

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом

Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Комп'ютерні науки
Назва освітньої програми

Виконав: студент групи КН-20-1 Волонтер Володимир БІЛИК
Група виконавця Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: к.ф.-м.н., доц. каф. КН Віталій Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтроль: к.т.н., доц. каф. КН Руслан Руслан БАГРІЙ
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КН, д.т.н., професор

14 06 2024 р.

Олександр
Підпис

Олександр БАРМАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук

(підпис)

д.т.н., професор Олександр БАРМАК

« 16 » 02 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом»

2. Завдання видано студенту Володимиру БІЛИКУ
(Ім'я, прізвище)

3. Керівник роботи доцент кафедри КН Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ
(посада, ім'я, прізвище)


4. Затверджено наказом університету від « 15 » 02 2024 р. № З

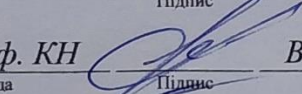
5. Дата видачі завдання студенту: « 16 » 02 2024 р.

6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач) та вихідні дані: Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у збільшенні ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Для досягнення цієї мети необхідно провести аналіз сучасних методів організації вивозу сміття, розробити спосіб вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму, інтегрувати його у систему управління спецкомунтрансу та провести експериментальне тестування для оцінки ефективності методу. Вхідні дані передбачають можливість повного опису предметної області, а саме: облік та наповненість контейнерів для сміття, маршрути руху транспортних засобів, множини транспортних засобів та точок доставки, взаємодія з диспетчерськими службами тощо.

7. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

№	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи бакалавра з керівником, складання календарного графіка виконання роботи	січень 2024	Виконано
2	Ознайомлення з предметною областю, формулювання мети та задач дослідження, визначення об'єкта та предмета дослідження	лютий 2024	Виконано
3	Робота над розділом 1 «Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій»	березень 2024	Виконано
4	Робота над розділом 2 «Розробка способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом»	квітень 2024	Виконано
5	Робота над розділом 3 «Програмна реалізація та експериментальне дослідження способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом»	травень 2024	Виконано
6	Розробка презентаційних матеріалів та попередній захист кваліфікаційної роботи	травень 2024	Виконано
7	Отримання відгуку керівника, рецензії, перевірка на плагіат, нормоконтроль	червень 2024	Виконано
8	Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи бакалавра	червень 2024	Виконано

Виконавець: студент групи КН-20-1  Володимир БІЛИК
Група виконавця Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: к.ф.-м.н., доц. каф. КН  Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ
Науковий ступінь, посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Анотація

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом»

Виконавець кваліфікаційної роботи бакалавра: студент групи КН-20-1 Володимир БІЛИК

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра: к.ф.-м.н, доцент кафедри КН Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить:

Пояснювальна записка				Кількість додатків
Сторінок	Рисунків	Таблиць	Джерел інформації	
72	33	25	46	3

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є збільшення ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Результатом виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка способу для організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом та проведення експериментів тестування для оцінки ефективності способу.

Напрямами практичного використання розробленого способу визначено автоматизоване складання оперативного графіка вивезення сміття та оптимізації маршрутів і затрат часу.

Ключові слова: спецкомунтранс, мурашиний алгоритм, інформаційна система, вивіз сміття.

Виконавець: студент групи КН-20-1 Віталій Володимир БІЛИК
Група виконавця Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Зміст

Перелік скорочень	3
Вступ.....	4
Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій.....	6
1.1 Аналіз предметної області вивозу сміття	6
1.2 Огляд теоретичних підходів до розв’язку задач вивозу сміття.....	6
1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та рішень	11
1.4 Мета та завдання кваліфікаційної роботи	19
Розділ 2 Розробка способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.....	21
2.1 Інформаційна модель організації вивозу сміття	21
2.2 Особливості методу мурашиного алгоритму	23
2.3 Схема способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом	27
2.4 Функціональна структура інформаційної системи вивозу сміття	30
2.5 Проектування структури інформаційної системи та бази даних	31
2.6 Підготовка робочих вхідних даних для системи	36
2.7 Спосіб оцінювання ефективності вивозу сміття.....	38
2.8 Висновки до розділу 2	40
Розділ 3 Програмна реалізація та експериментальне дослідження способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом.....	41
3.1 Структура модулів системи, їх взаємозв'язок	41
3.2 Вибір засобів розробки інформаційної системи	42
3.3 Опис функціональних можливостей інформаційної системи	48
3.4 Проведення експериментів та дослідження роботи системи	49
3.5 Аналіз результатів досліджень та ефективності застосованого способу для вивозу сміття.....	60
3.6 Висновки до розділу 3	66
Загальні висновки.....	66
Перелік посилань.....	70
Додатки	

Перелік скорочень

Скорочення, термін, позначення	Пояснення
БД	База даних
ACS	Ant Colony System
GA	Genetic Algorithm
MMAS	MAX-MIN Ant System
VRPSDP	vehicle routing problem
ACO-D	Ant Colony Optimization with Diffusion
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
TMS	Transport Management Systems
КРБ	Кваліфікаційна робота бакалавра

Вступ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Актуальність теми. В сучасних умовах, коли відбуваються різкі зміни кількості населення у містах – збільшення або зменшення, тривають міграційні процеси у зв'язку з війною та кліматичними змінами, виникають повні чи часткові обмеження на деякі послуги населенню, змінюються стандарти їх надання [1]. В більшості випадків це приводить до зміни в процесах вивозу виробленого сміття, що ставить під загрозу якість довкілля та здоров'я громадян. Вивіз сміття є ключовим елементом в управлінні відходами та відтворенні екосистем, його ефективність залежить від численних факторів.

Одним із викликів, що виникають у зв'язку з вивозом сміття, є нестача інфраструктури [1]. Брак системи збору, переробки сміття або неефективна організація вивозу сміття може призводити до його накопичення на вулицях, що порушує санітарні стандарти та створює негативний вплив на здоров'я громадян. Крім того, неефективний вивіз сміття може призвести до забруднення водних джерел та руйнування екосистем. Ще одним важливим аспектом є економічна сторона питання. Вивіз сміття вимагає значних витрат, особливо у великих містах з високим рівнем виробництва відходів. Нестримне зростання цих витрат може поставити під загрозу фінансову стійкість міської громади та призвести до зниження якості послуг з вивозу сміття. Для ефективного вирішення проблем вивозу сміття у місті необхідно розробляти комплексний підхід, як враховує як соціальні, економічні, так і екологічні аспекти [1, 2].

Розвиток технологій в галузі управління відходами може допомогти оптимізувати процес вивозу сміття, зменшуючи витрати та покращуючи ефективність. Впровадження моніторингових систем та інтелектуальних рішень може допомогти у виявленні найбільш навантажених маршрутів вивозу сміття та оптимізації витрат на цей процес.

Використання мурашиного алгоритму може стати потужним інструментом для оптимізації вивозу сміття. Розробка методів, які враховують особливості збору і сортування відходів, застосування транспортних засобів та їх інтеграція у систему управління може покращити якість організації вивезення сміття та ефективність роботи відповідних служб спецкомунтрансу, що робить тему особливо актуальною для дослідження та розробки.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у збільшенні ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Об'єкт дослідження – процес вивозу сміття у населеному пункті.

Предмет дослідження – мурашиний алгоритм для організації вивозу сміття у населеному пункті для підприємства спецкомунтрансу.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.

1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до автоматизації організації вивозу сміття. Провести огляд наукових робіт і практичних досліджень, що стосуються способів організації вивозу сміття та їх ефективності.

2. Розробити спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

3. Розробити інформаційну технологію автоматизованого складання плану вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

4. Спроекувати функціональну та інформаційну структуру інформаційної системи вивозу сміття для спецкомунтрансу.

5. Розробити програмну реалізацію способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

6. Провести функціональне та прикладне дослідження запропонованого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Розділ 1 Характеристика предметної області: аналіз моделей, методів та реалізацій

1.1 Аналіз предметної області вивозу сміття

Вивіз сміття є важливим елементом інфраструктури міста та сільських територій. Ефективна організація цього процесу впливає на забезпечення чистоти, гігієни та здоров'я мешканців, а також на збереження навколишнього середовища.

Ось кілька кроків, які зазвичай включаються в цей процес [2].

1. **Збирання.** Це перший етап, де відходи збираються з різних джерел, таких як побутові сміття, промислові відходи, будівельні матеріали тощо. Цей процес може бути організований муніципалітетами, приватними компаніями або неприбутковими організаціями.

2. **Транспортування.** Після збору відходів їх потрібно транспортувати до місця обробки. Це може включати в себе використання вантажівок, поїздів, кораблів або інших транспортних засобів залежно від обсягу і типу відходів.

3. **Сортування та обробка.** Після транспортування відходи сортуються та обробляються. Цей процес може включати в себе розділення відходів на різні фракції, переробку для відновлення ресурсів, компостування органічних відходів, спалювання для виробництва енергії або інші методи обробки відходів.

4. **Утилізація або вторинна переробка.** Після обробки відходи можуть бути утилізовані або перероблені для виготовлення нових продуктів або матеріалів. Це сприяє зменшенню кількості відходів, що надходять на смітники, та зниженню негативного впливу на довкілля.

5. **Відновлення ресурсів.** Цей етап може включати в себе використання відходів як вторинної сировини для виробництва нових продуктів або відновлення матеріальних ресурсів.

На кожній з цих стадій важливо дотримуватися відповідних екологічних стандартів і нормативів для забезпечення безпеки людей та довкілля [3]. Також важливо популяризувати свідому споживчу поведінку та впроваджувати

програми зменшення відходів на виробництві і споживанні, щоб зменшити потребу в збиранні та обробці відходів.

У сфері вивозу сміття діють різні категорії працівників зі своїми власними обов'язками [4].

1. Водії та механіки вантажних автомобілів. Вони відповідають за транспортування сміття з місця його утворення до пунктів переробки чи утилізації.

2. Робітники з вивозу та сортування сміття. Їхні обов'язки включають збір та сортування сміття на місцях збору для подальшої переробки.

3. Менеджери з планування маршрутів. Вони відповідають за складання оптимальних маршрутів вивозу сміття та координацію роботи персоналу.

4. Робітники з обслуговування вантажівок. Вони відповідають за обслуговування вантажівок, включаючи підтримку їхньої технічної справності та виконання ремонтних робіт при необхідності.

Для "Спецкомунтранс" властиві наступні функції [4].

1. Організація збирання сміття. Забезпечення регулярного систематичного збирання сміття з житлових та комерційних об'єктів.

2. Транспортування відходів. Здійснення транспортування сміття з місць його нагромадження до пунктів переробки або утилізації.

3. Обробка відходів. Організація процесів переробки, утилізації чи вторинної переробки сміття з метою зменшення його впливу на довкілля та відновлення ресурсів.

4. Обслуговування міського середовища. Виконання інших комунальних робіт, таких як прибирання вулиць, санітарна обрізка дерев, утилізація зелених відходів тощо.

5. Екологічний контроль. Моніторинг дотримання екологічних стандартів та впровадження заходів для зменшення впливу на навколишнє середовище.

Для покращення процесів управління вивозом сміття необхідно впроваджувати сучасні інформаційні технології [5]. Це дозволить підвищити ефективність, зменшити витрати, знизити екологічне навантаження та

забезпечити чистоту та здоров'я населення. Майбутні розробки в цій сфері повинні зосереджуватися на інтеграції цих підходів для створення ефективних систем управління вивозом сміття.

1.2 Огляд теоретичних підходів до розв'язку задач вивозу сміття

Технологічні рішення в контексті організації вивозу сміття можуть означати використання математичних моделей, методів та алгоритмів для оптимізації процесів планування та управління сміттєвивезенням.

Розглянемо основні теоретичні підходи, які використовуються для вирішення задач вивозу сміття, включаючи класичні та сучасні методи оптимізації та управління. Для оптимізації використовуються наступні.

Алгоритм **"ближнього сусіда"** (nearest neighbor) полягає в тому, щоб сміттєвоз завжди відвідував найближчу точку збору сміття, яка ще не була оброблена. Цей підхід також є досить простим для реалізації [6].

Переваги: простота та швидкість розрахунку маршрутів.

Недоліки: може призводити до субоптимальних маршрутів, особливо в умовах складної дорожньої мережі.

Алгоритм **гілок і меж**. Використовується для розв'язання задач маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem,). Цей метод дозволяє знаходити оптимальні маршрути, але вимагає значних обчислювальних ресурсів [7].

Переваги: можливість знаходження оптимальних рішень.

Недоліки: високі обчислювальні витрати, особливо для великих задач.

Алгоритм **мурашиних колоній**. Інспірований поведінкою мурах, цей алгоритм є популярним у вирішенні задач маршрутизації завдяки своїй здатності знаходити оптимальні маршрути за рахунок використання феромонних слідів [8].

Генетичний алгоритм (GA) — метод оптимізації, що імітує процеси природного відбору та генетичної еволюції. Використовуючи операції, такі як схрещування, мутація та селекція, GA знаходить оптимальні або наближені до

оптимальних рішень в складних задачах. Нижче наведено основні переваги та недоліки генетичних алгоритмів [10].

Переваги: генетичні алгоритми здатні ефективно досліджувати великий простір рішень, що допомагає уникати локальних мінімумів і знаходити глобальні оптимуми.

Недоліки: через необхідність оцінки великої кількості рішень (особин) на кожному кроці еволюції, генетичні алгоритми можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів і часу.

Хоча генетичні алгоритми зазвичай знаходять хороші рішення, вони не завжди гарантують знаходження оптимального розв'язку.

Шаблонний метод - це шаблон проектування, який визначає скелет алгоритму в методі базового класу, делегуючи реалізацію деяких його кроків підкласам, що робить його ефективним інструментом для стандартизації та гнучкої організації складних процесів, таких як вивіз сміття та моделювання маршрутів [11].

Переваги: можливість реалізовувати специфічні стратегії дозволяє легко адаптувати процес до різних умов.

Недоліки: використання шаблонного методу може призвести до створення великої кількості підкласів, що ускладнює структуру програми. Недостатня ефективність в моделюванні маршрутів, що робить не дуже ефективним його в економії ресурсів.

Для управління ресурсами можуть використовуватися наступні засоби та підходи.

1. Лінійне програмування. Використовується для оптимізації розподілу ресурсів, таких як сміттєвози та контейнери. Дозволяє мінімізувати витрати при заданих обмеженнях [9].

Переваги: можливість точного розв'язання задач з великою кількістю обмежень.

Недоліки: не завжди підходить для задач з нелінійними обмеженнями або цільовими функціями.

2. Системи масового обслуговування. Моделюють процес обслуговування контейнерів та сміттєвозів, дозволяючи оцінити ефективність системи та її здатність справлятися з навантаженням [12].

Для контролю за виконанням завдань використовують наступні сучасні інформаційні системи та технології.

1. Системи управління транспортом (TMS). Використовуються для моніторингу та управління сміттєвозами в режимі реального часу. Дозволяють оптимізувати маршрути та знижувати витрати [13].

2. GPS-технології. Дозволяють відслідковувати місцезнаходження сміттєвозів та контейнерів, що забезпечує ефективний контроль за їх рухом та використанням [14].

Розглянемо кілька наукових публікацій, літературу та дослідження за темою організації вивезення сміття в населених пунктах.

Альп Устундаг, Емре Чевікджан у своїй науковій публікації “Vehicle route optimization for RFID integrated waste collection system. International Journal of Information Technology & Decision Making. World Scientific Publishing Company” 2008 року - досліджують різні моделі оптимізації, що застосовуються до сфери поводження з твердими побутовими відходами, включаючи вивезення сміття. Автори аналізують різні методи оптимізації маршрутів, графіків збору відходів, а також ефективність різних стратегій управління [15].

Бельтрами Е. Дж., Бодин Л.Д. у статті “Networks and vehicle routing for municipal waste collection. Networks. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company” зробили огляд ”проблеми маршрутизації транспортного засобу для збирання сміття в реальному часі”- їх дослідження присвячене аналізу проблеми маршрутизації автомобілів для збору відходів у реальному часі. Автори досліджують виклики та можливості вирішення цієї проблеми з використанням сучасних технологій [16].

Рівка Ронен, Аарон Келлерман, Мордекай Лапідот у статті «Lapidot M. Improvement of a solid waste collection system: the case of Givatayim, Israel. Applied Geography» розглянули ”комплексне поводження з твердими побутовими

відходами з використанням генетичного алгоритму” - тут досліджується інтегроване управління твердими комунальними відходами з використанням генетичного алгоритму. Автори аналізують різні аспекти управління відходами та ефективність генетичного алгоритму у цьому контексті [17].

Хоакін Баутіста та Джорді Перейра у статті “Ant algorithms for urban waste collection routing. Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Proceedings” досліджують інтегроване управління твердими комунальними відходами з використанням генетичного алгоритму (ГА). Автори аналізують різні аспекти управління відходами та ефективність ГА у цьому контексті [18].

1.3 Аналіз існуючих програмних засобів та рішень

Технологічні рішення, які застосовують для вивозу сміття системою управління спеціалізованою комунальною технікою, покращується з кожним роком [19]. Проте, на жаль, не всі програмні продукти, що використовуються в цій сфері, доступні та зрозумілі для широкого кола користувачів. Багато з них спрямовані на конкретну групу фахівців і можуть бути складними для звичайного користувача.

Проблеми вивозу сміття маємо наступні.

Недостатня ефективність маршрутів. У багатьох випадках маршрути вивозу сміття не є оптимальними, що призводить до збільшення витрат на паливо та ресурси.

Низька екологічність. Неадекватна обробка сміття може призвести до забруднення довкілля та екологічних проблем.

Нестабільність процесу. Непередбачувані обставини, такі як технічні неполадки транспорту або погодні умови, можуть призвести до порушення графіку вивозу сміття [20].

Для подолання вищезазначених проблем можуть використовуватися наступні технологічні рішення.

1. Системи GPS та GIS. Дозволяють відстежувати рух сміттєвозів у реальному часі та оптимізувати їх маршрути [21].

2. Автоматизовані системи управління. Використовують алгоритми для автоматичного планування маршрутів, управління ресурсами та контролю за виконанням завдань [22].

3. Системи моніторингу стану контейнерів. Оснащення контейнерів датчиками заповнення дозволяє зменшити кількість непотрібних поїздок та підвищити ефективність збору сміття [23].

4. Алгоритми оптимізації. Використання методів, таких як мурашині алгоритми, генетичні алгоритми та інші евристичні підходи, для знаходження оптимальних рішень щодо маршрутизації та управління ресурсами. Збирання, транспортування та обробка відходів є важливими аспектами екологічної та суспільної відповідальності. Ці процеси спрямовані на мінімізацію негативного впливу відходів на навколишнє середовище та людське здоров'я.

У багатьох країнах існують підприємства, подібні до спецкомунтрансу, які відіграють ключову роль у забезпеченні комунальних послуг та підтриманні життєвого середовища у населених пунктах. Ці параметри залежать безпосередньо від країни.

Розглянемо кілька програмних рішень для спецкомунтрансу.

1. AMCS Platform є комплексним рішенням для управління відходами, що включає модулі для планування маршрутів, управління ресурсами та аналітики [24].

Основні функції включають автоматизацію маршрутів, оптимізація маршрутів на основі даних про трафік та завантаженість контейнерів, відстеження та моніторинг транспортних засобів у реальному часі, використання зручного інтерфейсу для диспетчерів, що дозволяє ефективно керувати роботою підприємства. До переваг цього рішення можна віднести спеціалізацію на автоматизації та диспетчеризації та високу точність оптимізації маршрутів, а до недоліків - обмежені можливості для аналітики даних та можливі проблеми з масштабуванням у великих містах.

2. Routeware є ще одним відомим рішенням для управління відходами, що спеціалізується на автоматизації маршрутів та управлінні [25].

Основні функції включають оптимізацію маршрутів на основі даних про трафік та завантаженість контейнерів, відстеження та моніторинг транспортних засобів у реальному часі, диспетчеризація роботи. Щодо функціоналу, переваг і недоліків це рішення порівнюване з попереднім - до переваг можна віднести спеціалізацію на автоматизації та диспетчеризації і високу точність оптимізації маршрутів, а до недоліків - обмежені можливості для аналітики даних та можливі проблеми з масштабуванням у великих містах.

