
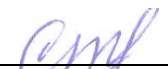



## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему Метод автоматизованого планування маршрутів пересування  
безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

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-21-1  А.В. Мельник  
Курс, група виконавця Підпис Ініціали, прізвище  
Керівник: ст.викладач кафедри КН  Т.К. Скрипник  
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

10 грудня 2022 р.

 О.В. Бармак  
Підпис Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

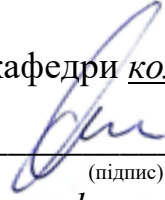
Освітній ступінь магістр

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних наук

  
(підпис)

д.т.н., професор О.В. Бармак

« 01 » вересня 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: «Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму»

2. Завдання видано студенту Мельнику Андрію Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

3. Керівник роботи ст. викладач кафедри КН Скрипник Тетяна Казимирівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

4. Затверджені наказом університету від « 21 » липня 2022 р. № 83

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

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає в вирішенні задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Для чого пропонується розробити метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, що дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

## Реферат

Кваліфікаційна робота магістра вирішує науково-технічну задачу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Результатом роботи є розроблений метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, що дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день великої популярності набувають безпілотні транспортні засоби. І своє застосування вони знаходять у багатьох сферах людського життя. Відповідно безпілотні транспортні засоби поділяються на різні види, в залежності від того, де вони застосовуються – на землі, у воді чи в повітрі.

Така популярність безпілотних транспортних засобів пов'язана з тим, що вони полегшують працю людини, роблять її безпечнішою. Людина може не наражати себе на небезпеку, виконуючи завдання у небезпечних місцях.

Безпілотні літальні засоби найбільш популярні з усіх, адже вони можуть виконувати свою роботу в найнедоступніших для людини місцях. БПЛА можуть управлятись не тільки людиною за допомогою дистанційного керування, а й завдяки запрограмованому алгоритму. В такому випадку особливо актуальною є проблема планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Такий маршрут повинен бути найкоротшим та на нього має витратись найменше часу. Звідси впливає задача пошуку оптимального маршруту – задача комівояжера. Суть задачі комівояжера полягає у тому, щоб кожна з точок маршруту була відвідана лише один раз, а в кінці маршруту необхідно

повернутись у вихідну точку. Дана задача може розв'язуватись декількома способами, проте найпопулярнішим є пошук оптимального шляху за допомогою мурашиного алгоритму.

З огляду на це, розробка методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є актуальною завжди. Адже розроблений оптимальний маршрут дозволяє зберегти ресурси, наприклад час, паливо, оплату робочого часу працівників.

**Мета і задачі роботи.** *Мета кваліфікаційної роботи магістра* полягає в вирішенні задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. В результаті виконання кваліфікаційної роботи були *поставлені і вирішені такі завдання:*

1. Досліджено сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.

2. Розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.

3. Розроблено метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

4. Створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

5. Досліджено практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

**Об'єкт дослідження** – процес планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів.

**Предмет дослідження** – методи, інформаційні технології, моделі, засоби автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

**Методи дослідження**, що застосовані для вирішення поставлених завдань: використовуються основні положення методів аналізу даних й теорії множин, для реалізації інформаційної системи планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів – методології проектування інформаційних систем, а також об'єктно-орієнтований підхід.

**Наукова новизна одержаних результатів.** За виконання роботи були одержано результати, що містять *інновації й наукову новизну*, зокрема було вдосконалено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, який дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок. Особливостями створеного методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

**Практичне значення одержаних результатів.** Для дослідження практичної ефективності застосування методу автоматизованого планування

маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, було створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Розроблена інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму складається із бази даних й чотирьох підсистем: підсистеми створення запиту на побудову маршруту обльоту, підсистеми ініціації алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту, підсистеми емуляції обльоту агентами маршрутів та підсистеми визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту та дозволяє автоматизовано планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Інформаційна система обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при здійсненні обльотів між парами точок, а також виконує ряд операцій з елементами множини точок обльоту враховуючи їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті БПЛА за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

*Напрямок практичного використання розробленого методу й структури інформаційної системи є автоматизація планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Перевагами розробленого методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а ще виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів і уникнути потреб в вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок за побудови маршруту обльоту. Характерними рисами*

розробленої інформаційної системи є те, що вона дозволяє за даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

### **Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації.**

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів» на X International Scientific and Practical Conference «Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions» (Bilbao, Spain. 2022) та у доповіді на тему «Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму» на XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022» (18-19 листопада 2022 року); за темою кваліфікаційної роботи автором виконано 2 наукові публікації:

1. Мельник А.В., Скрипник Т.К. Метод обрахунку ефективності нейронних мереж з використанням еволюційного алгоритму. Збірник наукових праць за матеріалами XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022». Хмельницький, 2022. с. 194-197. URL: <https://kn.khmnu.edu.ua/apkn/>.

2. Мельник А.В., Скрипник Т.К., Молчанова М.О., Собко О.В., Мазурець О.В. Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. November 29 – December 02.

2022. Bilbao, Spain. Pp. 576-580. URL: <https://isg-konf.com/analysis-of-modern-ways-of-development-of-science-and-scientific-discussions/>.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається з реферату, завдання, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 36 найменувань й 5 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 106 сторінок, із них 88 сторінок основного тексту й 18 сторінок додатків. В роботі наведено 32 рисунки й 20 таблиць.

**Ключові слова:** мурашиний алгоритм, БПЛА, оптимізація транспортних перевезень, інформаційна система, інформаційна модель.

## Зміст

Перелік скорочень .....	4
Вступ.....	5
Розділ 1	
Характеристика предметної області транспортних перевезень та постановка задачі.....	11
1.1 Сучасні інтелектуальні системи керування.....	11
1.2 Підходи до автоматизації прийняття тактичних рішень при плануванні маршрутів пересування .....	13
1.3 Область застосування та особливості використання мурашиного алгоритму.....	17
1.4 Особливості організації пересувань безпілотних транспортних засобів по маршрутах.....	20
1.5 Аналіз існуючого програмного забезпечення систем керування траєкторіями руху безпілотних транспортних засобів .....	26
1.6 Аналіз сучасних наукових публікацій у області побудови оптимальної траєкторії безпілотних транспортних засобів.....	30
1.7 Постановка завдання.....	32
Висновки до розділу 1 .....	33
Розділ 2	
Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму .....	35
2.1 Інформаційна модель оптимізації переміщень безпілотних транспортних засобів.....	35
2.2 Кроки методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму .....	37
2.3 Математичні моделі обрахунку довжини маршруту методом автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.....	42

Висновки до розділу 2 .....	43
Розділ 3	
Інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів .....	45
3.1 Етапи роботи інформаційної системи.....	45
3.2 Структура інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів.....	47
3.3 Аргументація вибору засобів розробки інформаційної системи .....	51
3.4 Створення даталогічної моделі бази даних інформаційної системи.....	56
Висновки до розділу 3 .....	67
Розділ 4	
Дослідження ефективності методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму	69
4.1 Програмна архітектура інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування .....	69
4.2 Розробка прикладних компонентів інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів .....	70
4.3 Прикладне тестування інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів.....	75
4.4 Дослідження ефективності.....	79
Висновки до розділу 4 .....	80
Загальні висновки.....	82
Перелік посилань.....	86
Додатки	

**Перелік скорочень**

<b>Скорочення, термін, позначення</b>	<b>Пояснення</b>
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 вирішує науково-технічну задачу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Результатом роботи є розроблений метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, що дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день великої популярності набувають безпілотні транспортні засоби. І своє застосування вони знаходять у багатьох сферах людського життя. Відповідно безпілотні транспортні засоби поділяються на різні види, в залежності від того, де вони застосовуються – на землі, у воді чи в повітрі.

Така популярність безпілотних транспортних засобів пов'язана з тим, що вони полегшують працю людини, роблять її безпечнішою. Людина може не наражати себе на небезпеку, виконуючи завдання у небезпечних місцях.

