

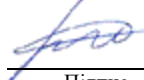


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної
метаевристики

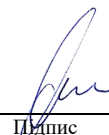
Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Шифр і назва галузі знань
Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
Шифр і назва спеціальності
Освітня програма Комп'ютерні науки
Назва освітньої програми

Виконав: студент 2 курсу, група КНм-20-1  Т.В. Левченко
Курс, група виконавця Підпис Ініціали, прізвище
Керівник: викладач кафедри КН  П.М. Радюк
Науковий ступінь, посада Підпис Ініціали, прізвище
Нормоконтроль: к.т.н., доцент кафедри КН  Р.О. Багрій
Науковий ступінь, посада Підпис Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КН, д.т.н., професор

02 грудня 2021 р.



О.В. Бармак

Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Освітній ступінь магістр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук



д.т.н., професор О.В. Бармак

« 01 » вересня 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: «Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики»

2. Завдання видано студенту Левченко Тарасу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

3. Керівник роботи викладач кафедри КН Радюк Павло Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

4. Затверджені наказом університету від « 25 » серпня 2021 р. № 102

5. Зміст пояснювальної записки (перелік задач) та вихідні дані:

Мета роботи – розробка методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики та відповідних інформаційної технології та інформаційної системи, необхідних для автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. Також слід провести дослідження ефективності розроблених засобів, зокрема порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

Реферат

Кваліфікаційна робота магістра розв'язує науково-технічну задачу автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. Характерними рисами розробленого підходу є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху.

Актуальність теми. Проблема побудови оптимальних маршрутів через задану множину точок виникає у багатьох сферах діяльності людини, зокрема, в транспортній логістиці. Транспортна логістика відіграє велику роль в діяльності будь-якого підприємства або компанії. Кожне підприємство прагне зменшити витрати на доставку продукції, і тим самим збільшити свій дохід. Саме тому, велике значення надається розробці методів оптимізації маршрутів, що дозволяє значно скоротити витрати ресурсів та зменшити час транспортних перевезень.

Переважає більшість задач транспортної логістики зводиться до розв'язку задачі комівояжера. Суть задачі полягає в знаходженні найкоротшого шляху між містами, при умові, що кожне місто повинно бути відвідане лише один раз, а в кінці потрібно повернутись у вихідне місто.

В умовах сучасного життя не обійтись без автоматизованого вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень. Оскільки з кожним роком число перевезень росте це означає, що навантаження на транспортну логістику теж збільшується. В такому випадку, ручні обчислення будуть малоефективні або взагалі безрезультатні. Отже розробка методів оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики буде завжди актуальною. В результаті це призведе до скорочення витрат на перевезення і зменшення ризиків пошкодження або псування товарів. Тому дана робота присвячена розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної

метаевристики. Оптимізація транспортних перевезень відбувається шляхом скорочення витрат ресурсів та часу.

Мета і задачі роботи. *Мета кваліфікаційної роботи магістра* полягає у розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики та відповідних інформаційної технології та інформаційної системи, необхідних для автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. За результатом виконання роботи були *поставлені та вирішені наступні завдання:*

1. Проведено аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.

2. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.

3. Вдосконалено метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

4. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

5. Розроблено інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

6. Проведено дослідження ефективності розроблених засобів шляхом функціонального та прикладного тестування розроблених засобів, а також проведено порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

Об'єкт дослідження – процес транспортних перевезень між множиною пунктів.

Предмет дослідження – інформаційні технології, моделі, методи та засоби автоматизації пошуку шляхів для транспортних перевезень між множиною пунктів засобами біологічної метаевристики.

Методи дослідження, застосовані для вирішення поставлених завдань: для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення

методів аналізу даних і теорії множин, а для реалізації інформаційної системи – методології проектування інформаційних систем і об'єктно-орієнтований підхід.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті роботи були отримані такі *інновації та положення наукової новизни*:

1. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка відрізняється тим, що містить формальне подання всіх необхідних сутностей для автоматизованого пошуку оптимальних шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

2. Вдосконалено новий метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який відрізняється тим, що дозволяє визначати оптимальні маршрути відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань враховуючи не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появу перешкод на шляхах.

3. Розроблено нову інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань та експертних відомостей вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними та умовними довжинами.

4. Розроблено нову інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка надає можливість за відомостями логістики, налаштувань та експертними відомостями автоматизовано одержувати два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована

множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

Практичне значення одержаних результатів. При виконанні поставлених завдань відповідно до розробленої інформаційної технології, яка використовує метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, було спроектовано структуру й здійснено прикладну програмну розробку інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Інформаційна система складається з бази даних та трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями й підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами.

Напрямком практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах. Розроблені математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й вимагають в якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Характерними рисами розробленої інформаційної технології є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування,

значення номінальної та умовної довжини. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

Порівняння основних функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою й існуючими інформаційними системами виявило, що розроблена з використанням методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики інформаційна система має ряд якісних переваг, що обумовлені її призначенням. Зокрема, вона дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах й показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами й пропонувати альтернативні маршрути.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації.

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики» на XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021» (15-16 жовтня 2021 року); за темою роботи автором виконано наукову публікацію:

Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В. Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький, 2021. с. 352-358.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із реферату, завдання, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань із 29 найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 94 сторінки, з них 77 сторінок

основного тексту та 17 сторінок додатків. У роботі наведено 16 рисунків та 9 таблиць.

Ключові слова: алгоритм мурахи, мурашиний алгоритм, біологічна мета евристика, транспортні перевезення, оптимізація транспортних перевезень, інформаційна система, інформаційна модель, інформаційна технологія.

Зміст

| | |
|---|----|
| Перелік скорочень | 4 |
| Вступ..... | 5 |
| Розділ 1 | |
| Характеристика предметної області транспортних перевезень та постановка задачі..... | 11 |
| 1.1 Аналіз проблеми оптимізації транспортних перевезень..... | 11 |
| 1.2 Аналіз існуючих систем оптимізації транспортних перевезень | 14 |
| 1.3 Аналіз сучасних публікацій | 20 |
| 1.4 Аналіз особливостей використання алгоритму мурахи для вибору оптимального маршруту..... | 23 |
| 1.5 Постановка задачі..... | 24 |
| Висновки до розділу 1 | 25 |
| Розділ 2 | |
| Метод і засоби оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики..... | 27 |
| 2.1 Математична модель пошуку оптимального шляху за мурашиним алгоритмом..... | 27 |
| 2.2 Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень..... | 30 |
| 2.3 Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики | 32 |
| 2.4 Математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту..... | 35 |
| Висновки до розділу 2 | 36 |

Розділ 3

| | |
|---|----|
| Інформаційна технологія автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень | 38 |
| 3.1 Схема інформаційної технології..... | 38 |
| 3.2 Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень | 41 |
| 3.3 Аргументація вибору засобів розробки інформаційної системи | 44 |
| 3.4 Проектування даталогічної моделі інформаційної системи..... | 46 |
| Висновки до розділу 3 | 50 |

Розділ 4

| | |
|---|----|
| Дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень..... | 52 |
| 4.1 Архітектура інформаційної системи..... | 52 |
| 4.2 Розробка прикладних компонентів інформаційної системи | 54 |
| 4.3 Прикладне тестування інформаційної системи | 58 |
| 4.4 Функціональне дослідження інформаційної системи | 63 |
| Висновки до розділу 4 | 69 |
| Загальні висновки..... | 71 |
| Перелік посилань..... | 75 |

Додатки

Перелік скорочень

| Скорочення, термін, позначення | Пояснення |
|---|--------------------------------|
| КРМ | Кваліфікаційна робота магістра |
| БД | База даних |
| ІС | Інформаційна система |
| ІТ | Інформаційні технології |
| КП | Курсовий проєкт |
| КН | Комп'ютерні науки |
| СКБД | Система керування базами даних |
| GPS | Global Positioning System |
| SQL | Structured Query Language |
| ID | Identity Document |
| MS | Microsoft |
| CLR | Common Language Runtime |
| MFC | Microsoft Foundation Class |
| BCL | Base Class Library |

Вступ

Кваліфікаційна робота магістра розв'язує науково-технічну задачу автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. Характерними рисами розробленого підходу є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху.

Актуальність теми. Проблема побудови оптимальних маршрутів через задану множину точок виникає у багатьох сферах діяльності людини, зокрема, в транспортній логістиці. Транспортна логістика відіграє велику роль в діяльності будь-якого підприємства або компанії. Кожне підприємство прагне зменшити витрати на доставку продукції, і тим самим збільшити свій дохід. Саме тому, велике значення надається розробці методів оптимізації маршрутів, що дозволяє значно скоротити витрати ресурсів та зменшити час транспортних перевезень.

Переважає більшість задач транспортної логістики зводиться до розв'язку задачі комівояжера. Суть задачі полягає в знаходженні найкоротшого шляху між містами, при умові, що кожне місто повинно бути відвідане лише один раз, а в кінці потрібно повернутись у вихідне місто.

В умовах сучасного життя не обійтись без автоматизованого вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень. Оскільки з кожним роком число перевезень росте це означає, що навантаження на транспортну логістику теж збільшується. В такому випадку, ручні обчислення будуть малоефективні або взагалі безрезультатні. Отже розробка методів оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики буде завжди актуальною. В результаті це призведе до скорочення витрат на перевезення і зменшення ризиків пошкодження або псування товарів. Тому дана робота присвячена розробці

методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Оптимізація транспортних перевезень відбувається шляхом скорочення витрат ресурсів та часу.

Мета і задачі роботи. *Мета кваліфікаційної роботи магістра* полягає у розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики та відповідних інформаційної технології та інформаційної системи, необхідних для автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. За результатом виконання роботи були *поставлені та вирішені наступні завдання:*

1. Проведено аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.

2. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.

3. Вдосконалено метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

4. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

5. Розроблено інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

6. Проведено дослідження ефективності розроблених засобів шляхом функціонального та прикладного тестування розроблених засобів, а також проведено порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

Об'єкт дослідження – процес транспортних перевезень між множиною пунктів.

Предмет дослідження – інформаційні технології, моделі, методи та засоби автоматизації пошуку шляхів для транспортних перевезень між множиною пунктів засобами біологічної метаевристики.

Методи дослідження, застосовані для вирішення поставлених завдань: для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення методів аналізу даних і теорії множин, а для реалізації інформаційної системи – методології проектування інформаційних систем і об'єктно-орієнтований підхід.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті роботи були отримані такі *інновації та положення наукової новизни*:

1. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка відрізняється тим, що містить формальне подання всіх необхідних сутностей для автоматизованого пошуку оптимальних шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

2. Вдосконалено новий метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який відрізняється тим, що дозволяє визначати оптимальні маршрути відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань враховуючи не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах.

3. Розроблено нову інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань та експертних відомостей вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними та умовними довжинами.

4. Розроблено нову інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка надає можливість за відомостями логістики, налаштувань та експертними відомостями автоматизовано одержувати два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

Практичне значення одержаних результатів. При виконанні поставлених завдань відповідно до розробленої інформаційної технології, яка використовує метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, було спроектовано структуру й здійснено прикладну програмну розробку інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Інформаційна система складається з бази даних та трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями й підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами.

Напрямок практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах. Розроблені математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й вимагають в якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними

двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Характерними рисами розробленої інформаційної технології є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування, значення номінальної та умовної довжини. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

Порівняння основних функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою й існуючими інформаційними системами виявило, що розроблена з використанням методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики інформаційна система має ряд якісних переваг, що обумовлені її призначенням. Зокрема, вона дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах й показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами й пропонувати альтернативні маршрути.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації. Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики» на XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021» (15-16 жовтня 2021 року); за темою роботи виконано наукову публікацію:

Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В. Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький, 2021. с. 352-358.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із реферату, завдання, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань із 29 найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 94 сторінки, з них 77 сторінок основного тексту та 17 сторінок додатків. У роботі наведено 16 рисунків та 9 таблиць.

Розділ 1

Характеристика предметної області транспортних перевезень та постановка задачі

1.1 Аналіз проблеми оптимізації транспортних перевезень

Стрімкий розвиток інформаційних технологій призводить до формування нових сфер економіки та суспільного життя. Однією з таких сфер є транспортна логістика – система для організації доставки, переміщення речовин або матеріальних предметів в пункт призначення за оптимальним маршрутом [1]. Для стабільного та ефективного функціонування даної сфери потрібно щоб об'єкти доставлялись до потрібного кінцевого пункту з мінімальними витратами часу та фінансів [2].

Транспорт є одним із найголовніших факторів розвитку економіки кожної країни. Транспортні перевезення виступають в ролі з'єднувального апарату між усіма іншими галузями економіки. На ринку вантажних перевезень України, станом на 2020 рік, загальний обсяг вантажних перевезень становить 600 млн. т. Додаткову інформацію, щодо вантажообігу за окремими видами транспорту наведено на Рисунку 1.1 [3].

Транспортні перевезення поділяють на такі види:

- залізничний;
- автомобільний;
- водний;
- трубопровідний;
- авіаційний.

Аналізуючи статистичні дані, можна зробити висновок, що залізничний транспорт є найбільш затребуваним, порівняно з іншими видами транспорту (Рисунок 1.1). Із зростанням обсягу вантажних перевезень зростають і витрати на здійснення цих перевезень. Компанії, підприємства та інші організації завжди

прагнуть збільшити свій прибуток та зменшити витрати. Через це і виникає потреба в створенні інформаційних технологій для оптимізації транспортних перевезень. Оскільки, до 50% всіх витрат припадає саме на транспортні перевезення, то від ефективності вирішення цієї задачі залежить прибуток компаній, їхнє положення на ринку та конкурентоспроможність. Потреба оптимізації транспортних перевезень полягає саме в зменшенні часових та фінансових витрат на ці перевезення, шляхом визначення оптимального маршруту.

| | | Січень/ January | Січень- лютий/ January- February | Січень- березень/ January- March | Січень- квітень/ January- April | Січень- травень/ January- May | Січень- червень/ January- June | Січень- липень/ January- July | Січень- серпень/ January- August | Січень- вересень/ January- September | Січень- жовтень/ January- October | Січень- листопад/ January- November | Січень- грудень/ January- December | | |
|------------------|---|--------------------|---|---|--|--|---|--|---|---|--|--|---|--|------------------|
| Транспорт | млн.т | 43,8 | 89,7 | 140,4 | 184,8 | 229,0 | 275,4 | 327,0 | 382,2 | 435,4 | 490,2 | 546,6 | 600,1 | <i>mln.t</i> | Transport |
| | у % до відповідного періоду 2019р. | 87,2 | 89,0 | 86,7 | 84,7 | 83,5 | 83,7 | 84,9 | 86,6 | 86,7 | 87,5 | 88,4 | 88,8 | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |
| залізничний | <i>млн.т</i> | 23,9 | 47,3 | 73,9 | 96,8 | 119,8 | 143,2 | 168,3 | 196,7 | 223,1 | 250,9 | 278,8 | 305,5 | <i>mln.t</i> | <i>rail</i> |
| | <i>у % до відповідного періоду 2019р.</i> | | | | | | | | | | | | | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |
| автомобільний | <i>млн.т</i> | 12,9 | 27,8 | 43,4 | 57,6 | 70,8 | 85,5 | 102,7 | 119,4 | 137,1 | 155,6 | 174,6 | 191,4 | <i>mln.t</i> | <i>road</i> |
| | <i>у % до відповідного періоду 2019р.</i> | | | | | | | | | | | | | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |
| водний | <i>млн.т</i> | 0,3 | 0,5 | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,8 | 3,3 | 3,9 | 4,5 | 5,2 | 5,6 | <i>mln.t</i> | <i>water</i> |
| | <i>у % до відповідного періоду 2019р.</i> | | | | | | | | | | | | | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |
| трубопровідний | <i>млн.т</i> | 6,7 | 14,1 | 22,2 | 29,1 | 36,7 | 44,5 | 53,2 | 62,7 | 71,2 | 79,1 | 87,9 | 97,5 | <i>mln.t</i> | <i>pipeline</i> |
| | <i>у % до відповідного періоду 2019р.</i> | | | | | | | | | | | | | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |
| авіаційний | <i>млн.т</i> | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | <i>mln.t</i> | <i>air</i> |
| | <i>у % до відповідного періоду 2019р.</i> | | | | | | | | | | | | | <i>% to corresponding period of 2019</i> | |

Рисунок 1.1 – Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту за 2021 рік [3]

Оптимізація маршруту це не лише визначення найкоротшого або найшвидшого шляху з точки А в точку В. Насправді, це дуже важка проблема для вирішення, саме тому комп'ютерні фахівці називають її NP-складною [4]. NP-складність – це клас складності, до якого відносять задачі, що можна розв'язати недетермінованими алгоритмами за поліноміальний час [5].

Для ефективної оптимізації та вибору оптимального маршруту потрібно враховувати ряд додаткових параметрів, таких як:

- обмеження в часі;

- місткість та вантажопідйомність транспортного засобу;
- витрати на перевезення;
- стан транспортного засобу;
- графік роботи працівників.

Оскільки, людина фізично не зможе врахувати таку велику кількість параметрів для визначення оптимального шляху, на допомогу приходять інформаційні технології. Впровадження інформаційних технологій в галузь перевезень є важливим кроком на шляху до покращення транспортної логістики. Це допоможе більш точно розраховувати маршрути перевезень та контролювати витрати на перевезення. Правильно організована інформаційна система транспортних перевезень дозволяє мінімізувати витрати та скоротити час доставки, що в свою чергу зменшує ризик затримки та псування вантажу.

В сучасному світі практично неможливо ефективно вирішувати завдання пошуку оптимального шляху, керуючись ручними обчисленнями, інтуїтивними припущеннями або імпровізованими рішеннями. Розвиток сучасних технологій дозволяє вирішувати поставлену задачу з більшою ефективністю та з меншими затратами часу ніж це могла б зробити людина. Перевагами використання інформаційної технології оптимізації транспортних перевезень є:

- забезпечення вибору оптимального маршруту транспортного перевезення з врахуванням великої кількості параметрів;
- підвищення об'єктивності оптимізації та виключення суб'єктивних факторів (вдома працівника, неуважність, обмеження в часі для визначення оптимального шляху, недостатня обізнаність працівника в даній сфері);
- забезпечення можливості працівника для швидкої оптимізації маршрутів для великої кількості транспортних перевезень.

Ключову роль в оптимізації транспортних перевезень відіграє вирішення задачі знаходження оптимального шляху. Цю задачу ще називають задачею комівояжера або бродячого торговця. Метою задачі є знаходження найкращого

маршруту з однієї точки до іншої [6]. Це одна з найвідоміших задач комбінаторної оптимізації. Для вирішення поставленого завдання формуються певні критерії оптимальності (найшвидший шлях, найдешевший, найлегший або їхня сукупність) та накладаються умови (проходження через всі точки тільки один раз, обов'язкове проходження через всі точки, повернення в кінцеву точку або сукупність обмежень) [7].

Транспортні перевезення одна з найважливіших галузей економіки, без якої країна не зможе стрімко розвиватись. Для ефективного розвитку цієї галузі потрібно постійно вдосконалювати методи знаходження оптимального шляху для перевезень. Взявши до уваги переваги інформаційних технологій оптимізації транспортних перевезень порівняно із ручним визначенням оптимального маршруту, можна зробити висновок, що інформаційна система дозволяє вирішити поставлену задачу простіше, ефективніше та з меншою затратою часу.

1.2 Аналіз існуючих систем оптимізації транспортних перевезень

Сьогодні існує велика кількість сервісів, які пропонують визначення оптимального маршруту. Багато з них є безкоштовними та знаходяться у вільному доступі, тому кожен може користуватись ними для власних цілей та потреб.

Одним із найвідоміших та найпопулярніших сервісів є Google Maps від компанії Google. Це безкоштовний картографічний сервіс, який являє собою географічну карту всього світу. Сервіс дозволяє користувачам прокладати найкоротший маршрут з однієї точки до іншої, аналізуючи трафік у реальному часі. Основною перевагою є те, що система формує декілька маршрутів. Найкращий маршрут виділяється синім кольором, а всі інші сірим (Рисунок 1.2). Це дає змогу користувачеві вибрати бажаний шлях серед усіх доступних [10].

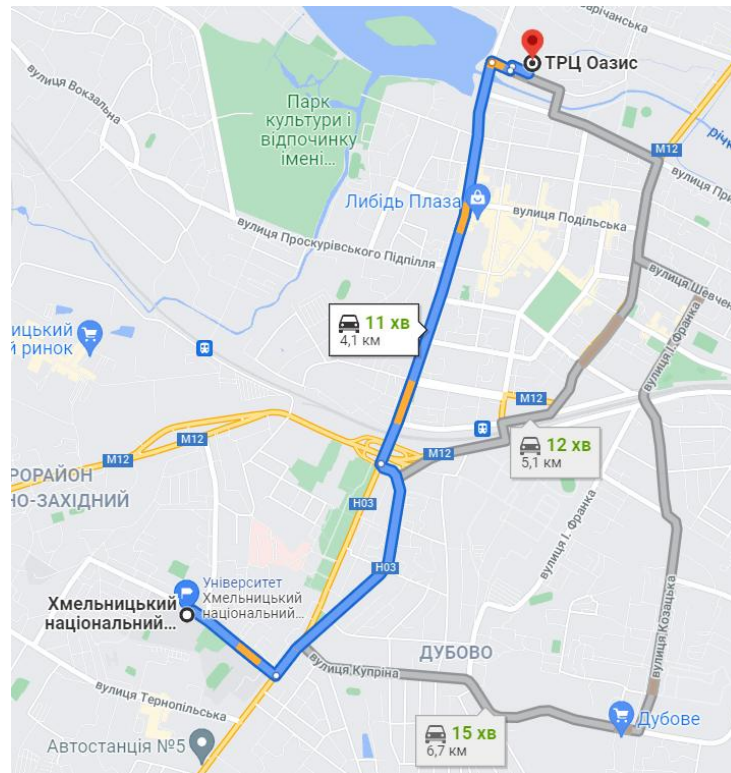


Рисунок 1.2 – Формування оптимального та альтернативних маршрутів [10]

Ще однією корисною функцією є покроковий перегляд обраного маршруту (Рисунок 1.3) Це допомагає краще орієнтуватись на незнайомій місцевості.

Серед недоліків Google Maps є те, що деякі маршрути перебувають на стадії бета-розробки та можуть бути недоступними.