3. RUBICONSmartCity є інноваційним рішенням, що використовує передові технології для управління відходами у містах [26].

Основними характеристиками є:

1) використання штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації маршрутів;

2) відстеження наповненості контейнерів у реальному часі за допомогою сенсорів;

3) наявність потужних інструментів для аналізу ефективності роботи системи та складання звітів.

До переваг цього рішення можна віднести використання сучасних технологій для оптимізації і моніторингу та покращення екологічних показників за рахунок зменшення викидів і споживання палива, а до недоліків - високу вартість впровадження сенсорного обладнання та потребу у висококваліфікованих спеціалістах для обслуговування системи.

4. Waste Management Smart Truck є рішенням, що інтегрує технології відстеження та автоматизації для управління відходами [27].

Ключовими функції цього рішення є використання GPS для моніторингу місцезнаходження та руху транспортних засобів, автоматизована генерація звітів про роботу транспортних засобів та маршрути, оптимізація маршрутів для зниження витрат на паливо та підвищення ефективності.

Перевагами даного рішення є зручність у використанні завдяки автоматизації багатьох процесів, поліпшення контролю за виконанням завдань, а недоліками - відносно обмежена функціональність у порівнянні з іншими комплексними рішеннями та залежність від якості GPS-сигналу.

5. SafetyCulture - це програмне забезпечення для управління відходами, яке можна використовувати в усіх галузях промисловості та на робочих місцях. SafetyCulture переміг як найкращий додаток для охорони здоров'я та безпеки на конкурсі SaaS Awards 2020 і потрапив до 20 найкращих програм із забезпечення відповідності вимогам 2020 року. SafetyCulture дає змогу командам посилити програми поводження з твердими відходами та вжити негайних заходів при появі потенційних невідповідностей, тому його найкраще використовувати для дотримання стандартів охорони навколишнього середовища, здоров'я та безпеки. Завдяки SafetyCulture менеджери можуть переконатися, що вони дотримуються як місцевих, так і міжнародних стандартів, за умови, що відходи обробляються та утилізуються належним чином, а також забезпечувати необхідні умови своїм працівникам, які працюють з відходами [28].

До основних характеристик додатку відносять автоматичний збір даних про кількість та типи відходів, що вивозяться, створення детальних звітів про вивіз сміття для аналізу та аудиту, розрахунок витрат на вивіз сміття на основі зібраних даних, виявлення можливостей для зменшення витрат за рахунок аналізу ефективності маршрутів та процесів, сумісність з іншими програмними рішеннями для забезпечення комплексного підходу до управління відходами, синхронізацію з бухгалтерськими програмами для точного обліку витрат, візуалізацію даних для кращого розуміння ефективності процесів вивозу сміття.

6. Waste Accountant найкраще використовувати для обліку відходів, щоб допомогти компаніям мінімізувати їхній негативний вплив на навколишнє середовище. Це програмне забезпечення для управління відходами, яке спрямоване на підтримку та вдосконалення практики сталого поводження з відходами шляхом зменшення кількості відходів на сміттєзвалищах, відстані транспортування відходів і підвищення рівня переробки [29].

Основними характеристиками додатку є автоматичний збір даних про кількість та типи відходів, що вивозяться, створення детальних звітів про вивіз сміття для аналізу та аудиту, розрахунок витрат на вивіз сміття на основі зібраних даних, сумісність з іншими програмними рішеннями для забезпечення комплексного підходу до управління відходами, відстеження основних показників для оцінки ефективності та прийняття рішень.

7. Як програмне забезпечення для управління відходами та відстеження відходів, **Track Your Truck**, може допомогти забезпечити ефективне використання сміттевозів і покращити послуги збору та утилізації сміття. Це дозволяє відслідковувати автопарк у режимі реального часу і зберігає історичні записи про діяльність сміттевозів, щоб усунути неефективні тенденції [30].

Основними характеристиками є постійний моніторинг місцезнаходження сміттевозів у режимі реального часу, збереження даних про маршрути та зупинки транспортних засобів для аналізу ефективності, використання даних для створення оптимальних маршрутів вивозу сміття з метою зменшення витрат на паливо та часу, відстеження технічного стану сміттевозів для своєчасного обслуговування та ремонту, планування та контроль за проведенням технічного обслуговування та ремонтів.

Детальніше розглянемо роботу “Спецкомунтранс” м. Хмельницького [4].

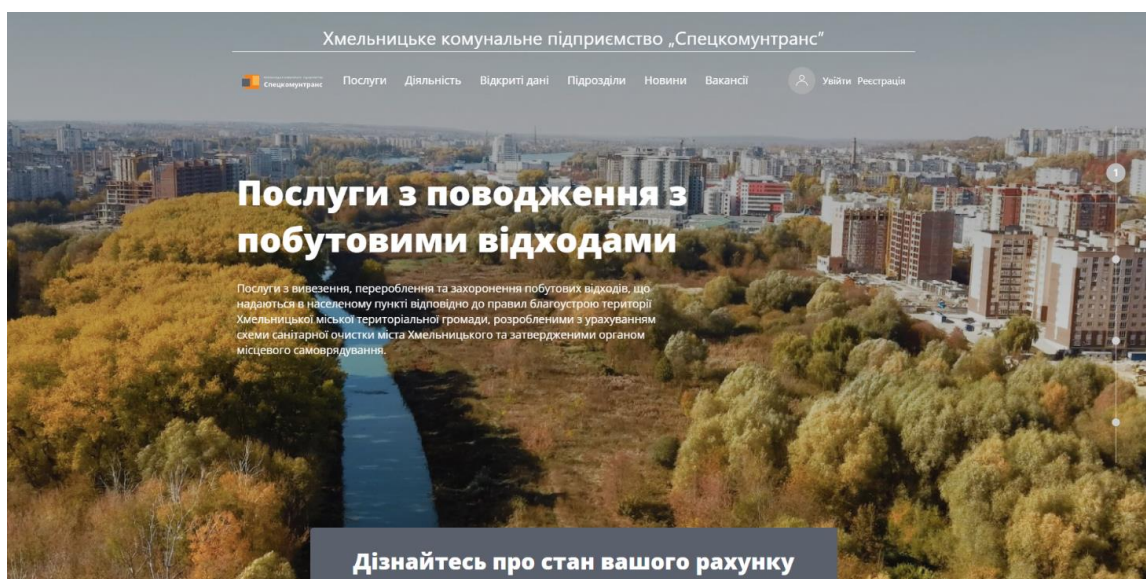


Рисунок 1.1 – Сторінка сайту “Спецкомунтранс” м. Хмельницький [4]

Послуги, що надає "Спецкомунтранс":

- 1) послуги з поводження з побутовими відходами;
- 2) послуга із захоронення відходів, вивезених власним транспортом;
- 3) транспортні послуги;
- 4) переробка гілля;
- 5) реєстрація домашніх тварин (собак);
- 6) утилізація екологічно шкідливих відходів (екобус);
- 7) надання у користування та обслуговування біотуалетів.

Для виконання цих послуг "Спецкомунтранс" має такі технічні засоби:

- 1) КамАЗ-5511 | Самоскид (до 10 т);
- 2) КамаЗ-53213 (КО-415) | Самоскид (до 10 т);
- 3) ГАЗ-ПМЗ -3501 | Самоскид (до 4 т);
- 4) САЗ-3507 | Самоскид (до 4 т);
- 5) МАЗ-5340 | Самоскид (до 10 т) з краноманіпуляторною установкою;
- 6) ПГБ | Навантажувач;
- 7) ПЕА | Навантажувач.

В організаційній структурі "Спецкомунтрансу" є кілька підрозділів [4], зокрема, транспортна служба, відділ збуту послуг, бригада полігону побутових відходів, ділянка по прибиранню контейнерних майданчиків, ремонтна майстерня, ділянка по господарському обслуговуванню виробництва, ділянка сортування побутових відходів.

Серед усіх робіт, що виконуються підрозділами спецкомунтрансу, нас найбільше цікавить процес організації обліку та вивезення відходів:

- 1) приймання та облік побутових відходів (ПВ);
- 2) складування побутових відходів;
- 3) збір та перевезення відходів;
- 4) захоронення побутових відходів.
- 5) дотримання екологічних, санітарних норм при захороненні побутових відходів та правил пожежної безпеки;

6) збір вторинної сировини з подальшим сортуванням та відправленням на переробку;

7) збір від фізичних осіб небезпечних відходів, що містяться у складі побутових відходів, та відправлення їх на безпечну утилізацію з метою зменшення впливу на навколишнє середовище;

8) організація та забезпечення роботи центру управління відходами (диспетчерська) та ланки із збирання та перевезення відходів.

Також коротко опишемо існуюче програмне рішення, що використовується спецкомунсервісом в місті Київ.

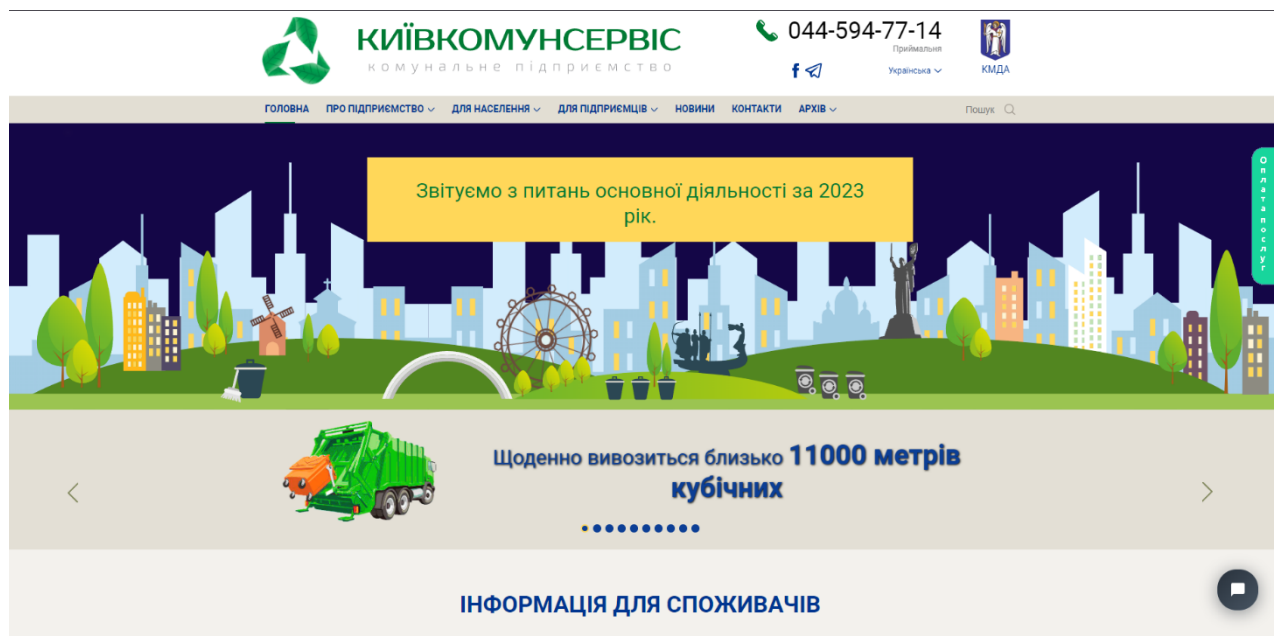


Рисунок 1.2 – Сторінка сайту “Київкомунсервіс” [31]

Підприємство “Київкомунсервіс” [31] спеціалізується на наданні послуг щодо своєчасного та повного вивезення побутових відходів від місць їх утворення до визначених місць утилізації:

Побутові відходи можуть збиратися у наземних чи підземних контейнерах різної ємності, в основному, об’ємом 1,0-5,0 м. куб.

Збір, сортування, облік та дотримання необхідних екологічних та санітарних норм покладено на дільницю по прибиранню контейнерних майданчиків, вивезення побутових відходів – на транспортний відділ. Функції

забезпечення організації збору та вивезення відходів покладаються на диспетчерський відділ.



Рисунок 1.3 – Контейнер заглибленого типу (5 м. куб.)
та підземний контейнер (5 м. куб.) фінської компанії MOLOK [31]

Найчастіше використовуються стандартизовані контейнери європейського типу (1,1 м. куб.), а для збору негабаритних та будівельних відходів використовуються контейнери об'ємом від 15 м. куб. до 20 м. куб. Для вивезення негабаритних і будівельних відходів застосовуються спеціалізовані автомобілі МАЗ із системою гакового навантаження типу «мультиліфт».



Рисунок 1.4 – Автомобілі МАЗ із системою гакового навантаження
типу «мультиліфт» [31]

Завантаження відходів повністю механізоване.



Рисунок 1.5 – Транспорт для завантаження відходів [31]

Спецкомунтранс проводить косметичні (миття, покраска тощо) та санітарні (обезжирення, хімічна обробка тощо) роботи для власних контейнерів, а також надає такі послуги населенню та підприємствам.

Проаналізувавши наявні рішення для вивозу сміття можна стверджувати, що відкритого програмного забезпечення немає, можливо лише через сайти спецкомунтрансів створювати окремі заявки та переглядати інформацію.

1.4 Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є збільшення ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Для досягнення цієї мети необхідно провести аналіз сучасних методів організації вивозу сміття, розробити спосіб вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму, інтегрувати його у систему управління спецкомунтрансу та провести експериментальне тестування для оцінки ефективності методу. Вхідні дані передбачають можливість повного опису предметної області, а саме: облік та наповненість контейнерів для сміття, маршрути руху транспортних засобів, множини транспортних засобів та точок доставки, взаємодія з диспетчерськими службами тощо.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати виконання наступних задач.

1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до автоматизації організації вивозу сміття. Провести огляд наукових робіт і практичних досліджень, що стосуються способів організації вивозу сміття та їх ефективності.

2. Розробити спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

3. Розробити інформаційну технологію автоматизованого складання плану вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

4. Спроекувати функціональну та інформаційну структуру інформаційної системи вивозу сміття для спецкомунтрансу.

5. Розробити програмну реалізацію способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

6. Провести функціональне та прикладне дослідження запропонованого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Успішне виконання завдання передбачає розробку способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Це дозволить з економити час на виконання поставлених задач.

Розділ 2 Розробка способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом

2.1 Інформаційна модель організації вивозу сміття

При організації вивозу сміття потрібно враховувати певні вимоги. Інформаційна модель організації вивозу сміття включає кілька ключових аспектів.

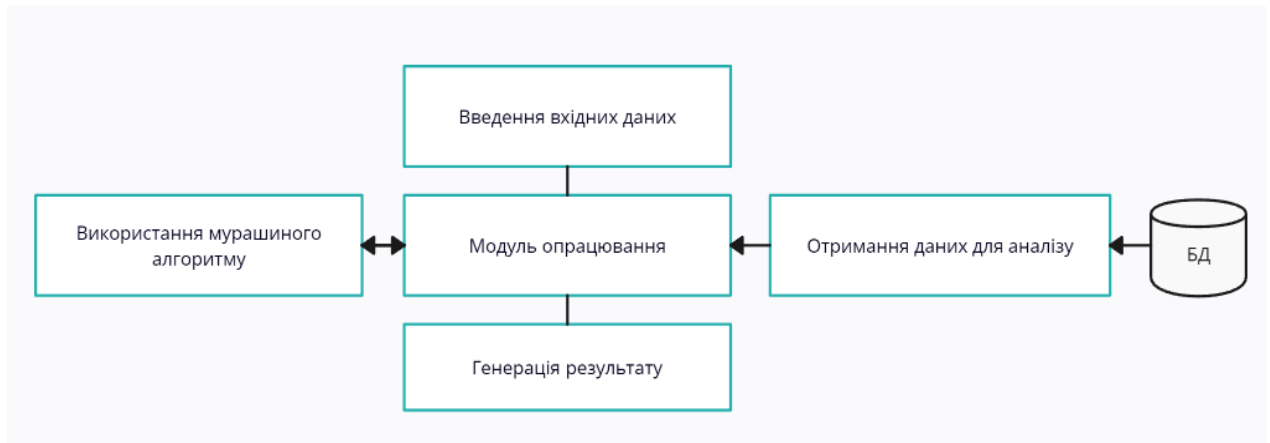


Рисунок 2.1 – Інформаційна схема моделі організації вивозу сміття

Для генерування вивозу сміття необхідні такі функції.

1. **Збір даних.** Основа для будь-якої інформаційної моделі починається зі збору даних. Це може включати інформацію про обсяги сміття, його типи, час збору, географічне розташування контейнерів і так далі.

2. **Аналіз даних.** Після збору даних необхідно їх аналізувати для визначення патернів і потреб. Це може включати виявлення пікових навантажень на систему, оптимальні маршрути для вивозу, і потреби в ресурсах.

3. **Прогнозування та планування.** Використовуючи історичні дані, можна розробити моделі для прогнозування майбутніх потреб у вивезенні сміття. Це дозволяє планувати ресурси, такі як транспорт і персонал, відповідно до очікуваних потреб.

4. **Оптимізація маршрутів.** Сучасні інформаційні системи можуть автоматизувати процес планування маршрутів, використовуючи алгоритми для мінімізації часу та витрат на паливо. Це також включає розгляд чинників, таких як час доби, дорожні умови і доступність місць вивантаження.

5. **Рішення в реальному часі.** Системи моніторингу можуть надавати дані в реальному часі, які дозволяють оперативно реагувати на зміни в умовах (наприклад, несподіване збільшення обсягу сміття або аварії на дорогах).

6. **Зворотний зв'язок та ітерація.** Після впровадження рішень необхідно збирати зворотний зв'язок для оцінки ефективності процесів. Це допомагає виявити слабкі сторони і поліпшити систему у майбутньому.

7. **Інтеграція з іншими системами.** Важливо, щоб система вивозу сміття була інтегрована з іншими муніципальними та екологічними службами для синхронізації дій та обміну даними.



Рисунок 2.2 – Схема процесу обробки даних

У блоці «Деталізація даних» відбувається занесення даних про:

- 1) сміттеві баки;
- 2) сміттєзвалища;
- 3) технічні засоби (екіпажі).

У другому блоці відбувається розрахунок за мурашиним алгоритмом із отриманими даними.

Третій блок враховує різноманітні обмеження, наприклад, на час, відстань, витрати тощо.

Важливою особливістю методики використання мурашиного алгоритму для організації вивозу сміття є орієнтація на дотримання вибіркових критеріїв, враховуючи при цьому обмеження роботи алгоритму.

Розробка інформаційної моделі організації вивозу сміття допомагає покращити якість керування процесом утилізації відходів.

2.2 Особливості методу мурашиного алгоритму

Мурашиний алгоритм - це метаевристичний алгоритм, який базується на моделюванні поведінки колонії мурах під час пошуку шляху від гнізда до джерела їжі і є одним з ефективних наближених методів для розв'язання складних комбінаторних задач оптимізації, а також завдань пошуку маршрутів [32].

Основна ідея мурашиного алгоритму полягає у тому, що мурахи випадковим чином рухаються по графу (мережі) і залишають на шляху феромонний слід, інтенсивність якого залежить від якості знайденого рішення. Мурахи, які рухаються пізніше, частіше обирають шляхи з більшою концентрацією феромонів. З часом феромонні сліди на менш ефективних шляхах випаровуються, а на найкращих шляхах концентрація феромонів зростає. Таким чином, алгоритм поступово наближається до оптимального рішення.

Алгоритм складається з декількох етапів.

Ініціалізація. Задаються параметри алгоритму, такі як кількість мурах, інтенсивність випаровування феромонів тощо.

Конструювання рішень. Кожна мураха будує своє рішення, переміщаючись випадковим чином між вузлами графа. Вибір наступного вузла визначається евристичною функцією та концентрацією феромонів на ребрах.

Оновлення феромонів. Після того, як всі мурахи побудували свої рішення, концентрація феромонів на ребрах оновлюється. Відбувається часткове випаровування феромонів на всіх ребрах, а також додається певна кількість феромонів на тих ребрах, які входять до складу найкращих рішень, знайдених на поточній ітерації.

Критерій зупинки. Етапи 2 і 3 повторюються доти, доки не буде досягнутий критерій зупинки, наприклад, максимальна кількість ітерацій або заданий час роботи алгоритму.