Безпілотні літальні засоби найбільш популярні з усіх, адже вони можуть виконувати свою роботу в найнедоступніших для людини місцях. БПЛА можуть управлятись не тільки людиною за допомогою дистанційного керування, а й завдяки запрограмованому алгоритму. В такому випадку особливо актуальною є проблема планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Такий маршрут повинен бути найкоротшим та на нього має витратись найменше часу. Звідси впливає задача пошуку оптимального маршруту – задача комівояжера. Суть задачі комівояжера полягає у тому, щоб кожна з точок маршруту була відвідана лише один раз, а в кінці маршруту необхідно

повернутись у вихідну точку. Дана задача може розв'язуватись декількома способами, проте найпопулярнішим є пошук оптимального шляху за допомогою мурашиного алгоритму.

З огляду на це, розробка методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є актуальною завжди. Адже розроблений оптимальний маршрут дозволяє зберегти ресурси, наприклад час, паливо, оплату робочого часу працівників.

**Мета і задачі роботи.** *Мета кваліфікаційної роботи магістра* полягає в вирішенні задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. В результаті виконання кваліфікаційної роботи були *поставлені і вирішені такі завдання:*

1. Досліджено сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.

2. Розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.

3. Розроблено метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

4. Створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

5. Досліджено практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

**Об'єкт дослідження** – процес планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів.

**Предмет дослідження** – методи, інформаційні технології, моделі, засоби автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

**Методи дослідження**, що застосовані для вирішення поставлених завдань: використовуються основні положення методів аналізу даних й теорії множин, для реалізації інформаційної системи планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів – методології проектування інформаційних систем, а також об’єктно-орієнтований підхід.

**Наукова новизна одержаних результатів.** За виконання роботи були одержано результати, що містять *інновації й наукову новизну*, зокрема було вдосконалено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, який дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок. Особливостями створеного методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

**Практичне значення одержаних результатів.** Для дослідження практичної ефективності застосування методу автоматизованого планування

маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, було створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Розроблена інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму складається із бази даних й чотирьох підсистем: підсистеми створення запиту на побудову маршруту обльоту, підсистеми ініціації алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту, підсистеми емуляції обльоту агентами маршрутів та підсистеми визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту та дозволяє автоматизовано планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Інформаційна система обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при здійсненні обльотів між парами точок, а також виконує ряд операцій з елементами множини точок обльоту враховуючи їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті БПЛА за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

*Напрямок практичного використання розробленого методу й структури інформаційної системи є автоматизація планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Перевагами розробленого методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а ще виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів і уникнути потреб в вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок за побудови маршруту обльоту. Характерними рисами*

розробленої інформаційної системи є те, що вона дозволяє за даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

### **Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра та публікації.**

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів» на X International Scientific and Practical Conference «Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions» (Bilbao, Spain. 2022) та у доповіді на тему «Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму» на XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022» (18-19 листопада 2022 року); за темою кваліфікаційної роботи автором виконано 2 наукові публікації:

1. Мельник А.В., Скрипник Т.К. Метод обрахунку ефективності нейронних мереж з використанням еволюційного алгоритму. Збірник наукових праць за матеріалами XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022». Хмельницький, 2022. с. 194-197. URL: <https://kn.khmnmu.edu.ua/apkn/>.

2. Мельник А.В., Скрипник Т.К., Молчанова М.О., Собко О.В., Мазурець О.В. Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. November 29 – December 02.

2022. Bilbao, Spain. Pp. 576-580. URL: <https://isg-konf.com/analysis-of-modern-ways-of-development-of-science-and-scientific-discussions/>.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається з реферату, завдання, змісту, переліку скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 36 найменувань й 5 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 106 сторінок, із них 88 сторінок основного тексту й 18 сторінок додатків. В роботі наведено 32 рисунки й 20 таблиць.

## Розділ 1

### Характеристика предметної області транспортних перевезень та постановка задачі

#### 1.1 Сучасні інтелектуальні системи керування

На сьогоднішній день в житті людини широко використовуються системи керування. Вони зустрічаються як в повсякденному житті людини, так і в більш вужчих сферах. До прикладу, системою керування є система, що забезпечує роботу світлофорів, пральної машинки, а також система, що розпізнає номерні знаки за фотографією, будує оптимальний маршрут транспорту, тощо. Такого роду системи призначені для керування складними процесами з мінімальною участю людини. Проте не можна сказати, що участь людини під час роботи систем керування повністю припиняється, вони залишаються людинокерованими.

В загальному можна дати наступне визначення системі керування – це система, яка забезпечує бажаний результат шляхом керування процесами та інформацією, що надходять на вхід. На рисунку 1.1 показана проста блок-схема системи керування [1].

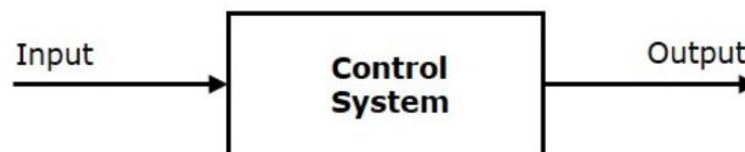


Рисунок 1.1 – Проста блок-схема системи керування [1]

В більш широкому розумінні система керування містить набір методів та алгоритмів обробки інформації, та засоби їх реалізації, що об'єднані задля досягнення поставленої мети [2]. Система керування може містити в собі також декілька підпорядкованих підсистем, які пов'язані між собою, та їх робота забезпечує досягнення кінцевої мети. Такі системи можуть працювати або

послідовно, або паралельно одна одній, проте кінцева мета – отримати очікуваний від системи керування результат.

Окрему категорію систем становлять так звані інтелектуальні системи керування. Інтелектуальні системи керування – це системи, що використовують різні обчислювальні методи штучного інтелекту, наприклад, нейронні мережі, машинне навчання, генетичні алгоритми, тощо.

Головна відмінність таких систем від класичних систем керування – це алгоритм отримання результату, обробки, зберігання інформації, що надходить на вхід системи та отримується на виході.

Поняття інтелектуальної системи керування вказує на те, що система такого типу вмє працювати з формалізованими даними, а також має вміння самонавчатись та мислити подібно людині [2].

На сьогоднішній день системи інтелектуального типу є найпоширенішими з наступних причин:

- висока точність результату на виході з системи;
- можливість відтворення дій людини-експерта;
- вища чутливість до зміни вхідних параметрів;
- покращення результатів в ході навчання.

Серед задач, які допомагають вирішити інтелектуальні системи варто виділити [3]:

- накопичення та обробка знань з метою створення експертного висновка;
- розпізнавання та класифікація об'єктів;
- задачі з прийняття рішень;
- пошук оптимальних рішень для нечітких задач;
- створення семантичних мереж;
- пошук оптимальних маршрутів.

Отже, системи керування, як напрям штучного інтелекту дозволяють вирішувати ряд важливих задач, надаючи при цьому високоточні результати.

## 1.2 Підходи до автоматизації прийняття тактичних рішень при плануванні маршрутів пересування

Як було зазначено вище, однією з популярних задач, яку вирішують інтелектуальні системи керування – це пошук оптимального шляху при плануванні маршрутів пересування. Одними із найвідоміших задач, що існують, є:

- задача китайського листоноші;
- задача Штейнера;
- задача комівояжера;

Далі коротко розглянемо кожну з цих задач.

Задача китайського листоноші (The Chinese postman problem) – полягає в тому, що поштовий перевізник повинен забрати пошту в поштовому відділенні, та доставити листи усім адресатам, а також повернутися до поштового відділення. Для того, щоб виконати свою роботу швидше, листоноша повинен продумати маршрут так, щоб він був найкоротшим [4]. По суті це – задача пошуку самого короткого циклу в графі, який включає в себе усі його ребра. Ця задача розв'язується для різних випадків, наприклад коли граф є симетричним, або несиметричним [5].

