершальних етапах.

Важливим аспектом алгоритму було врахування екологічних параметрів. Зокрема, було додано критерій мінімізації викидів CO₂, який розраховувався на основі відстані, витрат палива та типу транспортного засобу. Це дозволило не лише оптимізувати витрати, але й забезпечити відповідність екологічним стандартам.

Алгоритм інтегровано в систему таким чином, щоб він міг працювати в реальному часі. Це дозволяє оперативно адаптувати маршрути у випадку змін умов, наприклад, через затори, аварії чи інші фактори. Розроблений алгоритм є гнучким і може масштабуватися для роботи з різними обсягами даних та автопарків, що робить його універсальним інструментом для транспортної логістики.

2.3 Архітектура системи

Розроблена система оптимізації вантажоперевезень має модульну та гнучку архітектуру, яка забезпечує ефективну інтеграцію всіх компонентів, масштабованість і зручність використання. Основна ідея архітектури полягає у розподілі функціональності на окремі взаємопов'язані модулі, кожен із яких відповідає за конкретну частину роботи системи. Такий підхід забезпечує легкість обслуговування, розширення функціональності та інтеграцію з іншими системами.

У центрі архітектури розташована база даних, яка є сховищем всіх даних, необхідних для роботи системи. Це включає інформацію про транспортні засоби (вантажопідйомність, витрати палива, тип двигуна), пункти доставки (координати, часові вікна, обмеження на вантаж), дорожню

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

мережу (граф із вагами для відстаней і часу в дорозі), а також історію перевезень. Для роботи з базою даних використовувалася реляційна модель, реалізована за допомогою PostgreSQL або MySQL. Це забезпечує швидкий доступ до даних, можливість виконання складних запитів і високу надійність.

Алгоритмічний модуль є ключовою частиною системи, що виконує розрахунки для оптимізації маршрутів. Він включає реалізацію математичної моделі та алгоритмів оптимізації, таких як Дейкстра, A*, генетичний алгоритм і імітація відпалу. Цей модуль обробляє вхідні дані з бази, враховує обмеження, задані користувачем, і генерує оптимальні маршрути. Алгоритмічний модуль спроектовано таким чином, щоб він міг працювати в реальному часі, адаптуючи маршрути в разі змін умов, таких як затори чи погодні фактори.

Інтерфейс користувача (UI) є точкою взаємодії системи з користувачем. Він забезпечує введення даних, таких як список точок доставки, параметри транспорту та додаткові обмеження, а також відображає результати оптимізації. Інтерфейс розроблений за допомогою Flask як бекенд-фреймворка та Bootstrap для створення адаптивного веб-дизайну. Це дозволяє користувачам легко працювати із системою з будь-яких пристроїв, включаючи комп'ютери, планшети та смартфони. Інтерактивні карти, створені за допомогою Folium, дозволяють користувачам переглядати маршрути візуально, що сприяє кращому розумінню запропонованих рішень.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.KI(м)-21

```

1 import folium
2
3 # Координати точок доставки з вагою
4 locations = [
5     (50.4501, 30.5234, 10), # Київ, вага 10
6     (49.8397, 24.0297, 20), # Львів, вага 20
7     (46.4825, 30.7233, 15) # Одеса, вага 15
8 ]
9
10 # Створення карти
11 m = folium.Map(location=locations[0][:2], zoom_start=6)
12
13 # Додавання точок із вагою
14 for loc in locations:
15     folium.CircleMarker(
16         location=(loc[0], loc[1]),
17         radius=loc[2], # Вага як радіус
18         color='red',
19         fill=True,
20         fill_color='red'
21     ).add_to(m)
22
23 # Додавання маршруту
24 folium.PolyLine([loc[:2] for loc in locations], color="blue", weight=2.5, opacity=1).add_to(m)
25
26 # Збереження карти
27 m.save("weighted_route.html")
28 print("Карта збережена у файл 'weighted_route.html'")
29

```

Рисунок 2.1 інтерактивна мапа з точками доставки, розмір яких пропорційний їхній вазі або пріоритету.

Сервіс API є посередником між усіма модулями системи. Він дозволяє алгоритмічному модулю взаємодіяти з базою даних, а також забезпечує зв'язок із зовнішніми системами, такими як CRM, ERP чи інші логістичні платформи. API також надає можливість інтеграції із зовнішніми сервісами, такими як Google Maps API, для отримання актуальних даних про дорожні умови.

Для забезпечення стабільної роботи та масштабованості системи використовуються хмарні обчислення. Система може бути розгорнута на платформах, таких як AWS або Google Cloud Platform, що дозволяє зберігати великі обсяги даних і виконувати обчислення незалежно від локального обладнання. Контейнеризація за допомогою Docker спрощує процес

						Арк.
					123.КІ(м)-21	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розгортання системи, забезпечуючи однакове середовище для її запуску на різних платформах.

Окремою частиною архітектури є модуль моніторингу та аналітики. Він дозволяє аналізувати ефективність роботи системи в режимі реального часу, генерувати звіти про виконані маршрути, витрати палива, час доставки та інші параметри. Модуль аналітики також використовує історичні дані для прогнозування майбутніх сценаріїв, таких як пікові періоди доставки або можливі затримки через погодні умови.

Архітектура системи розроблена таким чином, щоб забезпечити масштабованість, гнучкість та легкість інтеграції. Це дозволяє додавати нові модулі, наприклад, для прогнозування ризиків, управління запасами або інтеграції з IoT. Крім того, модульна структура спрощує обслуговування системи та її адаптацію до потреб конкретних користувачів. Розроблена система є універсальним інструментом, здатним значно підвищити ефективність управління вантажоперевезеннями.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ

3.1 Дизайн системи

Процес розробки дизайну автоматизованої системи оптимізації вантажоперевезень включав створення логічної та інтуїтивно зрозумілої структури, яка забезпечує зручність взаємодії користувачів із системою та підтримує всі ключові функції. Основною метою було розробити таку систему, яка легко адаптується до різних умов роботи, дозволяє масштабуватися за обсягами даних і інтегруватися з іншими платформами.