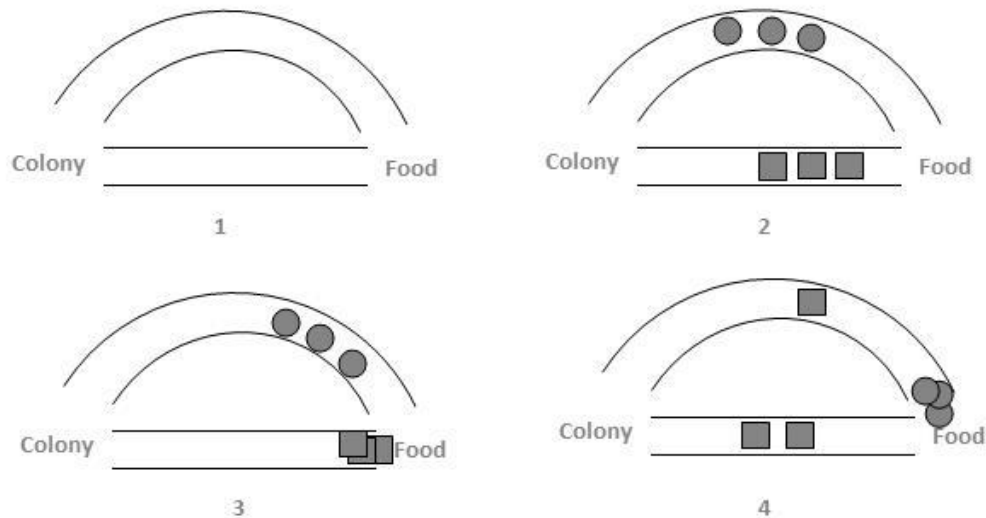


Рисунок 2.3 – Варіанти шляхів між джерелом їжі та гніздом мурах

Алгоритмічний дизайн. Єдине джерело їжі та одна колонія мурашок були розглянуті лише з двома можливими шляхами проходження. Весь сценарій можна реалізувати за допомогою зважених графів, де колонія мурашок і джерело їжі діють як вершини (або вузли), шляхи служать ребрами, а значення феромонів є вагами, пов'язаними з ребрами [33].

Нехай граф $G = (V, E)$, де V, E - ребра та вершини графа. Вершини відповідно до нашого розгляду є V_s (вершина джерела – колонія мурашок) і V_d (вершина призначення – джерело їжі), двома ребрами є E_1 і E_2 з довжинами L_1 і L_2 , призначеними кожному. Тепер пов'язані значення феромонів (що вказують на їх силу) можна вважати R_1 і R_2 для вершин E_1 і E_2 відповідно. Таким чином, для кожної мурахи початкова ймовірність вибору шляху (між E_1 і E_2) може бути виражена таким чином:

$$P_i = \frac{R_i}{R_1 + R_2}; i = 1, 2 \quad (2.1)$$

Якщо $R_1 > R_2$, ймовірність вибору E_1 вища і навпаки. Тепер під час повернення цим найкоротшим шляхом, наприклад, E_i , значення феромону

оновлюється для відповідного шляху. Оновлення виконується на основі довжини шляхів, а також швидкості випаровування феромону. Таким чином, оновлення можна поетапно реалізувати так:

$$R_i \leftarrow R_i + \frac{K}{L_i} \quad (2.2)$$

У наведеному вище оновленні $i = 1, 2$ і K є параметром моделі. Крім того, оновлення залежить від довжини шляху. Чим коротший шлях, тим більше феромонів:

$$R_i \leftarrow (1 - v) * R_i \quad (2.3)$$

Параметр v належить до інтервалу $(0, 1]$, який регулює випаровування феромону. Розглянемо $i = 1, 2$. На кожній ітерації всі мурахи розміщуються у вихідній вершині V_s (колонії мурах). Згодом мурахи переходять від V_s до V_d (джерело їжі) після кроку 1. Далі всі мурахи здійснюють свою зворотну подорож і зміцнюють свій обраний шлях.

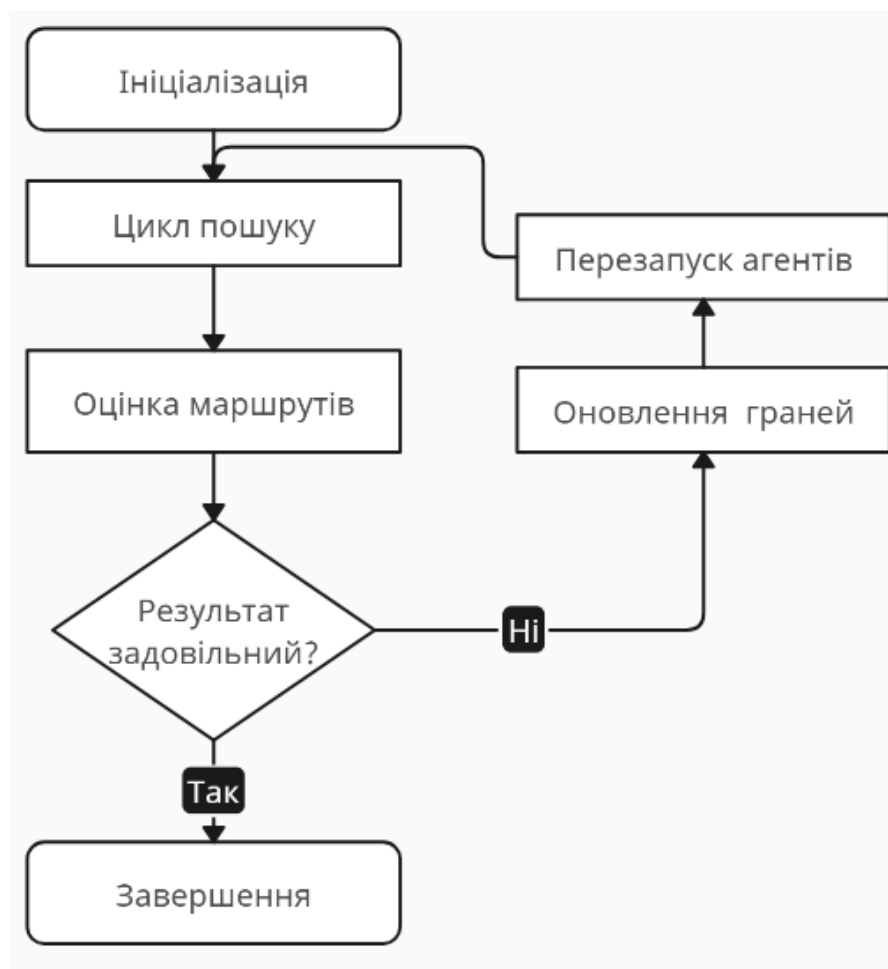


Рисунок 2.4 – Схема алгоритму пошуку оптимального маршруту

Ініціалізація відбувається способом створення популяції мурах, які будуть шукати маршрут, та ініціалізації рівнів феромонів на всіх шляхах між вершинами графа. Цикл пошуку складається з руху мурах, побудови маршруту та оновлення феромонів.

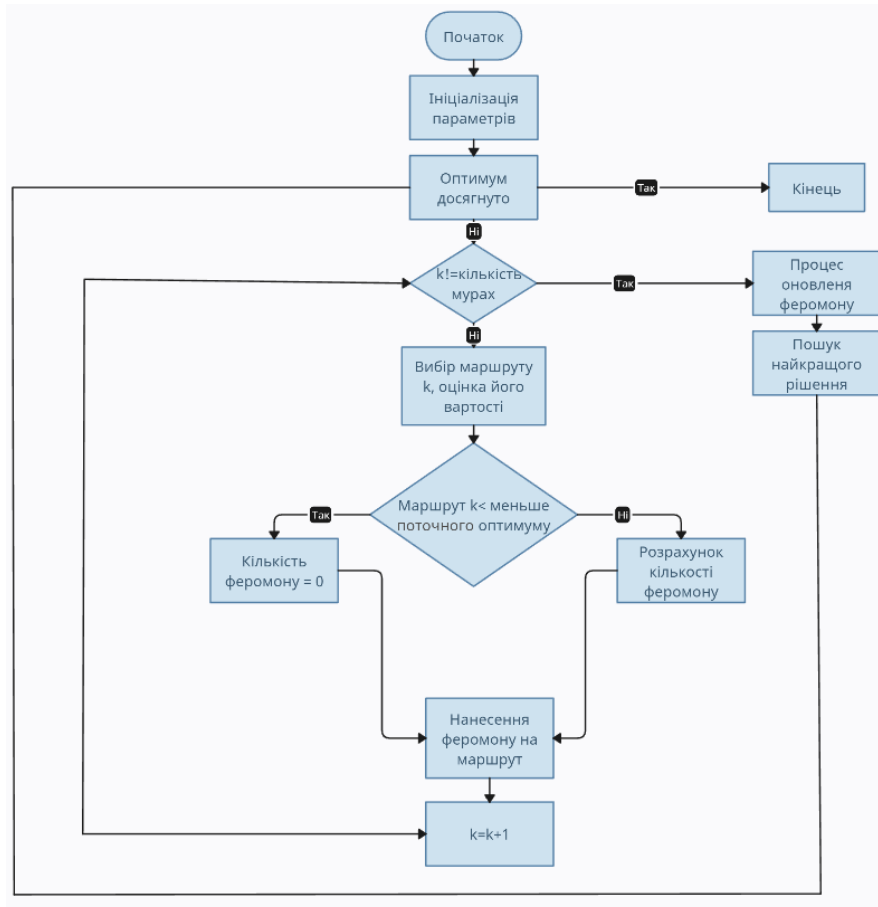


Рисунок 2.5 – Схема мурашиного алгоритму

Таким чином, для реалізації алгоритму виконуються наступні кроки.

1. **Ініціалізація.** Задаються початкові параметри, такі як кількість мурах, кількість ітерацій, коефіцієнт випаровування феромону, початкове значення феромону на дугах графа тощо.

2. **Розміщення мурах.** Кожна мураха розміщується на випадковому вузлі (або в заданому порядку для певних варіантів задач).

3. **Побудова рішень.** Мурахи ітеративно обирають наступний вузол, на який перейти, використовуючи правило вибору. Це правило враховує як величину феромону на кожній дузі, так і видимість (зазвичай обернену величину відстані).

4. Ранжування мурах. Після завершення туру всі мурахи сортуються згідно з якістю їхніх маршрутів. Тільки найкращі з них (наприклад, топ-3 або топ-5) впливатимуть на оновлення феромонів.

5. Оновлення феромону. Є два правила: локальне оновлення здійснюється, коли мураха переміщується між вузлами для зменшення впливу шляху, яким вона йде, і глобальне оновлення відбувається після завершення шляху всіма мурахами для підсилення найкращих знайдених шляхів.

6. Верифікація завершення. Алгоритм продовжується до тих пір, поки не буде досягнуто заздалегідь визначеного критерію зупинки (певної кількості ітерацій, часу виконання або коли покращення рішення стає незначним).

7. Вивід результату. Найкращий знайдений шлях вибирається як рішення проблеми.

Щоб уникнути зациклення на локально оптимальних рішеннях, феромони випаровуються з часом. Це зменшує їхній вплив на шляхи, які були вибрані раніше, але виявилися менш ефективними в подальшому. Випаровування допомагає алгоритму забувати про старі рішення та адаптуватися до нових умов. Мурахи обирають шлях на основі концентрації феромонів, але також можуть враховувати інші чинники, такі як відстань до цілі або інші енвайронментальні сигнали. Це робить вибір шляху не тільки стохастичним, а різноманітним, що підвищує здатність алгоритму знаходити оптимальні рішення для різних сценаріїв.

2.3 Схема способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом

Схема способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом складається з наступних основних кроків:

1. Ініціалізація параметрів алгоритму. На цьому етапі задаються початкові значення параметрів алгоритму, такі як кількість мурах, коефіцієнти випаровування феромону, параметри видимості тощо.

2. **Створення початкових рішень.** Кожна мураха будує своє власне початкове рішення задачі. Це рішення формується випадковим чином або з використанням певної евристики.

3. **Конструювання рішень.** Мурахи переміщуються по графу рішень, обираючи наступні компоненти рішення на основі ймовірності, що визначається кількістю феромону на ребрах графа та евристичною інформацією про видимість. Цей процес повторюється доки всі мурахи не сформують повні рішення задачі.

4. **Оновлення феромону.** Після того, як всі мурахи сформували свої рішення, відбувається оновлення рівня феромону на ребрах графа рішень. Кількість феромону збільшується на компонентах рішень, які входять до найкращих знайдених рішень, і зменшується на інших ребрах внаслідок процесу випаровування.

5. **Перевірка критерію зупинки.** Алгоритм перевіряє, чи виконується критерій зупинки (наприклад, максимальна кількість ітерацій або необхідна якість рішення). Якщо критерій не виконується, то алгоритм повертається до кроку 3 для побудови нових рішень в наступній ітерації.

6. **Видача найкращого знайденого рішення.** Після досягнення критерію зупинки, алгоритм видає найкраще знайдене рішення задачі як результат роботи.

Розглянемо, як відбувається взаємодія із програмою в диспетчера.

1. Диспетчер відкриває веб-застосунок.

2. Диспетчер задає вхідні дані, такі як номер контейнера (ID контейнера), марку (ID) транспортних засобів, максимальний об'єм сміття, який може прийняти кожне звалище.

3. Диспетчер зберігає дані.

Інформація про маршрут розраховується і зберігається на сервері вебзастосунку. При побудові маршруту на основі даних, введених диспетчером, вебзастосунок будує оптимальний маршрут для працівника спецкомунтрансу.

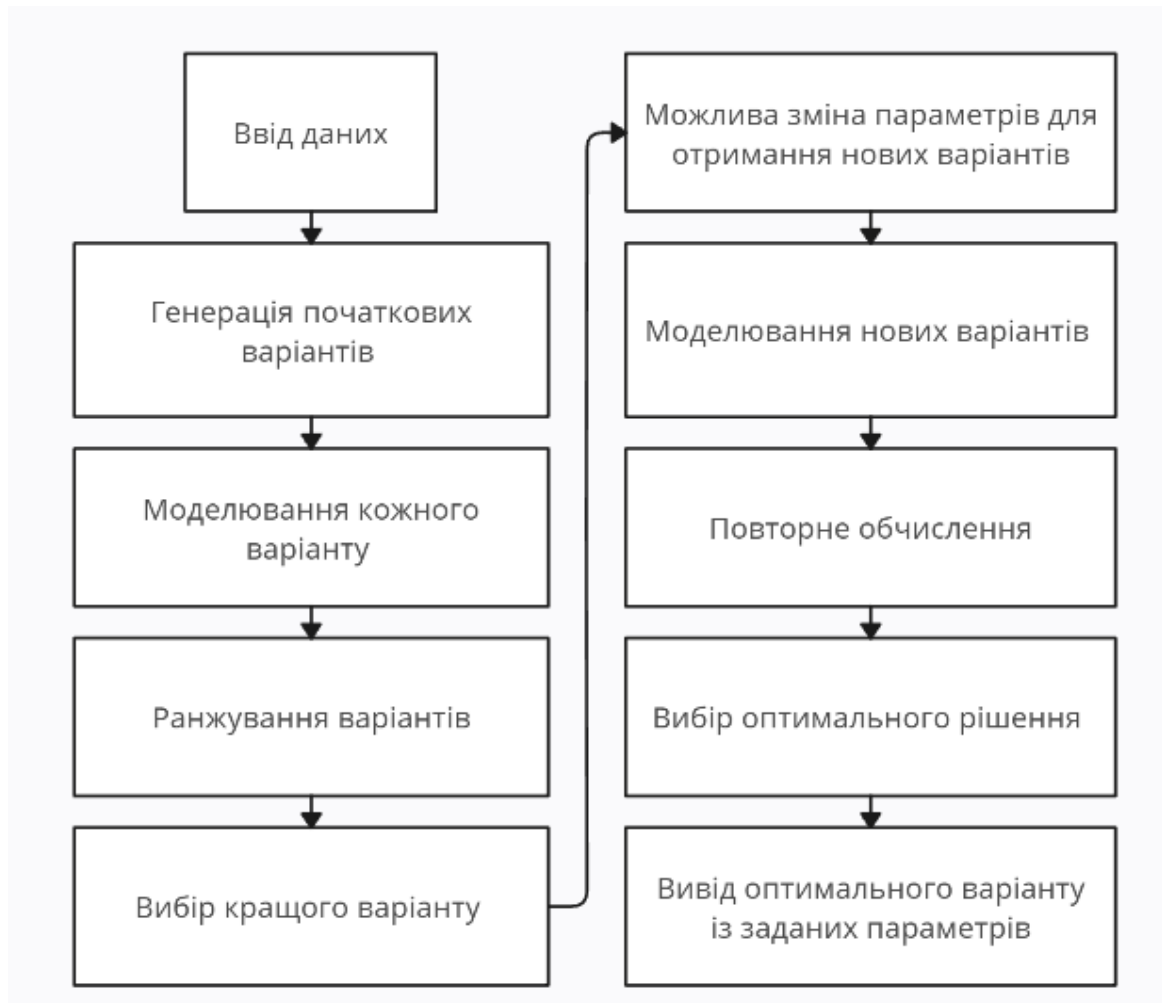


Рисунок 2.7 – Схема методу побудови оптимального маршруту

Опишемо схему методу. У блоці «Ввід даних» передбачено введення:

- ID технічного засобу (машини);
- ID сміттєзвалища;
- ID сміттєвих баків.

У блоці «Генерація початкових варіантів» випадково генеруються різні комбінації оптимального маршруту.

У блоці «Моделювання кожного варіанту» розраховується оптимальність.

У блоці «Ранжування варіантів» за отриманих даних варіанти сортуються за пріоритетністю.

У блоці «Вибір кращого варіанту» відбирається найкращий маршрут.

У блоці «Моделювання нових варіантів» знову розраховується оптимальний маршрут.

У блоці «Вибір оптимального рішення» буде найкоротший маршрут.

Побудова маршруту складається з кількох послідовних кроків.

Крок 1. Вибір початкової точки. Кожна мураха починає з випадково вибраного контейнера для сміття.

Крок 2. Побудова маршруту. Мураха будує маршрут, переміщуючись від одного контейнера до іншого, на основі ймовірнісної функції, яка враховує рівень феромонів на шляхах та евристичну інформацію (наприклад, відстань до наступного контейнера).

Крок 3. Оцінка маршруту. Після завершення маршруту, мураха оцінює його ефективність на основі загальної довжини маршруту та заповненості транспортного засобу.

Використання цього підходу забезпечує адаптивність до змінних умов та здатність знаходити оптимальні або близькі до оптимальних рішення, що є важливим для міської інфраструктури.

2.4 Функціональна структура інформаційної системи вивозу сміття

Інформаційна система вивозу сміття є комплексною системою, що забезпечує ефективне управління процесами збирання, транспортування та утилізації твердих побутових відходів. Вона складається з декількох основних функціональних модулів:

Модуль маршрутизації. Цей модуль відповідає за планування та оптимізацію маршрутів вивезення сміття. Він враховує фактори, такі як кількість контейнерів, їх місцезнаходження, вантажопідйомність транспортних засобів, пропускну здатність доріг та інші параметри. На базі цих даних модуль автоматично генерує оптимальні маршрути для транспортних засобів, мінімізуючи витрати та час.

Диспетчерський модуль. Диспетчерський модуль забезпечує ефективне управління парком транспортних засобів та персоналом. Він дозволяє відстежувати місцезнаходження кожного транспортного засобу в режимі реального часу, моніторити стан завантаження та передавати необхідну

інформацію диспетчерам. Крім того, цей модуль може автоматично призначати завдання водіям та збирачам сміття на основі їх доступності та кваліфікації.

Модуль візуалізації. Модуль візуалізації відображає маршрути та дані на карті для легкого аналізу та редагування.

Така функціональна структура дозволяє системі оперативно обробляти дані, будувати оптимальні маршрути та забезпечувати зручну комунікацію між диспетчерським центром. В результаті працівники можуть швидко та ефективно реагувати на дані, що допомагає ефективно здійснювати перевезення.