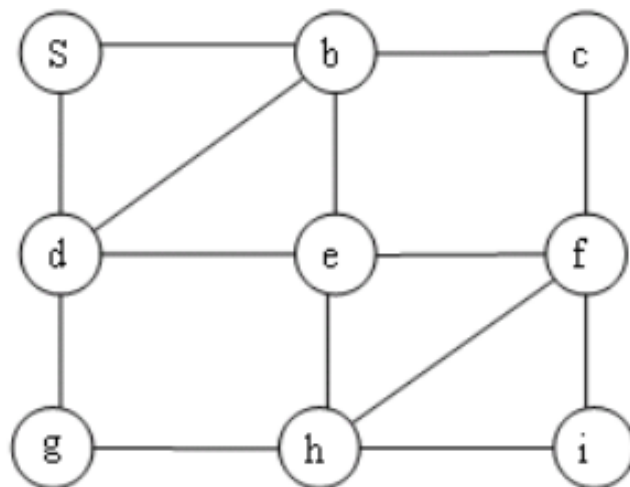


Рисунок 1.2 – Симетричний граф [6]

Наприклад, для симетричного графа, вершина якого знаходиться в точці S, що зображений на рисунку 1.2 рішення матиме вигляд відповідно рисунку до рисунку 1.3.

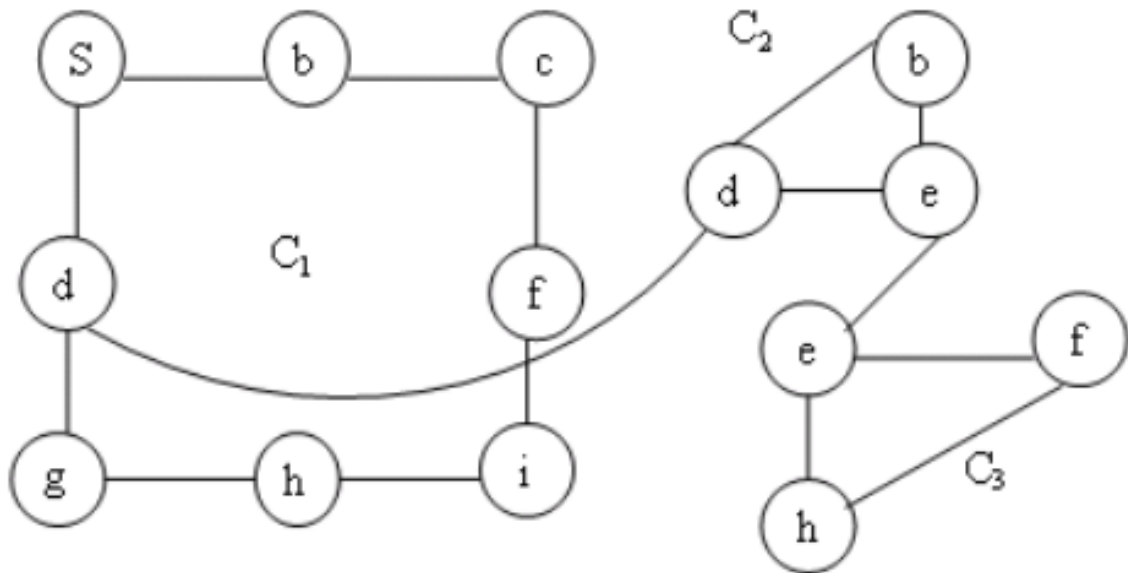


Рисунок 1.3 – Рішення задачі листоноші для симетричного графу [6]

Суть задачі комівояжера, як і в попередніх описаних полягає у пошуку самого вигідного маршруту, який проходить через певний список міст хоча б раз. Алгоритм розв'язку цієї задачі є евристичним, тобто може надати прийнятне рішення з поміж знайдених, проте не може гарантувати, що воно є найоптимальнішим [7]. Також при формулюванні задачі додатково можуть вказуватись умови щодо вигідності шуканого маршруту, тобто він може бути найкоротшим чи найдешевшим. А також можуть накладатися додаткові обмеження, наприклад у вигляді затраченого часу на проходження маршруту.

Дана задача знаходить своє місце, коли необхідно знайти оптимальний маршрут кур'єра доставки, або ж роботи машини, що займається розвезенням складських запасів.

Задача Штейнера формулюється наступним чином: є декілька точок, що розміщені на площині, є потреба зв'язати їх системою доріг, що мають найменшу сумарну довжину, а також щоб цими дорогами була можливість з кожної точки дістатися до будь-якої іншої. Число таких точок є скінченним на площині [8].

Для цього на площині прокладається мінімально можлива кількість точок, що дозволяють з'єднати усі вхідні точки, при цьому шлях між точками повинен мати мінімальну довжину. До прикладу, на рисунках 1.4 та 1.5 зображено рішення – побудоване дерево Штейнера для трьох та чотирьох точок на площині. Точки  $S$ ,  $S_1$  та  $S_2$  – точки Ферма.

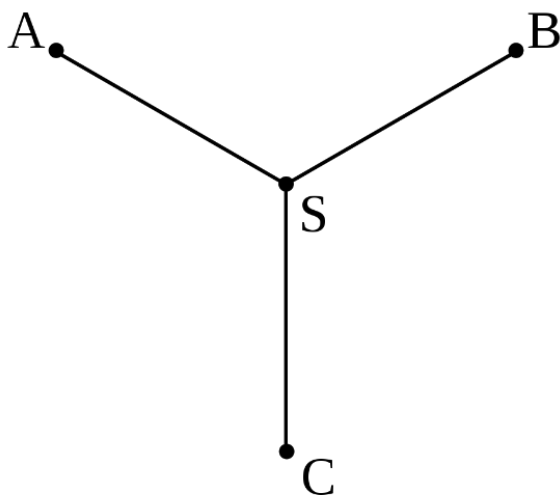


Рисунок 1.4 – Мінімальне дерево Штейнера для трьох точок [10]

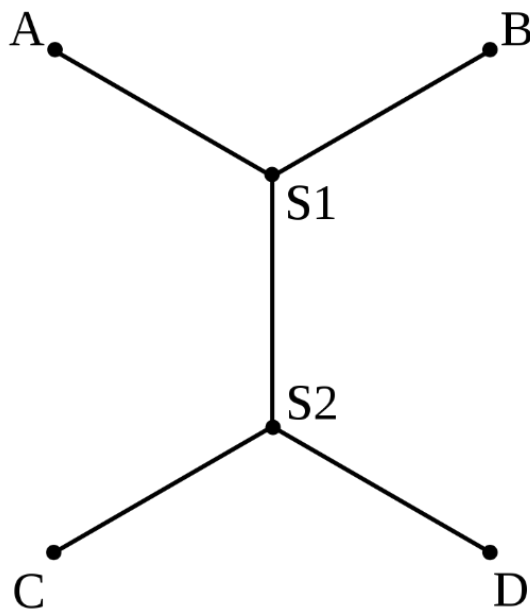


Рисунок 1.5 – Мінімальне дерево Штейнера для чотирьох точок [10]

Для рішення подібних задач також існує багато алгоритмів, що знаходять оптимальний маршрут, серед них, наприклад Алгоритм А\*, алгоритм Дейкстри, тощо.

Алгоритм А\* (A star) – алгоритм, що використовують для знаходження самого короткого шляху між двома вершинами графу, які мають строго додатні ваги ребер. Напрямок руху даного алгоритму скеровується допоміжною функцією, яка покликана не лише скеровувати шлях, а й скорочувати його [11].

Алгоритм поділяє вершини на повністю досліджені, відомі і невідомі. Повністю досліджені вже відомі алгоритму та мають найкоротшу можливу відстань, досліджені – відомі алгоритму, проте не мають оптимальної короткої відстані, невідомі – ще не є дослідженими, тому не мають відомої відстані.

Даний алгоритм є доволі дієвим, так як якщо є рішення для вхідного графу, то воно буде знайдене з мінімальною кількістю задіяних вершин, причому знайдене рішення буде завжди оптимальним [11].

Алгоритм Дейкстри має на меті знайти найкоротший шлях від однієї вершини графу до всіх інших, класична варіація цього алгоритму працює для графів, що не мають ребер з від'ємною довжиною [12].

Наприклад, на рисунку 1.6 зображено граф та найкоротші шляхи з вершини 1 у інші точки графу, причому граф має тільки додатні ваги ребер.