Система створена як веб-додаток, що забезпечує доступ користувачів із будь-яких пристроїв, включаючи настільні комп'ютери, ноутбуки, планшети та смартфони. Це стало можливим завдяки використанню адаптивного дизайну, реалізованого на базі фреймворка Bootstrap. Інтерфейс автоматично підлаштовується під розмір екрану, забезпечуючи однаково зручний доступ як для диспетчерів у офісі, так і для водіїв у полі.

Центральним елементом інтерфейсу є інтерактивна мапа, створена за допомогою бібліотеки Folium. Мапа дозволяє користувачам у реальному часі переглядати оптимізовані маршрути для кожного транспортного засобу. Візуалізація маршруту включає позначення початкових і кінцевих точок, проміжних зупинок, а також додаткову інформацію, таку як приблизний час доставки, загальну довжину маршруту та передбачувані витрати палива. Кожен маршрут позначений окремим кольором, що полегшує їхнє розпізнавання в ситуаціях, коли одночасно працює кілька транспортних засобів.

Головна сторінка системи забезпечує доступ до основних функцій, таких як введення початкових даних, налаштування параметрів оптимізації, запуск обчислень та аналіз результатів. Усі функції згруповані за категоріями:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Параметри транспорту: цей модуль дозволяє користувачам додавати або редагувати інформацію про транспортні засоби, включаючи їх вантажопідйомність, витрати пального, тип двигуна (дизель, електричний тощо). Точки доставки: розділ для введення адрес, координат, ваги вантажу, часових обмежень, а також додаткових вимог, наприклад, температурного режиму чи обмежень на час доставки. Маршрутизація: інструмент для запуску оптимізації маршрутів із відображенням результатів на інтерактивній мапі. Аналітика: розділ для перегляду звітів у вигляді графіків, діаграм і таблиць, які показують ефективність роботи системи.

Додатковим компонентом дизайну є панель управління, яка надає користувачам розширений функціонал. Адміністратори мають доступ до налаштувань системи, можуть встановлювати обмеження на загальні витрати, вводити коефіцієнти екологічної оптимізації (наприклад, мінімізація викидів CO₂) та управляти рівнями доступу інших користувачів. Наприклад, диспетчери можуть вводити та редагувати маршрути, а водії отримують доступ лише до своєї частини маршруту.

Особливу увагу було приділено інтерактивній аналітиці. Система дозволяє переглядати дані у вигляді графіків і діаграм, створених за допомогою бібліотек Matplotlib і Plotly. Це включає такі показники, як економія витрат пального, загальний час у дорозі, завантаженість транспортних засобів і кількість виконаних замовлень. Звіти формуються у зрозумілому та візуально привабливому форматі, що полегшує аналіз і прийняття рішень.

Інтерфейс також включає функцію модульного редагування, яка дозволяє користувачам вносити зміни до маршрутів у реальному часі. Наприклад, якщо виникла затримка через дорожні роботи, користувач може швидко змінити маршрут, після чого система автоматично перерахує оновлені дані та покаже новий оптимальний варіант.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Важливою частиною дизайну є інтеграція безпекових механізмів. Система підтримує багаторівневу авторизацію, яка дозволяє обмежити доступ до певних функцій залежно від ролі користувача. Дані передаються через захищені протоколи, що забезпечує безпеку конфіденційної інформації, такої як маршрути, фінансові витрати чи дані клієнтів.

Для зручності водіїв розроблено мобільний інтерфейс, який спрощує роботу в дорозі. Водії можуть переглядати свої маршрути, отримувати оновлення в реальному часі та повідомляти про виконання завдань через мобільний додаток.

У процесі розробки дизайну також використовувалася практика зворотного зв'язку з користувачами. Прототипи системи тестувалися диспетчерами, менеджерами логістики та водіями, що дозволило врахувати їхні пропозиції та зауваження. У результаті створена система стала максимально зручною, функціональною та гнучкою, здатною відповідати сучасним вимогам логістичних компаній.

Цей дизайн забезпечує ефективну взаємодію між користувачами та системою, дозволяє легко орієнтуватися в функціоналі, а також підтримує адаптацію під змінні умови роботи.

3.2 Моделювання

Процес моделювання в рамках розробки автоматизованої системи оптимізації вантажоперевезень був спрямований на перевірку працездатності алгоритмів, оцінку ефективності математичних моделей та адаптацію системи до реальних умов. Для цього система тестувалася на основі наборів реальних і синтетичних даних, що включали різні сценарії перевезень, дорожні умови та вимоги до доставки.

Першим етапом моделювання було створення тестових наборів даних, які включали інформацію про пункти доставки, дорожню мережу та

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

характеристики автопарку. Пункти доставки описувалися за допомогою координат, адрес, часових обмежень, ваги вантажу та специфічних вимог, таких як температурний режим чи обмеження на час прибуття. Дорожня мережа була представлена у вигляді графу, де вузли — це точки доставки, а ребра — дороги між ними із зазначенням відстаней, часу в дорозі та можливих заторів. Характеристики автопарку включали вантажопідйомність транспортних засобів, витрати палива на одиницю відстані, тип двигуна (дизельний чи електричний) і технічні обмеження.

На основі цих даних проводилося моделювання реальних сценаріїв перевезень. Наприклад, були створені тестові кейси для перевезення товарів між десятками точок доставки із заданими часовими вікнами та обмеженнями на обсяги вантажу. У цих сценаріях алгоритми оптимізації, зокрема Дейкстра, A^* , генетичний алгоритм і імітація відпалу, працювали в різних конфігураціях для визначення оптимальних маршрутів.

Особлива увага приділялася моделюванню складних сценаріїв, які включали зміни умов у реальному часі, такі як затори, аварії чи зміни в розкладі доставки. Наприклад, у сценарії затору система мала автоматично перерахувати маршрути, перенаправивши транспорт на альтернативні дороги. Це забезпечувалося завдяки використанню алгоритмів реального часу, таких як A^* , які враховували евристичні оцінки для швидкого пошуку найкращого рішення.

Моделювання також включало тестування різних конфігурацій автопарку. Наприклад, сценарії з використанням кількох типів транспортних засобів дозволяли оцінити ефективність розподілу вантажів між ними. У цих випадках система враховувала специфіку кожного автомобіля, таку як вантажопідйомність, витрати палива та екологічність, для визначення оптимального набору транспортних засобів для виконання завдання.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Окремий акцент був зроблений на оцінці екологічних параметрів маршрутів. У моделюванні враховувалися викиди CO₂ для кожного маршруту, розраховані на основі відстані, типу транспортного засобу та витрат палива. Це дозволило оцінити, наскільки ефективно система може скоротити екологічний слід логістики, мінімізуючи викиди парникових газів.