Ще одним хорошим прикладом є компанія Skyriver. Компанія пропонує інтелектуально-аналітичні GPS рішення, що дозволяють ефективно заощаджувати витрати для вантажних перевезень [11]. Програмний продукт дозволяє визначати оптимальний шлях з урахуванням найкоротшої дистанції. З переваг можна виділити моніторинг перебування транспорту в реальному часі, маршрут руху, статистичні дані щодо кількості пройденої дистанції, швидкості руху та витрат палива (Рисунок 1.4).

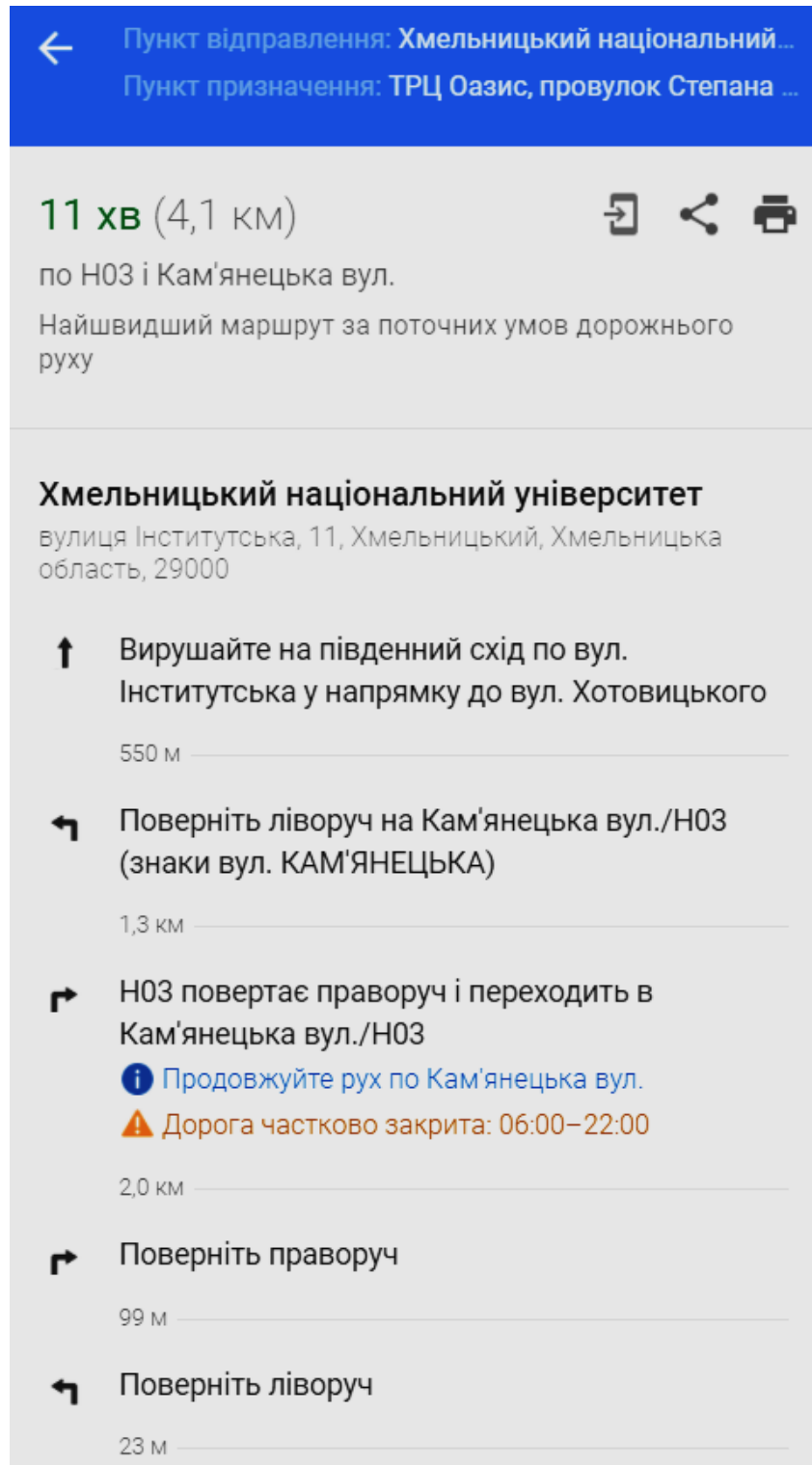


Рисунок 1.3 – Деталі обраного маршруту [10]

Недоліком є те, що для користування послугами компанії Skyriver потрібне додаткове обладнання для кожної одиниці транспорту, а саме GPS трекер.

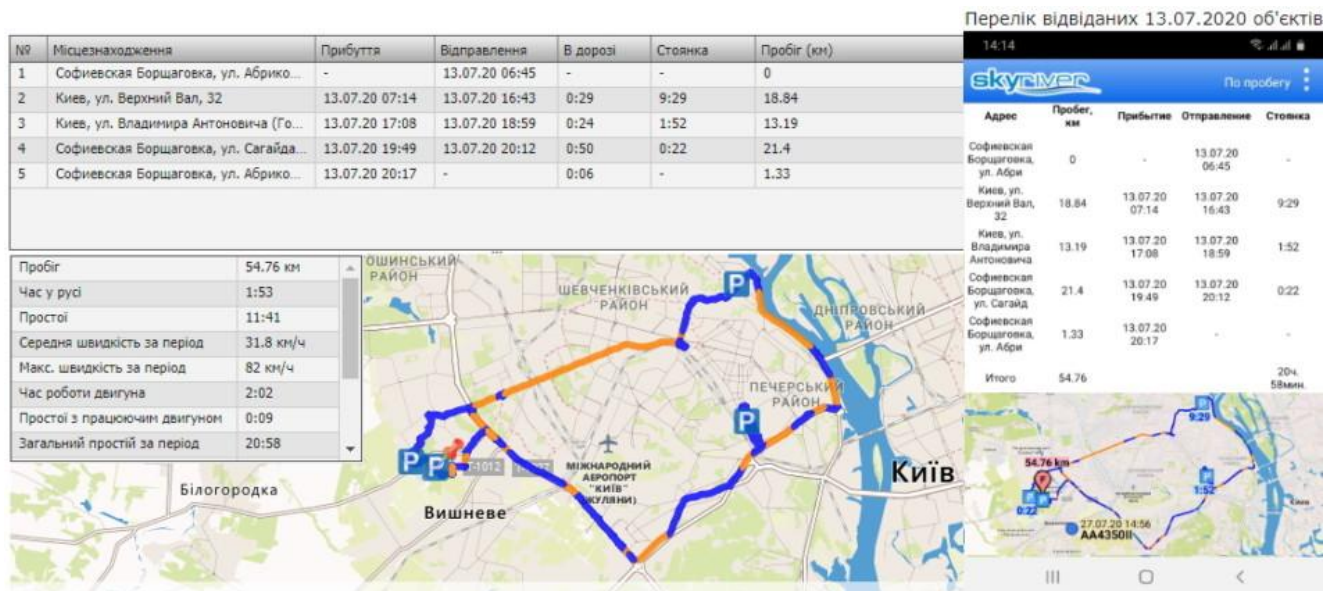


Рисунок 1.4 – Статистичні дані на маршрутах [11]

Аналогом Google Maps є сервіс Waze. Це краудсорсінговий навігаційний додаток, в якому користувачі можуть допомагати один одному уникати заторів та інших проблем на дорогах. Додаток з інтерактивною картою дозволяє налаштувати маршрут, знайти попутників, послухати музику і навіть ввімкнути голосові підказки. Сервіс надає актуальні дані своїм користувачам, щоб зекономити їхній час та витрати на поїздки. Щоб уникнути заторів поїздки можна спланувати завчасно [12].

При формуванні маршруту, оптимальний з декількох можливих маршрутів виділяється яскравішим кольором. На карті різними позначками показані проблемні ділянки дороги, ремонтні роботи, затори та інші проблеми, про які може повідомити кожен користувач додатку (Рисунок 1.5).

Основним недоліком є те, що інформація, яка стосується проблем з дорогою може бути недостовірною.

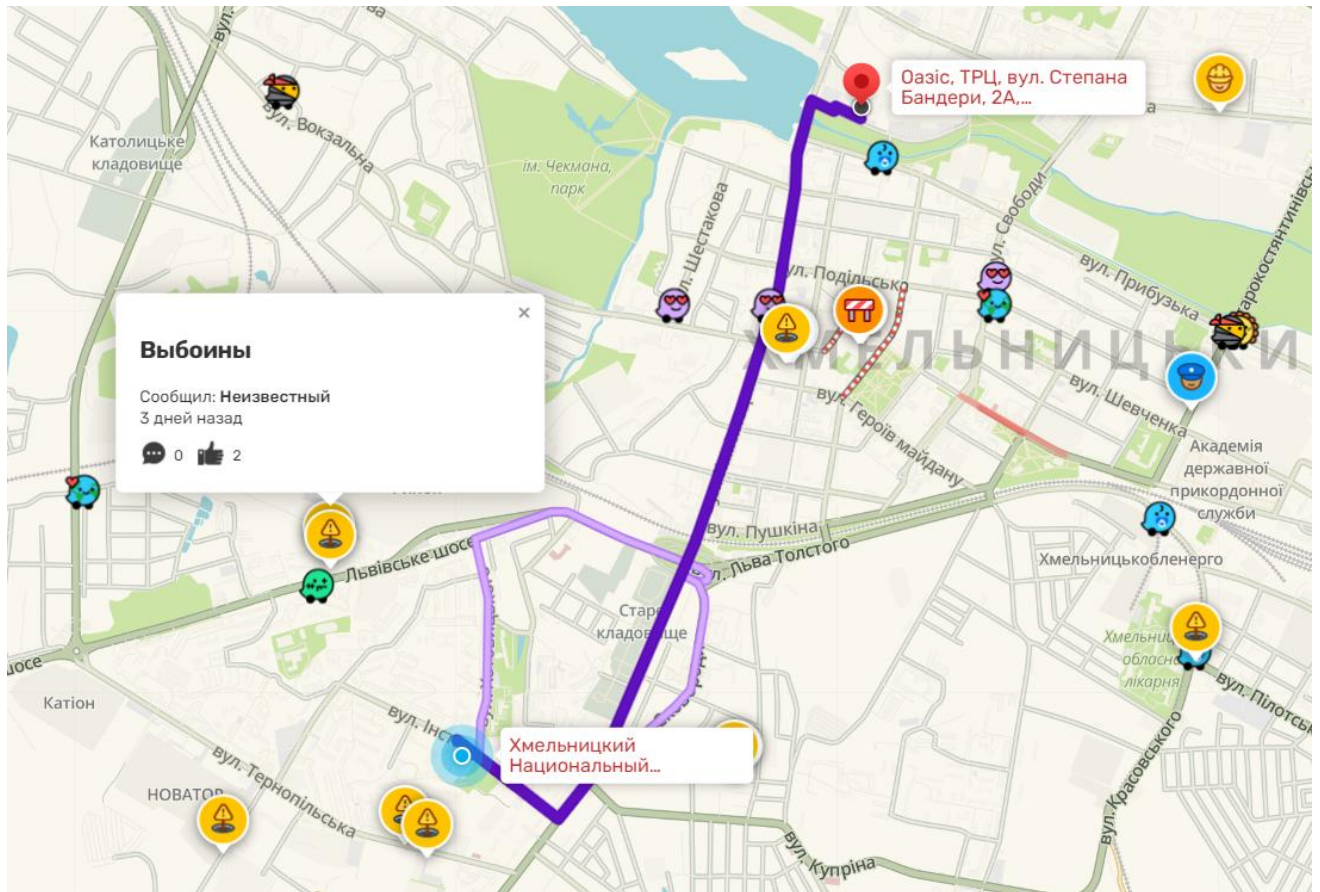



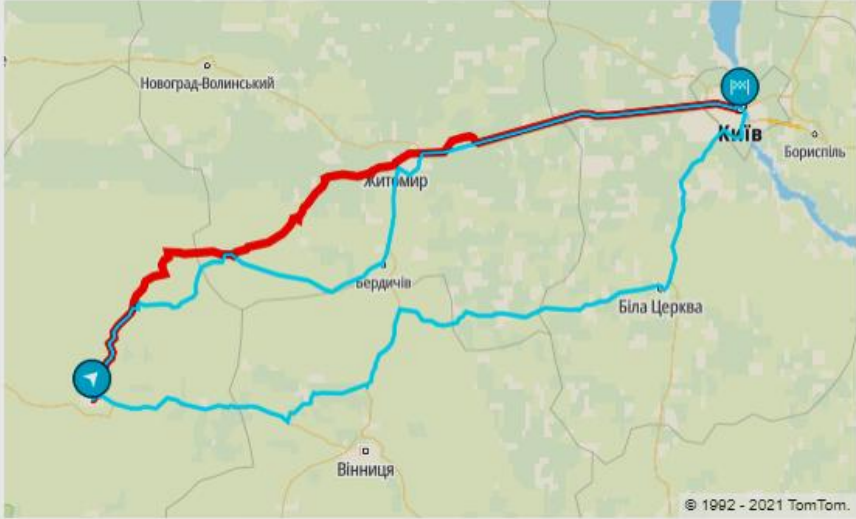


Рисунок 1.5 – Маршрут в додатку Waze [12]

Легко та швидко запланувати маршрут допоможе веб-сервіс Planvannya-marshrutu.com [13]. Сайт є повністю безкоштовним, з хорошим інтуїтивно зрозумілим дизайном. Вказавши місце відправлення та місце прибуття, за лічені секунди можна отримати результат (Рисунок 1.6). При виборі маршруту є можливість вказувати декілька проміжних точок, що є дуже зручною функцією при плануванні подорожей. Найкращий маршрут виділяється червоним кольором.

Хмельницький - Київ карта, відстань

| | |
|---|-----------|
|  Хмельницький - Київ Відстань по дорозі: 326.14 km Час у дорозі: 4 h 0 min | Маршрут 1 |
|  Хмельницький - Київ Відстань по дорозі: 347.60 km Час у дорозі: 4 h 19 min | Маршрут 2 |
|  Хмельницький - Київ Відстань по дорозі: 368.90 km Час у дорозі: 4 h 58 min | Маршрут 3 |



Початкова точка:

Кінцева точка:

Рисунок 1.6 – Планування маршруту на сайті Planuvannya-marshrutu.com [13]

Крім наведених прикладів програмного забезпечення існує ще досить багато аналогів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Вирішення задачі знаходження оптимального маршруту буде завжди перспективним, отже розробка підходів до оптимізації транспортних перевезень теж є дуже актуальною.

Таким чином, аналіз проблеми оптимізації транспортних перевезень виявив актуальність даного напрямку прикладного застосування інформаційних технологій. Зокрема, встановлено, що у сучасному світі практично неможливо ефективно вирішувати завдання пошуку оптимального шляху, керуючись ручними обчисленнями, інтуїтивними припущеннями чи імпровізованими рішеннями. В той же час розвиток сучасних інформаційних технологій дозволяє

вирішувати поставлену задачу з більшою ефективністю й із меншими затратами часу, ніж це могла б зробити людина.

Аналіз існуючих систем оптимізації транспортних перевезень виявив високу ефективність наявних засобів оптимізації транспортних перевезень засобами інформаційних технологій. Відомі системи дозволяють знаходити оптимальні шляхи пересування між двома визначеними пунктами, проте не дозволяють ефективно визначати послідовність об'їзду в випадках, коли стоїть задача відвідування заданого переліку пунктів за оптимальним маршрутом.

1.3 Аналіз сучасних публікацій

Із стрімким розвитком інфраструктури держави, збільшується потреба в транспортних перевезеннях. Потреба в пришвидшенні процесу транспортних перевезень завжди буде залишатись актуальною. Саме тому, завжди буде актуально створювати умови для зручного та ефективного вирішення задач транспортної логістики із використанням сучасних інформаційних технологій. Впровадження інформаційних технологій в сферу транспортних перевезень допоможе істотно полегшити знаходження оптимального маршруту та скоротити витрати ресурсів [14].

Найпростіший спосіб розв'язати задачу комівояжера – це повністю перебрати усі можливі варіанти маршрутів. Даний алгоритм дуже простий і зрозумілий в реалізації. Але в алгоритмі повного перебору є суттєві проблеми. Чим більшою буде кількість міст, тим більше буде комбінацій, як результат час обчислення збільшуватиметься. Переваги та недоліки обраного алгоритму подано в статті [15]

В роботі [16] запропоновано еволюційну модель розв'язання задачі комівояжера. Розроблена модель передбачає використання модифікованих операторів ініціалізації початкової популяції. Це дозволяє генерувати більш

пристосовані хромосоми на початковому етапі пошуку. Як результат, одержується менший час еволюційної оптимізації.

Задачу комівояжера відносять до класу NP-складних задач. Велика частина досліджень зосереджена на отриманні розв'язків, які будуть близькими до оптимальних. Методи розв'язку задачі комівояжера можна поділити на два типи: точні та евристичні (наближені). Точні методи не забезпечують розв'язування задач великих розмірностей, а евристичні не забезпечують достатньої точності. В роботі [17] пропонується використати декомпозиційні методи, методи локальної оптимізації, для вирішення задачі комівояжера великої розмірності. Реалізований алгоритм полягає в декомпозиції задачі комівояжера та застосуванні алгоритму спільних ребер, який дозволяє поступово розв'язувати підзадачі. Обраний підхід дозволяє скоротити час розв'язування задачі.

Одним з важливих напрямків досліджень є генетичні алгоритми. Вони допомагають знаходити розв'язок задач у різних областях, коли традиційні методи виявляються недостатньо ефективними. В роботі [18] описано особливості розв'язування задачі комівояжера за допомогою генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм – це еволюційний алгоритм пошуку. Алгоритм використовується для вирішення оптимізаційних задач. Основою роботи алгоритму є комбінування, послідовний підбір і варіація шуканих параметрів, що нагадують біологічну еволюцію [19].

Задача комівояжера – одна із основних задач комбінаторної оптимізації. В роботі [20] описана оптимізація розв'язків задачі комівояжера методом послідовного сканування. Оптимізація розв'язку забезпечує його значне покращення, якщо розв'язок отримано як результат деякого швидкого алгоритму. Із збільшенням області оптимізації покращується якість розв'язку, але, як наслідок, збільшується час обчислень. Результат оптимізації залежить від обраного базового алгоритму. Експерименти доводять, що при застосуванні декількох повторних оптимізаційних процедур відбувається покращення

маршруту [21]. Запропонований метод оптимізації розв'язку базується на покращенні маршруту на його ділянках, які вибираються послідовно вздовж існуючого маршруту. Простота реалізації та достатньо висока якість розв'язків є основною перевагою цього методу. Недоліком є те, що алгоритм розглядає послідовні ділянки маршруту.

Одним з найефективніших алгоритмів для розв'язку задачі про найкоротший шлях є алгоритм мурашиної колонії. Принцип роботи алгоритму полягає в імітації поведінки мурах в пошуках найкоротшого шляху до їжі. В роботі [22] пропонується використання мурашиного алгоритму для вирішення проблеми оптимізації маршруту. В ході реалізації обраного алгоритму, встановлено що він ефективно розв'язує поставлену задачу.

Зараз існує ряд практичних застосувань, які дозволяють ефективно розв'язувати задачу комівояжера. Починаючи від найпростіших алгоритмів повного перебору і закінчуючи складними методами з використанням генетичних та еволюційних алгоритмів. В кожному алгоритмі є свої переваги та недоліки. Шляхом дослідження ряду сучасних публікацій, можна зробити висновок, що алгоритм мурашиної колонії найефективніше розв'язує проблему оптимізації маршрутів.

Таким чином, проведений аналіз сучасних наукових публікацій виявив, що питання оптимізації транспортних перевезень за умов необхідності відвідування заданого переліку пунктів за оптимальним маршрутом є актуальним. Хоча наявні різноманітні підходи до вирішення задачі, найбільш ефективним визначається використання засобів біологічної метаевристики, зокрема алгоритму мурахи.

1.4 Аналіз особливостей використання алгоритму мурахи для вибору оптимального маршруту

Для ефективного розв'язку задачі комівояжера використовують алгоритм мурашиної колонії. Мурашиний алгоритм один з найбільш ефективних поліноміальних алгоритмів, який застосовується для знаходження оптимального шляху.

Мурахи відносяться до соціальних комах, які живуть в серединні деякого колективу – колонії. На Землі всього 2% комах є соціальними, половину з яких складають саме мурахи. Соціальна поведінка мурах базується на самоорганізації. Самоорганізація – це безліч динамічних механізмів (агентів), що забезпечують досягнення системою глобальної мети за допомогою низькорівневої взаємодії її окремих елементів [8].

Отже, колективна поведінка мурах є основою даного алгоритму. Загальна система колонії базується на простих правилах поведінки кожної мурахи. Навіть якщо дії однієї мурахи можуть здатись примітивними, загальна діяльність всієї колонії досить розумна і представляє собою багатоагентну систему, що заснована на стигметрії. Стигметрія – це механізм непрямого обміну, при якому взаємодія між особинами полягає в залишенні мітки в навколишньому середовищі. Ця мітка стимулює подальшу активність інших особин колонії. Мітка, яку особини залишають в навколишньому середовищі це спеціальна хімічна речовина – фермент. Фермент достатньо стійка речовина, яка може сприйматись мурахами на протязі декількох діб. Однією з основних властивостей ферменту є здатність до випаровування з часом, що робить систему гнучкою до змін. Саме концентрація ферменту визначає оптимальність шляху [9].

Для вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень, пропонується алгоритм мурахи за його класичним сценарієм. Для вирішення

завдання потрібно зрозуміти роботу мурашиного алгоритму, а саме, як колонії мурах можуть знаходити найкоротший шлях до їжі.

Класичний метод самоорганізації колонії мурашок дає можливість знайти оптимальний шлях для статичного графа. Агенти-мурахи, які знаходяться в місцях з'єднання графу в початковий період, одночасно подорожують по ланках графу. Це дозволяє значно скоротити час розрахунків. Крім того, різні характеристики, які приписуються агентам, дозволяють вирішувати широкий спектр дискретних задач оптимізації з врахуванням великої кількості досліджуваних характеристик системи [22].

Таким чином, аналіз особливостей використання алгоритму мурахи для вибору оптимального маршруту підтвердив його спроможність вирішувати задачу відвідування заданого переліку пунктів за оптимальним маршрутом й може бути використаний у роботі як один із компонентів розроблюваного методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

1.5 Постановка задачі

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає у розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики та відповідних інформаційної технології та інформаційної системи, необхідних для автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах.