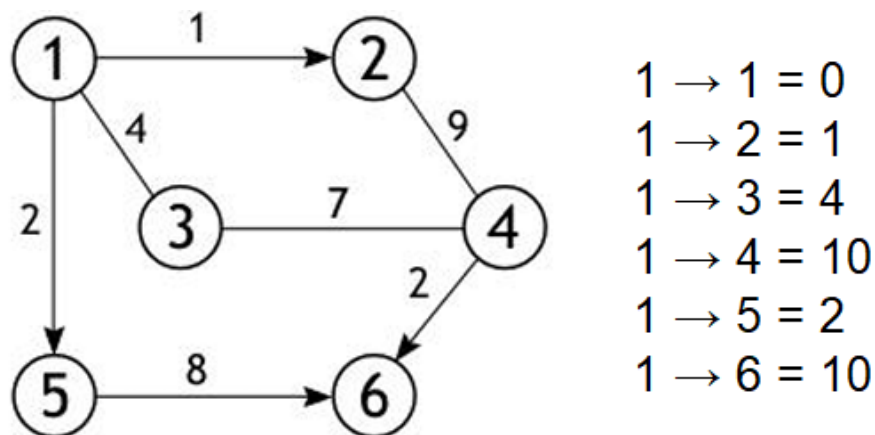


Рисунок 1.6 – Граф та рішення для нього, отримане за допомогою алгоритму Дейкстри [12]

Отже, описані вище задачі та алгоритми рішення відносяться до одного класу задач, що призначені для пошуку оптимального шляху відвідування заданого набору точок.

### 1.3 Область застосування та особливості використання мурашиного алгоритму.

Серед найефективніших методів пошуку оптимальних маршрутів є мурашиний алгоритм. Цей алгоритм часто застосовують для розв'язання задачі комівояжера.

Саме поведінка мурашиної колонії надихнула науковця Марко Доріго до розробки мурашиного алгоритму. Справа в тому, що мурахи для спілкування використовують спеціальний феромон, який залишають по собі. Саме концентрація цього феромону на маршруті мурахи визначає важливість цього маршруту. Феромон має властивість випаровуватись через деякий час, тому якщо на певному маршруті мурахи феромон не поновлюється, то він втрачає свою важливість. Принцип роботи мурашиного алгоритму зображено на рисунку 1.7.

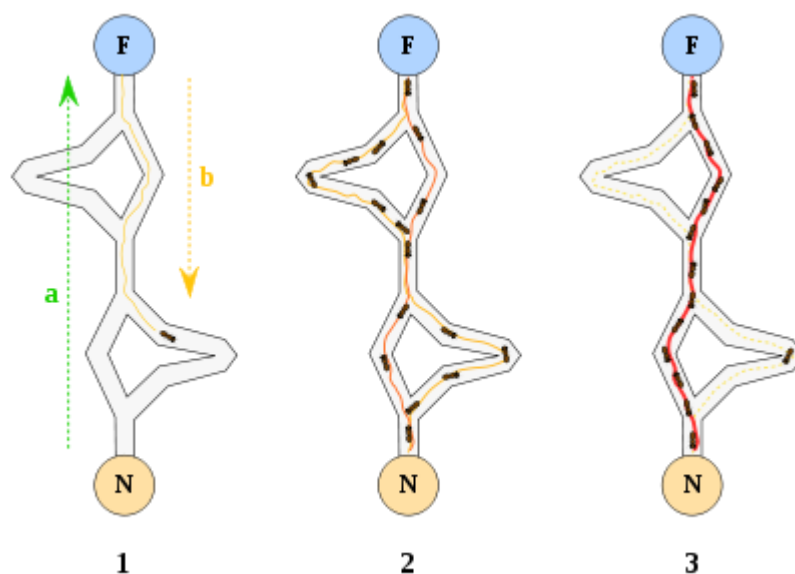


Рисунок 1.7 – Принцип роботи мурашиного алгоритму [13]

На кроці 1 мураха, виходячи зі свого гнізда (точка N) в напрямку «а» прямує в пошуках їжі, знаходячи їжу у точці F. Повертаючись до гнізда у зворотньому напрямку мураха позначає маршрут «b» феромоном. Інші мурахи, також у пошуках їжі обирають усі можливі 4 шляхи до точки F, проте, залишений першою мурахою слід з феромону робить маршрут «b» більш привабливішим для інших мурах, тому вони намагаються дотримуватись саме цього маршруту. Знайшовши у точці F їжу, вони повертаються назад до мурашника, також підсилюючи феромонами даний маршрут «b». Деякі мурахи з гнізда, які можуть рухатись випадковим чином, теж залишають феромоновий слід для неоптимального маршруту. Проте, з часом він вивітряється, так як більшість мурах все ж притримуються маршруту, на якому сильніше виражений феромон. Таким чином, маршрут, який був прокладений мурахою, що рухалась випадково, не підсилюється феромонами інших мурах та з часом зникає. При наявності кількох маршрутів, які приводять до цілі, з часом залишається один – оптимальний, на якому сильніше виражений феромон.

Дана поведінка мурашиної колонії проєктується на граф. Таким чином маршрут, який пройшла мураха по графу буде відображений лише тоді, коли вона відвідає всі вузли графу, після чого можна підрахувати довжину усього маршруту, а саме суму всіх довжин ребер, які відвідала мураха. За формулою, що подана нижче розраховується кількість феромону, який залишає мураха на своєму маршруті:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{L^k(t)} \quad (1)$$

Збільшення феромону відбувається за наступною формулою:

$$\tau_{ij}(t) = \Delta\tau_{ij}(t) + (\tau_{ij}^k \times \rho) \quad (2)$$

А випаровування за формулою:

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) \times (1 - \rho) \quad (3)$$

Даний алгоритм є доволі популярним, а отже це дало поштовх і до створення його варіацій, як от:

- Elitist Ant System;
- Ant Colony System;
- Max-min Ant System;
- Ant-Q;
- ASrank.

Дані модифікації засновані на особливому виділенні феромонів при проходженні мурахами певного маршруту, поведінкою мурахи при виборі маршруту [14].

Мурашиний алгоритм може бути успішно використаний для вирішення складних завдань оптимізації. Основна ідея, що лежить в основі алгоритму мурашиної колонії, полягає у використанні механізму позитивного зворотного зв'язку, що допомагає знайти оптимальне рішення у складних задачах оптимізації.

Найчастіше даний алгоритм використовується для розв'язку задач комівояжера – тобто при пошуку оптимального маршруту з однієї точки в іншу. Приклад конкретних задач, де можна застосувати мурашиний алгоритм:

- при побудові маршруту служби доставки;
- при прокладанні мережевого сполучення;
- побудові траєкторій польотів літаків;
- тощо.

Хоча алгоритм мурахи і базується на природній поведінці мурашиної колонії, проте, дає доволі хороші результати для вирішення задачі комівояжера.

## 1.4 Особливості організації пересувань безпілотних транспортних засобів по маршрутах

Бурхливий технологічний розвиток у світі надав поштовх для створення безпілотних транспортних засобів.

Безпіотною системою або транспортним засобом називається електромеханічна система, яка здатна отримувати інформацію про зовнішнє середовище, в якому знаходиться та працює без людини-оператора на борту, здатна використовувати свої можливості для виконання поставлених задач.

Безпілотні транспортні засоби (БТЗ) можуть дистанційно керуватися людиною або можуть здійснювати навігацію на основі попередньо запрограмованих алгоритмів, заданих маршрутів, або більш складних динамічних систем автоматизації. БТЗ поділяються на [15]:

- безпілотні літальні апарати;
- безпілотні наземні апарати;
- безпілотні надводні апарати;
- безпілотні підводні апарати.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), які також називають дронами, є БТЗ, які орієнтуються в повітрі. За допомогою таких БТЗ людина може досліджувати великі території та досягати до важко доступних або небезпечних територій. БПЛА можуть керуватися дистанційно або автономно.

В залежності від задач, які повинні виконувати БПЛА, вони можуть сягати різних розмірів та літати на різні дистанції. Відомі усім квадрокоптери, до прикладу, призначені для фото- відео-зйомки, тому мають невеликі розміри та високу маневренність, пересуваються на невеликі дистанції. В протипагу квадрокоптерам, можна привести приклад військового БПЛА, який на своєму борту може нести боєголовку і призначений для знищення військових цілей. Такого роду БПЛА повинні мати можливість польоту на великі дистанції, розвиваючи високу швидкість.