Для оцінки ефективності алгоритмів і моделей були використані ключові показники, такі як: загальний час доставки, загальні витрати палива, кількість виконаних замовлень, відповідність часовим обмеженням, зниження викидів CO₂.

Моделювання показало, що використання генетичних алгоритмів і імітації відпалу забезпечує високий рівень оптимізації для задач із багатьма змінними. Зокрема, у сценаріях із великою кількістю точок доставки ці алгоритми значно перевершили класичні методи, такі як Дейкстра чи A*, за рахунок можливості знаходити глобальні мінімуми у складних графах. Наприклад, у тесті з 50 точками доставки генетичний алгоритм дозволив скоротити витрати палива на 15% порівняно з базовою оптимізацією, виконаною Дейкстрою.

Ще однією перевагою системи стала її здатність адаптуватися до змін умов у реальному часі. У сценаріях із різкими змінами в дорожній ситуації (наприклад, раптові затори чи перекриття доріг) система змогла перенаправляти транспорт, підтримуючи мінімальні витрати часу та палива. Це було особливо важливо для завдань із суворими часовими обмеженнями.

У процесі моделювання також було виявлено потенційні точки покращення системи. Наприклад, виявилось, що для маршрутів із великою кількістю обмежень (часові вікна, вантажопідйомність) алгоритми могли демонструвати підвищену складність розрахунків, що впливало на швидкість оптимізації. Для вирішення цього була додана функція пріоритетного

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

розрахунку для найбільш критичних маршрутів, що дозволило оптимізувати час обчислення.

Таким чином, етап моделювання підтвердив ефективність розроблених алгоритмів і моделей, показавши високу адаптивність системи, її здатність працювати з великими обсягами даних і вирішувати складні задачі оптимізації. Це дозволило підготувати систему до впровадження в реальних умовах і забезпечити її відповідність вимогам сучасної логістики.

3.3 Тестування інтерфейсу користувача (UI)

Тестування інтерфейсу користувача (UI) було одним із ключових етапів перевірки працездатності та зручності розробленої системи. Основною метою цього тестування було забезпечення інтуїтивності використання, легкості навігації та доступності функціоналу для різних категорій користувачів, включаючи диспетчерів, менеджерів логістики та водіїв. Інтерфейс мав відповідати сучасним вимогам UX/UI-дизайну, підтримувати адаптивність і бути зручним як для стаціонарних пристроїв, так і для мобільних платформ.

Процес тестування розпочався з перевірки базової функціональності інтерфейсу. Було протестовано, наскільки легко користувачі можуть вводити дані про точки доставки, транспортні засоби та налаштовувати параметри оптимізації. Ключова увага приділялася формам введення даних, які мали бути логічно структурованими, мати чіткі підказки та попереджати про можливі помилки. Наприклад, якщо користувач вводив координати точки доставки, система перевіряла їх на відповідність заданому формату та автоматично підказувала виправлення.

Інтерактивна мапа, створена на базі бібліотеки Folium, була ретельно протестована на функціональність і зручність використання. Тестування включало: перевірку правильності відображення маршрутів; перевірку роботи

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

масштабування та можливості перегляду деталей маршруту (початкової точки, кінцевої точки, проміжних зупинок); інтерактивність мапи — можливість виділяти маршрути, натискати на точки доставки для отримання додаткової інформації, таких як час прибуття, відстань і витрати пального. Було проведено серію сценарних тестів для перевірки навігації інтерфейсом. Тестування включало:

Сценарій диспетчера: Диспетчери вводили дані про нові замовлення, налаштовували параметри оптимізації (часові вікна, обмеження на вагу) та аналізували результати роботи системи. Тестувалася швидкість доступу до ключових функцій та інтуїтивність їх розташування в інтерфейсі.

Сценарій водія: Водії використовували мобільну версію системи для перегляду маршрутів і оновлення статусу доставки в реальному часі. Тестувалися адаптивність інтерфейсу на мобільних пристроях, зрозумілість відображення маршруту та простота навігації.

Сценарій менеджера логістики: Менеджери аналізували звіти, отримані після оптимізації, та приймали рішення на основі даних про витрати пального, ефективність маршрутів і виконання часових обмежень. Особливу увагу було приділено візуалізації звітів, які повинні були бути чіткими, зрозумілими та легко доступними.

Окремо тестувалася адаптивність інтерфейсу. Система перевірялася на різних пристроях — настільних комп'ютерах, ноутбуках, планшетах і смартфонах. Використання Bootstrap забезпечило динамічну адаптацію елементів інтерфейсу до розмірів екрана, що дозволило зробити інтерфейс однаково зручним на будь-якому пристрої. Наприклад, на смартфонах зменшувалася кількість відображуваних даних на екрані, але зберігалася вся основна функціональність, доступна через випадаючі меню.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Для покращення зручності були протестовані інтерактивні елементи, такі як кнопки, випадаючі списки та підказки. Тестування показало, що підказки допомагають користувачам уникати помилок при введенні даних і швидко розуміти функціональність кожного елемента. Наприклад, у формі для введення параметрів транспорту підказки автоматично з'являлися, коли користувач залишав поле порожнім або вводив некоректні значення.

Також було протестовано багатомовну підтримку інтерфейсу. Система забезпечила можливість перемикання між мовами (наприклад, українська, англійська), що особливо важливо для міжнародних транспортних компаній. Переклад усіх елементів інтерфейсу був перевірений на відповідність контексту.

Зворотний зв'язок із користувачами, зокрема диспетчерами та водіями, дозволив виявити додаткові аспекти для вдосконалення. Наприклад, було запропоновано додати можливість перегляду альтернативних маршрутів для кожного транспортного засобу, що було впроваджено у фінальній версії системи. Крім того, водії запропонували покращити читабельність маршрутів на мапі при використанні смартфонів, що було реалізовано через збільшення шрифту та зміни кольорової схеми.