Для досягнення наведеної мети потрібно розв'язати наступні *задачі дослідження*:

1. Провести аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.
2. Вдосконалити інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.
3. Вдосконалити метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
4. Розробити інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
5. Розробити інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Також слід провести дослідження ефективності розроблених засобів, зокрема порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

Висновки до розділу 1

В розділі проведено аналіз проблеми оптимізації транспортних перевезень, який виявив актуальність даного напрямку практичного застосування інформаційних технологій. Зокрема, встановлено, що в сучасному світі практично неможливо ефективно вирішувати завдання пошуку оптимального шляху, керуючись ручними обчисленнями, інтуїтивними припущеннями чи імпровізованими рішеннями. Водночас розвиток сучасних інформаційних технологій дозволяє вирішувати поставлену задачу з більшою ефективністю й із меншими затратами часу, ніж це могла б зробити людина.

Аналіз існуючих систем оптимізації транспортних перевезень виявив високу ефективність наявних засобів оптимізації транспортних перевезень засобами інформаційних технологій. Відомі системи дозволяють знаходити оптимальні шляхи пересування між двома визначеними пунктами, проте не

дозволяють ефективно визначати послідовність об'їзду в випадках, коли стоїть задача відвідування заданого переліку пунктів за оптимальним маршрутом.

Також у розділі проведено аналіз сучасних наукових публікацій виявив, що питання оптимізації транспортних перевезень за оптимальним маршрутом за умов необхідності відвідування заданого переліку пунктів є актуальним. Хоча наявні різноманітні підходи до вирішення задачі, найбільш ефективним визначається використання засобів біологічної метаевристики, зокрема алгоритму мурахи. Проведений аналіз особливостей використання алгоритму мурахи для вибору оптимального маршруту підтвердив його спроможність вирішувати задачу відвідування заданого переліку пунктів за оптимальним маршрутом й може бути використаний у роботі як один із компонентів розроблюваного методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Розділ 2

Метод і засоби оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

2.1 Математична модель пошуку оптимального шляху за мурашиним алгоритмом

Для вирішення поставленої задачі пошуку оптимальних шляхів пропонується розробити метод, який дозволяє враховувати показники динаміки руху на шляхах та показники появ перешкод на шляхах. При визначенні оптимального шляху відповідно до визначених в п.1.3 висновків, буде використано існуючу математичну модель [8, 9, 22, 23] пошуку оптимального шляху мурашиним алгоритмом, чи методом мурашиної колонії, розглянутим в п.1.4.

Мурашиний підхід до задачі комівояжера полягає в реалізації самоорганізації колонії мурах. Багатократність взаємодії реалізується ітераційним пошуком маршруту комівояжера одночасно декількома мурахами. При цьому, кожна мураха розглядається як окремий незалежний агент, виконуючий свою задачу. За одну ітерацію алгоритму кожна мураха здійснює повний маршрут від початкової точки до кінцевої.

Позитивний зворотній зв'язок реалізується імітацією поведінки мурах, коли одна мураха залишає слід в навколишньому середовищі а інші реагують на цей слід через деякий час. Чим більше слідів залишено на шляху – ребрі графа в задачі комівояжера, тим більше мурах буде переміщуватись по ньому, які в свою чергу залишатимуть ще більше слідів. Для задачі комівояжера зворотній зв'язок реалізується наступним правилом: ймовірність включення ребра графа в маршрут мурахи пропорційна кількості ферменту на ньому.

Кількість ферменту, відкладеного мурахою на ребрі графу обернено пропорційне довжині маршруту. Чим коротший маршрут, тим більше ферменту

буде відкладено на ньому, і тим більше мурах будуть використовувати його при виборі свого маршруту.

Використання тільки позитивного зворотного зв'язку призводить до ситуації, коли мурахи рухаються тільки одним маршрутом. Щоб уникнути цього, використовується негативний зворотній зв'язок – випаровування ферменту. Час випаровування не повинен бути занадто великим, тому що це призведе до тієї ж проблеми, коли мурахи рухаються тільки одним маршрутом. З іншого боку, час випаровування не повинен бути дуже малим, бо це призводить до швидкого «забування» і втраті пам'яті всієї колонії.

Для кожної мурахи перехід з міста i в місто j залежить від трьох параметрів: пам'яті мурахи (tabu list), видимості та віртуального сліду ферменту.

Tabu list – це список відвіданих міст мурахою, заходити в які повторно заборонено. При створенні маршруту tabu list зростає на кожному кроці, та обнуляється в кінці ітерації.

Видимість – величина обернена відстані (2.1). Видимість – це локальна статистична інформація, яка виражає бажання мурахи перейти в місто j з міста i . Чим менша відстань між містами, тим більше бажання відвідати його.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}}, \quad (2.1)$$

де D_{ij} – відстань між містами i та j .

Віртуальний слід ферменту на ребрі – це бажання перейти в місто j з міста i , засноване на досвіді мурахи.

Важливу роль в алгоритмі відіграє ймовірнісне рівняння, яке визначає ймовірність переходу k -ї мурахи з міста i в місто j на t -ій ітерації (2.2)

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{j,k}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{j,k} \end{cases} \quad (2.2)$$

де $\tau_{ij}(t)$ – кількість ферменту на ребрі i,j на ітерації t , $J_{j,k}$ – список міст, які потрібно відвідати мураші k , α і β – два регульовані параметри, які задають вагу ферменту та коефіцієнт видимості.

При $\alpha = 0$ буде обрано найближче місто. У випадку, коли $\beta = 0$ працюватиме тільки кількість ферментів, що призведе до швидкого виродження маршрутів до одного субоптимального рішення.

Потрібно звернути увагу, що формула (2.2) визначить тільки ймовірність переходу з одного міста до іншого. Власне вибір міста здійснюється за принципом «колеса рулетки»: кожне місто на ній має свій сектор з площею, пропорційною ймовірності (2.2). Для вибору міста потрібно кинути кульку на рулетку – згенерувати випадкове число, і визначити сектор, на якому ця кулька зупиниться.

Зауважимо, що хоча рівняння (2.2) не змінюється протягом ітерації, значення ймовірностей $P_{ij,k}(t)$ для двох мурах в одному і тому ж місті можуть відрізнятись, тому що ймовірність залежить від списку невідвіданих міст.

Після завершення маршруту кожна мураха k відкладає на ребрі (i,j) таку кількість ферменту (2.3):

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & (i,j) \in T_k(t) \\ 0, & (i,j) \notin T_k(t) \end{cases}, \quad (2.3)$$

де $T_k(t)$ – маршрут пройдений мурахою k на ітерації t , $L_k(t)$ – довжина цього маршруту, Q – регульований параметр, значення якого вибирають одного порядку з довжиною оптимального маршруту.

Також, важливо забезпечити випаровування ферменту, який був відкладений на минулих ітераціях (2.4).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t), \quad (2.4)$$

де $p \in [0,1]$ – коефіцієнт випаровування ферменту, m – кількість мурах в колонії.

На початку оптимізації кількість ферменту приймається рівною невеликому позитивному числу τ_0 . Загальна кількість мурах в колонії залишається постійною протягом виконання алгоритму. Численна колонія призводить до швидкого посилення субоптимальних маршрутів, а коли мурах мало, виникає небезпека втрати самоорганізації поведінки через обмежену взаємодію і швидке випаровування ферменту. Зазвичай число мурах призначають рівним кількості міст. Кожна мураха починає маршрут зі свого міста [23].

Мурашині алгоритми засновані на імітації самоорганізації соціальних комах. За допомогою низькорівневих взаємодій окремих автономних компонентів, система може досягати глобальної цілі. Алгоритм мурахи може бути використаний для розв'язку різних комбінаторних задач. Алгоритм мурахи підходить для ефективного вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень.

Таким чином, розглянуто математичну модель пошуку оптимального шляху за мурашиним алгоритмом, яка використовується в розроблюваному методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який дозволяє враховувати показники динаміки руху на шляхах та показники появ перешкод на шляхах.

2.2 Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень

Розробка інформаційної моделі оптимізації транспортних перевезень потрібна для подальшої роботи з рядом процесів та сутностей, які формують предметну область оптимізації транспортних перевезень у межах розробки відповідних інформаційних методів і технологій. Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень є формальним поданням сутностей, з якими проводяться операції при оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Отже, інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень *Transportation* має наступний вигляд:

$$\{ Route \cup Station \cup WayDistance \cup WayCost \cup WayDynamic \cup WayObstacle \cup Parameter \} \subset Transportation, \quad (2.5)$$

де *Route* – множина маршрутів об'їзду множини пунктів *transportation*, *Station* – множина пунктів *station* які потрібно відвідати, *WayDistance* – множина номінальних довжин шляху між двома пунктами *station*, *WayCost* – множина умовних довжин шляху *waydistance* між двома пунктами *station* яка враховує показники динаміки руху *waydynamic* та статистики завад *wayobstacle*, *WayDynamic* – множина показників динаміки руху на шляху *waydistance* між двома пунктами *station*, *WayObstacle* – множина показників статистики завад на шляху *waydistance* між двома пунктами *station*, *Parameter* – множина параметрів налаштувань роботи алгоритму мурахи.

Розробка інформаційної моделі оптимізації транспортних перевезень враховує, що вхідними даними методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є множина пунктів для відвідування, початковий пункт, множина доступних шляхів, показники динаміки руху на шляхах, показники появ перешкод на шляхах, вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості.

Таким чином, розроблено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка є формальним поданням сутностей, які формують предметну область оптимізації транспортних перевезень у межах розробки відповідних інформаційних методів і технологій, і містить всі необхідні для автоматизованої оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики параметри роботи з рядом процесів й сутностей предметної області. Інформаційна модель містить параметри: маршрут об'їзду множини пунктів, пункти які потрібно відвідати, номінальна довжина шляху між двома пунктами,

умовна довжина шляху між двома пунктами яка враховує показники динаміки руху та статистики завад, показник динаміки руху на шляху між двома пунктами, показник статистики завад на шляху між двома пунктами, а також параметри налаштувань роботи алгоритму мурахи.

2.3 Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики призначений для визначення оптимального маршруту відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань.

Вхідними даними логістики є множина пунктів для відвідування, початковий пункт, множина доступних шляхів, показники динаміки руху на шляхах та показники появ перешкод на шляхах. Вхідними даними налаштувань є вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості. На Рисунку 2.1 зображено схему етапів методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

При роботі методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики спершу на Кроці 1 виконується формування початкової ситуації подорожі. Для цього спершу виконується видалення шляхів з неактуальними пунктами. Після цього здійснюється визначення обсягу початкової популяції агентів й початкове позиціонування агентів. Далі виконується встановлення початкової кількості ферменту на шляхах.



Рисунок 2.1 – Схема методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Крок 2 методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики забезпечує імітацію обходу маршрутів агентами. Спершу проводиться обрахунок імовірності вибору шляху кожним агентом, за

результатом чого агентами приймаються рішення і виконується обхід пунктів кожним агентом. Такі дії продовжуються поки шлях всіх агентів не буде завершено. Після завершення шляху всіма агентами здійснюється обрахунок довжини маршруту кожного агента, за результатом чого виконується визначення обсягу доданого ферменту для кожного агента. Далі реалізується додавання ферменту до кожної ділянки шляху. Потім обраховується випаровування ферменту й виконується оновлення даних по всіх шляхах.

Коли виконано чергову імітацію обходу маршрутів агентами, на Кроці 3. методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики перевіряється збіг маршруту. Для цього проводиться обрахунок для кожного пункту ймовірностей вибору шляхів. Далі обраховується оцінка наявності пріоритетного вибору для кожного шляху, тобто чи імовірність вибору певного шляху не перевищує сумарну імовірність вибору решти шляхів при русі із обраного пункту.

За результатом обрахунку оцінки наявності пріоритетного вибору для кожного шляху виконується перевірка наявності шляхів пріоритетного вибору для кожного пункту. Якщо виявляється, що наявний шлях пріоритетного вибору не для кожного пункту чи відсутні шляхи пріоритетного вибору, то виконується перехід на Крок 2 для імітації обходу маршрутів агентами. Якщо ж виявляється, що наявний шлях пріоритетного вибору для кожного пункту, то виконується перехід на Крок 4 методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики для формування результуючого маршруту та його параметрів. Спершу виконується формування множини пунктів результуючого маршруту й множини шляхів результуючого маршруту. Потім здійснюється обрахунок номінальної довжини результуючого маршруту і умовної довжини результуючого маршруту.

Вихідними даними методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є побудований маршрут у вигляді послідовності

пунктів та множини шляхів, а також номінальна довжина та умовна довжина побудованого маршруту.

Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах.

2.4 Математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту

Математична модель обрахунку номінальної довжини маршруту та математична модель обрахунку умовної довжини маршруту використовуються в методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й як визначають спосіб оцінки сформованих маршрутів, так і формують вихідні дані методу.

Умовна довжина Cl_i шляху i обраховується в наступний спосіб:

$$Cl_i = Ld_i \cdot Cb_i \cdot Cd_i, \quad (2.6)$$

де Ld_i – номінальна довжина шляху i , Cb_i – показник динаміки руху на шляху i між двома пунктами, Cd_i – показник статистики завад на шляху i між двома пунктами.

Відповідно, номінальна LD та умовна CL довжини сформованого маршруту обраховуються так:

$$CL = \sum_{i=1}^n Cl_i = \sum_{i=1}^n Ld_i Cb_i Cd_i, \quad LD = \sum_{i=1}^n Ld_i, \quad (2.7)$$

де n – кількість ділянок шляху i на сформованому маршруті.

Таким чином, розроблені математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних

перевезень засобами біологічної метаевристики й вимагають в якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Висновки до розділу 2

В даному розділі розглянуто математичну модель пошуку оптимального шляху за мурашиним алгоритмом, яка використовується в розроблюваному методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який дозволяє враховувати показники динаміки руху на шляхах та показники появ перешкод на шляхах.

Розроблено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка є формальним поданням сутностей, які формують предметну область оптимізації транспортних перевезень в межах розробки відповідних інформаційних методів і технологій, і містить всі необхідні для автоматизованої оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики параметри роботи із рядом процесів та сутностей предметної області. Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень містить параметри: маршрут об'їзду множини пунктів, пункти які потрібно відвідати, номінальна довжина шляху між двома пунктами, умовна довжина шляху між двома пунктами яка враховує показники динаміки руху та статистики завад, показник динаміки руху на шляху між двома пунктами симптоми, показник статистики завад на шляху між двома пунктами, а також параметри налаштувань роботи алгоритму мурахи.

Розроблена інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень визначає, що вхідними даними методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є множина пунктів для відвідування,

початковий пункт, множина доступних шляхів, показники динаміки руху на шляхах, показники появ перешкод на шляхах, вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення й коефіцієнт близькості.

Створено метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який призначений для визначення оптимального маршруту відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань. Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами і показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах.

Також у розділі розроблені математичні моделі обрахунку номінальної й умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики і вимагають у якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Розділ 3

Інформаційна технологія автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

3.1 Схеми інформаційної технології

Інформаційна технологія автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики використовує розроблені методи оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжини маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань та експертних відомостей вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними та умовними довжинами.

Вхідними даними інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є відомості логістики (пункти, шляхи), відомості налаштування алгоритму мурахи (вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення, коефіцієнт близькості) та експертні відомості (динаміка руху на шляхах, статистика перешкод), що зображено на Рисунку 3.1.

На Кроці 1 відбувається формування множини актуальних пунктів переміщень. Зокрема, проводиться робота користувача з множиною пунктів (створення, коригування), вибір користувачем актуальних пунктів переміщень для побудови маршруту та початкового пункту для побудови маршруту.

Після цього на Кроці 2 проводиться формування множини доступних шляхів переміщень. А саме, відбувається робота користувача з множиною шляхів (створення, коригування) та визначення користувачем доступних шляхів переміщень.

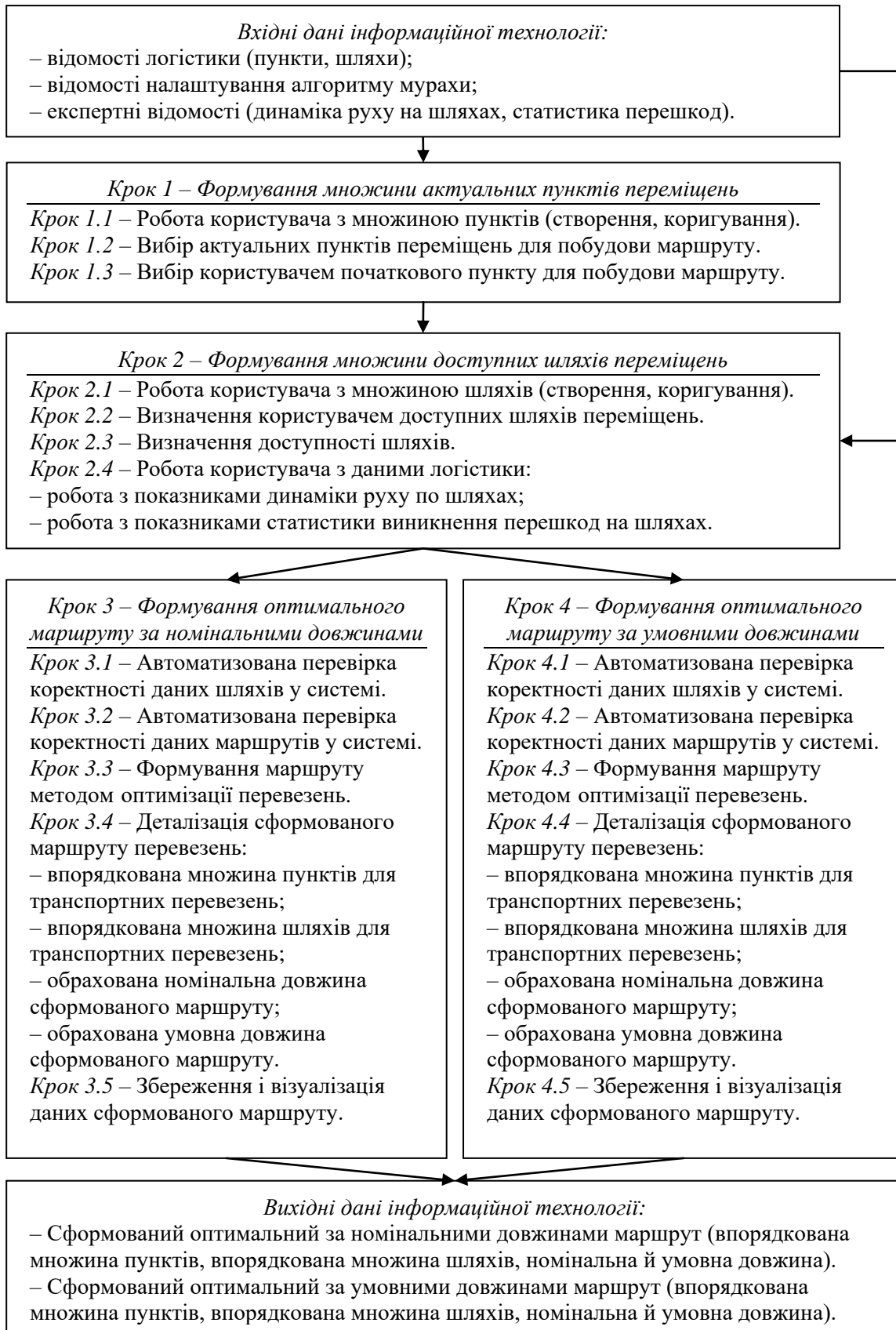


Рисунок 3.1 – Схема інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Також здійснюється визначення доступності шляхів. Після цього виконується робота користувача з даними логістики, зокрема робота з показниками динаміки руху по шляхах та робота з показниками статистики виникнення перешкод на шляхах.

На Кроці 3 виконується власне формування оптимального маршруту за номінальними довжинами. Для цього спершу проводиться автоматизована перевірка коректності даних шляхів у системі та коректності даних маршрутів у системі. Після цього виконується формування маршруту методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики. При цьому послідовно відбуваються формування початкової ситуації подорожі, імітація обходу маршрутів агентами, перевірка збігу маршрутів та формування результуючого маршруту та його параметрів. Після цього виконується деталізація сформованого маршруту перевезень. При цьому визначається впорядкована множина пунктів для транспортних перевезень, впорядкована множина шляхів для транспортних перевезень, обраховуються номінальна довжина сформованого маршруту та умовна довжина сформованого маршруту. Останнім кроком виконується збереження і візуалізація даних сформованого маршруту.

Поряд із цим, на Кроці 4 виконується власне формування оптимального маршруту за умовними довжинами. Аналогічно, для цього спершу проводиться автоматизована перевірка коректності даних шляхів у системі та коректності даних маршрутів у системі. Після цього виконується формування маршруту методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики. Після цього виконується деталізація сформованого маршруту перевезень, коли визначається впорядкована множина пунктів для транспортних перевезень, впорядкована множина шляхів для транспортних перевезень, обраховуються номінальна довжина сформованого маршруту та умовна довжина сформованого маршруту. Останнім кроком також виконується збереження й візуалізація даних сформованого маршруту.

Вихідні дані інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики складають два сформовані маршрути: оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут. Для кожного з них одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань й експертних відомостей вихідних даних в вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними і умовними довжинами.

Характерними рисами інформаційної технології є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування, значення номінальної та умовної довжини.

3.2 Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Структуру інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики побудовано відповідно до структури інформаційної технології, наведеної в п.3.1. Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики складається з бази даних та

трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями й підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами, що зображено на Рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

База даних містить відомості необхідні для роботи інформаційної технології: маршрут об'їзду множини пунктів, пункти які потрібно відвідати, номінальна довжина шляху між двома пунктами, умовна довжина шляху між двома пунктами яка враховує показники динаміки руху та статистики завад, показник динаміки руху на шляху між двома пунктами, показник статистики

завад на шляху між двома пунктами, а також параметри налаштувань роботи алгоритму мурахи. Загалом ці дані розподіляються на відомості логістики (пункти, шляхи), відомості налаштування алгоритму мурахи та експертні відомості (динаміка руху на шляхах, статистика перешкод).

Підсистема роботи з даними логістики забезпечує виконання наступних функцій інформаційної системи:

- робота користувача з множиною пунктів відвідування та їх параметрами (створення, коригування);

- вибір актуальних пунктів переміщень для побудови маршруту їх відвідування;

- вибір користувачем початкового пункту для подальшої автоматизованої побудови маршруту;

- робота користувача з множиною шляхів (створення, коригування);

- визначення користувачем доступних шляхів переміщень із числа наявних у системі;

- робота користувача з показниками динаміки руху по шляхах;

- робота користувача з показниками статистики виникнення перешкод на шляхах.