Безпілотні наземні апарати (БПНА) – це БТЗ, що працюють на землі. Мають великий діапазон застосування. Наприклад, дослідження космосу, пошук і порятунок, доставка замовлень. Їхня конфігурація також залежить від задач, які вони повинні виконувати. Зазвичай БПНА оснащені контролером і датчиками різного типу, як от для спостереження за навколишнім середовищем, датчиками детектування перешкод, тощо.

Має значення також і тип місцевості, якою рухається БПНА, адже він може використовуватись для поїздок шосе, міськими дорогами, чи бездоріжжям. Найскладнішим в цьому плані є рух міськими дорогами, адже саме на них є безліч перешкод у вигляді перехресть, регульованого руху, машин, людей.

Безпілотні надводні апарати (БПНВА) представляють собою судна, що виконують свою роботу на поверхні води, вони можуть керуватися дистанційно людиною-оператором або автономно згідно закладених алгоритмів або маршруту. Вони можуть мати різну форму та вагу в залежності від виконуваних функцій. Працюють такі БТЗ в небезпечних для людини місцевостях. Спочатку такі БТЗ використовувались у військових цілях, проте з часом почали використовуватись і цивільних цілях, наприклад, для відслідковування екології морів та океанів, дослідження напрямку течій, тощо.

Безпілотні підводні апарати (БППА) – БТЗ, які застосовуються для занурення під воду. Також можуть мати різні характеристики в залежності для якої задачі використовуються. Це можуть бути БТЗ для дослідження морського дна, або ж БТЗ для підводного будівництва. Керування ними відбувається за мінімальним втручанням людини, або за запрограмованими алгоритмами. Слід також зауважити, що БППА повинні працювати у важких умовах постійного підвищеного тиску, тому відповідно їхня конструкція має забезпечувати високу міцність, маневреність [16].

Загалом за допомогою безпілотних транспортних засобів можна вирішувати безліч задач, які пов'язані з військовою справою, дослідницькою та будівничою галуззю, а також в задачах доставки поштових відправлень, клієнтських замовлень з магазинів та закладів харчування.

Обов'язковою складовою, без якої БТЗ не може існувати є наявність датчиків, які допомагають керувати навігацією та виявляти середовища, які оточують БТЗ. Серед таких датчиків можуть бути наявні:

- компаси;
- гіроскопи, камери для тріангуляції;
- інфрачервоні технології;
- далекоміри;
- лазерні та ультразвукові датчики.

Як згадувалось вище, БТЗ можуть керуватися дистанційно та автономно. Якщо при дистанційному керуванні при переміщенні БТЗ бере участь людина, то при автономному, БТЗ повинен мати набір алгоритмів, які дозволятимуть йому слідувати з однієї точки в іншу при цьому уникаючи перешкод.

Розглянемо принципи роботи безпілотних транспортних засобів на прикладі автомобіля.

Безпілотні (автономні) автомобілі працюють завдяки датчикам, виконавчим механізмам, складним алгоритмам на кшталт систем машинного навчання та використовують потужні процесори для виконання запрограмованих алгоритмів.

БТЗ здатні створювати та слідувати картам свого оточення, використовуючи різноманітні датчики, розташовані у різних частинах автомобіля. Радіолокаційні датчики виявляють положення транспортних засобів, що знаходяться поблизу БТЗ. Відеокамери контролюють світло світлофорів та зчитують дорожні знаки, шукають сусідні транспортні засоби та пішоходів. БТЗ мають спеціальні датчики для виявлення світла та вимірювання дальності для того, щоб мати можливість вимірювати відстані, виявляти краї доріг та визначати розмітку дорожніх смуг. Для виявлення бордюрів та інших ТЗ використовуються, а також під час паркування, призначені ультразвукові датчики в колесах.

Складні алгоритми, що обробляють всі ці дані, що були отримані від датчиків, прокладають шлях автомобіля, вони керують прискоренням,

гальмуванням та рульовим управлінням. Програмне забезпечення представляє собою жорстко створені правила, алгоритми, що дозволяють уникати перешкоди, а також дотримуватися правил дорожнього руху, що є дуже важливим для руху на дорозі, особливо в міській місцевості [16].

На рисунку 1.8 зображено приблизне розташування зон видимості різних датчиків безпілотного автомобіля.



Рисунок 1.8 – Розташування зон видимості різних датчиків безпілотного автомобіля [17]

В майбутньому є вірогідність, що БТЗ змінять транспортну систему, це матиме серйозні наслідки для проектування міст і транспортної розв'язки. БТЗ згідно з Міжнародним товариством автомобільних інженерів, має декілька рівнів автономності [17], що також зображені на рисунку 1.9:

- перший рівень – часткова допомога водію (режим круїз-контроль);
- другий рівень – невелика автоматизація (автопілот автомобілів Tesla);
- третій рівень – умовна автоматизація (водії служать резервним варіантом для заміни автономної системи);

- четвертий рівень – високий рівень автоматизації (автомобілі Google/Waymo);
- п'ятий рівень – повна автоматизація (автомобілі, які не мають навіть керма).



Рисунок 1.9 – Рівні автономності автомобілів [17]

Що стосується безпілотного літального засобу, то вони також відомі під назвою дрони (рисунок 1.10). Дані БТЗ отримали важливе значення в різних сферах життя людини – від військової до аграрної справи, а все завдяки простоті керування ними та їх витривалості. Значно розширюється функціонал БПЛА завдяки впровадженню безпроводних технологій 4G, 5G і B5G.



Рисунок 1.10 – Безпілотний літальний апарат [18]

БПЛА здатний літати та затримуватись в повітрі, при чому не вимагається присутність оператора на борту БПЛА, що суттєво підвищує ефективність роботи та збільшує безпеку людини під час роботи. БПЛА керуються дистанційно за допомогою пульта управління, або ж за допомогою закладеного у нього алгоритму. На борту БПЛА містяться різні датчики, що виконують певні функціональні призначення [18].

На сьогоднішній день дрони використовуються для зондування поверхні та створення карт місцевості, а також для створення фотографій поверхні, що в майбутньому можуть бути використані з цілю створення реалістичних мап чи з метою моніторингу стану поверхні землі.

Планування маршруту БТЗ є важливим завданням у сфері навігації мобільних роботів. При вирішенні задачі планування шляху потрібно враховувати такі аспекти:

- розроблений шлях повинен проходити від початкової точки до заданої кінцевої точки;
- шлях повинен забезпечувати рух БТЗ якнайдалі від потенційних перешкод;
- шлях повинен бути оптимальним за цільовими параметрами серед усіх можливих шляхів.

Для реалізації алгоритмів, які враховують різного роду обмеження на рух безпілотного транспортного засобу, необхідним є розробити комбінований підхід з різних методів планування маршрутів. Такий підхід дозволить врахувати різні обмеження при плануванні маршруту [19].

Пошук оптимального маршруту БТЗ може під собою також розуміти введення додаткового обмеження – це обмеження в часі, що передбачає визначення такого маршруту, який би дозволив вирішити поставлене завдання у встановлений час.

Отже, як бачимо з аналізу предметної області, безпілотні транспортні засоби мають широке застосування у житті людини. БТЗ є помічниками при

дослідженні, вони здатні допомагати людям у будівництві, сільській промисловості і навіть бути рятувальниками.

### **1.5 Аналіз існуючого програмного забезпечення систем керування траєкторіями руху безпілотних транспортних засобів**

Розвиток технології безпілотних транспортних засобів зараз знаходиться на високому рівні, тому існує багато програмних рішень, що дозволяють будувати як маршрути для БТЗ, так і різного роду мапи на основі зібраної інформації за допомогою БТЗ. Далі розглянемо деякі з них детальніше.

DroneDeploy – це хмарне програмне забезпечення, яке дозволяє отримувати, обробляти та аналізувати дані на одній платформі (рисунок 1.11). Ця програма дозволяє будувати точні двохмірні та трьохмірні мапи для польоту БТЗ.