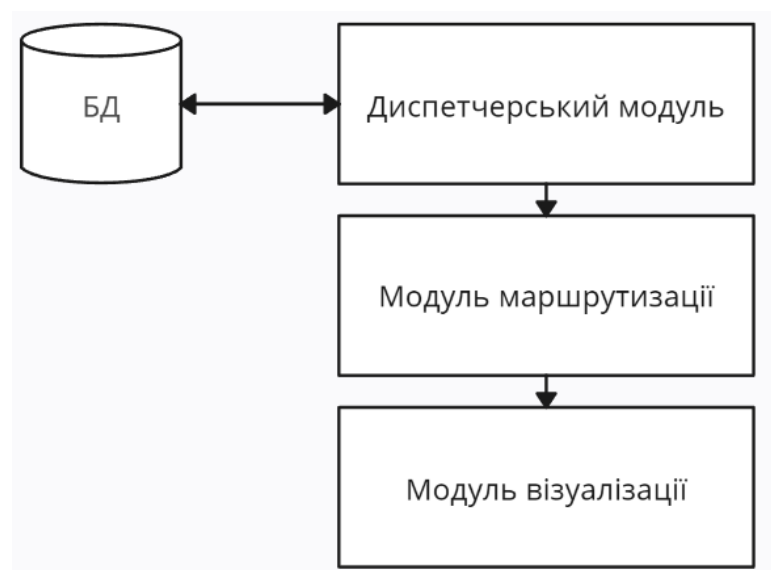


Рисунок 2.8 – Схема взаємодії модулів інформаційної системи

Отже, адаптація і впровадження функціональної структури інформаційної системи для організації вивозу сміття стане ключовим етапом у покращенні ефективності та організації процесів вивезення відходів.

2.5 Проектування структури інформаційної системи та бази даних

Основною метою проектування є створення функціональної та надійної структури, яка забезпечує необхідну функціональність і просту взаємодію з системою.

Діаграми взаємодії, ключовим елементом на якому зображується спосіб, у який користувачі взаємодіють із вебзастосунком. Такі діаграми полегшують візуальне представлення послідовності дій і передачі даних у системі.



Рисунок 2.9 – Схема взаємодії диспетчера з застосунком

Розглянемо детальніше схему взаємодії диспетчера.

Для взаємодії з застосунком диспетчеру спочатку потрібно авторизуватись у свій профіль, потім диспетчер зможе додавати ID сміттєвих баків, ID сміттєзвалищ та ID екіпажу, а також створювати та редагувати замовлення і переглядати результат, виданий застосунком за кожним замовленням.

Водій має менший функціонал. В його розпорядженні є тільки можливість переглядати результат та відмічати виконання завдання.

База даних є важливою деталлю у формуванні інформаційної системи. База даних містить дані про машини, працівників, розташування сміттєвих баків, що необхідні для ефективного планування маршруту.



Рисунок 2.10 – Схема взаємодії водія з застосунком

Щоб розпочати процес побудови системи, важливо створити об'єктну модель, яка ефективно фіксує складний зв'язок між даними та їхніми відповідними елементами. Підкреслимо основні сутності, які використовуються в системі, та їхні основні характеристики. До атрибутів системи належать.

1. Водії з унікальним ідентифікатором, ім'ям, прізвищем, по батькові, номером телефону, моделлю машини.

2. Задача з унікальним ідентифікатором, датою початку, датою закінчення, загальним значенням, коментарем і статусом.

3. Оператор з унікальним ідентифікатором, ім'ям, прізвищем, по батькові, логіном, паролем та електронною поштою.

4. Координати сміттевого баку з унікальним ідентифікатором-адресою.

Специфікація бази даних наведена у таблицях 2.1-2.5.

Таблиця 2.1 – Operator

Назва	Тип	Опис	'
Id	Nvarchar	Унікальний ідентифікатор	Primary key
UserName	Nvarchar	Ім'я користувача	Unique key

Password	Nvarchar	Пароль	
----------	----------	--------	--

Таблиця 2.2 містить дані про користувачів.

Таблиця 2.2 – Driver

Назва	Тип	Опис	Обмеження
Id	Nvarchar	Унікальний ідентифікатор	
Name	Nvarchar	Ім'я користувача	
LastName	Nvarchar	Прізвище	
UserName	Nvarchar	Ім'я	
Password	Nvarchar	Пароль	

Таблиця 2.3 призначена для зберігання даних про водіїв.

Таблиця 2.3 – Order

Назва	Тип	Опис	Обмеження
Id	Nvarchar	Унікальний ідентифікатор	
Date	Nvarchar	Дата	
OrderStatus	Nvarchar	Статус виконання	
ContainerCount	Nvarchar	Кількість контейнерів для вивозу.	

Таблиця 2.4 призначена для зберігання даних про замовлення.

Таблиця 2.4 – Container

Назва	Тип	Опис
-------	-----	------

Id	nvarchar	Унікальний ідентифікатор контейнера
GeoLat	nvarchar	Широта
GeoLong	nvarchar	Довгота
Address	nvarchar	Адреса

Таблиця 2.5 зберігає дані про місцезнаходження контейнерів.

Таблиця 2.5 – Landfill

Назва	Тип	Опис
Id	nvarchar	Унікальний ідентифікатор контейнера
GeoLat	nvarchar	Широта
GeoLong	nvarchar	Довгота
Address	nvarchar	Адреса

Ефективна робота системи для організації вивозу сміття залежить від організації та взаємодії різних компонентів інформаційної системи. Ключові елементи та їхні взаємозв'язки в структурі інформаційної системи описані нижче.

Модуль побудови маршруту. Використовуючи різні алгоритми та техніки, цей модуль може створити найкоротший можливий шлях, враховуючи будь-які перешкоди чи обмеження. Взаємодіючи з базою даних та іншими компонентами системи, модуль побудови маршруту генерує оптимальні маршрути з урахуванням усіх відповідних даних.

Модуль візуалізації. Відіграє вирішальну роль у представленні згенерованих маршрутів і додаткових даних у візуальному форматі, наприклад, на картах чи інших візуальних елементах. Його мета — запропонувати зручний інтерфейс, який дозволяє легко аналізувати та модифікувати маршрути.

Компонент обробки даних має вирішальну роль у побудові найкоротшого шляху. Його основний обов'язок полягає в обробці та аналізі необхідних даних. Цей компонент використовує різні алгоритми та методи для розрахунку найбільш ефективних маршрутів, і визначення альтернативних шляхів.

База даних є важливим компонентом, який зберігає та впорядковує дані, необхідні для роботи системи. Він містить відомості про географічні об'єкти.

Інтерфейс користувача (UI) є ключовим компонентом, який полегшує взаємодію користувача з системою. Він може бути розроблений як веб-інтерфейс, мобільний застосунок або будь-який інший тип інтерфейсу.

Взаємодія цих компонентів між собою залежать від унікальних вимог і потреб проєкту, а також від технологій, які використовуються в системній розробці. Для уникнення дублювання даних та забезпечення ефективного зберігання інформації застосовується процес нормалізації.

Правильно спроектована база даних забезпечує зберігання та обробку всіх необхідних даних, а модульна архітектура системи дозволяє легко масштабувати та інтегрувати нові функції.

2.6 Підготовка робочих вхідних даних для системи

Підготовка робочих вхідних даних є критично важливим етапом для забезпечення точності та ефективності роботи інформаційної системи вивозу сміття. Розглянемо підготовку робочих вхідних даних.

Основні види вхідних даних для системи вивозу сміття включають.

1. Дані про сміттєзвалища. Ідентифікатори пунктів утилізації: Унікальні номери або коди, які ідентифікують кожне сміттєзвалище, переробний завод та інші місця утилізації.

2. Дані про контейнери. Ідентифікатори контейнерів: унікальні номери або коди, які ідентифікують кожен контейнер.

3. Дані про транспортні засоби. Ідентифікатори транспортних засобів: унікальні номери або коди для кожного транспортного засобу.

Please select at least two addresses to form a route.

Result | **initMap** | GPS Track

Total distance (km)
Дистанція

Название замовлення

Автомобіль
(#1) Автомобіль BX1025AB (MAX: 400)

Сміттєві баки
Jalan (50%)
Jalan R2 (25%)
Selangor (27%)

Сміттєзвалища
SelangorLF
Landfillnew

Зберегти

Рисунок 2.11 – Форма вхідних даних

4. Дорожні карти. Мапи доріг з інформацією про маршрути, відстані.
5. Розклад вивозу сміття. Графіки та години, коли транспортні засоби повинні вивозити сміття з певних контейнерів.
6. Історичні дані. Інформація про попередні маршрути, об'єми вивезеного сміття та час виконання завдань.
7. Методи збору даних. Ручні та електронні методи періодичних перевірок контейнерів та транспортних засобів для верифікації даних.
8. Звіти водіїв. Водії можуть вручну вводити дані про стан контейнерів, дорожні умови та іншу інформацію через мобільні додатки або інтерфейси.

Також можливий автоматизований метод, якщо зробити інтеграцію з існуючими системами та використовувати дані з існуючих міських систем управління транспортом та інфраструктурою. Дані мають піддаватися верифікації, обробці, фільтрації.

Для підготовки даних можна використовувати різноманітні інструменти та програмне забезпечення для збору та обробки даних.

GIS-системи. Використання геоінформаційних систем для обробки та візуалізації геолокаційних даних.

Системи керування базами даних (СКБД): Застосування СКБД для зберігання, обробки та аналізу даних.

Аналітичні платформи. Використання інструментів для аналізу даних, таких як SQL, JavaScript, та спеціалізовані програмні рішення.

Мобільні додатки та інтерфейси.

Панелі управління. Веб-інтерфейси для операторів та менеджерів, які надають доступ до всіх функцій системи та дозволяють переглядати і аналізувати дані, а також водії.

Підготовка робочих вхідних даних для системи управління вивозом сміття включає кілька ключових етапів: збір даних, їх верифікація та обробка. Використання як автоматизованих, так і ручних методів збору даних забезпечує їхню точність та актуальність. Важливу роль у цьому процесі відіграють сучасні інструменти, такі як GIS-системи, СКБД та аналітичні платформи.

2.7 Спосіб оцінювання ефективності вивозу сміття

Оцінка ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом є ключовим етапом для розробленого способу.

Перший крок – визначення ключових показників, які відображають ефективність вивозу сміття за мурашиним алгоритмом. Серед таких показників можуть бути:

- 1) загальний час маршруту та середній час, необхідний для виконання всіх маршрутів вивозу сміття;
- 2) кількість перевезених контейнерів за певний період;
- 3) витрати на паливо для вивозу сміття за визначений період.

Для оцінки цих показників потрібно зібрати відповідні дані. Це може включати записи про час руху сміттєвозів, кількість вивезених контейнерів та витрати на паливо. Розглянемо формули, за якими виконується оцінка.

Скорочення часу обслуговування

$$\Delta T = \frac{T_D - T_n}{T_D} \times 100\% \quad (2.4)$$

ΔT - скорочення часу обслуговування у відсотках,

T_D - час обслуговування до впровадження нового методу,

T_n - час обслуговування після впровадження нового методу.

Зменшення відстані маршрутів

$$\Delta D = \frac{D_D - D_n}{D_D} \times 100\% \quad (2.5)$$

ΔD - зменшення відстані маршрутів у відсотках,

D_D - загальна відстань маршрутів до впровадження нового методу,

D_n - загальна відстань маршрутів після впровадження нового методу.

Формула зниження витрат на паливо

$$\Delta F = \frac{F_D - F_n}{F_D} \times 100\% \quad (2.6)$$

ΔF - зниження витрат на паливо у відсотках,

F_D - витрати на паливо до впровадження нового методу,

F_n - витрати на паливо після впровадження нового методу.

Розглянемо формулу порівняння ефективності між двома методами (2.7) та формулу порівняння між трьома методами (2.8).

$$E = \alpha \frac{T_g - T_a}{T_g} + \beta \frac{D_g - D_a}{D_g} + \gamma \frac{F_g - F_a}{F_g} \quad (2.7)$$

$$E = \alpha \frac{T_a - \frac{T_g + T_s}{2}}{T_a} + \beta \frac{D_a - \frac{D_g + D_s}{2}}{D_a} + \gamma \frac{F_a - \frac{F_g + F_s}{2}}{F_a} \quad (2.8)$$

$T_g - T_a$ - час обслуговування для генетичного і мурашиного алгоритмів,

$D_g - D_a$ - відстань маршрутів для генетичного і мурашиного алгоритмів,

$F_g - F_a$ - витрати на паливо для генетичного і мурашиного алгоритмів,

α, β, γ - вагові коефіцієнти, що у сумі дають одиницю.

Ці формули дозволяють точно оцінити ефективність застосування різних методів мурашиного алгоритму для оптимізації вивозу сміття, використовуючи різні метрики для визначення покращень у ключових показниках ефективності.

2.8 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було докладно розглянуто процес оптимізації вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму.

Ми проаналізували кожен етап цього процесу, починаючи з визначення пунктів збору сміття, оцінки їхньої заповненості, маршрутизації сміттевозів і закінчуючи оптимізацією маршруту для максимального зменшення витрат та часу.

Алгоритм пошуку оптимального рішення, який було описано за мурашиним алгоритмом, дозволяє системі знаходити найкращий маршрут для сміттевозів, враховуючи різні критерії, такі як заповненість контейнерів, відстань до сміттєзвалища та обмеження в часі. Для оцінки ефективності алгоритму запропоновано спосіб порівняння з іншими методами, зокрема, генетичного алгоритму та методу шаблонів.

Це дозволило не лише виявити, наскільки точно алгоритм відображає реальні потреби та можливості, але й перевірити правильність обчислень.

Розділ 3 Програмна реалізація та експериментальне дослідження способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом

3.1 Структура модулів системи, їх взаємозв'язок

Для програмної реалізації способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом із використанням побудови найкоротшого шляху на основі GoogleMaps Арі можна скористатися рядом інструментів та технологій.

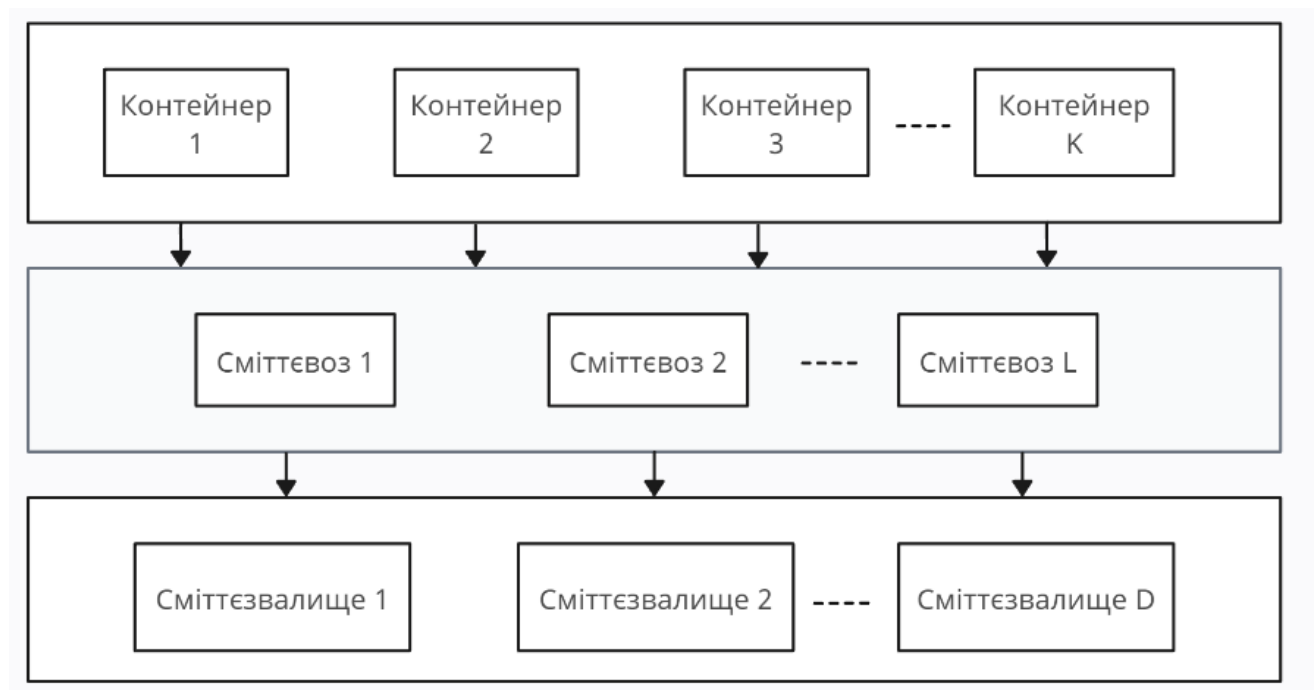


Рисунок 3.1 – Схема переміщення між пунктами маршруту

Основні етапи програмної реалізації такого вебзастосунку.

1. Створення користувацького інтерфейсу для вибору маршруту на мапі міста.
2. Підключення GoogleMaps Арі до вебзастосунку, отримання ключа АРІ та налаштування мапи міста для користування АРІ.
3. Використання мурашиного алгоритму для побудови найкоротшого шляху між сміттевими баками на мапі.
4. Відображення найкоротшого маршруту на мапі міста.

Для реалізації вебзастосунку можна використовувати різні технології та мови програмування. Тут використані такі інструменти як HTML, CSS, JavaScript.

Структура вебзастосунку передбачає розбиття на модулі для кращої організації та підтримки коду. Модулі вебзастосунку включають наступне.

1. Модуль користувальницького інтерфейсу. Він відповідає за створення замовлення. Цей модуль використовує HTML, CSS та JavaScript для створення форми та відображення мапи.

2. Модуль підключення GoogleMaps API. Він забезпечує підключення до GoogleMap API та отримання ключа API для використання мапи міста. Цей модуль використовує JavaScript для ініціалізації та конфігурації мапи з використанням отриманого ключа API.

3. Модуль побудови найкоротшого шляху. Цей модуль використовує мурашиний алгоритм для побудови найкоротшого маршруту між вибраними сміттєвими баками на мапі.

4. Модуль відображення маршруту та інформації. Цей модуль відповідає за візуалізацію найкоротшого маршруту на мапі міста. Він використовує JavaScript для відображення маршруту.

Ці модулі взаємодіють між собою через передачу даних та виклик функцій. Наприклад, модуль користувальницького інтерфейсу передає вибрані точки сміттєвих баків модулю побудови найкоротшого шляху, який в свою чергу отримує інформацію з модуля управління базою даних. Результат побудованого маршруту передається модулю відображення маршруту для візуалізації на мапі міста. Завдяки такій структурі модулів та їх взаємодії вебзастосунок забезпечує швидкий та ефективний доступ до актуальної інформації про переміщення між сміттєвими баками з використанням найкоротшого шляху.

3.2 Вибір засобів розробки інформаційної системи

Для розробки інформаційної системи з управління вивозом сміття було важливо обрати відповідні засоби розробки, які забезпечать ефективність,

надійність та швидкість розробки, тобто, мову програмування, веб-фреймворк, база даних. В даному розділі будуть розглянуті вибрані засоби розробки та їх переваги.

Мова програмування. Мовою програмування була обрана Python [38] - потужна, гнучка та проста у використанні мова програмування, яка знаходить застосування в різних галузях від веброзробки до наукових досліджень та автоматизації. Завдяки своїй читабельності та великій спільноті, Python залишається одним з найпопулярніших виборів серед програмістів усіх рівнів.

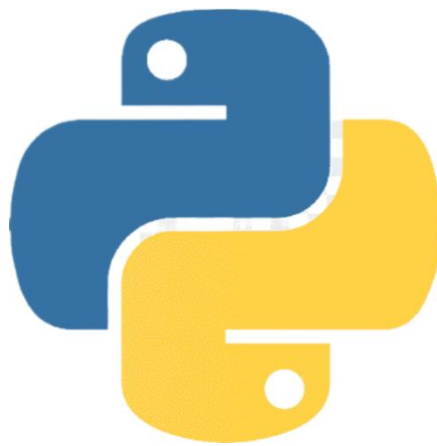


Рисунок 3.2 – Логотип Python [38]

Ось кілька основних особливостей Python, через що була вибрана саме ця мова.

Простота та читабельність. Python має зрозумілий та чистий синтаксис, який робить код легким для читання і зрозумілим. Використання відступів для позначення блоків коду значно спрощує його написання та читання, що особливо корисно для новачків.

Велика стандартна бібліотека. Python надає велику стандартну бібліотеку, яка включає модулі та пакети для виконання різноманітних задач, таких як робота з регулярними виразами, програмування графічного інтерфейсу користувача, мережева взаємодія та обробка даних. Це дозволяє розробникам виконувати складні завдання без необхідності у зовнішніх залежностях.