Підсистема роботи з налаштуваннями забезпечує виконання функції роботи користувача з параметрами роботи алгоритму мурахи, до яких належать вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості.

Підсистема формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами забезпечує виконання наступних функцій інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики:

- автоматизована перевірка коректності даних шляхів у системі з метою визначення достатньої кількості пунктів, відсутності повторень пунктів в маршруті, наявності мінімальної кількості шляхів до пунктів тощо;

- автоматизована перевірка коректності даних маршрутів у системі;
- автоматизоване формування маршруту за номінальними довжинами методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики;
- автоматизоване формування маршруту за умовними довжинами методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики;
- автоматизована деталізація двох сформованих маршрутів перевезень, щоб побудовані за номінальними й умовними довжинами шляхів;
- автоматизоване збереження і візуалізація даних сформованого маршруту, які складають два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

Таким чином, розроблено структуру інформаційної системи відповідно до інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Інформаційна система складається з бази даних інформація якої розподіляються на відомості логістики, відомості налаштування алгоритму мурахи та експертні відомості, й трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями і підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

3.3 Аргументація вибору засобів розробки інформаційної системи

Враховуючи сучасний етап розвитку інформаційних технологій можна виділити безліч середовищ для розробки програмних продуктів, мов програмування та СКБД. Для розробки інформаційної системи оптимізації

транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики було обрану платформу .NET, мову програмування C#, середовище розробки Visual Studio 2019 та СКБД Microsoft SQL Server.

Microsoft .NET Framework – це платформа для розробників, створена компанією Microsoft. Платформа дозволяє створювати додатки багатьох різних типів [24].

Обрана платформа має багато переваг, які роблять її більш популярнішою серед конкурентів [25]:

- дозволяє писати програми на багатьох різних мовах;
- кросплатформеність;
- безліч бібліотек;
- висока продуктивність;
- надійність та безпечність;
- велика активна спільнота.

Для зручної розробки програмного продукту було обрано мову програмування C#. C# - це сучасна, інноваційна, об'єктно-орієнтована мова програмування. Обрана мова входить в п'ятірку кращих мов програмування на GitHub [26].

Мова програмування C# стала популярною завдяки ряду переваг:

- постійний розвиток мови;
- C# строго типізована мова, що покращує розуміння програмних кодів;
- об'єктно-орієнтована мова;
- підтримка поліморфізму;
- велика кількість бібліотек і шаблонів.

Для зручної та коректної роботи з базою даних предметної області, було обрано СКБД Microsoft SQL Server. СКБД виконує всі основні функції збереження та надання даних у відповідь на запити.

Microsoft SQL Server має багато переваг, основними з яких є:

- аналіз даних всіх типів;
- висока продуктивність;
- безпека та надійність;
- можливість вибору середовища для роботи з даними [27].

Для зручного використання обраної комбінації засобів розробки, було обрано середовище розробки Visual Studio. Visual Studio – це зручний спосіб створення програмних продуктів. Обране середовище має безліч можливостей, серед яких основними є [28]:

- повноцінний набір інструментів та функцій, які дозволяють вдосконалювати кожен з етапів розробки;
- налаштування теми;
- великий вибір розширень;
- діагностика проблем та пошук помилок;
- автоматичне завершення коду за допомогою IntelliCode.

Отже, було проаналізовано переваги доступних засобів розробки інформаційної системи, створеної відповідно до інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Для розробки інформаційної системи було визначено використати платформу .NET, мову програмування C#, середовище розробки Visual Studio 2019 та СКБД Microsoft SQL Server.

3.4 Проєктування даталогічної моделі інформаційної системи

Для ефективного зберігання, перегляду та взаємодії з усіма даними будь-якої інформаційної системи потрібно правильно спроектувати базу даних. Визначення сутностей предметної області, та їх властивостей, є основою розробки структури БД. Кожна сутність являє собою окрему таблицю з набором полів, кожне з яких має свої властивості.

При аналізі обраної предметної області згідно п.2.2 можна виділити такі основні сутності: «Ways» (маршрути), «Elements_of_ways» (елементи маршрутів), «Stations» (пункти), «Distances» (відстані між двома пунктами). Для реалізації інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики було розроблено та спроектовано БД з вказаними вище сутностями (Рисунок 3.3).

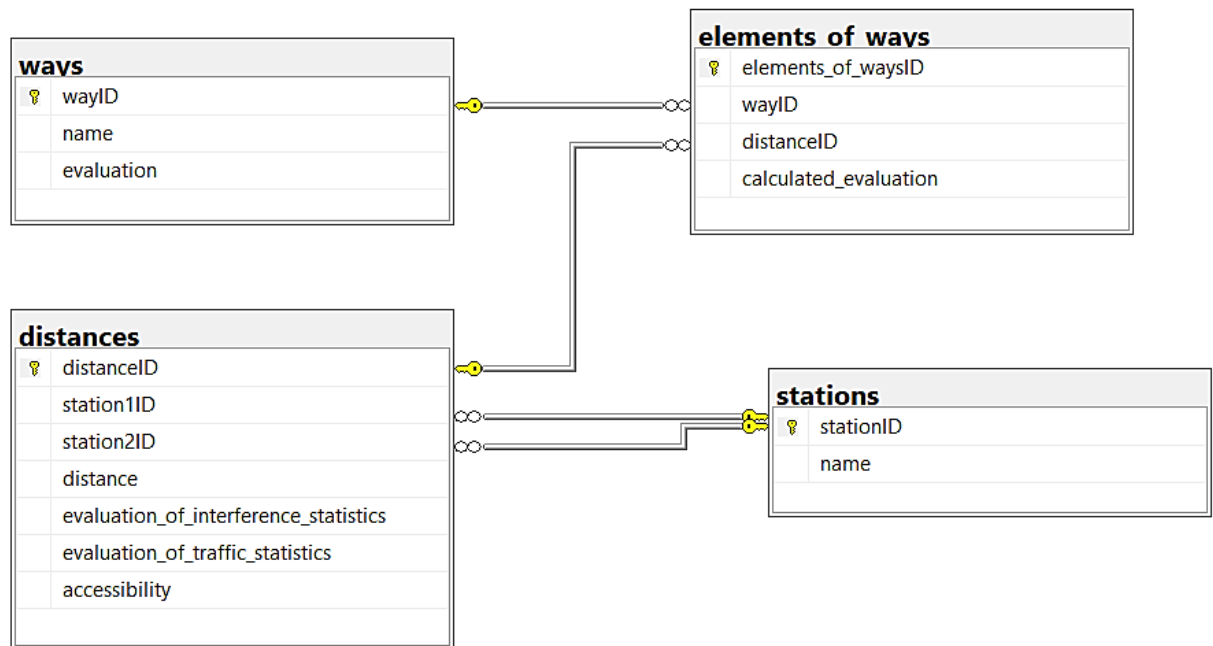


Рисунок 3.3 – Даталогічна модель бази даних інформаційної системи

На основі розробленої структури було створено таблицю «Ways» (Таблиця 3.1). Дана таблиця призначена для збереження даних про кінцевий маршрут, розрахований в результаті роботи програми.

Таблиця 3.1 – Атрибути таблиці «Ways»

| № п/п | Назва атрибуту | Тип даних | Опис |
|-------|----------------|--------------|--|
| 1. | wayID | int | Первинний ключ. Унікальний ідентифікатор маршруту. |
| 2. | Name | nvarchar(50) | Назва маршруту |
| 3. | Evaluation | float | Оцінка маршруту |

Таблиця «Stations» зберігає усі можливі пункти, які можуть входити в маршрути (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Атрибути таблиці «Stations»

| № п/п | Назва атрибуту | Тип даних | Опис |
|-------|----------------|--------------|--|
| 1. | stationID | int | Первинний ключ. Унікальний ідентифікатор пункту. |
| 2. | Name | nvarchar(50) | Назва пункту |

Таблиця 3.3 – Атрибути таблиці «Distances»

| № п/п | Назва атрибуту | Тип даних | Опис |
|-------|---------------------------------------|-----------|--|
| 1. | distanceID | int | Первинний ключ. Унікальний ідентифікатор відстані. |
| 2. | Station1ID | int | Вторинний ключ. Посилання на запис із таблиці «Stations». Використовується для зв'язку між відповідним першим пунктом. |
| 3. | Station2ID | int | Вторинний ключ. Посилання на запис із таблиці «Stations». Використовується для зв'язку між відповідним другим пунктом. |
| 4. | Distance | float | Відстань між двома пунктами |
| 5. | Evaluation_of_interference_statistics | float | Оцінка статистики виникнення перешкод |
| 6. | Evaluation_of_traffic_statistics | float | Оцінка статистики динаміки руху |
| 7. | Accessibility | int | Доступність (1 – пункт доступний, 0 – не доступний) |

Для збереження усіх параметрів про відстані між двома пунктами, які необхідні для обчислень, реалізовано таблицю «Distances» (Таблиця 3.3).

Для збереження даних про елементи маршрутів використано таблицю «Elements_of_ways» (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Атрибути таблиці «Elements_of_ways»

| № п/п | Назва атрибуту | Тип даних | Опис |
|-------|-----------------------|-----------|---|
| 1. | Elements_of_waysID | int | Первинний ключ. Унікальний ідентифікатор елемента маршруту. |
| 2. | WayID | int | Вторинний ключ. Посилання на запис із таблиці «Ways». Використовується для зв'язку між відповідним маршрутом. |
| 3. | DistanseID | int | Вторинний ключ. Посилання на запис із таблиці «Distances». Використовується для зв'язку між відповідною відстанню |
| 4. | Calculated_evaluation | float | Розрахункова оцінка |

Таким чином, для ефективного зберігання, перегляду та взаємодії з усіма даними було інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики було розроблено та спроектовано базу даних, яка містить відомості маршрутів, елементів маршрутів, пунктів та відстаней між пунктами. У спроектованій БД зберігаються усі необхідні дані для коректної роботи інформаційної системи. Розроблена БД дозволяє ефективну взаємодію із всіма збереженими в ній даними.

Висновки до розділу 3

У розділі розроблено інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань й експертних відомостей вихідних даних в вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними і умовними довжинами.

Характерними рисами інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування, значення номінальної та умовної довжини.

Було розроблено структуру інформаційної системи відповідно до інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Інформаційна система складається з бази даних інформація якої розподіляються на відомості логістики, відомості налаштування алгоритму мурахи та експертні відомості, й трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями і підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

У розділі також було проаналізовано переваги доступних засобів розробки інформаційної системи, створеної відповідно до інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, й для розробки інформаційної системи було визначено використати платформу .NET, мову програмування С#, середовище розробки Visual Studio 2019 та СКБД Microsoft SQL Server.

Для ефективного зберігання, перегляду і взаємодії з всіма даними було інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики було розроблено й спроектовано базу даних, яка містить відомості маршрутів, елементів маршрутів, пунктів і відстаней між пунктами. У спроектованій БД зберігаються усі необхідні дані для коректної роботи інформаційної системи.

Розділ 4

Дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

4.1 Архітектура інформаційної системи

Для дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики потрібно створити її прикладне застосування у вигляді відповідної інформаційної системи.

На основі програмної реалізації інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, було створено діаграму класів (Рисунок 4.1). В програмі реалізовано два класи, кожен з яких має свій функціонал та призначення.

Усі методи, які відносяться до мурашиного алгоритму зосереджені в класі «Ant». Цей клас проводить усі необхідні розрахунки над вхідними даними, та передає результати в клас форми «MainForm». За допомогою методу Desire обчислюються бажання мурахи перейти з одного пункту в інший. Метод DistanceMatrix створює матрицю відстаней між усіма пунктами. Матриця ферментів генерується в методі Ferment. Обчислення маршруту проводиться в методі Iteration. Даний метод функціонує на основі результатів роботи попередніх методів.

В класі «MainForm» описано взаємодію користувача з графічним інтерфейсом програми. В даному класі описані усі події натиснення на елементи керування формою. У цьому класі створюється об'єкт класу «Ant», через який викликаються усі необхідні методи алгоритму пошуку оптимального маршруту. Взаємодія із базою даних інформаційної системи, також відбувається в класі «MainForm».

Клас «Program» містить всього лиш один метод, який виконується при запуску програми.

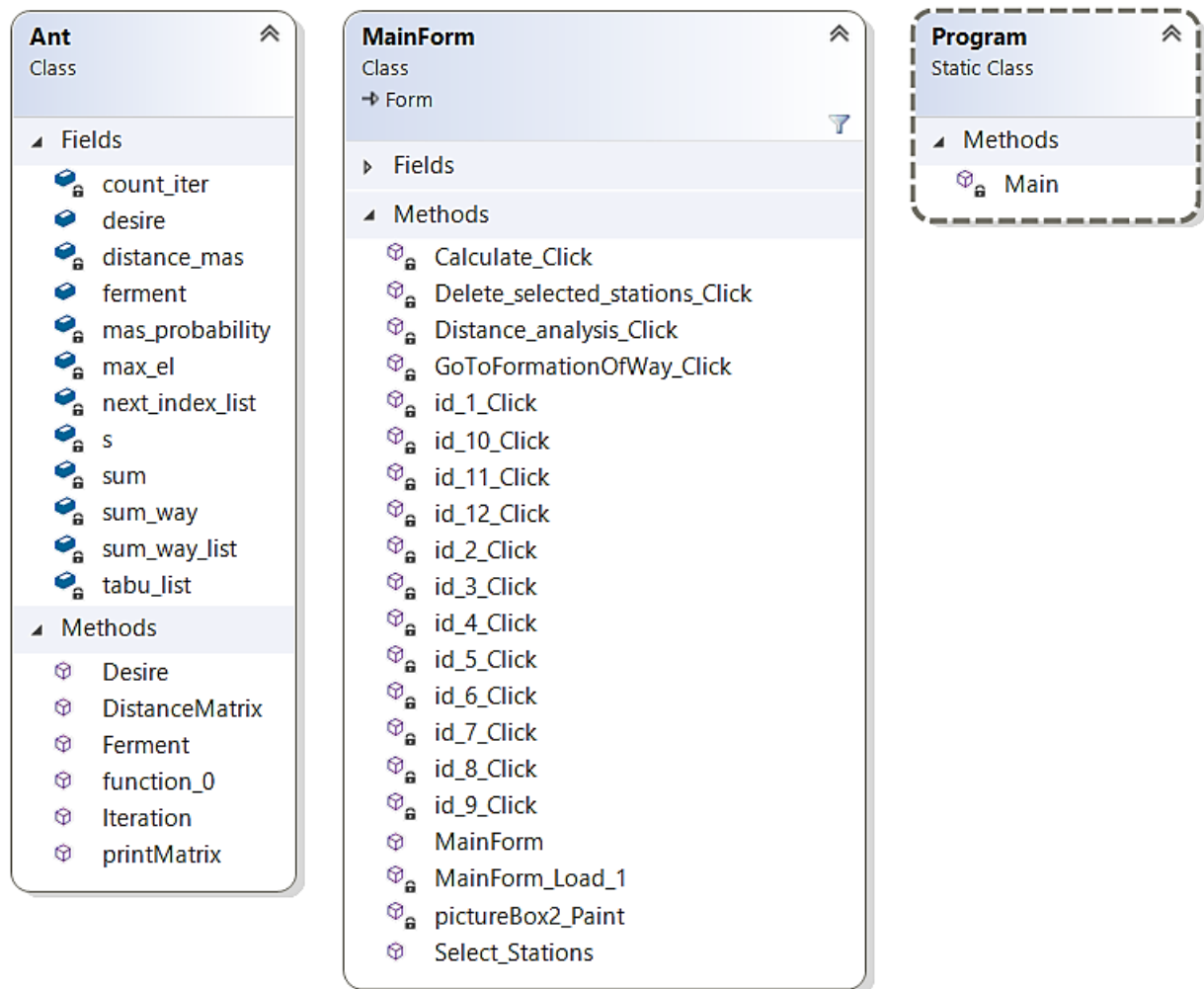


Рисунок 4.1 – Діаграма класів інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Таким чином, для дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики визначено за необхідне створити її прикладне застосування у вигляді відповідної інформаційної системи. Було розроблено архітектуру інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка дозволяє реалізувати необхідний функціонал для пошуку оптимального шляху за допомогою алгоритму мурахи. Розбиття програми на різні за функціоналом класи, робить можливим її подальше розширення.

4.2 Розробка прикладних компонентів інформаційної системи

Реалізована інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики тісно пов'язана із даними, які зберігаються в БД. Саме тому, для коректної роботи програмного продукту потрібно реалізувати правильне підключення до БД, та вивід необхідних даних в таблицю. Підключення та відображення обраних користувачем пунктів реалізовано наступним чином:

```
private void MainForm_Load_1(object sender, EventArgs e)
{
    //Створення з'єднання
    sqlConnection = new
SqlConnection(ConfigurationManager.ConnectionStrings["Database"].ConnectionString);
    sqlConnection.Open();
    if (sqlConnection.State == ConnectionState.Open)
        MessageBox.Show("З'єднання встановлено");
}
public void Select_Stations(int id)
{
    string select_name = $"SELECT name FROM stations WHERE stationID={id}";
    command = new SqlCommand(select_name, sqlConnection);
    SqlDataReader reader = command.ExecuteReader();
    string data="";

    while (reader.Read())
        data = reader[0].ToString();
    reader.Close();

    count++;
    dataGridView1.Rows.Add(count,data,false);

    StationId.Add(id);
}
```

Результат роботи даного програмного коду зображено на рисунку 4.2.

Формування відстаней між двома обраними пунктами відбувається за допомогою SQL запиту. Крім цього у таблицю додаються всі необхідні для обчислень характеристики відстаней. Даний функціонал реалізовується наступним кодом:

```
for(int j=i+1;j<StationId.Count; j++)
{
    string select = $"SELECT station1ID, station2ID, distance,
evaluation_of_interference_statistics,evaluation_of_traffic_statistics FROM distances WHERE
station1ID={StationId[i]} AND station2ID={StationId[j]}";
    command = new SqlCommand(select, sqlConnection);
```

```

SqlDataReader reader = command.ExecuteReader();
List<string[]> data = new List<string[]>();
while (reader.Read())
{
    data.Add(new string[6]);
    data2.Add(new string[2]);
    data[data.Count - 1][0] = (count).ToString();
    data[data.Count - 1][1] = reader[0].ToString();
    data[data.Count - 1][2] = reader[1].ToString();
    data[data.Count - 1][3] = reader[2].ToString();
    data[data.Count - 1][4] = reader[3].ToString();
    data[data.Count - 1][5] = reader[4].ToString();
    count++;
}
reader.Close();
foreach (string[] s in data)
    dataGridView2.Rows.Add(s);

```

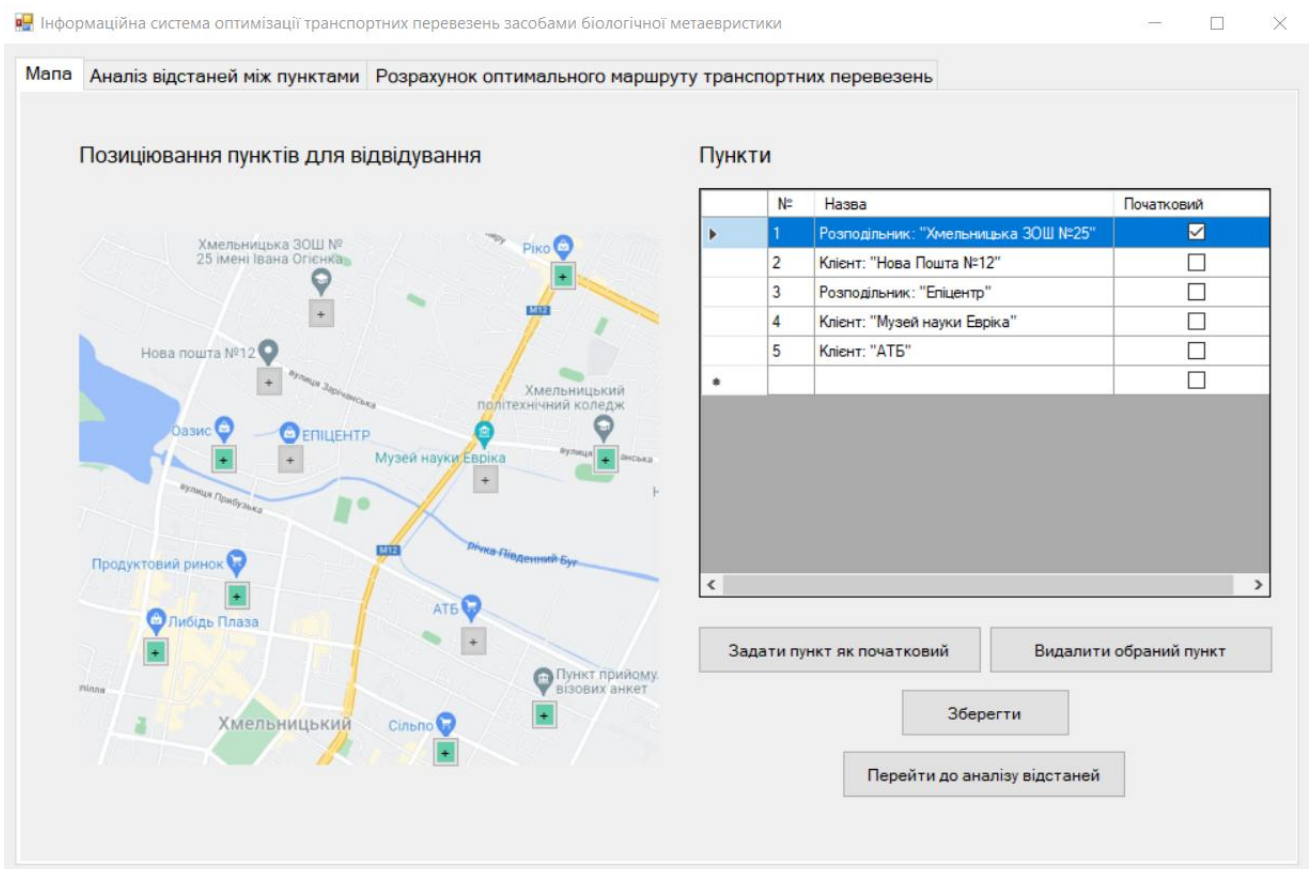


Рисунок 4.2 – Відображення обраних пунктів в інформаційній системі автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Результат роботи даного програмного коду зображено на рисунку 4.3.