Даним застосунком можуть користуватися як звичайні користувачі, так і корпоративні клієнти для побудови маршрутів для сільського господарства, будівництва, енергетики, тощо.

DroneDeploy має унікальні функції:

- виконаний як мобільний застосунок що дозволяє робити зображення безпосередньо зі свого мобільного;
- створення двомірних карт в реальному часі;
- можливість запрограмованого автономного польоту – є можливість завчасно запрограмувати свій маршрут;
- 360 Walkthrough – створення огляду пройденого маршруту в 360 градусах;
- Окремі набори галузевих функцій (для сільського господарства, будівництва, тощо)

У користувачів є можливість користуватися програмою безкоштовно пробний період в 14 днів.

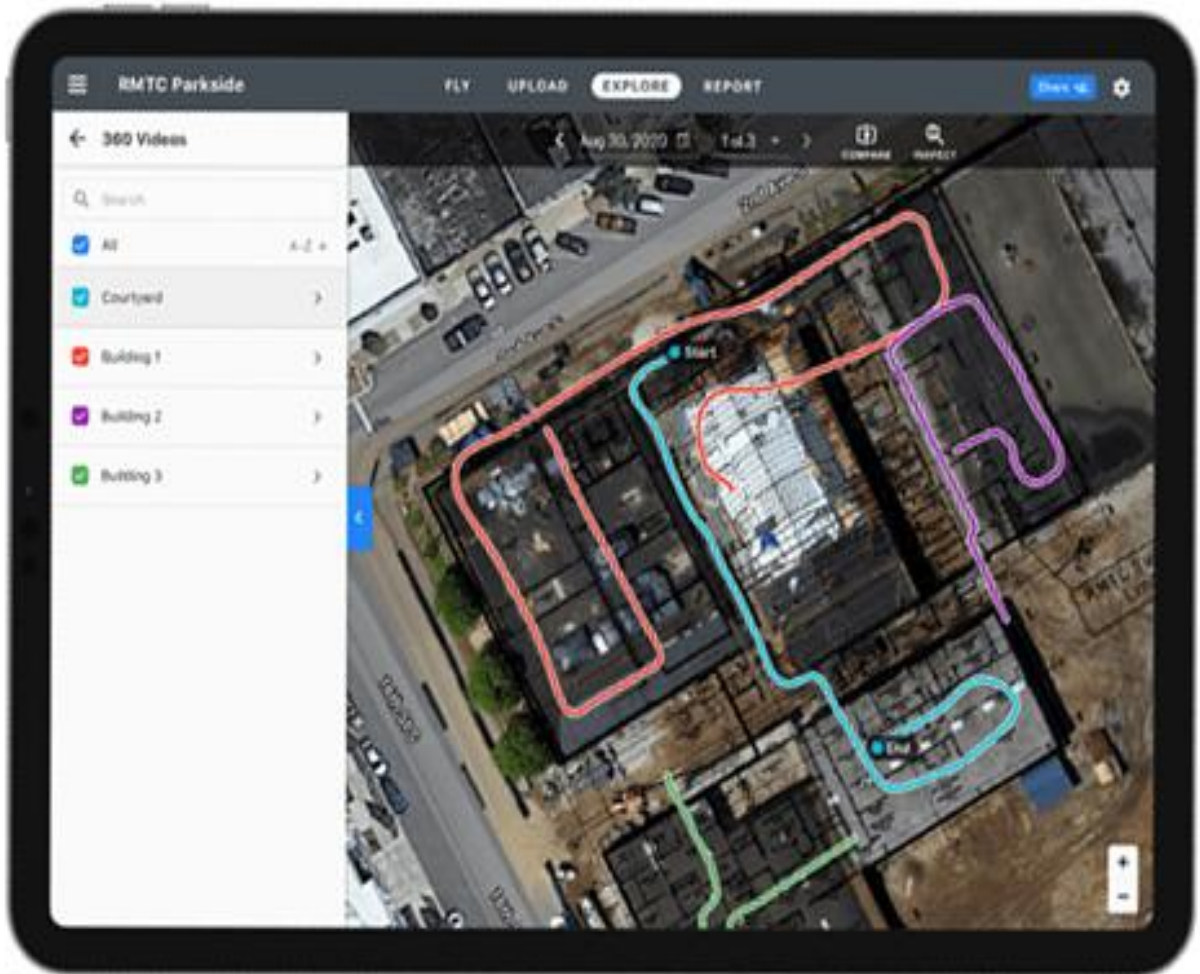


Рисунок 1.11 – Інтерфейс програми DroneDeploy [20]

Pix4D – це гібридне програмне забезпечення для створення карт та фотограмметрії безпілотників, що дає можливість управляти БТЗ хмарними технологіями за допомогою смартфона та десктопної версії (рисунок 1.12). Має високу точність вимірювання – до 1 см.

Дана програма надає інструменти для роботи з безпілотниками у різних галузях:

- сільське господарство;
- будівництво;
- військова справа;
- лісове господарство;
- тощо.

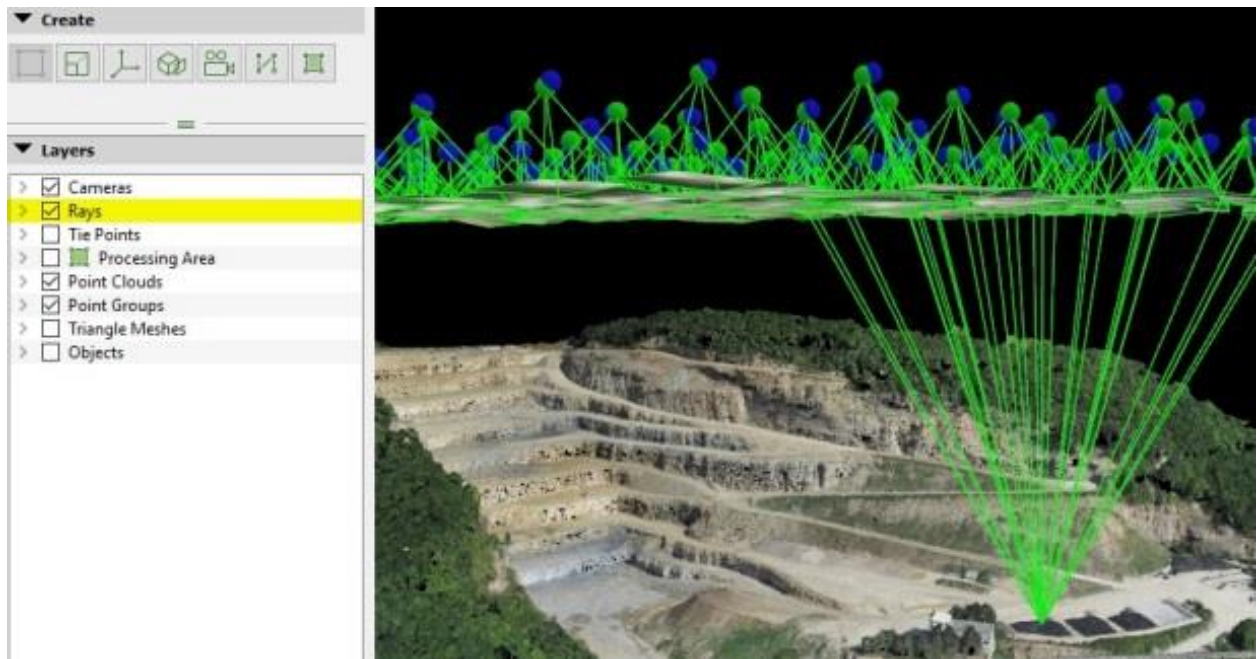


Рисунок 1.12 – Інтерфейс програми Pix4D [21]

Дане програмне забезпечення є платним, проте дозволяє створювати високоточні мапи у двохмірному та тривимірному просторі. Користувачі можуть керувати дроном віддалено, або створювати маршрут по якому буде слідувати дрон.

Propeller – це програмне забезпечення, що призначене для таких галузей як гірничодобувна промисловість, будівництво та управління відходами (рисунок 1.13). Ціль розробки даного програмного забезпечення – збільшення ефективності роботи бригад, що працюють на одному об'єкті, візуалізація робочих об'єктів для подальшого планування етапів роботи.