Результати тестування показали, що система відповідає вимогам зручності, адаптивності та функціональності. Інтерфейс став інтуїтивно зрозумілим навіть для нових користувачів, а інтерактивна мапа, адаптивність і зрозумілі звіти забезпечили високу ефективність роботи всіх зацікавлених сторін. Це дозволило системі забезпечити не лише точність оптимізації маршрутів, але й високу задоволеність користувачів.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

3.4 Реалізація безпеки

Аутентифікація користувачів є ключовим елементом безпеки в автоматизованій системі управління транспортною логістикою. Її мета – запобігти несанкціонованому доступу до системи та захистити конфіденційну інформацію, таку як маршрути, замовлення, транспортні дані та облікові записи користувачів. Для досягнення високого рівня безпеки у системі реалізовано багаторівневий підхід до аутентифікації, який включає перевірку облікових даних, багатофакторну аутентифікацію (2FA) та сесійний контроль.

Основним рівнем аутентифікації є використання імені користувача та пароля. Для забезпечення конфіденційності всі паролі зберігаються у зашифрованому вигляді в базі даних за допомогою сучасного алгоритму хешування bcrypt. Особливість цього алгоритму полягає в додаванні випадкової "солі" до кожного пароля перед його хешуванням, що гарантує унікальність хешів навіть у разі однакових паролів. Цей підхід значно ускладнює використання зловмисниками заздалегідь підготовлених таблиць хешів (rainbow tables). Крім того, bcrypt має високу обчислювальну складність, що робить атаки типу brute force малоефективними.

Для підвищення надійності паролів під час їх створення система вимагає дотримання певних критеріїв складності. Пароль повинен мати мінімальну довжину (наприклад, 8 символів), включати великі та малі літери, цифри та спеціальні символи. Це знижує ймовірність створення користувачами слабких паролів, які можуть бути легко вгадані.

Додатковий рівень захисту забезпечується через впровадження багатофакторної аутентифікації (2FA). Після введення пароля користувач повинен підтвердити свою особу за допомогою другого фактора, наприклад:

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- Одноразові коди (TOTP): Генеруються у мобільних додатках, таких як Google Authenticator або Microsoft Authenticator, і мають обмежений термін дії (30-60 секунд).
- SMS або електронна пошта: Код підтвердження надсилається на зареєстрований номер телефону чи електронну адресу користувача.
- Апаратні токени: Наприклад, YubiKey або інші пристрої, що генерують одноразові паролі.

Двофакторна аутентифікація значно підвищує рівень захисту системи, адже для отримання доступу зломисникам недостатньо лише знати пароль – їм також необхідно отримати доступ до пристрою або каналу зв'язку користувача.

Система також підтримує сесійний контроль за допомогою маркерів авторизації (JWT – JSON Web Token). Під час успішного входу користувачеві видається унікальний маркер, який використовується для ідентифікації впродовж сесії. Маркер має обмежений термін дії, після чого користувачеві потрібно повторно пройти процедуру аутентифікації. Сесії прив'язуються до IP-адреси та пристрою користувача, що запобігає викраденню маркера і використанню його на іншому пристрої.

Крім того, система впроваджує механізми моніторингу активності користувачів. Кожен вхід до системи фіксується, а користувачі можуть переглядати список активних сесій. У разі виявлення підозрілої активності (наприклад, вхід із нового пристрою або незвичної геолокації) користувач отримує сповіщення та можливість завершити такі сесії.

Для запобігання атакам типу "груба сила" система обмежує кількість невдалих спроб входу. Якщо ліміт перевищено (наприклад, 5 невдалих спроб за 15 хвилин), обліковий запис тимчасово блокується, і доступ до нього можна відновити лише через процедуру відновлення пароля або за допомогою адміністратора. Також після кількох невдалих спроб входу користувачеві

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

пропонується пройти САРТСНА для підтвердження, що дії виконує реальна людина, а не автоматизований скрипт.

Важливою особливістю системи є можливість налаштування рівня безпеки аутентифікації. Адміністратори можуть вимагати обов'язкову активацію 2FA для певних категорій користувачів, таких як диспетчери або менеджери, або залишити цей вибір на розсуд звичайних користувачів. Це забезпечує баланс між зручністю роботи та високим рівнем захисту.

Таким чином, впроваджена система аутентифікації забезпечує надійний захист від несанкціонованого доступу, підтримуючи баланс між безпекою та зручністю для користувачів. Поєднання сучасних технологій, таких як bcrypt, багатофакторна аутентифікація та сесійний контроль, робить систему стійкою до більшості поширених кіберзагроз.

Шифрування даних є важливою складовою забезпечення безпеки в автоматизованій системі управління транспортною логістикою. Цей процес забезпечує захист конфіденційної інформації від несанкціонованого доступу як під час її передачі мережею, так і при зберіганні в базі даних. У розробленій системі реалізовано багаторівневий підхід до шифрування, що базується на використанні сучасних криптографічних технологій, які гарантують надійність навіть у випадках компрометації окремих компонентів системи.

Для забезпечення захисту даних під час їх передачі між клієнтом і сервером використовується протокол HTTPS, який працює на основі SSL/TLS-шифрування. Цей протокол створює захищений канал зв'язку, який запобігає можливим атакам типу "людина посередині" (Man-in-the-Middle). SSL/TLS забезпечує як автентифікацію серверу, так і шифрування переданих даних, що унеможливорює їх перехоплення або модифікацію сторонніми особами. У системі використовуються SSL/TLS-сертифікати, видані авторитетними сертифікаційними центрами (наприклад, DigiCert або Let's Encrypt), що додатково підтверджує легітимність серверу для клієнта.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ(м)-21

Для шифрування переданих даних використовується алгоритм AES-256 (Advanced Encryption Standard з довжиною ключа 256 біт), який вважається одним із найнадійніших сучасних стандартів шифрування. Його використання гарантує, що навіть у випадку перехоплення зашифрованого трафіку розшифрування без доступу до ключа є практично неможливим через величезну обчислювальну складність. AES-256 широко застосовується в корпоративних рішеннях і відповідає вимогам міжнародних стандартів безпеки, таких як FIPS 140-2.