Алгоритм мурахи реалізовано за допомогою набору методів, кожен з яких виконує різний функціонал. Спочатку потрібно побудувати матрицю відстаней між обраними раніше пунктами. Дана операція реалізована за допомогою такого програмного коду:

```

public double[,] DistanceMatrix(double P, int count_of_stations, List<double>distance)
{
    distance_mas = new double[count_of_stations, count_of_stations];
    for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    {
        for (int j = 0; j < count_of_stations; j++)
        {
            if (i == j)
                distance_mas[i, j] = 0;
            else
                distance_mas[i, j] = P / (distance[i + j - 1]);
        }
    }
    return distance_mas;
}

```

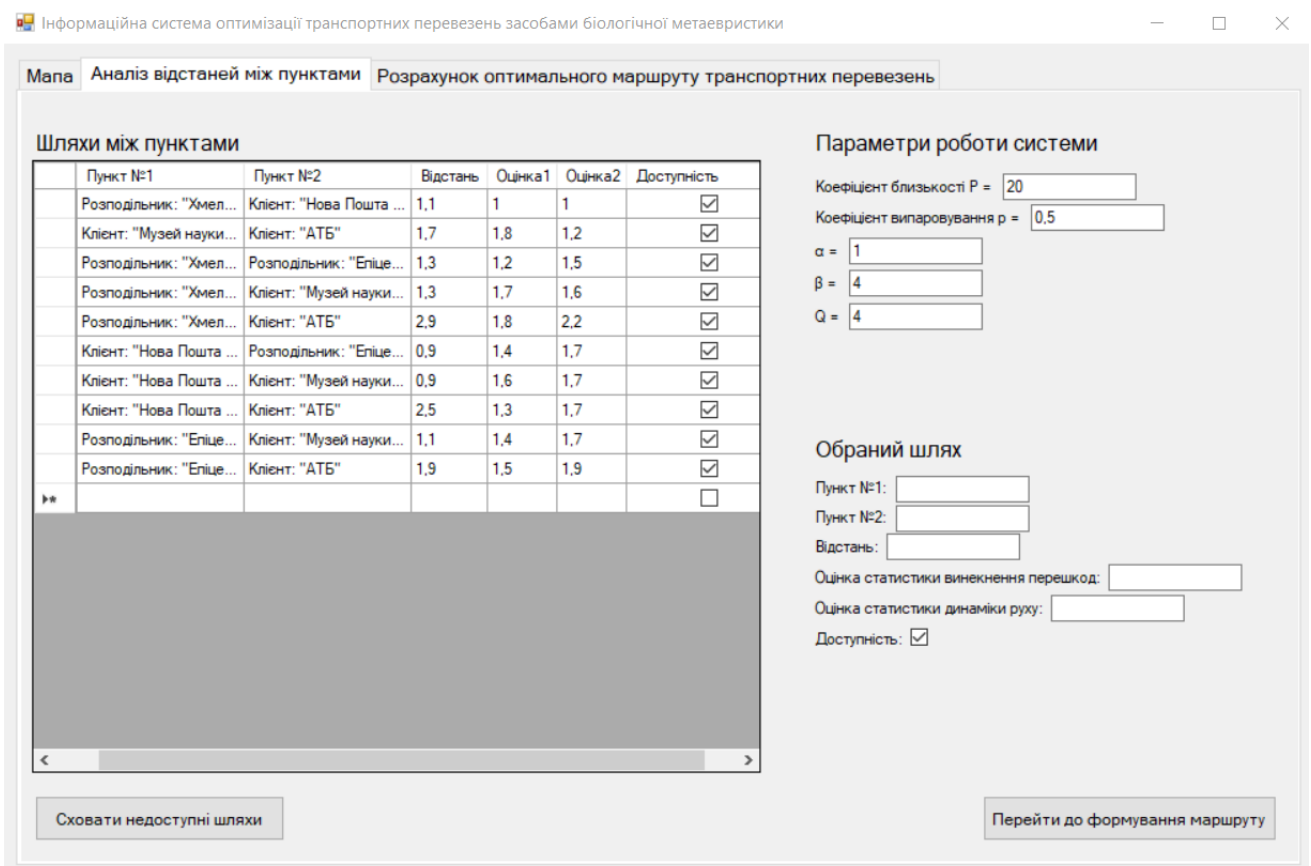


Рисунок 4.3 – Зображення інформації про обрані пункти в інформаційній системі автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Для обчислення ймовірності переходу з одного пункту в інший потрібно виконати обчислення бажань мурахи перейти в кожен пункт. Це реалізовано за допомогою заповнення матриці обрахованими бажаннями:

```

public double [,] Desire(double alpha, double beta, double[,] distance, int
count_of_stations, double[,] ferment)
{
    desire = new double[count_of_stations, count_of_stations];
    for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    {
        for (int j = 0; j < count_of_stations; j++)
        {
            if (i == j)
                desire[i, j] = 0;
            else
                desire[i, j] = Math.Pow(ferment[i, j], alpha) * Math.Pow(distance[i,
j], beta);
        }
    }
    return desire;
}

```

Основною функцією, яка обчислює маршрут мурахи є функція *Iteration*. У цій функції використовуються усі визначені раніше параметри. Код даної функції наведено нижче:

```

public void Iteration(double Q, double p, int count_of_stations, ListBox listBox2, ListBox
listBox3, double [,] ferment, double [,] desire)
{
    mas_probability = new double[count_of_stations];
    sum_way = 0;
    next_index_list.Clear();
    tabu_list.Clear();
    next_index_list.Add(0);
    tabu_list.Add(0);
    s = "";
    count_iter++;
    //Випаровування ферменту в масиві ферментів
    for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    {
        for (int j = 0; j < count_of_stations; j++)
            ferment[i, j] = ferment[i, j] * p;
    }
    //Ітерації
    for (int iter = 0; iter < count_of_stations; iter++)
    {
        for (int i = next_index_list.Last(); i < next_index_list.Last() + 1; i++)
        {
            function_0(sum, mas_probability, count_of_stations);
            for (int j = 0; j < count_of_stations; j++)
            {
                if (j != i && !tabu_list.Contains(j))
                    sum += desire[i, j];
            }
            for (int j = 0; j < count_of_stations; j++)
            {
                if (j != i && !tabu_list.Contains(j))
                    mas_probability[j] = desire[i, j] / sum;
            }
            max_el = mas_probability.Max();
            next_index_list.Add(mas_probability.ToList().IndexOf(max_el));
            tabu_list.Add(next_index_list.Last());
        }
    }
}

```

```

////Знаходження суми шляху
for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    sum_way += distance_mas[next_index_list[i], next_index_list[i + 1]];
sum_way_list.Add(sum_way);
for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    s += (next_index_list[i] + 1).ToString() + " - ";
listBox2.Items.Add("Ітерація №" + count_iter);
listBox2.Items.Add(s + " = " + Math.Round(sum_way, 3).ToString());
//Матриця ферментів
for (int i = 0; i < count_of_stations; i++)
    ferment[next_index_list[i], next_index_list[i + 1]] += Q / sum_way;
printMatrix(listBox3, ferment, count_of_stations);
}

```

В результаті взаємодії необхідних методів відбуваються необхідні обчислення, які є результатом роботи інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

4.3 Прикладне тестування інформаційної системи

Для дослідження коректної роботи інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень було розроблено ряд тестових випадків (тест-кейсів). Оскільки програма функціонує на основі даних, збережених в базі даних, важливо перевіряти успішність з'єднання. У першому тест-кейсі перевіряється з'єднання користувача з базою даних (Таблиця 4.1). Якщо після запуску програми, не виникає проблем із встановленням з'єднання, з'явиться вікно з повідомленням «З'єднання встановлено» (Рисунок 4.3). Після успішно встановленого з'єднання відкриється головна форма програми.

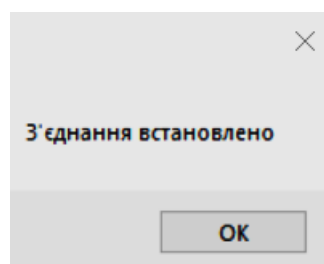


Рисунок 4.3 – Успішне встановлення з'єднання з БД в інформаційній системі автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Таблиця 4.1 – Тест-кейс АТ0001

| | | | |
|---|------------|---|---|
| Тест-кейс АТ0001 | ID: | Пріоритет: 1 | Створено: 23.11.2021, Т.Левченко |
| Назва: Перевірка з'єднання програми з базою даних | | | |
| Кроки | | Очікуваний результат | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Запустити програму 2. Порівняти фактичний результат з очікуваним 3. Закрити діалог із повідомленням 4. Порівняти фактичний результат з очікуваним | | <p>Діалог із повідомленням: «З'єднання встановлено».</p> <p>Вікно з інтерфейсом користувача відкрито.</p> | |
| Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно | | | |

У другому тестовому випадку перевіряється функціонал перегляду обраних користувачем пунктів. Після того, як користувач натисне на кнопку «+» поряд із пунктом, обраний пункт відображається в таблиці (Рисунок 4.4). Якщо пункт є в списку обраних, відповідна кнопка змінює колір з зеленого на сірий та стає недоступною (Таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Тест-кейс АТ0002

| | | | |
|---|------------|---|---|
| Тест-кейс АТ0002 | ID: | Пріоритет: 1 | Створено: 23.11.2021, Т.Левченко |
| Назва: Перевірка відображення обраних пунктів | | | |
| Кроки | | Очікуваний результат | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Запустити програму 2. Закрити діалог із повідомленням 3. Порівняти фактичний результат з очікуваним 4. Натиснути на кнопку «+» поряд із пунктом | | <p>Вікно з інтерфейсом користувача відкрито.</p> <p>Таблиця з пунктами містить лише обрані пункти. Кнопка «+» стала недоступною та змінила колір.</p> | |
| Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно | | | |

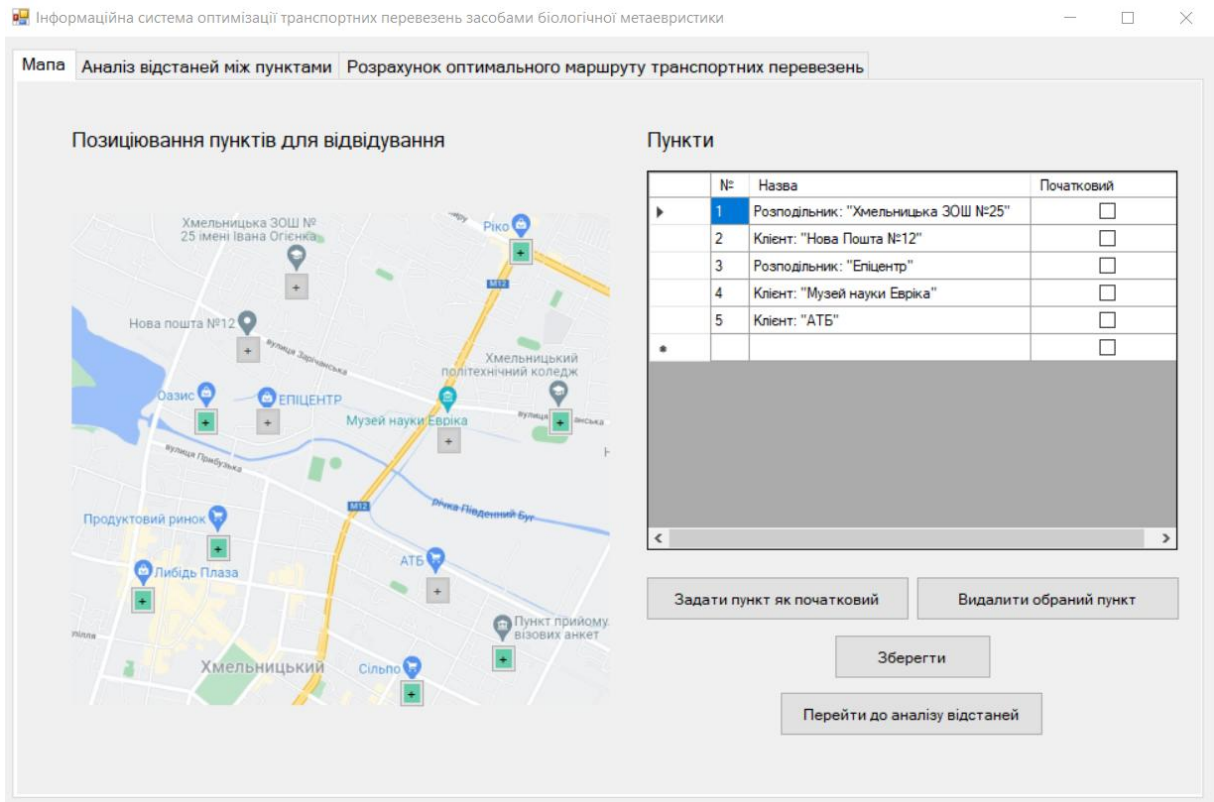


Рисунок 4.4 – Перелік обраних пунктів

Таблиця 4.3 – Тест-кейс АТ0003

| | | | |
|--|-----|---|----------------------------------|
| Тест-кейс АТ0003 | ID: | Пріоритет: 3 | Створено: 23.11.2021, Т.Левченко |
| Назва: Перевірка відображення інформації про обрані пункти | | | |
| Кроки | | Очікуваний результат | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Натиснути на кнопку «Перейти до аналізу відстаней» 2. Порівняти фактичний результат з очікуваним 3. Обрати довільний рядок у таблиці пунктів 4. Порівняти фактичний результат з очікуваним | | <p>Вкладка «Аналіз відстані між пунктами» відкрита.</p> <p>Інформація про обраний рядок відображається в текстових полях.</p> | |
| Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно | | | |

Після натиснення на кнопку «Перейти до аналізу відстаней» відкривається нова вкладка «Аналіз відстаней між пунктами». На цій вкладці формується таблиця доступних відстаней між обраними раніше пунктами. В

таблиці повинні відображатись всі можливі комбінації відстаней. При виборі відповідного рядка таблиці, дані відображаються в додаткових текстових полях (Рисунок 4.5). Тому наступний тест-кейс перевіряє правильність виконання описаного функціоналу (Таблиця 4.3).

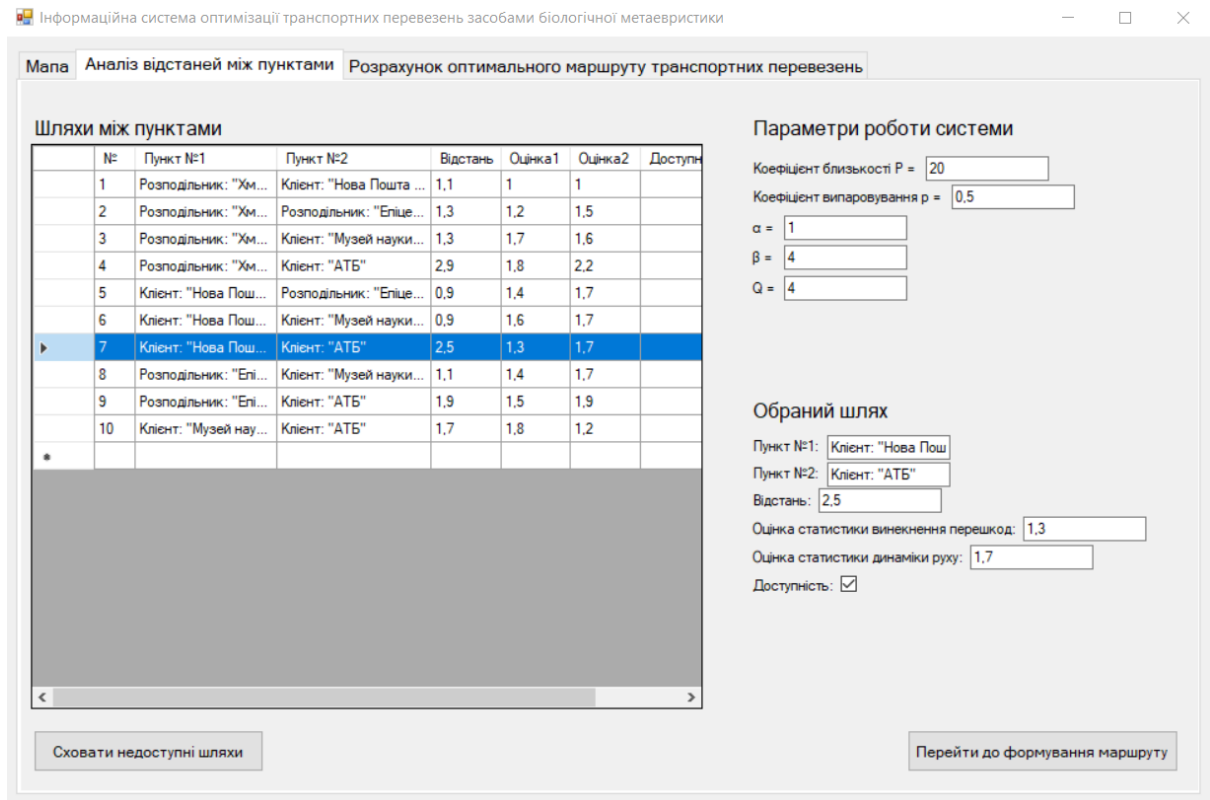


Рисунок 4.5 – Аналіз відстаней між пунктами

Останній тест кейс перевіряє відображення результатів обчислення (Таблиця 4.4). Після натиснення на кнопку «Перейти до формування маршруту» відкривається третя вкладка «Розрахунок оптимального маршруту транспортних перевезень». В текстовому полі «Лог ітерацій» відображаються усі зроблені ітерації. Після відкриття вкладки текстове поле «Модифікації матриці ферментів» повинно бути заповнене початковою матрицею ферментів. По натисненню на кнопку «Розрахувати найкоротший маршрут» проводяться розрахунки. Результати розрахунків записуються у відповідні поля. На карті малюється пройдений маршрут. Текстове поле «Перелік пунктів маршруту» заповнюється пунктами, які входять в маршрут. У таблиці «Перелік відстаней маршруту» відображаються відстані маршруту (Рисунок 4.6).

Таблиця 4.4 – Тест-кейс АТ0004

| | | | |
|---|-----|--|----------------------------------|
| Тест-кейс АТ0004 | ID: | Пріоритет: 1 | Створено: 23.11.2021, Т.Левченко |
| Назва: Перевірка відображення результатів обчислення | | | |
| Кроки | | Очікуваний результат | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Натиснути на кнопку «Перейти до формування маршруту» 2. Порівняти фактичний результат з очікуваним 3. Натиснути на кнопку «Розрахувати найкоротший маршрут» 4. Порівняти фактичний результат з очікуваним | | <p>Вкладка «Розрахунок оптимального маршруту транспортних перевезень» відкрита. Текстове поле «Модифікації матриці ферментів» заповнене початковою матрицею.</p> <p>Текстове поле «Лог ітерацій» відображає зроблену ітерацію. поле «Модифікації матриці ферментів» відображає модифіковану матрицю. На карті візуалізовано маршрут. В текстовому полі «Перелік пунктів маршруту» відображено пункти, які входять у маршрут. В таблицю «Перелік відстаней маршруту» додано відстані.</p> | |
| Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно | | | |

Інформаційна система оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Мана | Аналіз відстаней між пунктами | Розрахунок оптимального маршруту транспортних перевезень

Візуалізація маршруту

Лог ітерацій

Ітерація №1
1-2-5-4-3- = 49,023

Модифікації матриці ферментів

Ітерація №0

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0.2 |
| 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0 |

Ітерація №1

| | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.182 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.182 |
| 0.182 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 |
| 0.1 | 0.1 | 0.182 | 0 | 0.1 |
| 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.182 | 0 |

Розрахувати найкоротший маршрут

Використані параметри роботи алгоритму пошуку

Коефіцієнт близькості P =

Коефіцієнт випаровування p =

α =

β =

Q =

Перелік пунктів маршруту

Розподільник: "Хмельницька ЗОШ №12"
Клієнт: "Нова Пошта №12"
Розподільник: "Епіцентр"
Клієнт: "Музей науки Евріка"
Клієнт: "АТБ"

Перелік відстаней маршруту

| № | Відстань |
|---|----------|
| 1 | 1.1 |
| 2 | 1.3 |
| 3 | 1.3 |
| 4 | 2.9 |
| 5 | 0.9 |

Сформований маршрут

Назва: Шлях 1

Оцінка:

Довжина:

Зберегти маршрут у системі

Рисунок 4.6 – Розрахунок оптимального маршруту транспортних перевезень

Дослідження коректного виконання функцій інформаційної системи успішно пройдено. На прикладі тест-кейсів доведено що програмний продукт виконує усі необхідні функції.

Таким чином, було розроблено ряд тестових випадків (тест-кейсів) й проведено відповідне прикладне тестування інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яке підтвердило працездатність інформаційної технології, що використовує розроблений метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

4.4 Функціональне дослідження інформаційної системи

Для проведення функціонального дослідження інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, відповідно до п.3.2, було визначено узагальнений функціонал в обсягу наступних функцій:

- робота користувача з множиною пунктів відвідування та їх параметрами (створення, коригування);
- вибір актуальних пунктів переміщень для побудови маршруту їх відвідування;
- вибір користувачем початкового пункту для подальшої автоматизованої побудови маршруту;
- робота користувача з множиною шляхів (створення, коригування);
- визначення користувачем доступних шляхів переміщень із числа наявних у системі;
- робота користувача з показниками динаміки руху по шляхах;
- робота користувача з параметрами роботи алгоритму мурахи, до яких належать вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості;

- робота користувача з показниками статистики виникнення перешкод на шляхах;
- автоматизована перевірка коректності даних шляхів у системі з метою визначення достатньої кількості пунктів, відсутності повторень пунктів в маршруті, наявності мінімальної кількості шляхів до пунктів тощо;
- автоматизована перевірка коректності даних маршрутів у системі;
- автоматизоване формування маршруту за умовними довжинами методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики;
- автоматизоване формування маршруту за номінальними довжинами методом оптимізації перевезень засобами біологічної метаевристики;
- автоматизована деталізація двох сформованих маршрутів перевезень, щоб побудовані за номінальними й умовними довжинами шляхів;
- автоматизоване збереження і візуалізація даних сформованого маршруту, які складають два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина..

Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики повинна дозволяти користувачеві обирати пункти, які входять в кінцевий маршрут. Пункти обираються за допомогою зеленої кнопки «+» поряд із назвою пункту на карті. Після натиснення на обрану кнопку пункт відображається в таблиці «Пункти». За допомогою кнопки «Задати пункт як початковий» користувач може обрати початковий пункт. Кнопка «Видалити обраний пункт» видаляє пункт із переліку обраних. Після того як користувач обере всі необхідні пункти потрібно натиснути кнопку «Зберегти» і «Перейти до аналізу відстаней» (Рисунок 4.7).