Propeller дає можливість створювати високоточні мапи на основі відзнятого дронами матеріалу. Експерти Propeller обробляють зображення замість клієнтів 24 години на добу.

Propeller допомагає збирати різні наземні контрольні точки, щоб допомогти забезпечити точніший і точніший збір даних для побудови маршрутів.

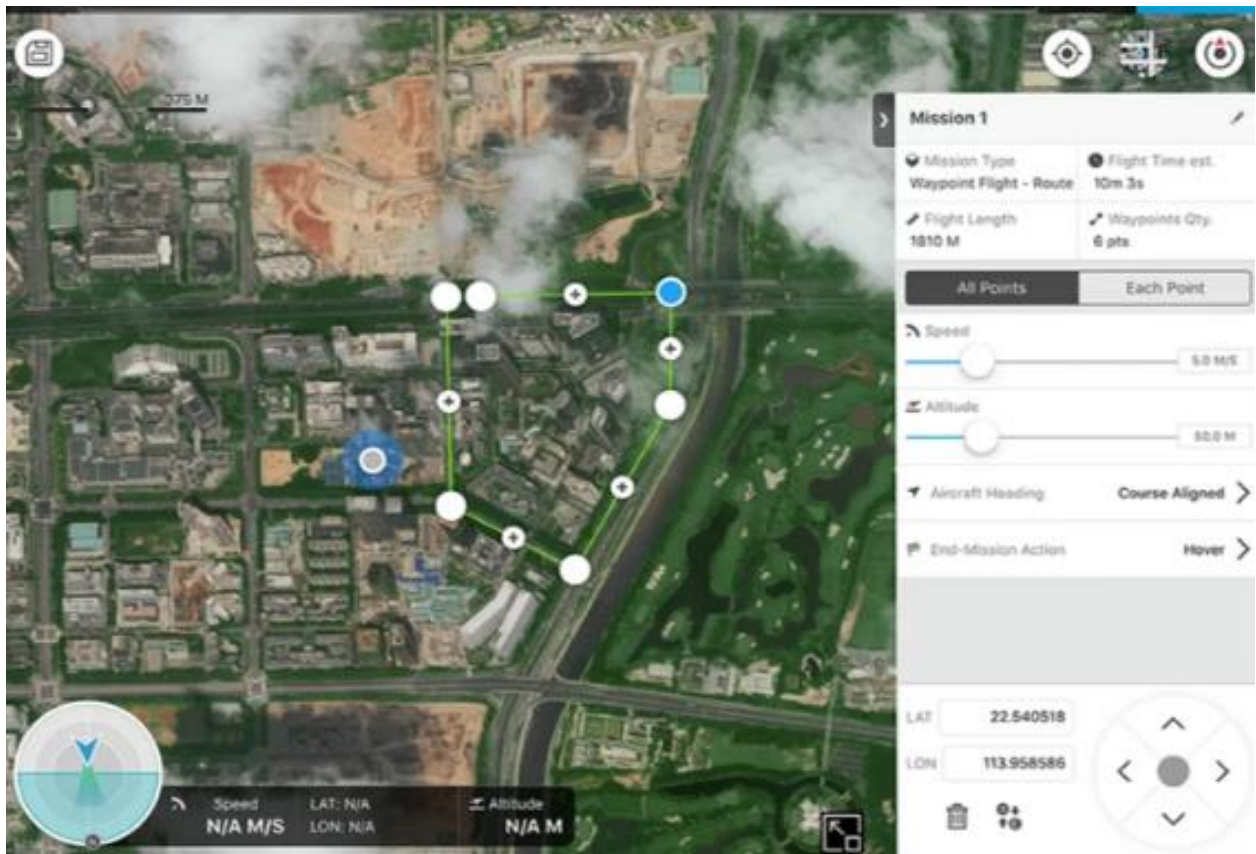


Рисунок 1.13 – Інтерфейс програми Propeller [22]

Litchi – програмний продукт для дронів, який дозволяє керувати дроном в реальному часі, задавати маршрути для автономного руху (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Інтерфейс програми Litchi [23]

Ця програма має ряд переваг [23]:

- користувач може підключити окуляри віртуальної реальності та спостерігати за всім з неба.
- за допомогою цієї програми дрон може автоматично відстежувати заданий об'єкт та слідувати за ним. Користувач має можливість заздалегідь планувати точки місії без підключення до дрона.
- завдяки автономному режиму дрон продовжить виконувати свою місію навіть якщо втратить сигнал з пристроєм управління.
- користувач може задати точки місії на настільному комп'ютері та завантажити їх у програму в смартфоні завдяки повній синхронізації профілю користувача на різних пристроях.
- встановлення класичних точок місії, а також кабель камери, фотографії та багато іншого.
- широкі можливості для налаштування камери дозволяють створювати неймовірної якості відео.

Отже, як видно з огляду готових програмних рішень, вони усі дозволяють максимально зручно керувати безпілотними транспортними засобами у вигляді дронів, квадрокоптерів. Ці програми дозволяють вказувати маршрут польоту для автономної роботи, а також створювати якісні мапи для використання їх в подальшій роботі.

## **1.6 Аналіз сучасних наукових публікацій у області побудови оптимальної траєкторії безпілотних транспортних засобів**

В останні кілька років зростає інтерес до досліджень з безпілотними транспортними засобами. Одним з ключових моментів розробки безпілотного транспортного засобу є планування та пошук оптимального шляху до поставленої цілі. При керуванні БТЗ слід враховувати особливість їх руху. Розглянемо декілька публікацій, що описують підходи щодо побудови маршрутів безпілотних транспортних засобів.

У публікації [19] автори пропонують використати гібридний алгоритм  $A^*$  для побудови маршруту наземного транспортного засобу. У своєму дослідженні автори тестують свій алгоритм у ігровому середовищі Unity. Результати тестування показують високу ефективність застосування цього алгоритму. Запропонований авторами підхід також дає високі показники ефективності в часовому розрізі. Завдяки побудованому маршруту за допомогою гібридного алгоритму  $A^*$ , безпілотний транспортний засіб проходить його з високою швидкістю, проте доволі ефективно показує себе на поворотах.

У статті [24] описано підхід сукупної проблеми маршрутизації безпілотного літального апарату на прикладі оптимізації планування траєкторії руху БТЗ задля гуманітарного покриття. Розробка траєкторії покриття складається з пошуку маршруту, який охоплює кожен точку заданої території. Метою даного дослідження є мінімізувати сумарний часу прибуття в усі задані точки завершивши рух з мінімальною затримкою. Варто зазначити, що дана задача перетворюється на проблему маршрутизації безпілотного транспортного засобу за допомогою методу наближеної коміркової декомпозиції для дискретизації області в сітку, де прямокутники представляють поле зору датчика БТЗ. Центральні точки сформованих прямокутників перетворюються у вузли, які використовуються для задачі маршрутизації БТЗ літального типу. Для вирішення цієї задачі автори реалізували три версії паралельно зваженої жадібної рандомізованої процедури адаптивного пошуку (алгоритм змінного сусідства).

У дослідженні [25], автори пропонують підхід, який допомагає усунути ризик зіткнення БПЛА через маршрути, що накладаються, коли кілька БПЛА рухаються одночасно. Автори пропонують метод блокування зв'язків, щоб зв'язок, який використовується для побудованої траєкторії, не міг використовуватися для траєкторій польоту інших БПЛА. Також пропонують ієрархізацію каналів для вирішення проблеми нестачі каналів, спричиненої зайнятими траєкторіями. Ефективність і характеристики запропонованого методу мають високу ефективність та перевірені за допомогою комп'ютерного моделювання.

У [26] автори описують та порівнюють два методи побудови траєкторії польоту БПЛА в трьохвимірному просторі – за допомогою алгоритму A\* та фронту Парето. Під час дослідження виявлено, що обидва методи дають ефективний результат, проте вони здатні підсилювати один одного при одночасному застосуванні, тому автори вважають за потрібне продовжити дослідження в напрямку паралельного застосування обидвох алгоритмів.