Кросплатформеність. Python працює на різних операційних системах, включаючи Windows, macOS та Linux. Це означає, що код, написаний на Python, може бути запущений на будь-якій з цих платформ без змін.

Динамічна типізація та зв'язування. Python є мовою з динамічною типізацією, що означає, що тип змінної визначається під час виконання програми. Це підвищує гнучкість коду та скорочує час розробки.

Потужна підтримка спільноти. Python має активну і дружню спільноту розробників, яка надає безліч ресурсів, включаючи форуми, онлайн-спільноти та проекти з відкритим вихідним кодом. Це сприяє навчанню, наставництву та вирішенню проблем.

Підтримка об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). Python підтримує принципи ООП, такі як інкапсуляція, наслідування та поліморфізм. Це дозволяє розробникам організувати код у модулі або компоненти, що полегшує управління складними додатками.

Широкий вибір бібліотек і фреймворків. Python має багату екосистему бібліотек та фреймворків, що охоплюють різні сфери, такі як веб-розробка (Django, Flask), аналіз даних (NumPy, Pandas), машинне навчання (TensorFlow, PyTorch) та багато іншого. Це дозволяє розробникам швидко створювати функціональні додатки з високим ступенем налаштування.

Універсальність. Python використовується в різних областях, включаючи веб-розробку, наукові дослідження, фінансовий аналіз, штучний інтелект, машинне навчання, ігрову розробку та багато інших. Це робить його дуже універсальним інструментом для вирішення найрізноманітніших задач [39].

Вебфреймворк Django — це високорівневий вебфреймворк для Python, розроблений для швидкої розробки та чистого, прагматичного дизайну. Він був вперше випущений в 2005 році і відтоді став одним з найпопулярніших фреймворків для створення вебзастосунків [40]. Ось основні особливості Django.

Портативний. Оскільки Django є вебфреймворком на основі Python, він працює майже на всіх платформах. Майже всі версії Linux, версії Windows і Mac підтримують Django. Django також офіційно підтримується багатьма серверними

платформами веб-хостингу, які навіть надають детальну документацію щодо розміщення програм Django на своїх серверах.

Відкритий код і величезна спільнота. Django — це фреймворк із відкритим вихідним кодом, репозиторій GitHub Django отримує понад 2000 внесків щомісяця. Завдяки широкій адаптивності серед технологічної індустрії та природі з відкритим вихідним кодом оновлення часто випускаються, тому це фреймворк, що постійно розвивається.

Масштабованість. Django може обробляти великі обсяги трафіку та надавати використання API приблизно 450+ мільйонам користувачів. Він широко використовується серед провідних технологічних галузей, таких як Dropbox, який є хмарною технологією для зберігання та обміну файлами. Django робить програми масштабованими, надаючи можливість підключати та відключати компоненти за замовчуванням. Розробники можуть навіть розширити свою програму, безперешкодно додаючи плагіни у робочу програму.



Рисунок 3.3 – Логотип Django [40]

Отже, Django є потужним інструментом для створення вебзастосунків, який поєднує простоту використання з широкими можливостями для розширення і налаштування, що робить його ідеальним вибором для багатьох розробників.

База даних MySQL [41] - відкрита реляційна база даних, яка використовує мову запитів SQL для зберігання та управління даними. Вона є однією з найпоширеніших та надійних баз даних у світі, широко використовується для різних типів додатків, від малих вебсайтів до великих корпоративних систем.



Рисунок 3.4 – Логотип MySQL [41]

Особливості MySQL.

1. Відкритий вихідний код. MySQL має відкритий вихідний код, що означає, що це програмне забезпечення може завантажувати, використовувати і змінювати будь-хто. Вихідний код MySQL можна вивчати і змінювати відповідно до вимог. Він використовує GPL, тобто ліцензію GNU General Public License, яка визначає правила і норми щодо того, що можна і що не можна робити за допомогою програми.

2. Швидкий та надійний. MySQL ефективно зберігає дані в пам'яті, забезпечуючи узгодженість і відсутність надлишкових даних. Тому доступ до даних і маніпуляції з ними за допомогою MySQL відбуваються швидко. Вона одна з найшвидших реляційних баз даних з високою продуктивністю.

3. Висока продуктивність. MySQL забезпечує порівняно вищу продуктивність без шкоди для функціональності. Вона також має дуже малий витік пам'яті, що робить її ефективною в плані використання пам'яті.

4. Масштабованість. Масштабованість означає здатність систем легко працювати з невеликими обсягами даних, великими обсягами даних, кластерами машин і так далі. Сервер MySQL був розроблений для роботи з великими БД.

5. Типи даних. Він містить безліч типів даних, таких як беззнакові цілі числа, знакові цілі числа, числа з плаваючою комою (FLOAT), подвійні числа (DOUBLE), символи (CHAR), змінні символи (VARCHAR), текст, блоки, дата, час, дата-час, мітка часу, рік тощо.

6. Набори символів. Підтримуються різні набори символів, зокрема latin1 (кодування символів cp1252), німецька, Ujis, інші набори символів Unicode тощо.

7. Безпека. Забезпечує безпечний інтерфейс, оскільки має гнучку систему паролів, яка гарантує, що перед доступом до бази даних пароль перевіряється на основі хоста. Пароль шифрується під час підключення до сервера.

8. Підтримка великих баз даних. Система підтримує великі бази даних, які можуть містити від 40 до 50 мільйонів записів, від 150 000 до 200 000 таблиць і до 5 000 000 000 рядків.

9. Незалежність від платформи. MySQL можна запускати на різних операційних системах, включаючи Windows, Linux, macOS тощо, на декількох мовах програмування, таких як C, C++, Java, Python, Perl, PHP тощо.

10. Клієнтські бібліотеки та утиліти. Сервер MySQL постачається з клієнтськими програмами та утилітами. До них відносяться програми командного рядка, такі як 'mysqladmin' і графічні програми, такі як 'MySQL Workbench'. Клієнтські програми MySQL написані різними мовами. Клієнтська бібліотека (код, інкапсульований у модуль) може бути написана на C або C++ і буде доступна для клієнтів, які мають прив'язку до C.

Додатково були використані інші інструменти, такі як **PHP** для розробки фронтенду вебзастосунку. PHP (Hypertext Preprocessor) - мова програмування, яка широко використовується для створення вебсторінок та вебзастосунків. Вона має ряд особливостей, які роблять її популярною серед розробників. Ось деякі з них.

Серверна мова програмування. PHP виконується на сервері, а результати виконання відправляються клієнту, зазвичай у вигляді HTML. Це дозволяє створювати динамічні вебсторінки.

Простота використання. PHP відомий своєю легкістю освоєння, особливо для новачків. Синтаксис PHP нагадує C і Java, що робить його зручним для тих, хто вже знайомий з цими мовами.

Вбудованість в HTML. PHP легко інтегрується в HTML, що дозволяє створювати динамічний контент без значних зусиль. Можна просто вставити PHP-код в HTML-документ, використовуючи спеціальні теги `<?php ... ?>`.

Підтримка численних баз даних. PHP має вбудовану підтримку для різних баз даних, включаючи MySQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server.

Велика кількість бібліотек і фреймворків. Існує багато бібліотек та фреймворків, написаних на PHP, які полегшують розробку. Наприклад, Laravel, Symfony, CodeIgniter, Yii та інші фреймворки надають різні інструменти та структури для спрощення і прискорення розробки.

Висока продуктивність. PHP відомий своєю швидкістю виконання, особливо в поєднанні з кешуючими механізмами, такими як OPCache. Це дозволяє обробляти великі обсяги запитів до веб-сервера з мінімальними затримками.

Безпека. PHP надає різні засоби для захисту вебзастосунків, такі як фільтрація вводу, захист від SQL-ін'єкцій, XSS-атак та інших поширених загроз. Однак, забезпечення безпеки вимагає відповідального підходу з боку розробника.

Підтримка об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). PHP підтримує ООП-парадигму, що дозволяє створювати масштабовані та підтримувані програми з використанням класів і об'єктів.

Розширюваність. PHP розширюється за допомогою модулів і розширень. Це дозволяє додавати нові функції без необхідності змінювати основний код.

Відкрите програмне забезпечення. PHP є безкоштовним і відкритим програмним забезпеченням, що означає, що його можна використовувати, змінювати і поширювати без обмежень.

Обрана мова програмування та бібліотеки ідеально підходять для реалізації розробленої методики та інформаційної системи. Вони дозволяють інтегрувати всі основні функції та системні вимоги, враховуючи при цьому особливості предметної області.

3.3 Опис функціональних можливостей інформаційної системи

Структура програми складається із декількох основних функціональних модулів, що показані на рисунку 2.8.

1. Модуль маршрутизації. Структура: генерація найкоротших маршрутів мурашиним алгоритмом на основі вхідних даних. Функціональне призначення: генерація оптимальних маршрутів для сміттевозів з метою мінімізації часу та витрат на вивіз сміття. Підтримка адаптивного підходу до вивозу, що дозволяє змінювати маршрути в реальному часі на основі зміни умов.

2. Модуль візуалізації. Структура: збір інформації заданих даних, обробка отриманих даних. Функціональне призначення: візуалізація заданого маршруту.

3. Диспетчерський модуль. Структура: застосунок або веб-інтерфейс для диспетчерів для взаємодії з системою. Можливість перегляду інформації про статус вивозу сміття, маршрути сміттевозів та інші важливі дані. Функції введення та збереження даних. Можливість введення нових замовлень на вивіз сміття. Збереження інформації про замовлення, включаючи адреси, обсяг сміття та часи вивозу. Управління маршрутами та ресурсами. Можливість перегляду та редагування маршрутів сміттевозів. Розподіл ресурсів, таких як сміттевози та водії, на основі поточних замовлень та потреб.

Ці програмні складові спільно працюють для забезпечення ефективного та оптимального вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму.

3.4 Проведення експериментів та дослідження роботи системи

При розробці способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом важливо враховувати ряд особливостей, що впливають на їх ефективність та функціональність.

Реал-тайм обробка даних. Система повинна забезпечувати швидку обробку та аналіз великого обсягу даних про маршрути сміттевозів у реальному часі, щоб оперативно реагувати на зміни у вивозі сміття.

Адаптивність до змін. Врахування можливості змін у маршрутах вивозу сміття через тимчасові обмеження, ремонти доріг або інші фактори, що можуть впливати на ефективність маршрутів.

Інтеграція з існуючими системами. Система повинна бути здатна інтегруватися з існуючими системами управління вивозом сміття та іншими системами муніципалітету чи комерційних підприємств для обміну даними та спільної роботи.

Відповідність нормативам та вимогам. Реалізація системи повинна відповідати законодавчим нормам та вимогам, що стосуються управління вивозом сміття, включаючи екологічні стандарти та вимоги до утилізації відходів.

Масштабованість. Система повинна бути готовою до масштабування, щоб забезпечити ефективну роботу навіть при збільшенні обсягу вивозу сміття та розширенні території обслуговування.

Користувацький інтерфейс. Важливо забезпечити зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів, зокрема диспетчерів, щоб спростити їхню роботу та забезпечити швидкий доступ до необхідної інформації.

Для дослідження коректності роботи способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом було розроблено також набір тестів. Ці тести дозволяють перевірити продуктивність алгоритму та самого застосунку за різних умов.

Опис кейсу 1: Перевірка функції входу для отримання доступу до вебзастосунку (див. рис. 3.5-3.6).

Таблиця 3.1 – Опис тест-кейсу 1

Тест-кейс №: 1	Пріоритет: 2	Створено: 10.05.2024, Білик В. І.
Назва: Перевірка функції входу		
Кроки		Очікуваний результат
1. Запустити веб-застосунок 2. Ввести дані користувача 3. Отримати доступ до функціоналу		Отримати доступ до функціоналу
Результат проходження тест-кейсу: успішний		

Розглянемо рисунки 3.5-3.6, на яких зображено сторінки виконання тест кейсу.

Вхід до аккаунту

Увійти

Рисунок 3.5 – Сторінка авторизації у вебзастосунку

Сторінка, на якій відбувається вхід у застосунок для доступу в застосунок.

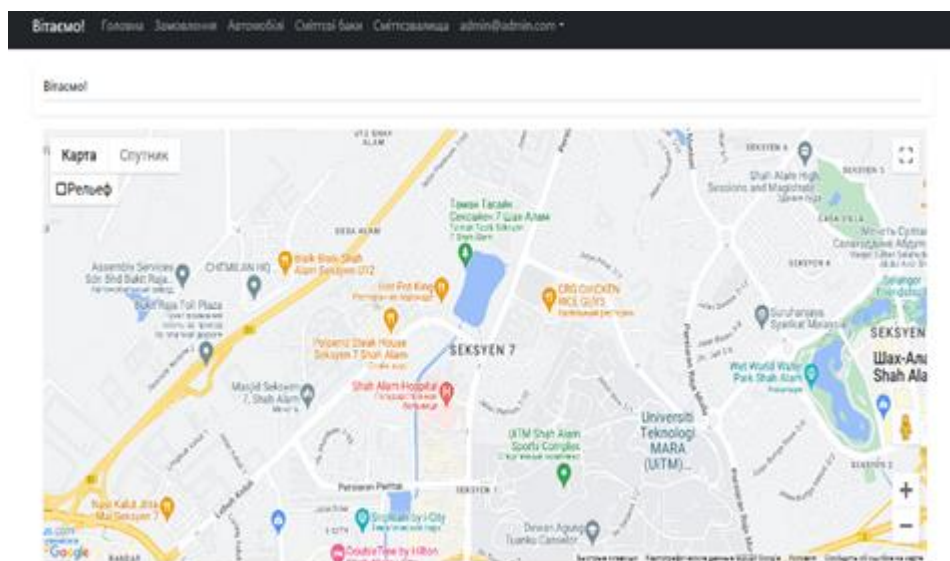


Рисунок 3.6 – Інтерфейс головної сторінки вебзастосунку

Головна сторінка, до якої користувач отримує доступ після успішного входу у свій профіль, містить у собі карту, на якій відображується місто та вкладки з усією інформацією.

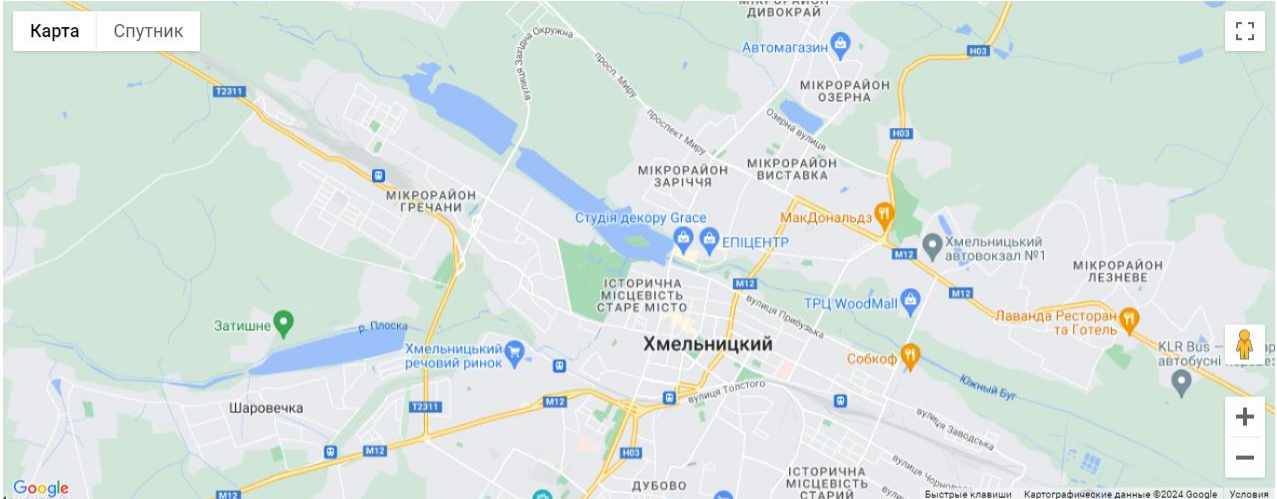
Опис кейсу 2: Перевірка функції створення замовлень (див. рис. 3.7-3.8).

Таблиця 3.2 – Опис тест-кейсу 2

Тест-кейс №: 2	Пріоритет: 1	Створено: 10.05.2024, Білик В. І.
Назва: Перевірка створення замовлень		
Кроки		Очікуваний результат
<ol style="list-style-type: none"> 1. Запустити веб-застосунок 2. Перейти на сторінку замовлень 3. Ввести дані замовлення 4. Зберегти результат 		Сформувані замовлення
Результат проходження тест-кейсу: успішний		

Вітаємо! Головна Замовлення Автомобілі Сміттєві баки Сміттєзвалища admin@admin.com

Заповніть форму



Please select at least two addresses to form a route.

Result initMap GPS Track

Total distance (km)
Дистанція

Назва замовлення

Автомобіль
(#1) Автомобіль BX4520IC (MAX: 100)

Сміттєві баки

Рисунок 3.7 – Сторінка створення замовлення

На сторінці для створення замовлення було проведений тест, коли користувач задає вхідні дані, а саме, вибирає автомобіль, сміттєзвалища та сміттєві баки і в результаті створюється маршрут та виводиться схема маршруту.

Список

10 entries per page Search:

#	Назва	ID екіпажа	Сміттєві бази	Сміттєзвалища	Ред.
1	Jalan Selangor,LF Landnew	1	25, Jalan Kristal 7/72, Seksyen 7, 40000 Shah Alam	22, Jalan Zirkon E7/E, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor; Jalan Kristal 7/70 Seksyen 7 40000 Shah Alam Selangor;	Ред. Перейти до замовлення
2	фывфыв	1	25, Jalan Kristal 7/72, Seksyen 7, 40000 Shah Alam 1, Jalan Turmalin 7/12, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor No: QG 43 & QG 45, Jalan Plumbum U 7/U, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor	22, Jalan Zirkon E7/E, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor; Jalan Kristal 7/70 Seksyen 7 40000 Shah Alam Selangor;	Ред. Перейти до замовлення
3	ваыва	1	25, Jalan Kristal 7/72, Seksyen 7, 40000 Shah Alam 1, Jalan Turmalin 7/12, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor No: QG 43 & QG 45, Jalan Plumbum U 7/U, Seksyen 7, 40000 Shah Alam, Selangor	;	Ред. Перейти до замовлення

Showing 1 to 3 of 3 entries

[Додати](#)

Рисунок 3.8 – Сторінка із замовленнями

На сторінці створення диспетчер вибирає зі списку номер машини, контейнерів та сміттєзвалищ, щоб сформувати маршрут. Після вибору натискає кнопку «створити», щоб відобразити маршрут на карті.

Опис кейсу 3: Перевірка взаємодії роботи з онлайн картою Google-Maps, перевірка ініціалізації мапи. Робота інтерфейсу для взаємодії з картою та зовнішніми наборами інформації для обробки методу.

Таблиця 3.3 – Опис тест-кейсу 3

Тест-кейс №: 3	Пріоритет: 1	Створено: 10.05.2024, Білик В.І.
Назва: Перевірка коректної взаємодії з google maps API		
Кроки		Очікуваний результат
1. Запустити клієнт веб-застосунку		Працюючий модуль візуалізації маршруту google maps
2. Ввести коректні дані для формування маршруту		
3. Перевірити коректність візуалізації		
Результат проходження тест-кейсу: успішний		

Результат тест-кейсу зображено на рисунку 3.9.