На вкладці «Аналіз відстаней між пунктами» розміщена таблиця з даними про усі можливі комбінації відстаней між двома раніше обраними пунктами. Крім відстані в таблиці відображаються два додаткові параметри: оцінка статистики виникнення перешкод та оцінка статистики динаміки руху. Вони

потрібні для кращого аналізу відстаней, адже знаходження оптимального шляху залежить не тільки від відстані шляху в кілометрах. При розрахунках повинні враховуватись інші фактори, які можуть впливати на результат проходження обраного шляху.

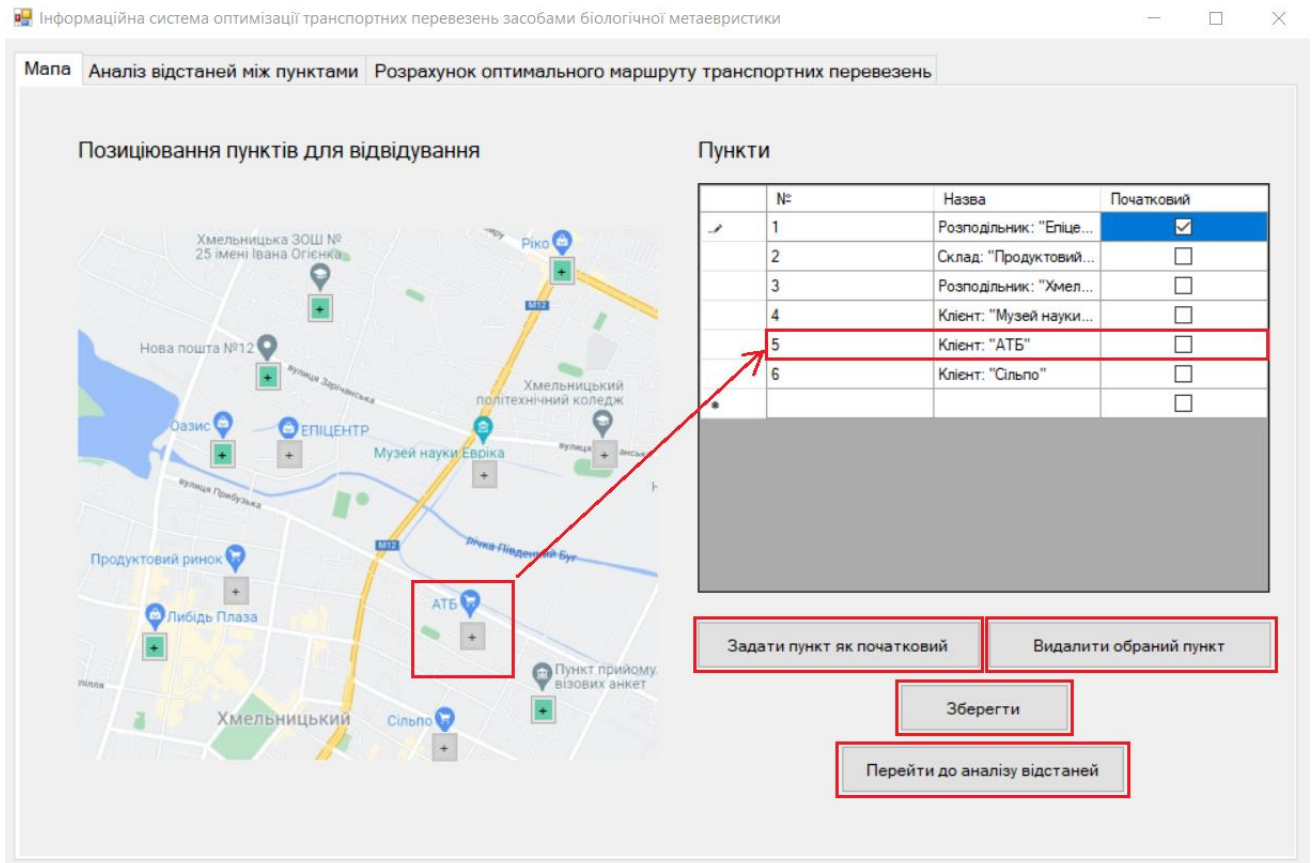


Рисунок 4.7 – Вибір пунктів на карті

Щоб подивитись інформацію яка розміщена в кожному рядку таблиці, користувачеві достатньо обрати бажаний рядок. Усі дані про обрану відстань відобразяться у відповідних текстових полях (Рисунок 4.8).

На формі є відповідні текстові поля для вводу параметрів роботи системи. До таких параметрів відносяться різні коефіцієнти та змінні потрібні для коректної роботи мурашиного алгоритму. Кожен із цих параметрів по своєму впливає на результати роботи. Так, наприклад, коефіцієнт близькості визначає, як сильно впливатиме відстань між пунктами на вибір мурахи. А коефіцієнт випаровування вказує наскільки швидко випаровуватиметься фермент на шляху.

Для зручності перегляду даних із таблиці додано функцію приховання недоступних шляхів. Користувачу достатньо натиснути на кнопку «Сховати недоступні шляхи» і всі шляхи в яких не стоїть позначка в стовпці «Доступність» будуть приховані. При натисненні на кнопку «Перейти до формування маршруту» відкриється третя вкладка із результатами обчислень.

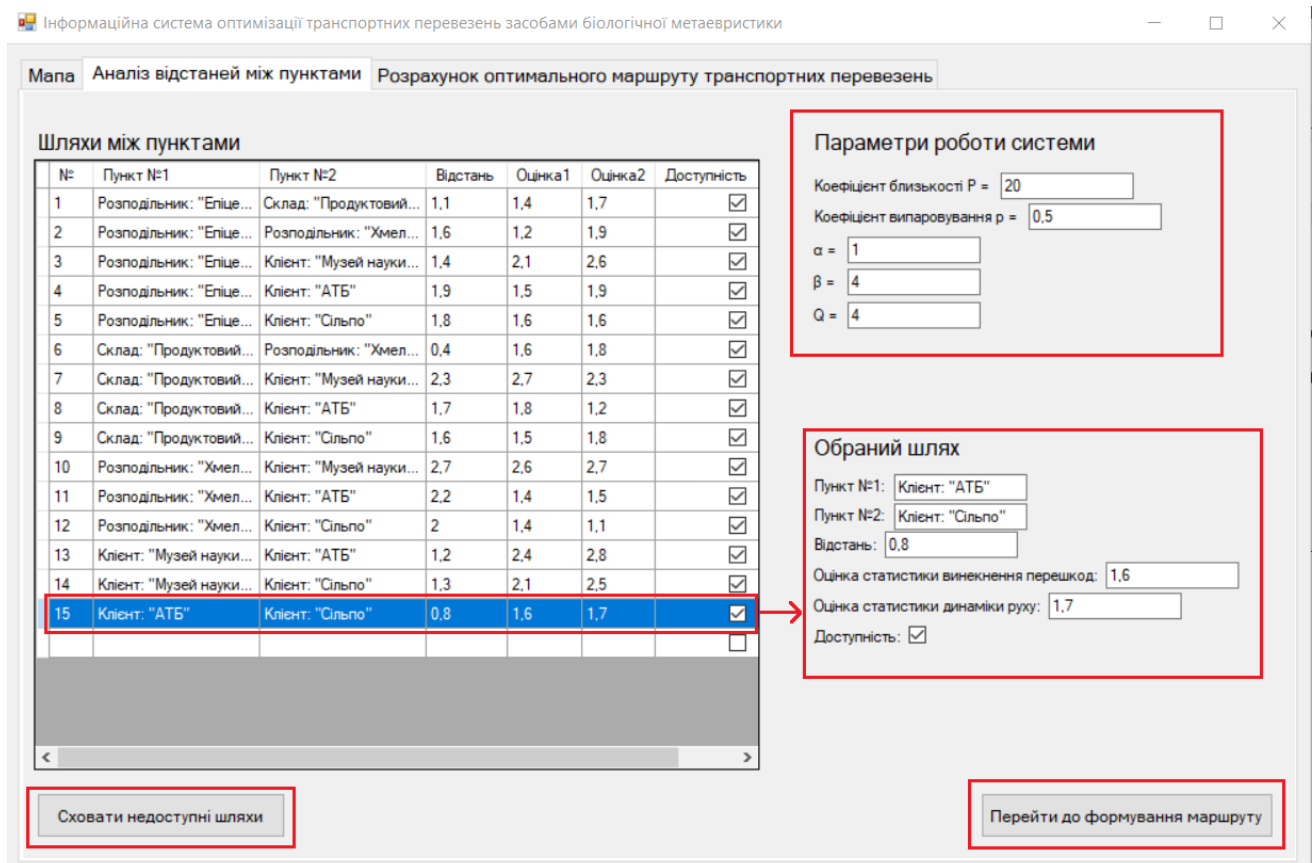


Рисунок 4.8 – Аналіз відстаней між пунктами

На третій вкладці зображені всі необхідні поля для виводу результатів обчислення оптимального маршруту. При відкриті форми в текстовому полі «Модифікації матриці ферментів» відображається початкова матриця ферментів. При натисненні на кнопку «Розрахувати найкоротший маршрут» програма проводить необхідні обчислення. В текстове поле «Лог ітерацій» записуються усі зроблені ітерації. За одне натиснення на кнопку, програма робить одну ітерацію. Після знаходження маршруту на карті малюється пройдений маршрут. В текстове поле «Перелік пунктів маршруту» виводяться пункти, які входять в цей маршрут. А в таблицю «Перелік відстаней маршруту» записуються усі

відстані. У відповідне текстове поле записується довжина маршруту та його оцінка. За допомогою кнопки «Зберегти маршрут у системі» програма дає можливість зберегти дані маршруту в базу даних (Рисунок 4.9)

Інформаційна система оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Мапа Аналіз відстаней між пунктами Розрахунок оптимального маршруту транспортних перевезень

Візуалізація маршруту

Лог ітерацій

Ітерація №1
1 - 2 - 6 - 5 - 3 - 4 - = 53,948

Модифікації матриці ферментів

Ітерація №0

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 0,2 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 0,2 | 0,2 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0,2 | 0,2 |
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0,2 |
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 |

Ітерація №1

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,174 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,174 |
| 0,1 | 0,1 | 0 | 0,174 | 0,1 | 0,1 |
| 0,174 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 |
| 0,1 | 0,1 | 0,174 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,174 | 0 |

Розрахувати найкоротший маршрут

Використані параметри роботи алгоритму пошуку

Коефіцієнт близькості P =

Коефіцієнт випаровування p =

α =

β =

Q =

Перелік пунктів маршруту

Розподільник: "Епіцентр"
Клієнт: "Музей науки Евріка"
Розподільник: "Хмельницький Політ"
Склад: "Продуктовий ринок"
Клієнт: "АТЕ"
Клієнт: "Сільпо"

Перелік відстаней маршруту

| № | Відстань |
|---|----------|
| 1 | 1,1 |
| 2 | 1,6 |
| 3 | 1,4 |
| 4 | 1,9 |
| 5 | 1,8 |
| 6 | 0,4 |

Сформований маршрут

Назва

Оцінка

Довжина

Зберегти маршрут у системі

Рисунок 4.9 – Результати розрахунків програмного продукту

Дослідження функціональності інформаційної системи оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики підтвердило можливість обчислення оптимального маршруту. Програмний продукт дає змогу обирати пункти з яких буде складатись маршрут. Також є можливість перегляду додаткової інформації про кожен пункт. Програма дозволяє змінювати значення параметрів роботи алгоритму пошуку для ефективнішого аналізу роботи алгоритму. Таким чином, створена інформаційна система може бути використана для знаходження оптимального шляху та дослідження параметрів, які на це впливають.

У таблиці 4.1 наведено результати порівняння базових автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою інформаційною системою та існуючими системами Google Maps [10], Skyriver [11] та Waze [12].

Таблиця 4.5 – Порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами

| Функції | Google Maps [10] | Skyriver [11] | Waze [12] | Розроблена ІС |
|---|------------------|---------------|-----------|---------------|
| Побудова оптимального шляху між двома пунктами | + | + | + | + |
| Побудова оптимального маршруту між багатьма пунктами | - | + | - | + |
| Пропозиція альтернативних маршрутів | + | + | + | + |
| Врахування доступності шляхів між пунктами | + | + | + | + |
| Врахування показників динаміки руху на шляхах | + | - | - | + |
| Врахування показників імовірності появ перешкод на шляхах | - | - | + | + |

Таким чином, у порівнянні з системами Google Maps, Skyriver та Waze, розроблена з використанням методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики інформаційна система має ряд якісних переваг, що обумовлені її призначенням. Зокрема, вона дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах та показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами та пропонувати альтернативні маршрути.

Висновки до розділу 4

В розділі розглянуто особливості прикладної розробки інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка необхідна для подальшого дослідження ефективності створеної інформаційної технології, що використовує розроблений метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Для дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики було визначено за необхідне створити її прикладне застосування у вигляді відповідної інформаційної системи. Було розроблено архітектуру інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка дозволяє реалізувати необхідний функціонал для пошуку оптимального шляху за допомогою алгоритму мурахи.

Було розроблено ряд тестових випадків й проведено відповідне прикладне тестування інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яке підтвердило працездатність інформаційної технології, що використовує розроблений метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Дослідження функціональності інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики підтвердило можливість обрахунку оптимального маршруту, програмний продукт дає змогу обирати пункти з яких буде складатись маршрут і є можливість перегляду додаткової інформації про кожен пункт. Програма дозволяє змінювати значення параметрів роботи алгоритму пошуку для ефективнішого аналізу роботи алгоритму. Таким чином, доведено, що створена інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики може бути використана для

знаходження оптимального шляху та дослідження параметрів, які на це впливають.

Порівняння основних функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами виявило, що розроблена з використанням методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики інформаційна система має ряд якісних переваг, що обумовлені її призначенням. Зокрема, вона дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах та показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами та пропонувати альтернативні маршрути.

Загальні висновки

Кваліфікаційна робота магістра розв'язує науково-технічну задачу автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. За результатом виконання роботи були поставлені та *вирішені наступні завдання*:

1. Проведено аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.
2. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.
3. Вдосконалено метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
4. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
5. Розроблено інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
6. Проведено дослідження ефективності розроблених засобів шляхом функціонального та прикладного тестування розроблених засобів, а також проведено порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

В результаті роботи були отримані такі *інновації та положення наукової новизни*:

1. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка відрізняється тим, що містить формальне подання всіх необхідних сутностей для автоматизованого пошуку оптимальних шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
2. Вдосконалено новий метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який відрізняється тим, що дозволяє

визначати оптимальні маршрути відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань враховуючи не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах.

3. Розроблено нову інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань та експертних відомостей вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними та умовними довжинами.

4. Розроблено нову інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка надає можливість за відомостями логістики, налаштувань та експертними відомостями автоматизовано одержувати два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

При виконанні поставлених завдань відповідно до розробленої інформаційної технології, яка використовує метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, було спроектовано структуру й здійснено прикладну програмну розробку інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Інформаційна система складається з бази даних та трьох підсистем: підсистеми роботи з даними логістики, підсистеми роботи з налаштуваннями й підсистеми формування оптимальних маршрутів за номінальними довжинами.

Напрямок практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах. Розроблені математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й вимагають в якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Характерними рисами розробленої інформаційної технології є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування, значення номінальної та умовної довжини. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

Порівняння основних функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою й існуючими інформаційними системами виявило, що розроблена з використанням методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики інформаційна система має ряд якісних переваг, що обумовлені її призначенням. Зокрема, вона дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах й показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при

цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами й пропонувати альтернативні маршрути.

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики» на XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021» (15-16 жовтня 2021 року); за темою роботи автором виконано наукову публікацію [29].

Перелік посилань

1. Вікіпедія. Транспортна логістика. URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Транспортна_логістика
2. Агрокебети. Оптимізація транспортної логістики в Україні. URL:
<https://blog.agrokebety.com/optymizatsiya-transportnoyi-lohistryky-v-ukrayini>
3. Державна служба статистики України. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту. URL:
4. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/tr/opv/opv_2019_u.htm
5. Routific. What is rout optimization? URL: <https://blog.routific.com/what-is-route-optimization>
6. Юніопедія. Клас складності NP. URL:
7. https://uk.unionpedia.org/Клас_складності_NP
8. Вікіпедія. Задача комівояжера. URL:
9. https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_комівояжера
10. Quanta Magazine. One-way salesman finds fast path home. URL:
11. <https://www.quantamagazine.org/one-way-salesman-finds-fast-path-home-20171005/>
12. Uchika.in.ua. Мурашині алгоритми. URL: <https://uchika.in.ua/tema-murashini-algoritmi.html>
13. Зіньков Р. В., Марчук Г. В. Принцип дії мурашиного алгоритму при вирішенні задачі комівояжера. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/17-1.pdf>
14. Google Довідка. Карти довідка. URL:
<https://support.google.com/maps/answer/144339>
15. Skyriver. URL: <https://skyfleet.com.ua/>
16. Waze. URL: <https://www.waze.com/ru/about>
17. Planuvannya-marshrutu.com URL: <https://www.planuvannya-marshrutu.com/>

18. Литвин В. В., Угрин Д. І., Ілляк О. Д., Білоус С. В., Рибчак З. Л. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. 2017. №872. С 210-219
19. Код. Розв'язуємо задачу комівояжера простим перебором. URL: <https://thecode.media/path-js/>
20. А. О. Олійник, Є. М. Федорченко, О. О. Степаненко, М. С. Рудь, Розв'язання задачі комівояжера на основі еволюційного моделювання. Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2019. Т. 21, №3. С 31-41
21. Угриновський Б. В. Кутельмах Р. К. Дослідження ефективності декомпозиційного методу спільних ребер для розв'язування задачі комівояжера великих розмірностей. Молодий вчений. Львів, 2017. №2. С 147- 150
22. Черкас Д. В., Красношлик Н. О. Дослідження генетичних алгоритмів розв'язування задач оптимізації. Вісник Черкаського університету, 2019. Серія: Прикладна математика, Інформатика. №2. С 34-43
23. Вікіпедія. Генетичний алгоритм. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Генетичний_алгоритм
24. Р. Базилевич, Р. Кутельмах. Оптимізація розв'язків задачі комівояжера методом послідовного сканування. URL: http://vlp.com.ua/files/40_1.pdf
25. Сизько В. А., Бабенко М. В., Лимар Н.М, Госало І. О. Розробка паралельного мурашиного алгоритму на прикладі задачі комівояжера. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету, 2020. Том 1, №36. С 105-108
26. Victor Danchuk, Olena Bakulich, Vitaliy Svatko. An improvement in ant algorithm method for optimizing a transport route with regard to traffic flow. ScienceDirect, 2017. №187 С 425-434.
27. Dorigo M. Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization. Reader for CEU Summer University Course «Complex System». Budapest. Central European University. С 1-38.
28. Microsoft. What is .NET? URL:

29. <https://dotnet.microsoft.com/learn/dotnet/what-is-dotnet>
30. Microsoft. Why choose .NET? URL:
31. <https://dotnet.microsoft.com/platform/why-choose-dotnet>
32. Microsoft. C#. URL: <https://dotnet.microsoft.com/languages/csharp>
33. Microsoft. SQL Server 2019. URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/sql-server/sql-server-2019>
34. Microsoft. Visual Studio. URL: <https://visualstudio.microsoft.com>
35. Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В. Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький, 2021. с. 352-358.

ДОДАТКИ

Додаток А

Схема методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної
метаевристики

Додаток Б

Схема інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики



Додаток В

Схема інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики



Додаток Г

Світлини наукових публікацій, виконаних при роботі над кваліфікаційною роботою магістра

(ксерокопії титульної сторінки, сторінки змісту та всіх сторінок із публікацією)

Перелік наукових публікацій:

1. Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В. Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький, 2021. с. 352-358.

Міністерство освіти і науки України
Хмельницький національний університет



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції
«Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021»

15-16 жовтня 2021

Хмельницький 2021

| | |
|--|-----|
| <i>Галкина Р. І., Базілій Р. О., Скрипник Т. К.</i> Застосування адаптивного підходу для реалізації системи опитувань та тестувань..... | 306 |
| <i>Гринь С. С., Писовар О. С., Терачук А. А.</i> Забезпечення прихованості дні та криптографічного захисту аналогових сигналів в хаотичній системі зв'язку..... | 309 |
| <i>Дачук С. В., Базілій Р. О.</i> Технологія автоматизованого отримання даних з веб-ресурсів для бізнес-звітності..... | 312 |
| <i>Дудунюк Н. А.</i> Інформаційна технологія фінансового моделювання для розвитку малого підприємництва..... | 316 |
| <i>Дрозд А. І., Формун Ю. В.</i> Метод розподілу обчислювальних ресурсів для обробки розподілених потоків даних..... | 319 |
| <i>Дудар О. В., Михалевський В. Ц., Скрипник Т. К.</i> Інформаційна система для забезпечення підтримки екологічної рівноваги..... | 321 |
| <i>Єфімчук А. С., Скрипник Т. К., Мазурець О. В., Молчанова М. О.</i> Автоматизований розподіл процесів при управлінні IT-проектами в складних критично-безпечкових умовах..... | 324 |
| <i>Жимкевич В. В., Медведчук В. Ю.</i> Метод відновлення пошкоджених растрових зображень..... | 332 |
| <i>Заробеній В. І., Скрипник Т. К.</i> Методи шифрованої передачі даних між хмарними підпросторами..... | 335 |
| <i>Курбачев В. В., Формун Ю. В.</i> Аналіз та застосування методів оптимізації швидкодії та відмовостійкості програмних продуктів..... | 338 |
| <i>Курдубаха А. В., Мазурець О. В., Собко О. В., Молчанова М. О.</i> Інформаційна технологія оцінювання діяльності сімейного лікаря за даними прийомів..... | 340 |
| <i>Лавреній А. А., Петровський С. С.</i> Метод оцінювання наповненості дистанційних курсів предметів у школі..... | 349 |
| <i>Левченко Т. В., Бляжук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В.</i> Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метабіостратії..... | 352 |

| | |
|---|-----|
| <i>Левчук Т. С., Собко О. В., Жимкевич В. В., Михалевський В. Ц.</i> Метод автоматизованого діагностування хвороб рослинних культур..... | 359 |
| <i>Манзюк Е. А., Скрипник Т. К.</i> Система цільової кластеризації на послідовних даних..... | 364 |
| <i>Матвійчук І. І., Базілій Р. О., Скрипник Т. К.</i> Моделювання веб-орієнтованих систем..... | 367 |
| <i>Мельник В. С., Михалевський В. Ц., Скрипник Т. К.</i> Інформаційна система для комплексної обробки деревини..... | 372 |
| <i>Осеньні О. В., Медведчук В. Ю., Медведчук Н. К.</i> Основні принципи організації і особливості відеоконференц-з'язку..... | 375 |
| <i>Овчинко О. Г.</i> Метод та програмні засоби препроєсінгу вхідного текстового контенту..... | 379 |
| <i>Райнік Р. М.</i> А mental model approach for making decisions in it project management..... | 381 |
| <i>Пасичник О. А.</i> Програма системи методу вимірювання ланіаєк, перевеєнь за аналізом зображень..... | 385 |
| <i>Павловський В. І., Савосько О. М.</i> Вивчення ієрархічного графіку за використанням глибокого навчання..... | 390 |
| <i>Пасичник О. А., Юценко В. Б., Скрипник Т. К.</i> Інформаційні технології як засіб автоматизації та оптимізації маркетингових кампаній в соціальних мережах..... | 395 |
| <i>Петровський С. С.</i> Метод зв'язаної оцінки успішності навчання у школі..... | 398 |
| <i>Рожкова Д. В., Петровський С. С., Скрипник Т. К.</i> Інформаційна система організації обігу нормативних документів..... | 401 |
| <i>Скрипник Т. К., Манзюк Е. А.</i> Метод машинного навчання для визначення якості перекладу текстової інформації..... | 404 |
| <i>Юценко В. Б., Скрипник Т. К., Пасичник О. А.</i> Інформаційні технології у соц-медіа: PR, реклама, підгоєнерація..... | 406 |
| <i>Яковчук М. В., Михалевський В. Ц., Скрипник Т. К.</i> Система прийняття рішень у виробничих процесах сільськогосподарського підприємства..... | 408 |
| <i>Яминна О. М., Мартинюк О. Р.</i> Система управління якістю у розробці програмних продуктів..... | 410 |

УДК 004

Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собко О. В.