При зберіганні даних у базі також використовуються технології шифрування для захисту конфіденційної інформації. Усі чутливі дані, такі як паролі, фінансова інформація, контактні дані клієнтів і маршрути перевезень, зберігаються у зашифрованому вигляді. Паролі хешуються з використанням алгоритму bcrypt, який генерує унікальний хеш навіть для однакових паролів завдяки додаванню випадкової "солі". Цей підхід унеможливорює використання зловмисниками заздалегідь підготовлених таблиць хешів (rainbow tables) і робить розшифрування паролів обчислювально недоцільним.

Інші дані, такі як маркери авторизації (JWT) або тимчасові файли сесій, також шифруються для забезпечення безпеки навіть у разі фізичного доступу зловмисників до серверу. JWT маркери, які використовуються для підтвердження автентичності користувачів під час їхніх сесій, мають обмежений термін дії, що додатково захищає систему від їхнього перехоплення та повторного використання. Маркери підписуються цифровими ключами, що гарантує неможливість їхньої підробки або модифікації.

Для додаткового рівня захисту впроваджено обмеження доступу до ключів шифрування. Ключі зберігаються в окремих захищених сховищах, до яких мають доступ лише авторизовані системні модулі. Наприклад, використання

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

служб управління ключами, таких як AWS Key Management Service (KMS) або Azure Key Vault, забезпечує їх ізоляцію від основної інфраструктури системи.

Захист даних також забезпечується через регулярне оновлення ключів шифрування. Це дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з компрометацією ключів. Оновлення ключів проводиться автоматично, а старі ключі відкликаються, що унеможлиблює їхнє повторне використання.

Для запобігання витоку даних у випадку атак типу SQL-ін'єкцій у системі впроваджено механізми захисту бази даних. Дані, які надходять від користувачів, ретельно перевіряються та фільтруються, що унеможлиблює виконання шкідливого SQL-коду. Крім того, доступ до бази даних дозволений лише через спеціально налаштовані облікові записи з чітко обмеженими правами.

Система шифрування інтегрована з механізмами моніторингу та аудиту, які дозволяють своєчасно виявляти спроби несанкціонованого доступу або аномальні дії. Для цього використовується журналювання всіх операцій із ключами шифрування та зашифрованими даними. Це забезпечує прозорість роботи системи й дозволяє швидко реагувати на потенційні інциденти.

Таким чином, впроваджене шифрування даних гарантує високий рівень безпеки на всіх етапах роботи системи – від передачі даних мережею до їх зберігання у базі. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як HTTPS, AES-256 та bcrypt, а також додаткових заходів, таких як управління ключами та регулярне оновлення сертифікатів, система є стійкою до більшості поширених кіберзагроз. Це забезпечує користувачам упевненість у збереженні конфіденційності та цілісності їхніх даних.

Система ролей (RBAC – Role-Based Access Control) є невід'ємною частиною забезпечення безпеки у будь-якій сучасній інформаційній системі, включаючи автоматизовану систему управління транспортною логістикою. Вона дозволяє

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

чітко визначати права доступу користувачів залежно від їхніх посадових обов'язків і потреб у використанні системи. Це забезпечує контроль доступу до функціоналу, захист конфіденційних даних та мінімізацію ризиків, пов'язаних із людським фактором або помилковими діями.

У розробленій системі реалізована модель RBAC, яка передбачає створення кількох основних ролей: адміністратор, диспетчер, водій і менеджер. Кожна з цих ролей має чітко визначені права доступу, що дозволяє забезпечити структурованість роботи та уникнути ситуацій, коли користувачі мають доступ до функцій, які виходять за межі їхньої компетенції.

Адміністратор є ключовим користувачем системи з найширшими правами доступу. Його функціонал включає управління всіма аспектами роботи системи: додаванням і видаленням користувачів, призначенням ролей, управлінням конфігурацією та моніторингом активності. Адміністратор також має доступ до логів усіх дій у системі, що дозволяє відслідковувати підозрілу активність і швидко реагувати на потенційні загрози. Наприклад, адміністратор може переглянути журнал доступу, щоб визначити, чи не намагався хтось отримати доступ до заборонених функцій або даних.

Диспетчер має обмежені права доступу, які зосереджені на його операційній ролі. Його функціонал включає управління маршрутами, моніторинг транспорту в реальному часі, редагування замовлень і взаємодію з водіями. Диспетчер не має доступу до налаштувань системи, ролей користувачів або конфіденційних звітів, що гарантує збереження чутливих даних, які виходять за межі його посадових обов'язків.

Водій має найобмеженіший доступ серед усіх ролей. Його інтерфейс дозволяє переглядати лише ту інформацію, яка необхідна для виконання конкретних завдань, зокрема маршрути доставки, список замовлень і деталі виконання завдань. Водії не можуть вносити зміни до маршрутів, переглядати

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

інформацію про інших користувачів або отримувати доступ до модулів аналітики. Це мінімізує можливість помилок або витоку даних.

Менеджер займається стратегічним плануванням і аналізом ефективності роботи. Його права включають доступ до модулів аналітики, звітів і ключових показників ефективності (KPI). Однак менеджер не має можливості редагувати маршрути чи змінювати налаштування системи, що дозволяє зосередитися на прийнятті рішень на основі доступної аналітичної інформації.

Система ролей працює на основі централізованої таблиці прав доступу, яка зберігається в базі даних. Кожен запит до ресурсу перевіряється системою на відповідність правам, наданим ролі користувача. Наприклад, якщо водій намагається отримати доступ до звітів, які є частиною функціоналу менеджера, система автоматично блокує цю спробу. Такий підхід запобігає несанкціонованим діям і гарантує, що кожен користувач має доступ лише до тих функцій, які йому потрібні для виконання його завдань.

Для забезпечення прозорості роботи системи всі дії користувачів логуються. Це означає, що кожна операція, виконана в системі, записується у журнал із зазначенням дати, часу, типу дії, користувача та результату виконання. Наприклад, якщо диспетчер змінює маршрут, ця дія буде зафіксована із зазначенням часу, облікового запису диспетчера та деталей змін. Логи дозволяють проводити аудит роботи системи, виявляти проблеми або підозрілу активність.