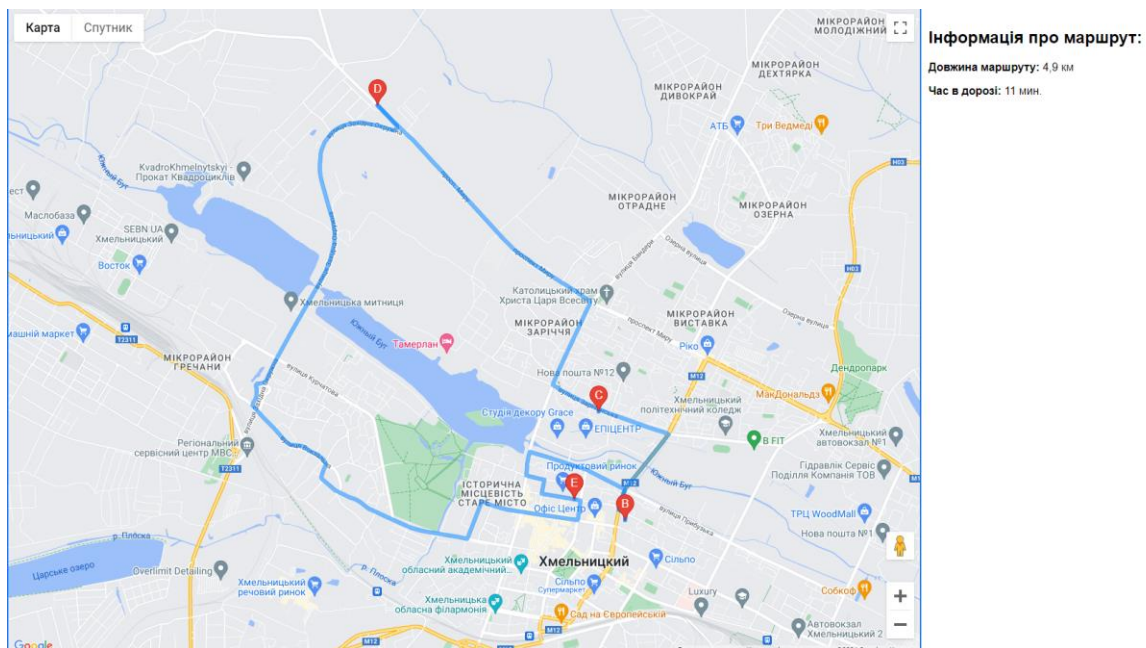


Рисунок 3.9 – Результат згенерованого маршруту за мурашиним алгоритмом

Оскільки функціонал працює, проведемо дослідження роботи методу за допомогою чотирьох експериментів з використанням даних, які описуються нижче.

Експеримент 1. Міський район із середньою щільністю населення

Таблиця 3.4 – Вхідні дані контейнерів експерименту 1

Номер контейнера	Наповненість контейнера, %
K1	50
K2	70
K5	30
K7	90
K9	80
K11	60
K15	100

K17	40
K20	50
K21	70

Таблиця 3.5 – Вхідні дані Сміттєзвалища експерименту 1

Номер сміттєзвалища	Корисний об'єм сміттєзвалища, т
C1	800
C2	750

Таблиця 3.6 – Вхідні дані машини експерименту 1

Номер машини	Вантажопідйомність, т	Поточне завантаження, %
VX4520IC	10	0
VX4781VX	8	0
VX4541CT	12	0

Таблиця 3.7 – Порівняння результату методів експерименту 1

Параметр	Мурашиний метод	Генетичний метод	Шаблонний метод
Час на виконання маршруту (год)	6	6.5	8
Витрати палива (л)	50	52	60
Довжина маршруту (км)	120	125	140

У таблиці 3.7 показано дані, які були задані за шаблоном і дані, які були розраховані генетичним та мурашиним алгоритмами. Збір результатів дозволяє

побачити точну різницю між методами, щоб зрозуміти, який із методів є ефективнішим.

Експеримент 2. Промислова зона

Таблиця 3.8 – Вхідні дані контейнерів експерименту 2

Номер контейнера	Наповненість контейнера, %
K11	40
K22	60
K15	80
K17	90
K20	50
K40	30
K12	70
K19	100
K23	60
K28	90

Таблиця 3.9 – Вхідні дані сміттєзвалищ експерименту 2

Номер сміттєзвалища	Корисний об'єм сміттєзвалища, т
C1	600
C2	700

Таблиця 3.10 – Вхідні дані техзасобів експерименту 2

Номер машини	Вантажопідйомність, т	Поточне завантаження, %
VX1010AB	15	0
VX9115BH	12	0
VX1540BC	10	0

Таблиця 3.11 – Порівняння результату методів експерименту 2

Параметр	Мурашиний метод	Генетичний метод	Шаблонний метод
Час на виконання маршруту (год)	7	7.5	9
Витрати палива (л)	55	57	65
Довжина маршруту (км)	130	135	150

Експеримент 3. Сільська місцевість

Таблиця 3.12 – Вхідні дані контейнерів експерименту 3

Номер контейнера	Наповненість контейнера, %
30	30
31	60
33	70
32	40
35	90
39	80
44	50
48	100
47	60

Таблиця 3.13 – Вхідні дані Сміттєзвалища експерименту 3

Номер сміттєзвалища	Корисний об'єм сміттєзвалища, т
C1	100
C2	950

Таблиця 3.14 – Вхідні дані техзасобів експерименту 3

Номер машини	Вантажопідйомність, т	Поточне завантаження. %
VX2720УУ	8	0
VX2421ВВ	6	0
VX1471ЕЕ	10	0

Таблиця 3.15 – Порівняння результату методів експерименту 3

Параметр	Мурашиний метод	Генетичний метод	Шаблонний метод
Час на виконання маршруту (год)	5	5.5	7
Витрати палива (л)	40	42	50
Довжина маршруту (км)	100	105	120

Експеримент 4. Центральна частина міста з високою щільністю населення

Таблиця 3.16 – Вхідні дані контейнерів експерименту 4

Номер контейнера	Наповненість контейнера, %
К41	50
К17	70
К25	60
К33	80
К48	90
К55	100
К10	40
К5	30

Таблиця 3.17 – Вхідні дані Сміттєзвалища експерименту 4

Номер сміттєзвалища	Корисний об'єм сміттєзвалища, т
C1	800
C2	600

Таблиця 3.18 – Вхідні дані машини експерименту 4

Номер машини	Вантажопідйомність, т	Поточне завантаження, %
VX45610TA	20	0
VX4341BI	18	0
VX45871AA	15	0

Таблиця 3.19 – Порівняння результату методів експерименту 4

Параметр	Мурашиний метод	Генетичний метод	Шаблонний метод
Час на виконання маршруту (год)	8	8.5	10
Витрати палива (л)	60	63	70
Довжина маршруту (км)	140	147	160

В результаті тестування та експериментів було створено набір тестів для перевірки системи та експерименти з вхідними даними. За допомогою методу організації вивозу сміття на основі мурашиного алгоритму виконано успішну перевірку цих тестів, які підтверджують функціональну ефективність методу.

Перевірено взаємодію із зовнішніми інтерфейсами за допомогою онлайн-карт Google-Maps, перевірено ініціалізацію карт.

3.5 Аналіз результатів досліджень та ефективності застосованого способу для вивозу сміття

Даний розділ аналізує ефективність методу організації вивозу сміття з використанням мурашиного алгоритму. Результати досліджень надають важливу інформацію про те, як система організації вивозу сміття відповідає потребам користувачів і досягає своїх цілей. Для оцінки ефективності запропонованого способу вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму було розроблено детальну схему досліджень. Вона включала наступні етапи.

Вибір вхідних даних: були обрані три набори даних, які включають номер контейнерів, їх наповненість, сміттєзвалищ, їх наповненість та інформацію про наявні машини для вивозу сміття.

Алгоритм обробки результатів: кожен набір даних оброблявся за допомогою мурашиного алгоритму (ACS) та генетичного алгоритму (GA), використовуваного в готовому програмному рішенні TruckRouter. Результати обробки включали час обслуговування, відстань маршрутів, витрати на паливо.

Порівняльний аналіз: отримані результати були порівняні за допомогою статистичних таблиць та діаграм.

Експеримент 1

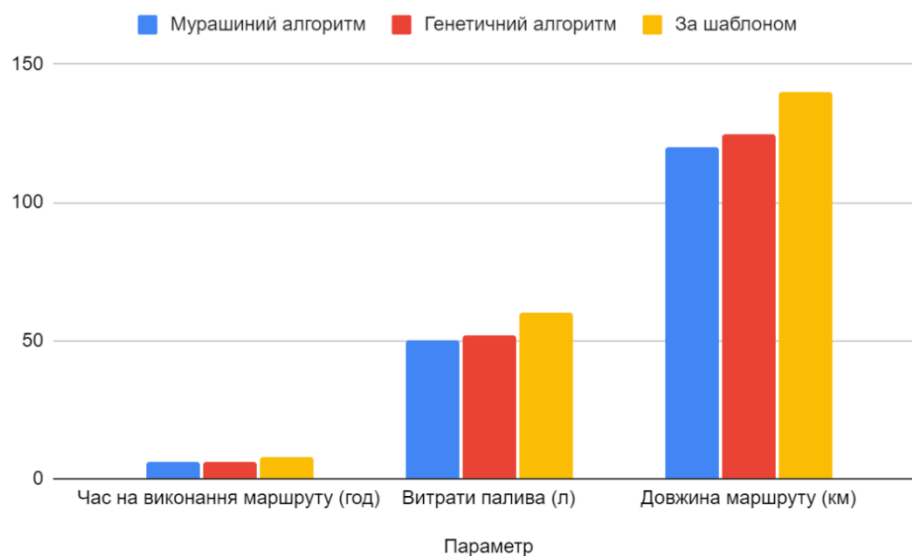


Рисунок 3.10 – Діаграма результатів алгоритмів експерименту 1

Цей експеримент проводився у міському районі зі середньою щільністю населення, який складається з багатоповерхових житлових будинків та кількох великих комерційних об'єктів. Густота контейнерів в даній локації є доволі велика що збільшує навантаження на сміттєвивізну інфраструктуру.

Діаграма ілюструє витрати ресурсів під час використання різних методів у експерименті 1. Мурашиний алгоритм показав скорочення часу виконання маршруту на 25% у порівнянні з шаблонним методом, витрати палива зменшилися на 16.67%, а довжина маршруту була скорочена на 14.29%. Якщо порівняти з генетичним алгоритмом, то мурашиний алгоритм скоротив час на 7.69%, витрати палива на 3.85% та довжину маршруту на 4% (див. рис. 3.11).

Для детального порівняння розглянемо графік експерименту 1.

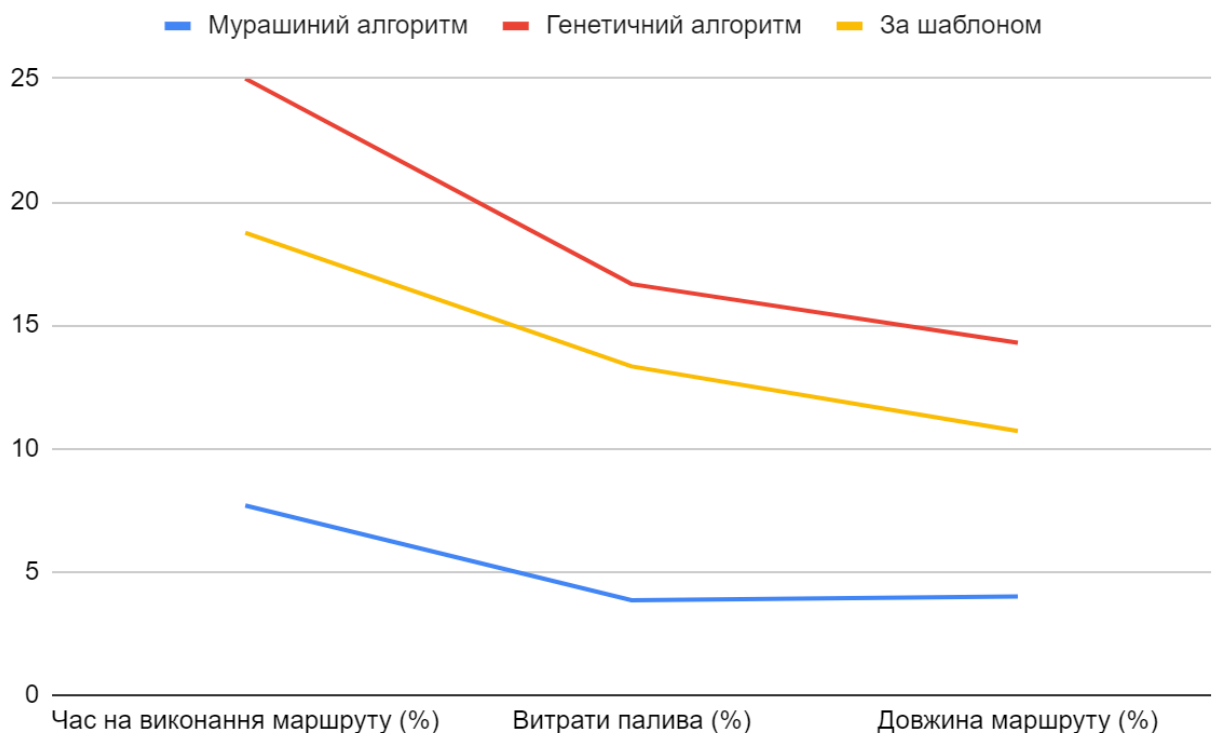


Рисунок 3.11 – Графік порівняння витрат ресурсів між алгоритмами під час експерименту 1

Як можна зауважити із рисунку, генетичний алгоритм та мурашиний по ефективності мають невелику різницю. Порівняння з шаблонним методом, який відрізняється в десятки відсотків, свідчить про те, що заданий за замовчуванням

шаблонний метод задавався без мети економії ресурсів, а лише для чіткого виконання завдання.

Експеримент 2

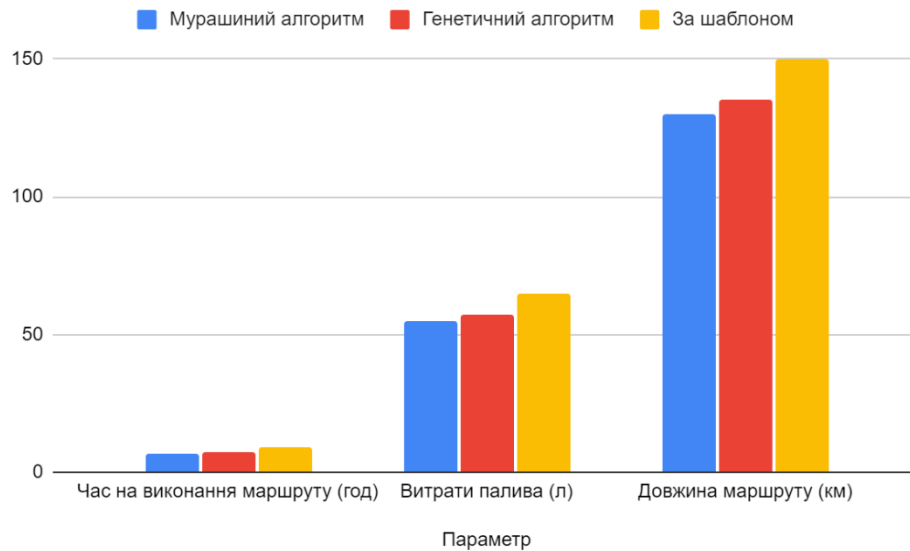


Рисунок 3.12 – Діаграма результатів алгоритмів експерименту 2

Цей експеримент проводився в промисловій зоні, де розташовано багато підприємств, що генерують значну кількість сміття. Така локація характеризується високим навантаженням на сміттєвिवізну інфраструктуру та великою кількістю відходів. Мурашиний алгоритм скоротив час виконання маршруту на 22.22%, витрати палива на 15.38%, а довжину маршруту на 13.33% у порівнянні з традиційним (шаблонним) методом. У порівнянні з генетичним алгоритмом, мурашиний алгоритм скоротив час на 6.67%, витрати палива на 3.51% та довжину маршруту на 3.85% (див. рис. 3.13).

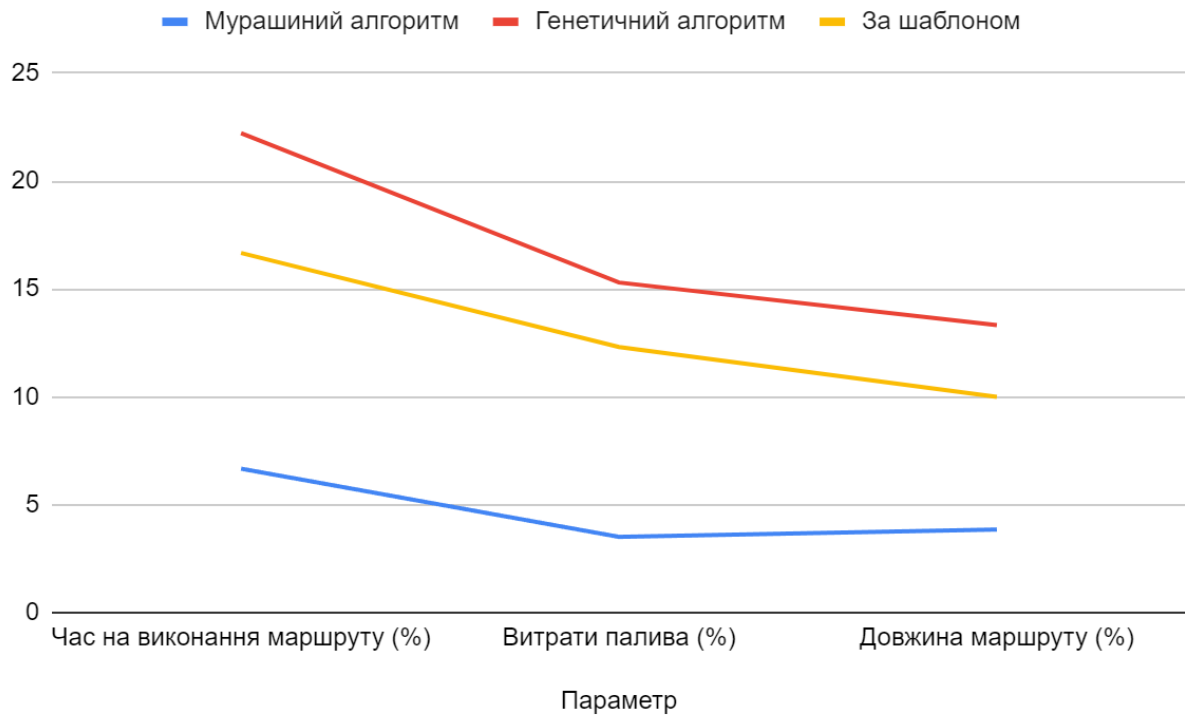


Рисунок 3.13 – Графік порівняння витрат ресурсів між алгоритмами під час експерименту 2

При збільшені початкових вхідних даних різниця між методами все така ж, а шаблонний метод залишається гіршим.

Експеримент 3

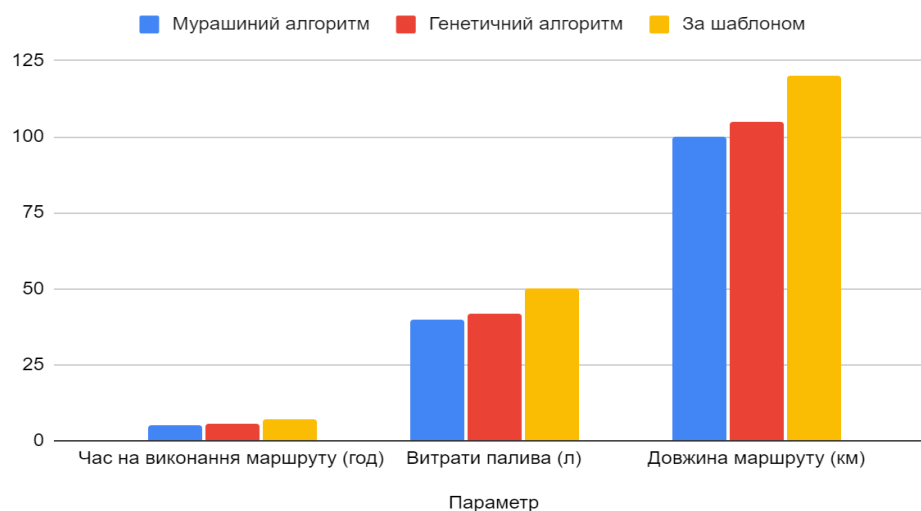


Рисунок 3.14 - Діаграма результатів алгоритмів експерименту 3

Експеримент 3 проводився у сільській місцевості, де забудова менш щільна, а відстані між контейнерами значно більші. Умови експерименту були спрямовані на оцінку ефективності алгоритмів у таких розподілених середовищах.