Хмельницький національний університет

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАСОБАМИ БІОЛОГІЧНОЇ МЕТАБЕРІСТІККИ

Розроблено метод оптимізації транспортних перевезень, який призначений для визначення оптимального маршруту відвідування заданих пунктів за еквівалентними формами логістики та навантаження. Переважно розроблено методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаберісткки є можливість ераування не тільки доступності шляхи між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності нове перешкод на шляхах.

Method of traffic optimization has been developed, which is designed to determine the optimal route for visiting the specified points according to the input data of logistics and settings. The advantages of developed method of traffic optimization by means of biological metabolism are the ability to take into account not only the availability of roads between points and indicators of their length, but also indicators of dynamics and quality of traffic, and indicators of road obstacles.

Проблема побудови оптимальних маршрутів через задану мнолину точок виникає у багатьох сферах діяльності людини, зокрема, в транспортній логістиці. Транспортна логістика відіграє велику роль в діяльності будь-якого підприємства або компанії. Кожне підприємство прагне зменшити витрати на доставку продукції, і тим самим збільшити свій дохід. Саме тому, велике значення надається розробці методів оптимізації маршрутів, що дозволяє значно скоротити витрати ресурсів та зменшити час транспортних перевезень [1].

Переважає більшість задач транспортної логістики зводиться до розв'язку задач комівояжера. Суть задачі полягає в знаходженні найкоротшого шляху між містами, при умові, що кожне місто повинно бути відвідане лише один раз, а в кінці потрібно повернутись у вихідне місто.

В умовах сучасного життя не обійтись без автоматизованого вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень. Оскільки з кожним роком число перевезень росте це означає, що навантаження на транспортну логістику теж збільшується. В такому випадку, ручні обчислення будуть малоєфективні або взагалі безрезультатні. Отже розробка інформаційної системи для оптимізації транспортних перевезень буде завжди актуальною. В результаті це призведе до скорочення витрат на перевезення і зменшення ризиків пошкодження або псування товарів.

352

АКТУАЛ-2021 18

Для ефективного розв'язку задачі комівояжера використовують алгоритм мурашини колонії. Мурашиний алгоритм один з найбільш ефективних попіноміальних алгоритмів, який застосовується для знаходження оптимального шляху.

Мурахи відносяться до соціальних комах, які живуть в серединні декого колективу – колонії. На Землі всього 2% комах є соціальними, половину з яких складають саме мурахи. Соціальна поведінка мурах базується на самоорганізації. Самоорганізація – це безліч динамічних механізмів, що забезпечують досягнення системою глобальної мети за допомогою низькорівневої взаємодії її окремих елементів [2].

Отже, колективна поведінка мурах є основою даного алгоритму. Загальна система колонії базується на простих правилах поведінки кожної мурахи. Навіть якщо дії однієї мурахи можуть злитись примітивними, загальна діяльність всієї колонії досить розумна і представляє собою багатогранну систему, що заснована на стигметрії. Стигметрія – це механізм непрямого обміну, при якому взаємодія між особинами полягає в залишенні мітки в навколишньому середовищі. Ця мітка особинами подальшу активність інших особин колонії. Мітка, яку особини залишають в навколишньому середовищі це спеціальна хімічна речовина – фермент. Фермент достатньо стійка речовина, яка може сприятичати мурахи на протязі декількох діб. Однією з основних властивостей ферменту є знятність до випаровування з часом, що робить систему гнучкою до змін. Саме концентрація ферменту визначає оптимальність шляху [3].

Для вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень, пропонується використати алгоритм мурахи за його класичним спенерієм. Класичний метод самоорганізації колонії мурашок дає можливість знайти оптимальний шлях для статичного графа. Агенти-мурахи, які знаходяться в місцях з'ясування графу в початковий період, одночасно подорожують по ланках графу. Це дозволяє значно скоротити час розрахунків. Крім того, різні характеристики, які приписуються агентам, дозволяють вирішувати широкий спектр дискретних задач оптимізації з врахуванням великої кількості досліджуванних характеристик системи [4].

Мурашиний підхід до задач комівояжера полягає в реалізації самоорганізації колонії мурах. Багатократність взаємодії реалізується ітераційним пошуком маршруту комівояжера одночасно декількома мураками. При цьому, кожна мураха розглядається як окремії незалежний агент, виконуючий свою задачу. За одну ітерацію алгоритму кожна мураха здійснює повний маршрут від початкової точки до кінцевої.

Позитивний зворотний зв'язок реалізується імітацією поведінки мурах, коли одна мураха залишає слід в навколишньому середовищі а інші реагують на цей слід через деякий час. Чим більше слідів залишено на шляху – реبری графа в задачі комівояжера, тим більше мурах буде переміщуватись по ньому, які в свою чергу залишають ще більше слідів. Для задач комівояжера зворотний зв'язок

18 АКТУАЛ-2021

353

реалізується наступним правилом. ймовірність включення ребра графа в маршрут мурахи пропорційна кількості ферменту на ньому.

Кількість ферменту, вкладеного мурашкою на ребрі графу обернено пропорційне довжині маршруту. Чим коротший маршрут, тим більше ферменту буде вкладено на ньому, і тим більше мурах будуть використовувати його при виборі свого маршруту.

Використання тільки позитивного зворотного зв'язку призводить до ситуації, коли мурахи рухаються тільки одним маршрутом. Щоб уникнути цього, використовуються негативний зворотний зв'язок – випаровування ферменту. Час випаровування не повинен бути занадто великим, тому що це призведе до тієї ж проблеми, коли мурахи рухаються тільки одним маршрутом. З іншого боку, час випаровування не повинен бути дуже малим, бо це призводить до швидкого «забування» і втраті пам'яті всієї колонії.

Дана робота присвячена розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаєвристики, який призначений для визначення оптимального маршруту відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань.

Для кованої мурахи перехід з пункта i в пункт j залежить від трьох параметрів: пам'яті мурахи (tabu list), відносності та виртуального сліду ферменту.

Tabu list – це список відвіданих міст мурашкою, заходять в які повторно заборонено. При створенні маршруту tabu list зростає на кожному кроці, та обнулюється в кінці ітерації.

Видимість – величина обернена відстані (1). Видимість – це локальна статистична інформація, яка виражає бажання мурахи перейти в пункт j з пункту i . Чим менша відстань між пунктами, тим більше бажання відвідати його.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (1)$$

де D_{ij} – відстань між пунктами i та j .

Виртуальний слід ферменту на ребрі – це бажання перейти в пункт чи місто j з пункту чи міста i , засноване на досвіді мурахи.

Важливу роль в алгоритмі відіграє ймовірнісне рівняння, яке визначає ймовірність переходу k -ї мурахи з міста i в місто j на t -ій ітерації (2)

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in J_{i,k}} [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}, j \in J_{i,k}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k} \end{cases} \quad (2)$$

де $\tau_{ij}(t)$ – кількість ферменту на ребрі ij на ітерації t , $J_{i,k}$ – список міст, які потрібно відвідати мураці k , α і β – два регульовані параметри, які задають вагу ферменту та коефіцієнт відносності.

При $\alpha = 0$ буде обрано найбільшче місто. У випадку, коли $\beta = 0$ прапороватиме тільки кількість ферментів, що призведе до швидкого впровадження маршрутів до одного субоптимального рішення.

Потрібно звернути увагу, що формула (2) визначає тільки ймовірність переходу з одного міста до іншого. Власне вибір міста здійснюється за принципом «колеса рулетки»: кожен місто на ній має свій сектор з площею, пропорційною ймовірності (2). Для вибору міста потрібно вкинути кульку на рулетку - згенерувати випадкове число, і визначити сектор, на якому ля кулька зупиниться.

Зауважимо, що хоча рівняння (2) не змінюється протягом ітерації, значення ймовірності $P_{ij,k}(t)$ для двох мурах в одному і тому ж місті можуть відрізнятися, тому що ймовірність залежить від списку невідвіданих міст.

Після завершення маршруту кожна мураха k відкладає на ребрі (ij) таку кількість ферменту (3):

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, (i,j) \in T_k(t) \\ 0, (i,j) \notin T_k(t) \end{cases} \quad (3)$$

де $T_k(t)$ – маршрут пройденій мурашкою k на ітерації t , $L_k(t)$ – довжина цього маршруту, Q - регульований параметр, значення якого вибирають одного порядку з довільною оптимальною маршруту.

Також, важливо забезпечити випаровування ферменту, який був відкладений на минулих ітераціях (4).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t), \quad (4)$$

де $p \in [0,1]$ – коефіцієнт випаровування ферменту, m – кількість мурах в колонії.

На початку оптимізації кількість ферменту приймається рівною невеликому позитивному числу τ_0 . Загальна кількість мурах в колонії залишається постійною протягом виконання алгоритму. Численна колонія призводить до швидкого посилення субоптимальних маршрутів, а коли мурах мало, виникає небезпека втрати самоорганізації поведінки через обмежену взаємодію і швидке випаровування ферменту. Зазначай число мурах призначають рівним кількості міст. Кожна мураха починає маршрут зі свого міста [5].

Мурашині алгоритми засновані на імітації самоорганізації соціальних комах. За допомогою низькорівневих взаємодій окремих автономних компонентів, система може досягти глобальної цілі. Алгоритм мурахи може бути використаний для розв'язку різних комбінаторних задач. Алгоритм мурахи підходить для ефективного вирішення проблеми оптимізації транспортних перевезень.

Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаєвристики призначений для визначення оптимального маршруту відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань.

Вхідними даними логістики є множина пунктів для відвідування, початковий пункт, множина доступних шляхів, показаний динаміки руху на шляхах та показники пов'язані з перевезенням на шляхах. Вхідними даними налаштувань є вага ферменту, коефіцієнт відносності, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості. На Рисунку 1 зображено схему етапів методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаєвристики.

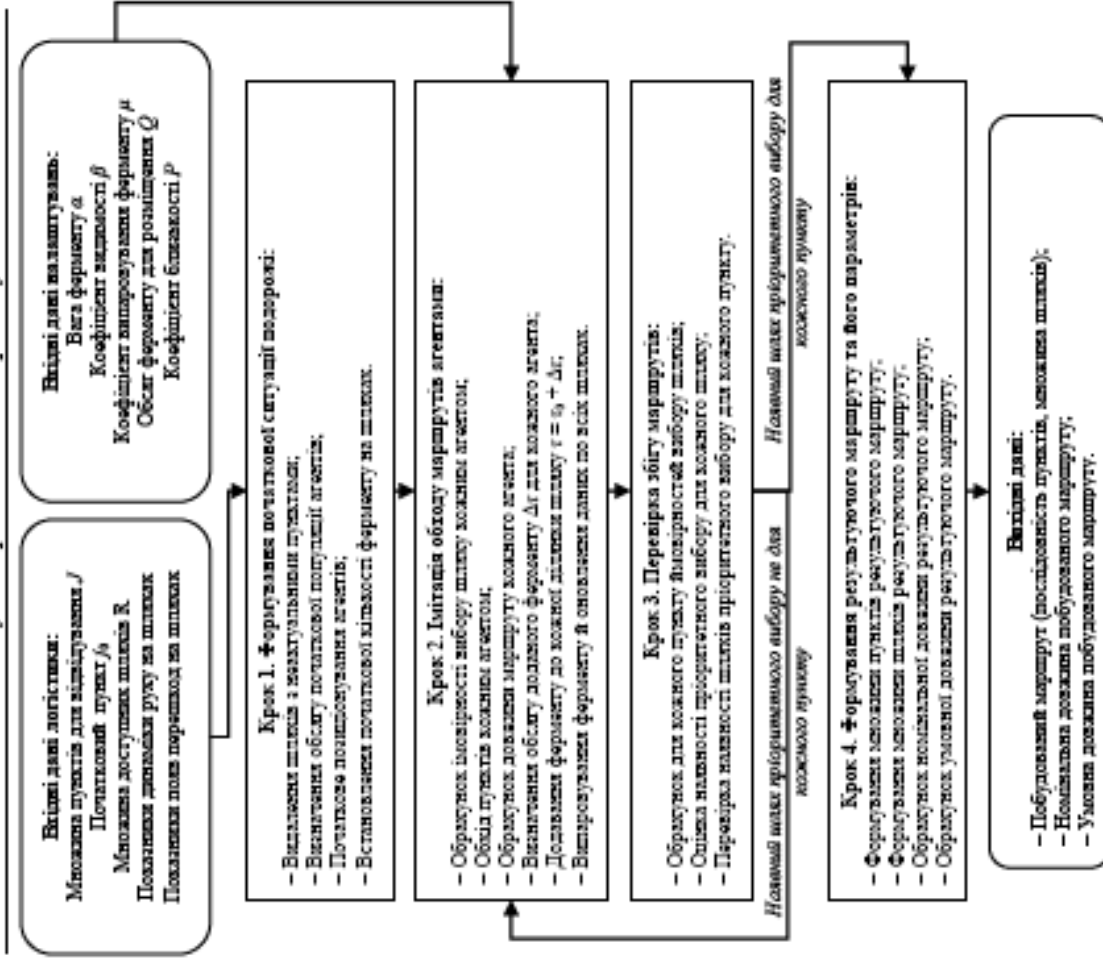


Рисунок 1 – Схема методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички

При роботі методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички спершу на Кроці 1 виконується формування початкової ситуації подорожі. Для цього спершу виконується виділення шляхів з

неактуальними пунктами. Після цього здійснюється визначення обсягу початкової популяції агентів й початкове поширення агентів. Далі виконується встановлення початкової кількості ферменту на шляхах.

Крок 2 методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички забезпечує імітацію обходу маршрутів агентами. Спершу проводиться обрахунок імовірності вибору шляху кожним агентом, за результатом чого агентами приймаються рішення і виконуються обхід пунктів кожним агентом. Такі дії продовжуються поки шлях всіх агентів не буде завершено. Після завершення шляху всіма агентами здійснюється обрахунок довантаж маршруту кожного агента, за результатом чого виконується визначення обсягу доданого ферменту для кожного агента. Далі реалізується додання ферменту до кожної ділянки шляху. Потім обраховується випаровування ферменту й виконується оновлення даних по всіх шляхах. Даний зрок відображено на рисунку 2, який демонструє створене авторами програми програмне забезпечення, яке використовує метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички для пошуку оптимальних шляхів об'їзду визначених пунктів.

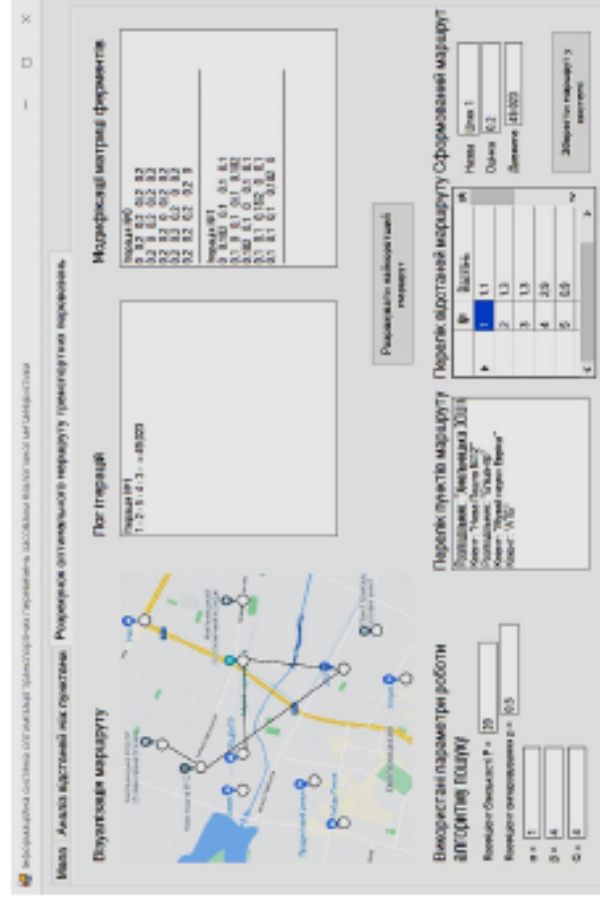


Рисунок 2 – Прикладний розрахунок оптимального маршруту методом оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички

Коли виконано чергову імітацію обходу маршрутів агентами, на Кроці 3. перевіряється збіг маршруту. Для цього проводиться обрахунок для кожного пункту

ймовірностей вибору шляхів. Далі обраховується оцінка наявності пріоритетного вибору для кожного шляху, тобто чи імовірність вибору певного шляху не перевищує сумарну імовірність вибору решти шляхів при русі із обраного пункту.

За результатом обрахунку оцінки наявності пріоритетного вибору для кожного шляху виконується перевірка наявності шляхів пріоритетного вибору для кожного пункту. Якщо виявляється, що наявний шлях пріоритетного вибору не для кожного пункту чи відсутні шляхи пріоритетного вибору, то виконується перехід на Крок 2 для імітації обходу маршрутів агентами. Якщо ж виявляється, що наявний шлях пріоритетного вибору для кожного пункту, то виконується перехід на Крок 4 для формування результуючого маршруту та його параметрів. Спершу виконується формування множини пунктів результуючого маршруту й множини шляхів результуючого маршруту. Потім здійснюється обрахунок номінальної довжини результуючого маршруту і умовної довжини результуючого маршруту.

Висхідними даними методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички є побудований маршрут у вигляді послідовності пунктів та множини шляхів, а також номінальна довжина та умовна довжина побудованого маршруту.

Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристички є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності повз перехід на шляхах.

Перелік посилань

1. Зінчов Р. В., Марчук Г. В. Приклад лі муралшого алгоритму при вирішенні задачі комівояжера. URL: <https://conf.dn.ua/wp-content/uploads/2019/12/17-1.pdf>
2. Опішник А. О., Федорченко Є. М., Степаненко О. О., Рудь М. С. Розв'язання задачі комівояжера на основі еволюційного моделювання. Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2019. Т. 21, №3. С 31-41
3. Утринювський Б. В., Кутельмак Р. К. Дослідження ефективності декомпозиційного методу спільних ребер для розв'язання задачі комівояжера великих розмірностей. Молодий вчений. Львів, 2017. №2. С 147-150
4. Черкас Д. В., Красношляк Н. О. Дослідження генетичних алгоритмів розв'язання задачі оптимізації. Вісник Черкаського університету, 2019. Серія: Прикладна математика. Інформатика. №2. С 34-43
5. Сизько В. А., Бабенко М. В., Лисар Н. М., Голосо І. О. Розробка паралельного мурашного алгоритму на прикладі задачі комівояжера. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету, 2020. Том 1, №36. С 105-108.

УДК 004

Левчик Т. С., Собко О. В., Житкевич В. В., Михалевський В. Ц.

Дзельницький національний університет

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ХВОРОБ РОСЛИННИХ КУЛЬТУР

Запропоновано новий метод автоматизованого діагностування хвороб рослинних культур, при використанні якого ґрунтуються за вихідне, що для різних сортів рослин при діагностуванні різних хвороб можуть втрачуватися різні симптоми у різних параметричних проявах. Діагностичною рисою розробленого методу автоматизованого діагностування хвороб рослинних культур також є те, що при його застосуванні виконується не тільки відходження параметрично напружених по симптомах хвороб, а й застосування до встановлення параметричних симптомів потенційно можливих захворювань, що дозволяє в процесі роботи розширити симптоматичну картину ма взяти до розгляду відпочатку безвідомі діагнози.

The new method of automated diagnosis of plant diseases is proposed, the use of which is taken as a starting point, that for different plant varieties in the diagnosis of different diseases may take into account different symptoms in different parametric manifestations. The characteristic feature of developed method of automated diagnosis of plant diseases is also that its application not only reflects parametrically unadjusted symptoms, but also requires user to parameters set of symptoms of potential diseases, which allows the method to expand symptomatic picture and take to consider initially unformed diagnoses.

Хвороба рослини – це будь-яке порушення нормальних фізіологічних функцій її організму, що відбувається під впливом зовнішніх факторів впливу і призводить до виникнення різних симптомів або протікає безсимптомно, проте призводить до зникання врожаю і його якості [1].

Фактично не має значення яке призначення виконує рослина – чи це сільськогосподарська культура, чи це декоративна рослина, вона за шкід свого життя може піддаватися різним захворюванням. Більше того, більшість захворювань можуть проявлятися однаково як на травах, так і на чагарниках та деревах [2].

Вирішення задачі діагностування хвороб рослинних культур за допомогою експертних систем є перспективним з тих причин, що вони надають визначену й обґрунтовану відповідь за введенням користувачем даних, має велику швидкодію, має можливість постійно розширюватися, а також дає пояснення щодо вибору певного розв'язку задачі.