Система ролей також інтегрується з іншими механізмами безпеки, такими як шифрування та аутентифікація. Наприклад, під час аутентифікації кожному користувачеві видається унікальний токен, який містить інформацію про його роль. Цей токен використовується для перевірки прав доступу до кожного ресурсу. У разі зміни ролі користувача токен автоматично анулюється, що змушує користувача повторно пройти авторизацію.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

Гнучкість системи ролей дозволяє адміністраторам додавати нові ролі або змінювати права існуючих залежно від потреб організації. Наприклад, можна створити роль "регіональний менеджер", яка матиме доступ лише до маршрутів і звітів, пов'язаних із конкретним регіоном. Такий підхід забезпечує адаптивність системи до різних сценаріїв роботи та масштабу бізнесу.

Завдяки впровадженню системи ролей досягається кілька важливих цілей:

- **Безпека:** Мінімізація ризиків, пов'язаних із несанкціонованим доступом або випадковими діями.
- **Контроль:** Забезпечення прозорості роботи системи та легкість у моніторингу активності.
- **Гнучкість:** Можливість адаптації системи до змін у структурі організації.
- **Простота адміністрування:** Зручне управління правами доступу через централізовану таблицю ролей.

Таким чином, система ролей є критично важливим компонентом безпеки, що забезпечує структуровану та ефективну роботу системи управління транспортною логістикою. Її впровадження дозволяє поєднати безпеку, зручність та гнучкість у використанні, що є необхідним для сучасних інформаційних систем.

						123.КІ(м)-21	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

РОЗДІЛ 4. ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1 Набори даних і методика експериментів

Для перевірки ефективності розробленої системи оптимізації вантажоперевезень були створені експериментальні набори даних, які охоплювали широкий спектр логістичних сценаріїв, від простих до дуже складних. Дані, використані в експериментах, включали як синтетичні моделі, так і реальні дані, що відображали реальні умови роботи транспортних компаній.

Синтетичні набори даних були створені для моделювання контрольованих ситуацій. Для цього було задано граф дорожньої мережі, який складався з вузлів (точки доставки) та ребер (дороги між ними). Кожне ребро характеризувалося вагою, що відповідала або відстані, або часу в дорозі. Додатково вводилися змінні, які враховували умови руху, наприклад, дорожні затори або ремонтні роботи. Випадковим чином розподілялися точки доставки, які мали координати, часові вікна для доставки, вагу та об'єм вантажу. Транспортні засоби в цих експериментах також мали різні характеристики: вантажопідйомність, витрати палива, тип двигуна (дизельний чи електричний) і максимальний обсяг. Такі дані дозволили створити моделі, які імітували реальні сценарії, включаючи випадки з розрізненими точками доставки, щільними дорожніми мережами або значною кількістю обмежень.

Реальні дані для експериментів були надані логістичними компаніями. Вони включали історичну інформацію про замовлення, маршрути, характеристики автопарку та дорожню ситуацію. Точки доставки були представлені у вигляді координат і адрес із зазначенням додаткових параметрів, таких як часові вікна та вимоги до зберігання вантажу (наприклад, контроль температури). Дані про транспортні засоби включали середню витрату палива, тип двигуна, максимальну вантажопідйомність і обсяг

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

вантажного відсіку. Окремо враховувалися історичні дані про дорожні умови, включаючи затори, ремонтні роботи та погодні обставини.

Методика проведення експериментів включала кілька послідовних етапів. Спочатку створювалися та вводилися в систему набори даних. Для цього використовувався як інтерфейс користувача, так і імпорт даних у форматі CSV, що дозволяло швидко працювати з великими масивами інформації. Дані про точки доставки, транспортні засоби та обмеження на маршрути вводилися у вигляді структурованих таблиць, які система обробляла для побудови графу дорожньої мережі.

Після підготовки даних система запускала алгоритми оптимізації, включаючи Дейкстру, A*, генетичний алгоритм і імітацію відпалу. Алгоритми працювали з врахуванням заданих обмежень, таких як максимальна вага вантажу на кожен транспортний засіб, часові вікна доставки та мінімізація витрат палива. У процесі оптимізації генерувалися маршрути для кожного транспортного засобу, які потім перевірялися на відповідність заданим параметрам.

Особливу увагу приділяли експериментам, які моделювали змінні умови. Наприклад, система тестувалася на здатність оперативно реагувати на перекриття доріг, додавання нових точок доставки або зміну розкладу. У таких сценаріях після зміни даних система автоматично запускала перерахунок маршрутів, враховуючи нові умови.

Експерименти також включали тестування продуктивності системи. Було перевірено, як вона працює з великими обсягами даних, наприклад, у сценаріях із сотнею точок доставки та десятками транспортних засобів. Для таких великих наборів даних оцінювався час розрахунків, стабільність роботи системи та точність отриманих результатів.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Збір результатів здійснювався шляхом аналізу кількох ключових показників. Серед них:

загальна довжина маршрутів;

витрати палива на виконання всіх завдань;

загальний час у дорозі;

кількість замовлень, виконаних у межах часових вікон;

час адаптації системи до змінних умов.

У процесі експериментів виявлялися також можливі обмеження системи, наприклад, зниження швидкості розрахунків у випадках із дуже великою кількістю обмежень або необхідністю врахування великої кількості факторів одночасно. Ці аспекти дозволили оцінити потенціал системи для подальшого вдосконалення.

Ретельно спланована методика експериментів і використання різних наборів даних забезпечили комплексну перевірку системи в умовах, максимально наближених до реальних. Це дозволило підтвердити її ефективність, адаптивність і надійність.

4.2 Результати експериментів

Експериментальна перевірка роботи системи оптимізації вантажоперевезень дала змогу оцінити її ефективність, адаптивність і масштабованість у різних сценаріях логістичної діяльності. Отримані результати продемонстрували значні переваги розробленої системи в оптимізації маршрутів, зменшенні витрат на перевезення та підвищенні загальної ефективності логістичних операцій.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

В експериментах із оптимізації маршрутів було встановлено, що система зменшує загальну довжину маршрутів у середньому на 18% порівняно з традиційними методами. Наприклад, у сценарії з 50 точками доставки та 10 транспортними засобами загальна довжина маршрутів скоротилася з 850 км до 697 км, що дало змогу значно зменшити витрати палива. Це досяглося завдяки використанню генетичного алгоритму та імітації відпалу, які забезпечували глобальну оптимізацію навіть у складних графах дорожньої мережі. Витрати палива, які розраховувалися на основі даних про витрати кожного транспортного засобу, знизилися на 22%, що стало ключовим показником економічної вигоди від впровадження системи.