Мурашиний алгоритм зменшив час виконання маршруту на 28.57%, витрати палива на 20%, а довжину маршруту на 16.67% у порівнянні з традиційним методом. У порівнянні з генетичним алгоритмом, мурашиний алгоритм скоротив час на 9.09%, витрати палива на 4.76% та довжину маршруту на 4.76%% (див. рис. 3.15).

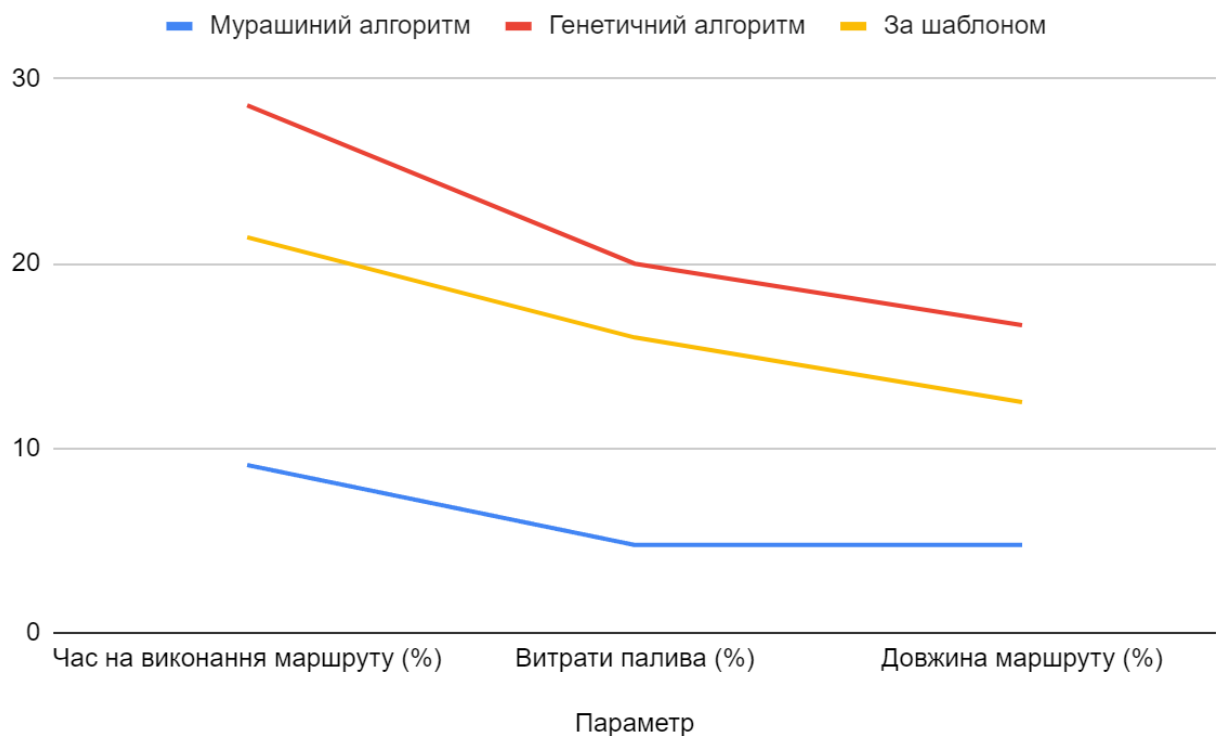


Рисунок 3.15 – Графік порівняння витрат ресурсів між алгоритмами під час експерименту 3

Розглянемо останній варіант експерименту.

Експеримент 4

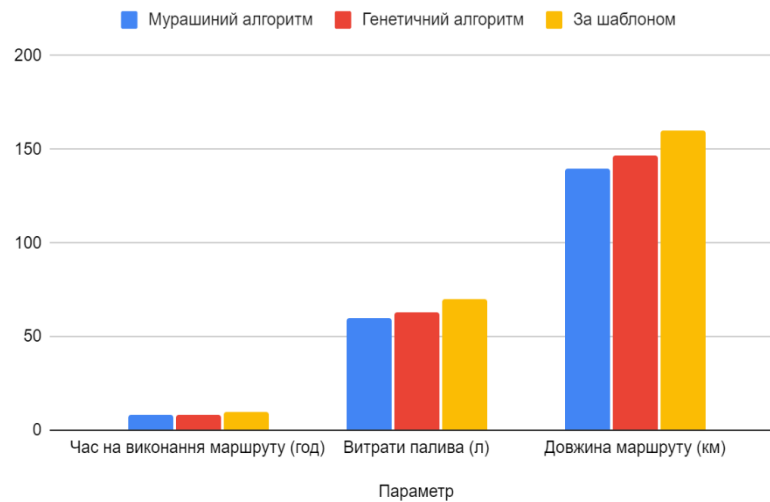


Рисунок 3.16 - Діаграма результатів алгоритмів експерименту 4

Цей експеримент проводився у центральній частині міста, де густота населення є дуже високою, а кількість сміття значна. Мурашиний алгоритм скоротив час виконання маршруту на 20%, витрати палива на 14.29%, а загальну протяжність маршруту на 12.5% у порівнянні з традиційним методом. У порівнянні з генетичним алгоритмом, мурашиний алгоритм скоротив час на 5.88%, витрати палива на 4.76% та довжину маршруту на 4.76% (див. рис. 3.17).

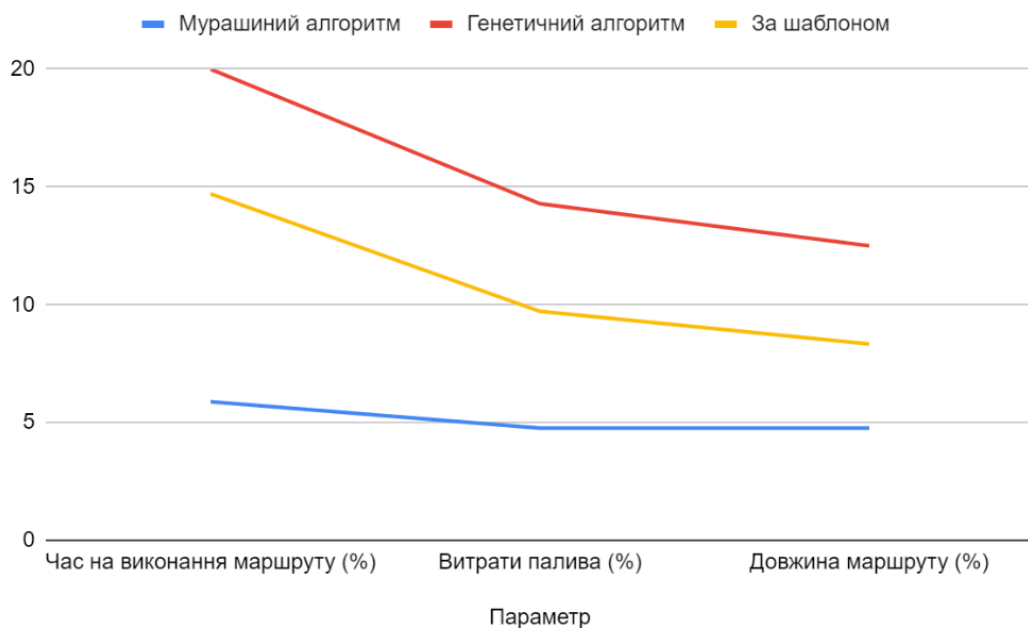


Рисунок 3.17 – Графік порівняння витрат ресурсів між алгоритмами під час експерименту 4

Зауважимо, що результати усіх експериментів майже не відрізняються при зменшенні обчислювальної інформації та її збільшенні. Спосіб за мурашиним алгоритмом має найбільшу ефективність в порівнянні з генетичним алгоритмом та шаблонним методом.

Проведемо аналіз функцій систем.

Таблиця 3.20 – Порівняння функцій систем

Функція	Мурашиний алгоритм (ACS)	TruckRouter генетичний алгоритм (GA)
Оптимізація маршрутів	Так	Так
Мінімізація витрат на паливо	Так	Так
Урахування наповненості контейнерів	Так	Так
Динамічне планування	Так	Ні

Таблиця 3.20 показує порівняння функцій систем, що використовують різні алгоритми. Мурашиний алгоритм (ACS) забезпечує динамічне планування, яке відсутнє в TruckRouter за генетичним алгоритмом (GA).

Дослідження показали, що мурашиний алгоритм найефективніше оптимізує процес вивозу сміття, зменшуючи час виконання маршруту, витрати палива, довжину маршруту. Генетичний алгоритм також показує значне покращення, хоча і трохи поступається мурашиному алгоритму. Шаблонний метод значно відстає від обох сучасних підходів.

3.6 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було описано програмну реалізацію системи управління вивозом сміття із застосуванням мурашиного алгоритму. Для тестування

вебзастосунок був створений користувач з правами доступу до системи з метою перевірки функціональності та взаємодії з різними модулями. Був підготовлений набір тестових даних, який включав різноманітні сценарії, що охоплювали різні аспекти роботи системи, зокрема маршрутизацію, розподіл завдань між сміттєвозами та оптимізацію витрат на пальне. Тестовий користувач мав можливість взаємодіяти з системою, вводючи дані про наповненість контейнерів, розташування сміттєзвалищ та інші ключові параметри. Ці дані використовувалися для перевірки коректності роботи алгоритмів та їхньої здатності оптимізувати маршрути вивозу сміття. Крім мурашиного алгоритму, для порівняння ефективності був також використаний генетичний алгоритм, що дало можливість оцінити переваги та недоліки кожного підходу.

За результатами проведених експериментів зроблено порівняльний аналіз між мурашиним, генетичним та шаблонними алгоритмами. Для кожного алгоритму було проведено по чотири експерименти з однаковими вхідними даними, що дозволило отримати об'єктивні результати щодо їхньої ефективності. Результати показали, що мурашиний алгоритм загалом забезпечує кращу оптимізацію маршрутів, зменшуючи час обслуговування та витрати на пальне порівняно з генетичним алгоритмом.

Кожен етап тестування був завершений успішно, а кожен модуль системи продемонстрував здатність виконувати свої функції. Результати тестування підтвердили відповідність розрахунків, що свідчить про ефективність запропонованого методу. Хоча обидва алгоритми дозволяють оптимізувати маршрути вивозу сміття, підходи до оптимізації можуть дещо відрізнятися в залежності від специфічних умов та параметрів задачі.

Отримані результати рекомендується використовувати як довідкові для подальшого аналізу та коригування методів оптимізації в системах управління вивозом сміття. Це дозволить не лише підвищити ефективність роботи спецкомунтрансу, але й забезпечити більш раціональне використання ресурсів та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Загальні висновки

Кваліфікаційна робота бакалавра вирішує задачу збільшення ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. В роботі проведено аналіз сучасних методів організації вивозу сміття, розроблено спосіб вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму, інтегровано його у систему управління спецкомунтрансу та проведено експериментальне тестування для оцінки ефективності методу. Вхідні дані дають можливість повного опису предметної області, а саме: облік та наповненість контейнерів для сміття, маршрути руху транспортних засобів, множини транспортних засобів та точок доставки, взаємодія з диспетчерськими службами тощо. Під час виконання роботи було вивчено готові рішення для організації вивозу сміття. В ході аналізу наявних рішень ретельно досліджено різні програми та застосунки, приділяючи увагу їх перевагам та недолікам.

В загальному, виконані наступні завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.

1. Проведено аналіз предметної області та відомих підходів до автоматизації організації вивозу сміття. Проведено огляд наукових робіт і практичних досліджень, що стосуються способів організації вивозу сміття та їх ефективності.

2. Розроблено спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

3. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого складання плану вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

4. Спроектовано функціональну та інформаційну структуру інформаційної системи вивозу сміття для спецкомунтрансу.

5. Розроблено програмну реалізацію способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

6. Проведено функціональне та прикладне дослідження запропонованого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

В результаті використання запропонованого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом були отримані позитивні результати, що підтверджують його ефективність і корисність. Порівнюючи з відомими рішеннями, такими як метод генетичного алгоритму і метод шаблонів, виявлено, що розроблений у кваліфікаційній роботі спосіб ефективніший для різних вхідних даних в середньому на 5%.

Збільшення ефективності вивозу сміття отримуємо завдяки особливості функціонування розробленого способу організації за мурашиним алгоритмом.

Таким чином, дана робота підтверджує актуальність і практичну цінність розробки способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Результати застосування способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом демонструють його переваги порівняно з відомими рішеннями і відкривають перспективи для вдосконалення та використання у комунальній сфері.

Перелік посилань

1. Greenpost. URL: <https://greenpost.ua/blogs/nebezpechni-vidhody-yak-odyn-z-vyklykiv-dlya-ekologichnoyi-krytychnoyi-infrastruktury-i52125>
2. Britannica URL: <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>
3. Mepr URL: <https://mepr.gov.ua>
4. skt Спецкомунтранс URL: <https://skt.km.ua>
5. Undp GEF Transitioning to a Circular Economy Through Chemical and Waste Management URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-03/UNDP-GEF-Transitioning-to-a-Circular-Economy-Through-Chemical-and-Waste-Management.pdf>
6. Scholarpedia URL: http://scholarpedia.org/article/K-nearest_neighbor
7. Citeseerx, Branch and Bound Methods URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2bf1aef9c02aedf869241f84d7c7250f1c3e5311>
8. Ieeexplore Ant colony optimization URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4129846>
9. Arkadi Nemirovski, Introduction To Linear Optimization Arkadi Nemirovski 2024 C 648
10. Амір Гандомі, Амір Алаві "Посібник із застосування генетичного програмування" (2018)
11. Ерік Фріман, Елізабет Робсон Створення розширюваного та підтримуваного об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення" (2-е видання) (2020)
12. Tsan-Ming Choi and Xian Zhou **Queueing Theory for Service Optimization and Integration** 2021 C310
13. Sarbjeet Singh, Alberto Martinetti, Arnab Majumdar, Leo A. M. van Dongen, **Transportation Systems** 2019 C221

14. Ravindra K. Dhir, Moray D. Newlands, Judith L. Summers, and John W. R. McDougall, Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies, 2020
15. Ustundag A, Cevikcan E. Vehicle Routing Optimization for an Integrated Waste Collection System using RFID, World Scientific Publishing
16. Бельтрамі Е.Й., Бодін Л.Д. Мережі та транспортні маршрути для збирання побутових відходів. мережі.
17. Ронен Р., Келлерман А., Лапідот М. Покращення системи збору твердих відходів С 133-144
18. Баугіста Дж., Перейра Дж. Мурашині алгоритми для маршрутизації збору міських відходів. Оптимізація мурашиної колонії та розвідка роїв, матеріали
19. Nordsense URL: <https://nordsense.com/the-ultimate-guide-to-smart-waste-management/>
20. Boell URL: <https://ua.boell.org/uk/2019/03/05/ekologichni-problemi-i-svidoma-povedinka-shcho-znayut-zhitelki-i-zhiteli-kiieva>
21. Thebasestation URL: <https://www.thebasestation.com/post/what-is-gps-tracking-how-does-it-work-in-waste-management>
22. Emerson URL: <https://www.emerson.com/en-us/automation/control-and-safety-systems/programmable-automation-control-systems>
23. Evreka URL: <https://evreka.co/solutions/fill-level-sensor/>
24. Amcsgroup URL: <https://www.amcsgroup.com/solutions/amcs-platform/>
25. Routeware URL: <https://routeware.com>
26. Rubicon URL: <https://www.rubicon.com/>
27. Waste Management URL: <https://www.wm.com/>
28. Safetyculture URL: <https://safetyculture.com>
29. Wasteaccountant URL: <https://www.wasteaccountant.com>
30. Track your truck URL: <https://www.trackyourtruck.com>
31. Kyiv Київкомунсервіс <https://kks.kyiv.ua>
32. Marco Dorigo and Thomas Stützle, Ant Colony Optimization: Theory and Applications c319

33. Geeksforgeeks URL: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-ant-colony-optimization/>
34. Phan Nguyen Ky Phuc, Nguyen Le Phuong Thao Ant Colony Optimization for Multiple Pickup and Multiple Delivery Vehicle Routing Problem with Time Window and Heterogeneous Fleets 2021 URL:<https://www.mdpi.com/2305-6290/5/2/28>
35. Xiangfang Yan; Wei Li; Ying Huang; Soroosh Mahmoodi, Max-Min Ant System with Adaptive Parameters for Multi-objective Optimization, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9701692>
36. Mdpi URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/11219>
37. Sciencedirect URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025511001410> C 204-212
38. Amazon Python URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/python/>
39. Iies URL: <https://iies.in/blog/10-key-features-python-programming-language-2023/>
40. Pythongeeks URL: <https://pythongeeks.org/features-of-python-django-framework/>
41. An Overview of Ant Colony Optimization Algorithms for Dynamic Optimization Problems (IntechOpen, 2023)
42. Minimizing Solid Waste Collection Routes Using Ant Colony Algorithm: A Case Study in Gaziantep District (ResearchGate, 2021)
43. Dynamic Route Optimization for Waste Collection and Monitoring in Smart Cities Using Ant Colony Optimization (IEEE, 2021)
44. Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances (Springer, 2020)
45. Artificial Intelligence for Waste Management in Smart Cities: A Review (Springer, 2023)
46. Smart Waste Management 4.0: The Transition from a Systematic Review to Real-World Applications (ScienceDirect, 2022)

ДОДАТКИ

Додаток А

Фрагмент програмного коду реалізації способу

Реалізація мурашиного алгоритму

```
def aco_algorithm_epochs2(G, start_node, end_node, num_ants, num_epochs,
num_iterations, alpha, beta, evaporation_rate, q):

    if start_node not in G.nodes:
        raise ValueError(f"Start node {start_node} is not in the graph.")
    if end_node not in G.nodes:
        raise ValueError(f"End node {end_node} is not in the graph.")

    for u, v, key, data in G.edges(keys=True, data=True):
        data['pheromone'] = 1

    best_path = None
    best_cost = float('inf')
    for epoch in range(num_epochs):

        ant_positions = [start_node] * num_ants
        epoch_best_path = None
        epoch_best_cost = float('inf')

        for iteration in range(num_iterations):

            for ant in range(num_ants):
                current_node = ant_positions[ant]
                candidate_nodes = list(G[current_node])
                candidate_pheromones = [G[current_node][next_node][0].get('pheromone',
1) for next_node in candidate_nodes]
                candidate_probabilities = [pheromone ** alpha * (1 /
G[current_node][next_node][0].get('length', 1)) ** beta for pheromone, next_node in
zip(candidate_pheromones, candidate_nodes)]
                total_probability = sum(candidate_probabilities)
                candidate_probabilities = [probability / total_probability for probability in
candidate_probabilities]
                next_node = np.random.choice(candidate_nodes, p=candidate_probabilities)
                ant_positions[ant] = next_node
```

```

    path = []
    cost = 0
    for ant in range(num_ants):
        ant_path = nx.shortest_path(G, start_node, ant_positions[ant],
weight='length')
        ant_cost = nx.shortest_path_length(G, start_node, ant_positions[ant],
weight='length')
        path.append(ant_path)
        cost += ant_cost

        for u, v in zip(ant_path, ant_path[1:]):
            data = G[u][v][0]
            data['pheromone'] = (1 - evaporation_rate) * data.get('pheromone', 1) + q /
ant_cost

    if cost < epoch_best_cost:
        epoch_best_path = path
        epoch_best_cost = cost

    # Check if the epoch best path is better than the global best path
    if epoch_best_cost < best_cost:
        best_path = epoch_best_path
        best_cost = epoch_best_cost
        print(f"Epoch {epoch}: new best path found with cost {best_cost}")

    return best_path, best_cost