Додаток Д

Презентаційний матеріал

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАСОБАМИ БІОЛОГІЧНОЇ МЕТАЕВРИСТИКИ

Виконав:

студент 2 курсу, група КНм-20-1
Левченко Тарас Вадимович

Керівник:

викладач кафедри КН
Радюк Павло Михайлович

Мета роботи

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає у розробці методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики та відповідних інформаційної технології та інформаційної системи, необхідних для автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах.

Для досягнення наведеної мети потрібно розв'язати наступні *задачі дослідження*:

1. Провести аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.
2. Вдосконалити інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.
3. Вдосконалити метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
4. Розробити інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.
5. Розробити інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень

Інформаційна модель оптимізації транспортних перевезень *Transportation* має наступний вигляд:

$$\{ Route \cup Station \cup WayDistance \cup WayCost \cup WayDynamic \cup WayObstacle \cup Parameter \} \subset Transportation,$$

де *Route* – множина маршрутів об'їзду множини пунктів *transportation*, *Station* – множина пунктів *station* які потрібно відвідати, *WayDistance* – множина номінальних довжин шляху між двома пунктами *station*, *WayCost* – множина умовних довжин шляху *waydistance* між двома пунктами *station* яка враховує показники динаміки руху *waydynamic* та статистики завод *wayobstacle*, *WayDynamic* – множина показників динаміки руху на шляху *waydistance* між двома пунктами *station*, *WayObstacle* – множина показників статистики завод на шляху *waydistance* між двома пунктами *station*, *Parameter* – множина параметрів налаштувань роботи алгоритму мурахи.

Розробка інформаційної моделі оптимізації транспортних перевезень враховує, що вхідними даними методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є множина пунктів для відвідування, початковий пункт, множина доступних шляхів, показники динаміки руху на шляхах, показники появ перешкод на шляхах, вага ферменту, коефіцієнт видимості, коефіцієнт випаровування ферменту, обсяг ферменту для розміщення та коефіцієнт близькості.

Схема методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

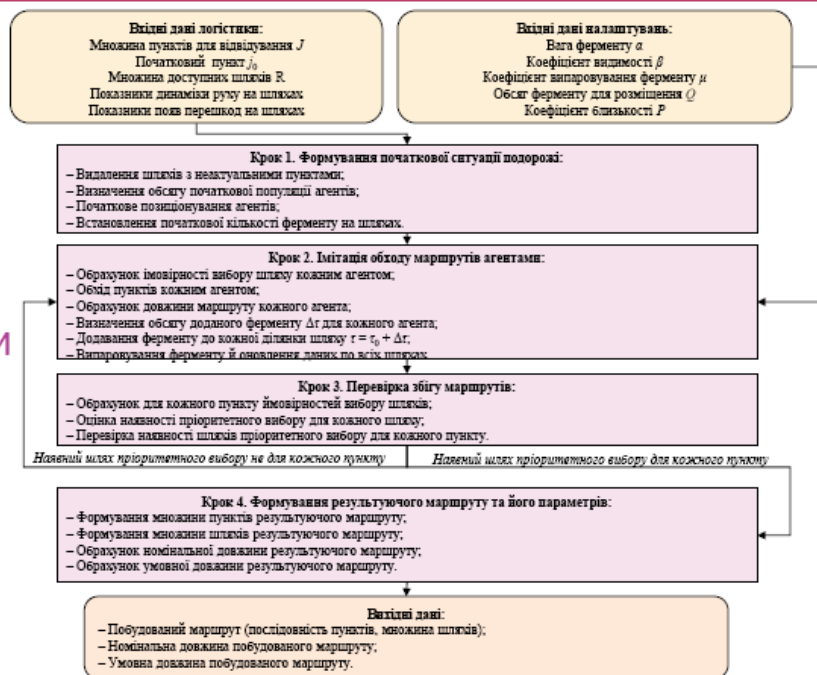


Схема інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

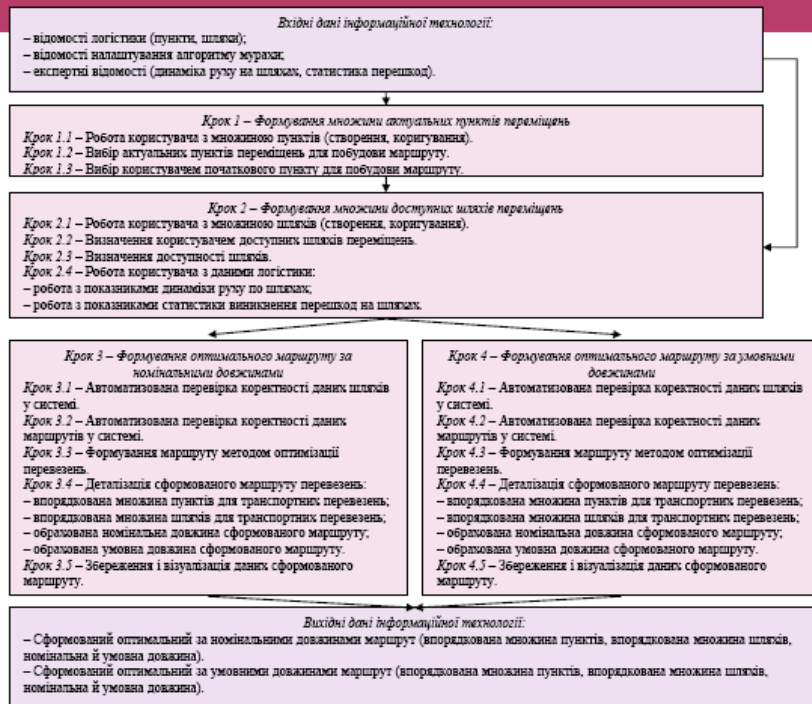
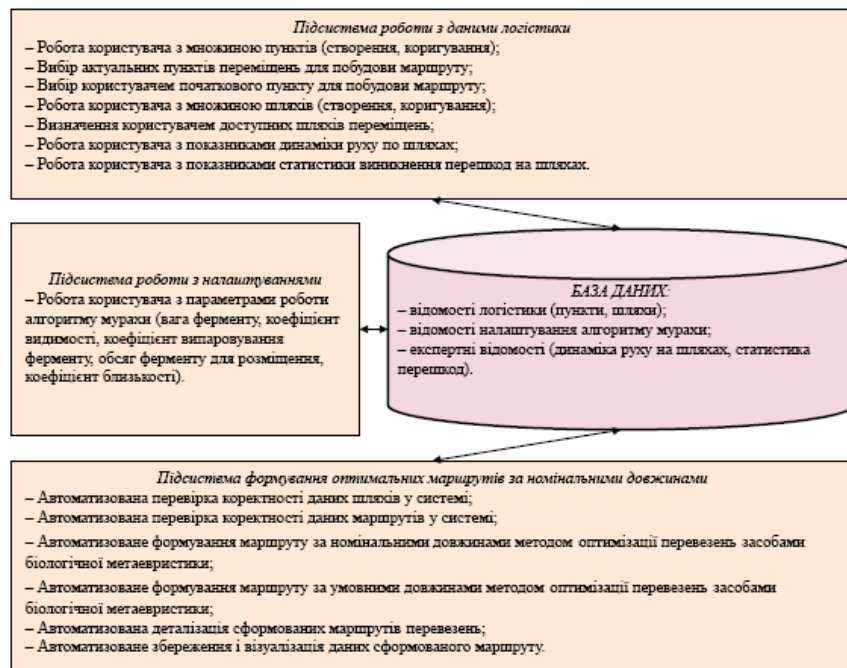


Схема інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики



Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Мета: Аналіз відстаней між пунктами. Розробник оптимального маршруту транспортних перевезень.

Позицювання пунктів для відвантаження

Пункти

| № | Назва | Пункт | Пункт |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Ново Спільнота" | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Ново Спільнота" | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Клієнт: "АТБ" | Клієнт: "АТБ" | <input type="checkbox"/> |

Задати пункт як початковий | Вибрати обраний пункт

Зберегти | Повернутися до аналізу відстаней

Мета: Аналіз відстаней між пунктами. Розробник оптимального маршруту транспортних перевезень.

Шляхи між пунктами

| № | Пункт №1 | Пункт №2 | Відстань | Вартість | Вартість | Вартість |
|----|---------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Ново Спільнота" | 1,1 | 1,1 | 1,1 | |
| 2 | Розподільник: "Лен" | Розподільник: "Лен" | 1,3 | 1,2 | 1,5 | |
| 3 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | 1,3 | 1,7 | 1,6 | |
| 4 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "АТБ" | 2,9 | 1,9 | 2,2 | |
| 5 | Клієнт: "Ново Спільнота" | Розподільник: "Лен" | 0,9 | 1,4 | 1,7 | |
| 6 | Клієнт: "Ново Спільнота" | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | 0,9 | 1,6 | 1,7 | |
| 7 | Клієнт: "Ново Спільнота" | Клієнт: "АТБ" | 2,0 | 1,3 | 1,3 | |
| 8 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | 1,1 | 1,4 | 1,3 | |
| 9 | Розподільник: "Лен" | Клієнт: "АТБ" | 1,9 | 1,9 | 1,9 | |
| 10 | Клієнт: "Мобільні Бізнес" | Клієнт: "АТБ" | 1,7 | 1,9 | 1,2 | |

Параметри роботи системи

Коефіцієнт важливості P = 20
 Коефіцієнт завантаження q = 0,5
 n = 1
 P = 4
 Q = 4

Обраний шлях

Пункт №1: Клієнт: "Ново Спільнота"
 Пункт №2: Клієнт: "АТБ"
 Відстань: 2,3
 Одна статистика виконання періоду: 1,3
 Одна статистика динаміки руху: 1,7
 Доступність:

Селекція відстані шляхи | Повернутися до формування маршруту

Інформаційна система автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень

Мета: Аналіз відстаней між пунктами. Розробник оптимального маршруту транспортних перевезень.

Візуалізація маршруту

Лог ітерацій

Нова ітерація: 1 2 0 4 3 → 40,323

Модифікація матриці фрагмента

Нова ітерація: 0 0,2 0,2 0,2 0,2
 0,2 0 0,2 0,2 0,2
 0,2 0,2 0 0,2 0,2
 0,2 0,2 0,2 0 0,2

Нова ітерація: 0 0,102 0,1 0,1 0,1
 0,1 0 0,1 0,1 0,102
 0,102 0,1 0 0,1 0,1
 0,1 0,1 0,102 0 0,1

Використані параметри роботи алгоритму пошуку

Коефіцієнт важливості P = 20
 Коефіцієнт завантаження q = 0,5
 n = 1
 P = 4
 Q = 4

Перелік пунктів маршруту

Розподільник: "Лен"
 Клієнт: "Ново Спільнота"
 Розподільник: "Лен"
 Клієнт: "Мобільні Бізнес"
 Клієнт: "АТБ"

Перелік відстаній маршруту

| № | Відстань |
|---|----------|
| 1 | 1,1 |
| 2 | 1,3 |
| 3 | 1,3 |
| 4 | 2,9 |
| 5 | 0,9 |

Сформований маршрут

Нова ітерація: 1
 Відстань: 40,323

Розробити найкоротший маршрут | Зберегти маршрут системи

Порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами

| Функції | Google Maps | Skyriver | Waze | Розроблена ІС |
|---|-------------|----------|------|---------------|
| Побудова оптимального шляху між двома пунктами | + | + | + | + |
| Побудова оптимального маршруту між багатьма пунктами | - | + | - | + |
| Пропозиція альтернативних маршрутів | + | + | + | + |
| Врахування доступності шляхів між пунктами | + | + | + | + |
| Врахування показників динаміки руху на шляхах | + | - | - | + |
| Врахування показників імовірності появ перешкод на шляхах | - | - | + | + |

Практичне значення одержаних результатів

Напрямок практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Перевагами розробленого методу оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики є можливість врахування не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появ перешкод на шляхах. Розроблені математичні моделі обчислення номінальної та умовної довжин маршруту використовуються у методі оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й вимагають в якості вхідних даних відомості про кількість ділянок шляху на сформованому маршруті, номінальні довжини кожної ділянки шляху, показники статистики завад на ділянках шляху між кожними двома пунктами, показники динаміки руху на ділянках шляху між кожними двома пунктами.

Характерними рисами розробленої інформаційної технології є одержання одночасно двох сформованих маршрутів, один з яких є оптимальним за номінальними довжинами, а другий – за умовними довжинами шляху. Для кожного із них при цьому визначаються впорядкована множина пунктів послідовного відвідування, впорядкована множина шляхів для відвідування, значення номінальної та умовної довжини. Характерною рисою розробленої інформаційної системи є етап перевірки коректності даних шляхів і маршрутів в системі з метою визначення достатності і несуперечливості вхідних даних для роботи системи.

Положення новизни та інновації

1. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень, яка відрізняється тим, що містить формальне подання всіх необхідних сутностей для автоматизованого пошуку оптимальних шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

2. Вдосконалено новий метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, який відрізняється тим, що дозволяє визначати оптимальні маршрути відвідування заданих пунктів за вхідними даними логістики та налаштувань враховуючи не тільки доступності шляхів між пунктами та показників їх довжини, а й показників динаміки й якості руху на шляхах та показників імовірності появу перешкод на шляхах.

3. Розроблено нову інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка використовує розроблені метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики й математичні моделі обрахунку номінальної та умовної довжин маршруту для одержання за вхідними даними у вигляді відомостей логістики, налаштувань та експертних відомостей вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів, що визначені оптимальними за номінальними та умовними довжинами.

4. Розроблено нову інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, яка надає можливість за відомостями логістики, налаштувань та експертними відомостями автоматизовано одержувати два сформовані маршрути, оптимальний за номінальними довжинами маршрут та оптимальний за умовними довжинами маршрут, для кожного з яких одержуються впорядкована множина пунктів, впорядкована множина шляхів, номінальна довжина та умовна довжина.

Загальні висновки

Кваліфікаційна робота магістра розв'язує науково-технічну задачу автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появу перешкод на шляхах.

За результатом виконання роботи були поставлені та *вирішені наступні завдання*:

1. Проведено аналіз предметної області й відомих підходів до автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень.

2. Вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень.

3. Вдосконалено метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

4. Розроблено інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

5. Розроблено інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

6. Проведено дослідження ефективності розроблених засобів шляхом функціонального та прикладного тестування розроблених засобів, а також проведено порівняння функцій автоматизованого знаходження оптимального шляху розробленою та існуючими інформаційними системами.

29.11.2021, 20:46

result_5174656957524880258.html

Mon Nov 29 19:58:51 EET 2021, Петровський Сергій Степанович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 20.0%

 Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Ошибок в документах: 7%**

| | | | | |
|---|----------|---------|-------------------------------------|--------------|
| ID: 97518 Название: Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики Добавлено в БД: 2021-11-29 Авторы: Т.В. Левченко Руководители: Т.К. Скрипник Консультанты: Опоненты: | Документ | | Суммарное совпадение по Базе Данных | |
| | Символы | Лексемы | Символы | Лексемы |
| | 101228 | 628 | 24400 (24%) | 238 (38%) |

Источник плагиата

| ID | Описание | Наличие плагиата в документе | |
|-------|---|------------------------------|----------------|
| | | Символы | Лексемы |
| 95903 | Название: ЗВІТ з науково-дослідної практики Добавлено в БД: 2021-09-29 Авторы: Левченко Т.В. Руководители: Скрипник Т.К. Консультанты: Опоненты: | 20672 (20.0%) | 205 (33.0%) |



Ім'я користувача:
Кафедра КН

ID перевірки:
1009415459

Дата перевірки:
29.11.2021 20:50:26 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
29.11.2021 20:50:54 EET

ID користувача:
100005671

Назва документа: 2021_КРМ_Левченко 20211128 2 Lite

Кількість сторінок: 79 Кількість слів: 14374 Кількість символів: 122640 Розмір файлу: 4.99 MB ID файлу: 1009433085

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

6.27%
Схожість

Найбільша схожість: 5.05% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1009419501)

0.86% Джерела з Інтернету

81

Сторінка 81

5.69% Джерела з Бібліотеки

91

Сторінка 81

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

29

Підозріле форматування

19
сторінок

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА ДО ЗАХИСТУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ЗВІТУ
ПОДІБНОСТІ

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

Назва: Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

Автор: Левченко Тарас Вадимович

Спеціальність: 122 – Компютерні науки

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Павло Радюк

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, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) за програмою Anti-Plagiarism виявлені 20% запозичень вказують на документ автора роботи Левченка Т.В. та містять ЗВІТ з науково-дослідної практики.

2) За програмою UNICHECK виявлені 6,27% є фрагментарними – містять поширені конструкції, загальновідомі терміни, скорочення та визначення

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості, складає 20% і 6,27% відповідно, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



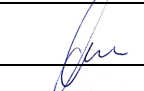
Павло РАДЮК

Гарант ОП



Руслан БАГРІЙ

Завідувач кафедри КН



Олександр БАРМАК



**ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МОН УКРАЇНИ**



кафедра комп'ютерних наук

ВІДГУК ОПОНЕНТА

на кваліфікаційну роботу магістра

гр. КНМ-20-1 Левченко Тараса Вадимовича за темою: Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

1. Актуальність обраної теми

Тема кваліфікаційної роботи є актуальною та належним чином обґрунтована. Стосується питання оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, що є актуальним завданням.

2. Відповідність роботи предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки та загальним вимогам до наукових робіт

Обрана тема в межах якої реалізовані поставлені задачі повною мірою відповідає предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки та вимогам до кваліфікаційної роботи магістра.

3. Повнота розкриття мети та завдань дослідження

Поставлені завдання дослідження повністю розкривають мету дослідження та поставленні в межах теми.

4. Наявність наукової новизни

В кваліфікаційній роботі представлена наукова новизна в межах обраної області дослідження. Продемонстровано та обґрунтовано результати, які мають наукове значення. Результати дослідження оприлюднені на науковій конференції.

5. Зміст кожного розділу роботи

Робота містить чотири розділи. В першому обґрунтовано актуальність та поставлені задачі дослідження. Другий розділ присвячено розробці моделей оцінки методу оптимізації. У третьому розділі представлена розробка інформаційної технології автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. У четвертому розділі представлено дослідження ефективності створеної інформаційної технології, що використовує розроблений метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики.

6. Ступінь розкриття теми роботи

Тема роботи в повній мірі обґрунтована, проведено аналіз актуальності та відомих досліджень в межах обраної теми, поставлені завдання, які реалізовані та досліджена ефективність запропонованих методів.

7. Якість оформлення кваліфікаційної роботи

Оформлення роботи відповідає необхідним нормам та вимогам, які ставлять до оформлення кваліфікаційної роботи

8. Недоліки кваліфікаційної роботи

Робота має певні недоліки, які полягають у необхідності розширення корпусу експериментальних даних.

9. Загальний висновок (допускається чи не допускається до захисту), якої оцінки заслуговує кваліфікаційна робота.

Враховуючи рівень виконання та забезпечення усіх необхідних вимог робота може бути допущена до захисту. Рекомендована оцінка «задовільно».

Опонент



к.т.н., доцент Оксана ЯШИНА



**ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ МОН
УКРАЇНИ**



**кафедра комп'ютерних
наук**

ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА

на кваліфікаційну роботу магістра

гр. КНм-20-1 Левченко Тараса Вадимовича за темою: Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики

1. Актуальність теми

В кваліфікаційній роботі магістра розв'язано науково-технічну задачу автоматизованої побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень за відомостями множини пунктів для відвідування, початкового пункту, множини доступних шляхів, показників динаміки руху на шляхах та появ перешкод на шляхах. При виконанні поставлених завдань відповідно до розробленої інформаційної технології, яка використовує метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики, було спроектовано структуру й здійснено прикладну програмну розробку інформаційної системи автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики. Розроблена інформаційна система дозволяє врахувати доступності шляхів між пунктами, показники динаміки руху на шляхах й показники імовірності появ перешкод на шляхах, дозволяючи при цьому виконувати побудову оптимального маршруту між багатьма пунктами й пропонувати альтернативні

2. Відповідність роботи предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки та загальним вимогам до наукових робіт

За змістовною та структурною складовою робота відповідає вимогам, які ставлять до кваліфікаційної роботи освітнього рівня магістра. Робота містить наукову складову та за оформленням відповідає вимогам до наукових робіт. За предметом, об'єктом, метою та методами дослідження відповідає предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

3. Професійні та особистісні якості магістранта

Під час виконання кваліфікаційної роботи студентом були продемонстровано належні знання та вміння набуті під час навчання. Продемонстровано застосування кваліфікаційних компетенцій з вирішення відповідних задач наукового напрямку в предметній області кваліфікаційної роботи. За сукупністю продемонстрованих набутих компетенції з реалізації кваліфікаційної роботи наявна відповідність освітньому рівню магістра.

4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи

При виконанні роботи студентом особисто було визначено методи реалізації поставлених задач проведено огляд наукових досліджень в напрямку роботи. Розроблені моделі та запропоновано метод реалізації задач поставлених в межах дослідження. Проведені експериментальні дослідження та підтверджено ефективність запропонованих методів.

5. Наукова новизна та оригінальність запропонованих підходів

В результаті виконаної роботи були отримані такі результати:

- вдосконалено інформаційну модель оптимізації транспортних перевезень;
- вдосконалено новий метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної мета евристики;
- розроблено нову інформаційну технологію автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної мета евристики;
- розроблено нову інформаційну систему автоматизованого пошуку шляхів для транспортних перевезень засобами біологічної мета евристики.

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної метаевристики» на XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021» 15 листопада 2021 р., м. Хмельницький, Україна.

6. Ступінь оволодіння методами дослідження

Студент під час виконання продемонстрував належне володіння методами оптимізації транспортних перевезень засобами біологічної мета евристики та методами наукового дослідження з відповідним експериментальним підтвердженням.

7. Повнота та якість розкриття теми роботи

Тема роботи повною мірою розкрита в задачах дослідження, які успішно реалізовані.

8. Логічність, послідовність, аргументованість, літературна грамотність викладу матеріалу

Записка до кваліфікаційної роботи за структурою, логічністю викладення матеріалу, аргументованістю структурою послідовного викладення необхідною мірою відповідає стандартам.

9. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи, окремих її частин

Предметна область кваліфікаційної роботи базується на ряду практичних задач, які успішно реалізовані і можуть бути безпосередньо застосовані в області оптимізації транспортних перевезень.

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

За сукупністю вимог робота повною мірою відповідає кваліфікаційному рівні магістра і рекомендується до захисту та заслуговує на оцінку «задовільно».

Науковий керівник _____  Павло РАДЮК