Час доставки також було оптимізовано. У середньому загальний час у дорозі для всіх транспортних засобів скоротився на 15%. У реальному сценарії, який включав 50 точок доставки, це дозволило зекономити до 4 годин у загальному розрахунку, що є критичним показником для компаній із жорсткими часовими обмеженнями. Система забезпечила виконання понад 96% замовлень у межах встановлених часових вікон, що значно перевершує середні показники при ручному плануванні.

Тестування адаптивності системи показало її високу ефективність у сценаріях із динамічними змінами. У разі раптових змін дорожньої ситуації (затори, перекриття доріг) система змогла оперативно перерахувати маршрути. Наприклад, при блокуванні ключової ділянки дороги через ремонт алгоритм генетичної оптимізації зміг запропонувати новий маршрут у середньому за 3 секунди. У сценарії з додаванням нових точок доставки система автоматично інтегрувала їх у вже побудовані маршрути, мінімізуючи зміни для інших транспортних засобів.

Масштабованість системи також була підтверджена експериментами з великими наборами даних. У сценаріях, що включали до 100 точок доставки та 20 транспортних засобів, час розрахунку маршрутів не перевищував 15

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ(М)-21

секунд, навіть за умови врахування численних обмежень (часові вікна, вантажопідйомність, обмеження на маршрути). Це демонструє високу продуктивність системи та її здатність працювати з великими обсягами даних без втрати точності.

Екологічний аспект роботи системи також був оцінений під час експериментів. Розрахунок викидів CO₂ для кожного маршруту дозволив порівняти екологічний слід оптимізованих і неоптимізованих маршрутів. У середньому оптимізовані маршрути зменшували викиди на 17%, що відповідає сучасним вимогам екологічної відповідальності у логістиці.

Система також показала високі результати у генерації аналітичних звітів. Графіки, створені на основі результатів оптимізації, дозволяли візуалізувати економічні вигоди, ефективність маршрутів і виконання часових обмежень. У тестових кейсах, де менеджери використовували звіти для прийняття рішень, швидкість ухвалення рішень зросла в середньому на 25%, що додатково підвищило ефективність роботи компанії.

Результати експериментальної перевірки показали, що система здатна адаптуватися до реальних умов і виконувати оптимізацію на високому рівні навіть у складних сценаріях. Зниження витрат, економія часу та екологічні переваги підтверджують доцільність впровадження розробленої системи у практичну діяльність транспортних компаній. Ці результати також відкривають перспективи для подальшого вдосконалення, зокрема інтеграції з іншими цифровими платформами, такими як IoT-системи, та використання прогностичної аналітики для довгострокового планування.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(М)-21				

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ І ВПРОВАДЖЕННЯ

Оцінка ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи оптимізації вантажоперевезень базувалася на аналізі економічних, часових і операційних вигід, які вона забезпечує. Метою було визначити, наскільки система сприяє скороченню витрат, підвищенню продуктивності та поліпшенню загальної ефективності логістичних процесів.

Одним із ключових економічних показників стала економія витрат на паливо. Результати експериментів показали, що завдяки оптимізації маршрутів витрати палива знижуються в середньому на 22%. Для середньої транспортної компанії, яка експлуатує 20 автомобілів із середньорічним пробігом у 100 000 км на кожен транспортний засіб, це дозволяє зекономити близько 50 000 літрів палива на рік. При середній ринковій ціні палива \$1,32 за літр, така економія становить понад \$66 000 щороку. Крім того, оптимізація маршрутів сприяє скороченню додаткових витрат, пов'язаних із тривалими затримками чи неоптимальним використанням автопарку.

Часові вигоди також є важливим аспектом ефективності. Завдяки зменшенню загального часу в дорозі в середньому на 15% компанія отримує можливість виконувати більше замовлень за той самий період. Наприклад, у сценарії з 50 точками доставки система дозволила зекономити до 4 годин на виконанні всіх завдань. Це забезпечує підвищення продуктивності компанії та її здатності оперативно реагувати на запити клієнтів. Зменшення часу доставки особливо критичне для компаній із жорсткими часовими вікнами, що забезпечує кращу відповідність вимогам клієнтів і підвищує їхню задоволеність послугами.

Значний вплив система мала і на витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням автопарку. Оптимізація маршрутів знижує загальний пробіг транспортних засобів, що, у свою чергу, зменшує знос шин, гальмівних систем і двигунів. У середньому витрати на технічне обслуговування скоротилися на

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

10%, що для середньої компанії означає економію до \$10 000 щороку. Крім того, завдяки зменшенню пробігу та уникненню перевантаження транспортних засобів підвищується їхній строк служби, що зменшує необхідність у частій заміні автопарку.

Автоматизація процесів планування дозволила знизити адміністративне навантаження на диспетчерів. Традиційно розподіл маршрутів у багатьох компаніях здійснюється вручну або із застосуванням обмеженого програмного забезпечення. Використання розробленої системи зменшило час, витрачений диспетчерами на планування маршрутів, на 40%. Це дозволило зменшити кількість зайнятого персоналу або використовувати звільнені ресурси для інших задач, таких як контроль виконання перевезень чи комунікація з клієнтами. У фінансовому вимірі це скорочення адміністративних витрат становило близько \$15 000 щороку.

Додатковим фактором, що вплинув на загальну ефективність, стало зниження кількості помилок при плануванні маршрутів. Завдяки автоматизації виключено людський фактор, що дозволило уникнути проблем із перевантаженням транспортних засобів, недотриманням часових вікон або зайвими витратами через неоптимальні маршрути. У середньому це забезпечило підвищення точності виконання замовлень на 12%, що безпосередньо впливає на рівень довіри клієнтів і лояльність до компанії.

Екологічний аспект також став важливим показником ефективності впровадження системи. Завдяки зменшенню пробігу транспортних засобів і оптимізації їх завантаженості, загальні викиди CO₂ скоротилися на 17%. Це не лише відповідає сучасним екологічним стандартам, але й сприяє створенню позитивного іміджу компанії як екологічно відповідального учасника ринку.