```

Перевірка графа

```

origin= 1802371163
location= 256821511
start_node = origin
end_node = location

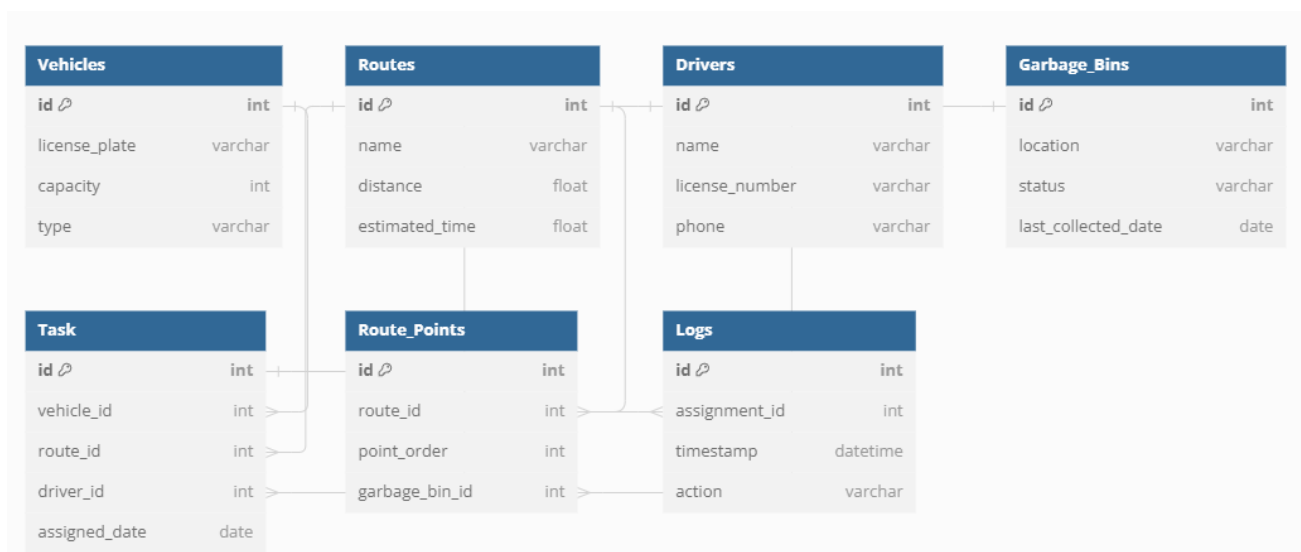
num_iterations=4
num_ants=50
num_epochs=10
alpha=0.3
beta=2
evaporation_rate=0.3

```

q=0.5

Додаток Б

Інфологічна модель бази даних



Додаток В

Презентаційний матеріал

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом

ВИКОНАВ:

СТУДЕНТ 4 КУРСУ, ГРУПИ КН-20-1

БІЛИК ВОЛОДИМИР ІГОРОВИЧ

КЕРІВНИК:

К.ФІЗ.-МАТ.Н., ДОЦЕНТ КАФЕДРИ КН

МІХАЛЕВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ЦЕЗАРІЙОВИЧ

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Актуальність та мета роботи

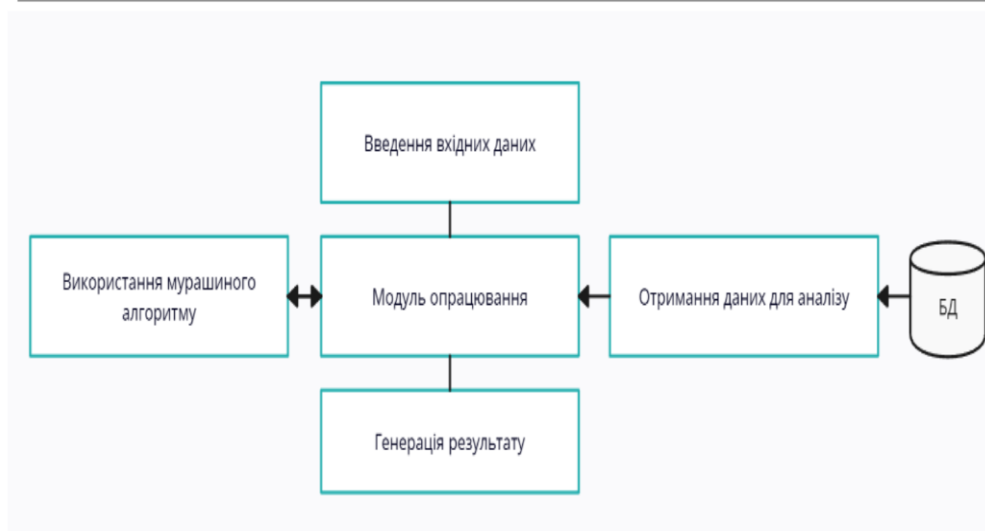
Організація вивозу сміття є ключовою проблемою для міських комунальних служб. Ефективність цієї роботи безпосередньо впливає на екологічний стан міста, здоров'я мешканців та загальний рівень комфорту проживання. Традиційні методи, що базуються на фіксованих маршрутах, часто не забезпечують оптимального використання ресурсів і можуть призводити до затримок, перевантаження транспорту та нерационального використання палива. У цьому контексті застосування мурашиних алгоритмів стає перспективним підходом для покращення системи управління спецкомунтрансом.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у збільшенні ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра.

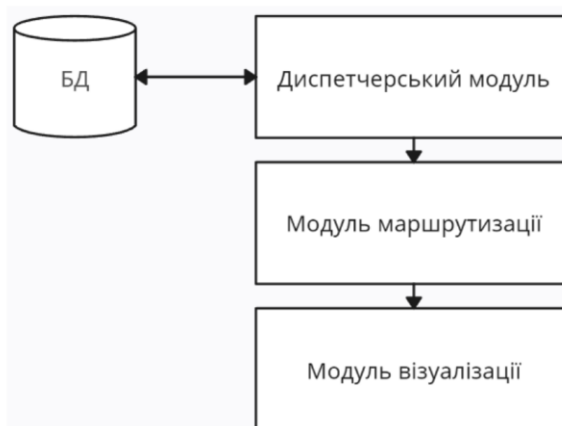
1. Провести аналіз предметної області та відомих підходів до автоматизації організації вивозу сміття. Провести огляд наукових робіт і практичних досліджень, що стосуються способів організації вивозу сміття та їх ефективності.
2. Розробити спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.
3. Розробити інформаційну технологію автоматизованого складання плану вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.
4. Спроекувати функціональну та інформаційну структуру інформаційної системи вивозу сміття для спецкомунтрансу.
5. Розробити програмну реалізацію способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.
6. Провести функціональне та прикладне дослідження запропонованого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Інформаційна схема моделі організації вивозу сміття



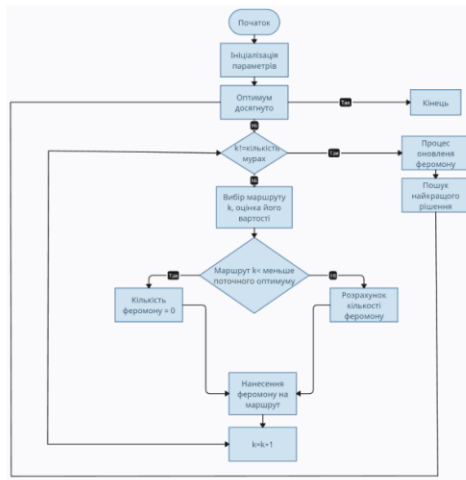
Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Схема взаємодії модулів системи



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Мурашиний алгоритм



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Алгоритм пошуку оптимального маршруту



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Схема взаємодії диспетчера та оператора із застосунком



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Експеримент №1

$K = \{(1,50), (2,30), (3,45), (4,20), (5,60), (6,35), (7,25), (8,40), (9,50), (10,30)\}$

$A = \{XM4520IC, XM1050AB\}$

$C = \{(1,50), (2,75)\}$

Таблиця 3.1 – Вхідні дані контейнерів

Номер контейнера	Заповненість контейнера
1	50
2	30
3	45
4	20
5	60
6	35
7	25
8	40
9	50
10	30

Таблиця 3.2 – Вхідні дані Сміттєзвалища

Номер сміттєзвалища	Заповненість сміттєзвалища(%)
1	50
2	75

Таблиця 3.3 – Вхідні дані машини

Номер машини	Ємність	Поточне завантаження
XM4520IC	200	0
XM1050AB	200	0

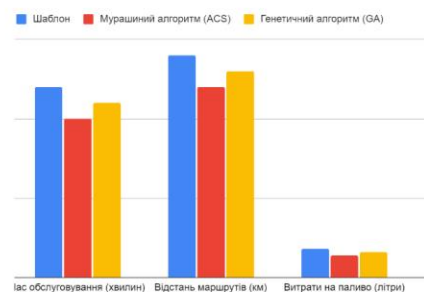
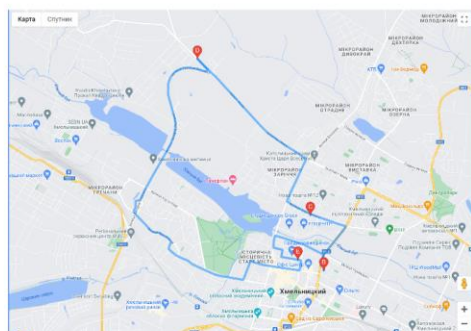
Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Результати експерименту №1

Маршрут за шаблоном : K0 – K1 – K2 – K3 – K4 – K5 – K6 – C1; 240хв; 280км; 36л;

Маршрут за мурашиним алгоритмом : K1 – K2 – K5 – K6 – K9 – C2; 200хв; 240км; 28л;

Маршрут за генетичним алгоритмом : K2 – K5 – K1 – K6 – K9 – C1; 220хв; 260км; 32л;



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Дослідження ефективності

Проводилися експерименти на одних і тих же даних для розробленого способу на основі мурашиного алгоритму методу з використанням генетичного алгоритму та методу шаблонів результати візуалізовано у вигляді діаграм та графіків. Оцінка ефективності проводилася за формулами що наведено нижче

$$E = \alpha \frac{Tg - T_a}{Tg} + \beta \frac{Dg - D_a}{Dg} + \gamma \frac{Fg - F_a}{Fg}$$

$$E = \alpha \frac{T_a - \frac{Tg + T_s}{2}}{T_a} + \beta \frac{D_a - \frac{Dg + D_s}{2}}{D_a} + \gamma \frac{F_a - \frac{Fg + F_s}{2}}{F_a};$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1;$$

Висновки

Кваліфікаційна робота бакалавра вирішує задачу організації вивозу сміття за використанням мурашиного алгоритму для побудови шляху. Проведено аналіз предметної області, розроблено метод організації вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму, розроблено інформаційну технологію, спроектовано функціональну та інформаційну структуру інформаційної системи, розроблено програмну реалізацію методу, проведено функціональне та прикладне дослідження.

В результаті використання запропонованого методу організації вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму було отримано позитивні результати, що підтверджують його ефективність і корисність. Порівнюючи з відомими рішеннями, такими як генетичні алгоритми, виявлено, що розроблений у кваліфікаційній роботі метод ефективніший для різних періодів і вхідних даних в середньому на 8,975%.

Таким чином, дана робота підтверджує актуальність і практичну цінність розробки методу оптимізації для керування процесом вивозу сміття. Результати застосування мурашиного алгоритму демонструють його переваги порівняно з відомими рішеннями і відкривають перспективи для вдосконалення та використання у сфері управління спецкомунтрансом.

Дякую за увагу!

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 10%**

ID: 130468 Назва: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА на тему Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом Додано в БД: 2024-06-14 Автора: Володимир БЛИК Керівники: Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	73880	1121	4519 (6%)	68 (6%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми



Ім'я користувача:
Кафедра КН

Дата перевірки:
14.06.2024 12:38:59 EEST

Дата звіту:
14.06.2024 13:28:28 EEST

ID перевірки:
1016360047

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005671

Назва документа: КН-20-1_Білик_ЗАПИСКА

Кількість сторінок: 76 Кількість слів: 12357 Кількість символів: 97658 Розмір файлу: 2.38 MB ID файлу: 1016164770

11.5% Схожість

Найбільша схожість: 4.56% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1016144298)

7.95% Джерела з Інтернету

728

Сторінка 78

7.62% Джерела з Бібліотеки

152

Сторінка 82

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

10

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом

Автор: студент групи КН-20-1 Білик Володимир Ігорович

Спеціальність: 122 – Комп'ютерні науки

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: к.фіз.-мат.н., доц. Міхалевський В.Ц.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі Білика В.І., не є плагіатом, оскільки: запозичення розміщені в розділі огляду існуючих підходів, не описують безпосередньо авторську роботу і не стосуються її результатів; усі запозичення фрагментарні; до запозичень входять фрагменти, що не мають авторства і містять поширені конструкції; серед запозичень знаходяться загальновідомі терміни та скорочення.

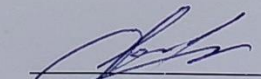
Обсяг запозичень, визначений системами виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає:

- за системою Anti-Plagiarism: 3%;

- за системою Unichек: 11,5%.

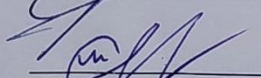
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 3% і 11,5% відповідно, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



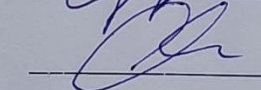
Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

Гарант ОП



Олександр МАЗУРЕЦЬ

Завідувач кафедри КН



Олександр БАРМАК



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МОН УКРАЇНИ

Кафедра комп'ютерних наук



РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента *гр. КН-20-1 Білика Володимира Ігоровича*

за темою: *Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом*

1. Актуальність обраної теми

В кваліфікаційній роботі бакалавра був розроблений спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Тема роботи є актуальною на даний час, актуальність детально обґрунтована дослідженнями процесів управління вивозом сміття, що є критичним для підтримання екологічної безпеки та ефективності міської інфраструктури. Зростання міського населення і збільшення обсягів відходів створюють потребу в нових технологіях та методах оптимізації маршрутів сміттевозів, які забезпечують зменшення витрат на паливо та часу на виконання завдань. Особливу актуальність ця тема набуває в контексті забезпечення екологічної стійкості міського середовища. В умовах сучасних урбаністичних викликів, таких як інтенсивний розвиток міст і зростання обсягів побутових відходів, розробка ефективних алгоритмів для оптимізації процесів вивозу сміття стає необхідністю. Запропонований метод організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом відкриває нові можливості для вдосконалення систем управління спецкомунтрансом, забезпечуючи надійність і ефективність операцій навіть в умовах непередбачуваних змін та завад.

2. Повнота розкриття мети та завдань роботи

Завдання дослідження повністю розкривають мету роботи. Розроблено новий спосіб організації вивозу сміття за допомогою мурашиного алгоритму, що дозволяє значно підвищити ефективність цього процесу. Спроектовано інформаційну модель організації вивозу сміття, яка забезпечує найбільш раціональний розподіл ресурсів і мінімізацію витрат.

Спроектовано функціональну структуру інформаційної системи переміщення між пунктами (контейнерами та сміттєзвалищами), розроблено програмну реалізацію запропонованого способу вивозу сміття з побудовою найкоротшого шляху, проведено функціональне і прикладне дослідження розробленого способу, проведено порівняння ефективності запропонованого способу вивезення сміття з іншими відомими способами.

3. Зміст кожного розділу роботи

В першому розділі проаналізовано предметну область та сформульовано постановку задачі на розробку способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. Розглянуто основні теорії та методи вивозу сміття.

В другому розділі було докладно розглянуто процес оптимізації вивозу сміття на основі мурашиного алгоритму, розроблено схему алгоритму пошуку оптимального маршруту та спроектовано інформаційну модель організації вивозу сміття

В третьому розділі розглянуто особливості реалізації розробленого способу та визначено засоби для його розробки. Проведено експерименти для перевірки ефективності роботи способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом, описано функціональні можливості інформаційної системи.

4. Оцінка розробленої інформаційної системи, її практична цінність

Інформаційна система повністю розроблена відповідно до визначених завдань. Вона базується на запропонованій інформаційній моделі та використовує запропонований спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом.

Практична цінність розробленої інформаційної системи полягає у можливості її реального застосування для вирішення завдань. За результатами проведених експериментів отримано, що ефективність застосування системи на основі способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом складає в середньому 5 %.

5. Якість оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра оформлена відповідно до норм. Мовних, граматичних, синтаксичних помилок не виявлено.

6. Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

Явних недоліків в роботі не виявлено. Можна було б провести узагальнення роботи способу шляхом розширення діапазону апаратно-технічних засобів, урізноманітнення типів пунктів збору сміття (контейнерів), пунктів прийому (сміттєзвалищ) та удосконалення інтерфейсу користувача.

7. Загальний висновок (допускається чи не допускається до захисту), та оцінка на яку заслуговує кваліфікаційна робота.

Враховуючи рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту.

Рекомендована оцінка « добре ».

Рецензент

доц. каф. ІТІЗ Савченко О.М.



**ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МОН УКРАЇНИ**

Кафедра комп'ютерних наук



**ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА
на кваліфікаційну роботу бакалавра**

студента *гр. КН-20-1 Білика Володимира Ігоровича*

за темою *Спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом*

1. Актуальність теми

Актуальним завданням, яке потребує аналізу і досліджується у даній роботі, є визначення способів організації вивозу сміття у населених пунктах. Процеси оптимального вивозу побутових відходів актуальними були завжди, а в сьогоднішніх умовах війни додаються різні фактичні та прогнозовані ризики (перебої з електроживленням, здорожчання пального, закриття деяких маршрутів тощо) у комунальній сфері. Для ефективного використання автоматизованих систем необхідно передбачити застосування програмного модуля, який би дозволяв формувати рекомендації з побудови оптимального маршруту для перевезення сміття для системи управління спецкомунтрансом. Розробка такого способу вивозу сміття є актуальною задачею комп'ютерних наук.

2. Відповідність роботи предметній області Стандарту спеціальності 122 Комп'ютерні науки

За стандартом, а саме описом предметної області, об'єктами вивчення та діяльності є математичні, інформаційні, імітаційні моделі реальних явищ, об'єктів, систем і процесів та методи і технології отримання, зберігання, обробки, передачі та використання інформації. Метою роботи є збільшення ефективності вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом та розробка відповідного способу. При вирішенні поставленої задачі використано способи та алгоритми розв'язання теоретичних і прикладних задач, що виникають при розробці інформаційних технологій. Тому результати виконання кваліфікаційної роботи бакалавра відповідають стандарту бакалавра спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

3. Професійні та особистісні якості бакалавра

При роботі над кваліфікаційною роботою бакалавра Білик Володимир Ігорович проявив себе кваліфікованим фахівцем та дисциплінованим студентом, вчасно виконуючи поставлені етапи дослідження. Як в процесі написання пояснювальної записки, так і при розробці способу та прикладного програмного забезпечення проявив достатні для одержання успішного результату компетентності та результати навчання. Опанував професійні скіли за напрямком «Комп'ютерні науки» та достатньо значний софт скіл. Також серед особистісних якостей студента слід виділити відповідальність, здатність навчатися, нестандартність мислення.

4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи

Одержані в роботі результати є наслідком особистої діяльності студента, який самостійно виконував всі поставлені задачі.

5. Ступінь оволодіння методами дослідження

При реалізації кваліфікаційної роботи показав достатній рівень компетентностей та володіння необхідними інструментами та обладнанням, методами, методиками та технологіями предметної області комп'ютерних наук.

6. Повнота та якість розкриття теми роботи

Тема роботи в достатній мірі обґрунтована й розкрита, проведено аналіз актуальності та відомих досліджень в межах обраної теми, поставлені завдання, які у роботі виконані, розроблено спосіб організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом для системи управління спецкомунтрансом. та програмне забезпечення для перевірки функціональності розробленої системи та проведення експериментів.

7. Логічність, послідовність, аргументованість, літературна грамотність викладення матеріалу

Структура роботи та послідовність викладення логічні та відповідають поставленій меті. Викладення матеріалу послідовне, аргументоване, літературно грамотне.

8. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи бакалавра, окремих її частин

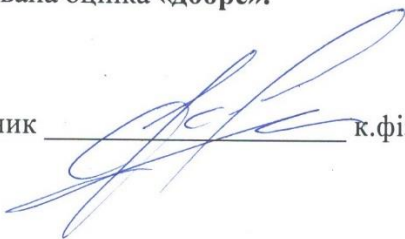
Розроблений у роботі метод та його програмна реалізація можуть бути використані працівниками комунальних служб для збільшення ефективності вивозу сміття. Ефективність застосування розробленого способу організації вивозу сміття за мурашиним алгоритмом за результатами проведених експериментів складає в середньому 5 %. В роботі описано процедуру розгортання та впровадження системи в життя.

9. Висновок про можливість допуску кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту, на яку оцінку заслуговує робота

Враховуючи достатній рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог, робота може бути допущена до захисту.

Рекомендована оцінка «добре».

Керівник _____



к.фіз.-мат.н., доц. Віталій МІХАЛЕВСЬКИЙ