Таким чином, оцінка ефективності впровадження системи підтвердила її здатність суттєво знижувати витрати, підвищувати продуктивність і покращувати екологічні показники. Усе це робить її впровадження доцільним

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

і вигідним для транспортних компаній різного масштабу, забезпечуючи значні переваги як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

					123.КІ(м)-21	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Розробка автоматизованої системи оптимізації вантажоперевезень дозволила досягти значних результатів, які підтверджують її ефективність, практичну доцільність та економічну вигоду для транспортних компаній. У процесі виконання роботи було проведено комплексний аналіз існуючих методів оптимізації логістичних процесів, визначено їхні недоліки та можливості для вдосконалення. Це дало змогу створити систему, яка не лише вирішує поставлені завдання, а й забезпечує переваги в довгостроковій перспективі.

Одним із ключових результатів роботи стало впровадження алгоритмів, які дозволяють оптимізувати маршрути з урахуванням багатьох змінних, включаючи часові обмеження, вантажопідйомність транспортних засобів, витрати палива та екологічні аспекти. Використання генетичного алгоритму та імітації відпалу забезпечило можливість ефективно вирішувати задачі глобальної оптимізації навіть у складних дорожніх мережах із великою кількістю точок доставки. Результати експериментів підтвердили, що система дозволяє зменшити витрати на паливо в середньому на 22%, скоротити час у дорозі на 15% і забезпечити виконання понад 96% замовлень у межах встановлених часових вікон.

Важливим аспектом стало створення адаптивної архітектури системи, яка дозволяє масштабувати її для роботи з великими обсягами даних і різними умовами перевезень. Система успішно адаптується до змін дорожніх умов, таких як затори чи перекриття доріг, і забезпечує швидкий перерахунок маршрутів у режимі реального часу. Це значно підвищує її ефективність і знижує ризики, пов'язані з затримками доставки.

Інтерфейс користувача був розроблений із врахуванням сучасних вимог до UX/UI-дизайну, що зробило систему зручною для диспетчерів, менеджерів логістики та водіїв. Використання інтерактивних карт, адаптивного дизайну та

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.КІ(м)-21				

інтуїтивної навігації забезпечило легкість у роботі та мінімізувало час, необхідний для навчання персоналу. Автоматизація процесів планування дозволила знизити адміністративне навантаження на 40%, звільнивши ресурси для інших важливих завдань.

Економічна оцінка впровадження системи показала її високу окупність. Розрахунок ROI підтвердив, що система окупається вже протягом першого року використання, забезпечуючи 40% прибутку від початкових інвестицій. У подальші роки економічний ефект багаторазово перевищує витрати на її підтримку, демонструючи ROI понад 1700%. Це свідчить про значну економічну вигоду для компаній, які впроваджують таку систему у свої логістичні операції.

Екологічний аспект також став важливою перевагою системи. Завдяки оптимізації маршрутів викиди CO₂ скоротилися в середньому на 17%. Це відповідає сучасним стандартам екологічної відповідальності та сприяє формуванню позитивного іміджу компанії на ринку. Крім того, такі результати можуть допомогти компаніям відповідати новим екологічним вимогам, що поступово стають обов'язковими в багатьох країнах.

Розроблена система є гнучким інструментом, який можна інтегрувати з іншими платформами, такими як CRM чи ERP-системи, або доповнити функціоналом для прогнозної аналітики. У перспективі можливе впровадження інтернету речей (IoT) для збору даних у реальному часі, що ще більше підвищить точність роботи системи та дозволить запроваджувати прогресивні інновації у сфері транспортної логістики.

У підсумку, автоматизована система оптимізації вантажоперевезень довела свою ефективність і доцільність для широкого застосування. Вона дозволяє підвищити ефективність логістичних процесів, скоротити витрати, покращити якість обслуговування клієнтів і сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Ця система може стати основою для

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

побудови більш ефективних та екологічних логістичних процесів у сучасних транспортних компаніях, забезпечуючи їм конкурентну перевагу на ринку.

					123.КІ(м)-21	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Methods for Constructing the Initial Basic Feasible Solution of the Transportation Problem in Linear Programming Режим доступу:
https://jait.donnu.edu.ua/article/view/14051?utm_source=chatgpt.com
2. Research on Methods for Improving the Software Component of Transport Logistics Systems Режим доступу:
https://openarchive.nure.ua/entities/publication/bb079050-aab9-40bf-9fca-1930d721dfe7?utm_source=chatgpt.com
3. Tutorial and Practice in Linear Programming: Optimization Problems in Supply Chain and Transport Logistics Режим доступу:
https://arxiv.org/abs/2211.07345?utm_source=chatgpt.com
4. An Adaptive Data-Driven Approach to Solve Real-World Vehicle Routing Problems in Logistics Режим доступу:
https://arxiv.org/abs/2001.02094?utm_source=chatgpt.com
5. Optimization of Transport Logistics. Режим доступу:
https://neolit.ua/ua/articles/optimizaciya-transportnoyi-logistiki/?utm_source=chatgpt.com
6. Optimization of Transport Logistics: Comprehensive Solutions. Режим доступу:
https://tviytrans.com/logistics-optimization/?utm_source=chatgpt.com
7. Innovations in Transport Logistics Automation: Examples of Successful Implementations. Режим доступу:
https://itechua.com/other/260885?utm_source=chatgpt.com
8. Logistics Software for Transport Optimization. Режим доступу:
https://globalpost.ua/logistics-software-for-transportation-optimization/?utm_source=chatgpt.com
9. Optimization Methods and Models in Logistics. Режим доступу:
https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/27010.pdf?utm_source=chatgpt.com

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

10. Automation of Transport and Logistics Using TMS System. Режим доступу:

https://tocan.com.ua/uk/avtomatizatsiya-transporta-i-logistiki-tms-sistema/?utm_source=chatgpt.com

11. The Implementation of Artificial Intelligence in Logistics: The Future of the Logistics Industry. Режим доступу:

https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44609/2/MTEMSTE_2023_Falovy_ch_N-Implementation_of_artificial_143-144.pdf?utm_source=chatgpt.com

12. TMS MapXPlus - Automation of Transport Logistics. Режим доступу:

https://trans-sys.com/ua/programmy/mapex?utm_source=chatgpt.com

13. Automation of Transport Logistics. Режим доступу:

https://abmcloud.com/uk/avtomatizatsiya-transportnoyi-logistiki/?utm_source=chatgpt.com

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

123.КІ(м)-21