Отже, як видно з проведеного аналізу, є багато алгоритмів для побудови траєкторій руху безпілотних транспортних засобів, частина з них присвячена традиційним підходам, а частина описує гібридні методи, або ж тандем декількох традиційних підходів для розв'язку задачі. При чому варто відзначити, що підходи запропоновані авторами відрізняються також із-за різних типів безпілотних транспортних засобів, адже вони мають свої різні особливості руху.

## **1.7 Постановка завдання**

Метою кваліфікаційної роботи магістра є вирішення задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Для досягнення мети слід вирішити наступні завдання:

1. Дослідити сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.

2. Розробити інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.

3. Розробити метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

4. Створити прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

5. Дослідити практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

### **Висновки до розділу 1**

У першому розділі кваліфікаційної роботи магістра було досліджено предметну область транспортних перевезень. У рамках проведення дослідження було проаналізовано сучасні інтелектуальні системи керування, які як напрям штучного інтелекту дозволяють вирішувати ряд важливих задач, надаючи при цьому високоточні результати.

Проаналізовано підходи до автоматизації прийняття тактичних рішень при плануванні маршрутів пересування та описані задачі та алгоритми рішення, що належать до одного класу задач, та призначені для пошуку оптимального шляху відвідування заданого набору точок.

Проаналізовано також область застосування та особливості використання мурашиного алгоритму, та було відмічено що хоч алгоритм мурахи і базується на природній поведінці мурашиної колонії, проте, дає досить хороші результати для вирішення задачі комівояжера.

Також проаналізовано особливості організації пересувань безпілотних транспортних засобів по маршрутах, та помічено, що хоч безпілотні транспортні засоби мають широке застосування у житті людини. БТЗ є помічниками при дослідженні, адже вони здатні допомагати людям у будівництві, сільській промисловості і навіть бути рятівниками.

При здійсненні аналізу існуючого програмного забезпечення систем керування траєкторіями руху безпілотних транспортних засобів, та встановлено, що усі вони дозволяють максимально зручно керувати безпілотними транспортними засобами у вигляді дронів чи квадрокоптерів. Ці програми

дозволяють вказувати маршрут польоту для автономної роботи, а також створювати якісні мапи для використання їх в подальшій роботі.

Окрім аналізу програмного забезпечення було проведено аналіз наукових публікацій, та помічено, що є багато алгоритмів для побудови траєкторій руху безпілотних транспортних засобів, частина з них присвячена традиційним підходам, а частина описує гібридні методи, або ж тандем декількох традиційних підходів для розв'язку задачі. Також помічено, що підходи запропоновані авторами відрізняються також із-за різних типів безпілотних транспортних засобів, адже вони мають свої різні особливості руху.

Згідно проведеного дослідження предметної області було виділено задачі, які потребують застосування інформаційних технологій. Метою кваліфікаційної роботи магістра визначено вирішення задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

## Розділ 2

### Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

#### 2.1 Інформаційна модель оптимізації переміщень безпілотних транспортних засобів

Розробка інформаційної моделі переміщень безпілотних транспортних засобів потрібна для подальшої роботи з рядом процесів та сутностей, які формують предметну область. Інформаційна модель переміщень безпілотних транспортних засобів є формальним поданням сутностей, з якими можуть проводитись операції при оптимізації переміщень.

Відповідно, інформаційна модель маршруту пересування безпілотного транспортного засобу  $W$  має наступний вигляд:

$$\{A \cup B \cup C \cup D \cup E \cup F \cup G \cup H \cup I\} \subset W, \quad (2.1)$$

де  $A$  – множина доступних точок обльоту;  $B$  – множина доступних шляхів між парами точок обльоту;  $C$  – множина ділянок полів для позиціонування точок обльоту;  $D$  – множина полів що сегментовані на ділянки;  $E$  – множина сільхозпідприємств які обмежують використання точок для обльоту;  $F$  – множина точок обраних для обльоту;  $G$  – упорядкована множина точок за послідовністю обльоту;  $H$  – упорядкована множина шляхів за послідовністю обльоту;  $I$  – відносна довжина маршруту обльоту обраних точок.

Кожен елемент множини доступних точок обльоту є кортежем наступного вигляду:

$$A = \{x, y, z, name, dl, type\} \quad (2.2)$$

де  $x, y, z$  – координати доступної точки обльоту,  $name$  – ім'я точки обльоту,  $dl$  – ділянка, якій належить точка обльоту,  $type$  – тип пункту.

У свою чергу,  $type$  є кортежем такого виду:

$$type = \{P, Pbase, Pdeparture\} \quad (2.3)$$

де  $P$  – точка фотофіксації,  $Pbase$  – точка базування, або ж  $Pdeparture$  – точка вильоту.

Кожен елемент множини доступних шляхів між парами точок обльоту є у свою чергу кортежем такого вигляду:

$$B = \{n1, n2, l, h, l^*, k1, k2, l^{**}\} \quad (2.4)$$

де  $n1$  – початкова точка обльоту,  $n2$  – кінцева точка обльоту,  $l$  – відстань без урахувань різниці висот точок обльоту,  $h$  – різниця висоти в точках обльоту,  $l^*$  – відстань з урахуванням висот точок обльоту,  $k1$  – коефіцієнт впливу різниці висот точок обльоту,  $k2$  – коефіцієнт потреби в обльоті перешкод,  $l^{**}$  – відносна відстань між точками обльоту  $T1$  і  $T2$ .

Основні умовні позначення проілюстровано на рисунку 2.1.

У свою чергу, коефіцієнт  $k2$  визначається експериментально-дослідним шляхом, а коефіцієнт  $k1$  можна обрахувати за формулою:

$$k1 = 1 + \frac{z2 - z1}{z2 + z1} \quad (2.5)$$

, де  $z2$  та  $z1$  – координати по осі  $Z$  між точками обльоту.

Параметр  $l^*$  у свою чергу можна обрахувати за відомою формулою Піфагора:

$$l^* = \sqrt{l^2 + h^2} \quad (2.6)$$

, а параметр  $l$  можна обрахувати за формулою відстані між двома точками на площині.

Тоді  $l^{**}$  можна обрахувати за формулою:

$$l^{**} = k1 \cdot k2 \cdot l^* \quad (2.7)$$

Таким чином було розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму у межах розробки відповідних інформаційних методів і технологій.

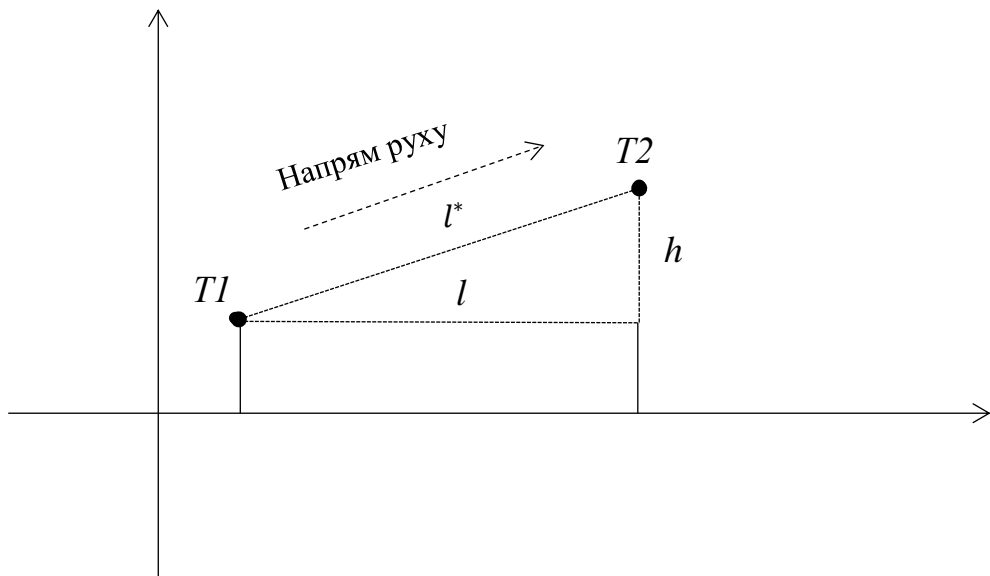


Рисунок 2.1 – Основні умовні позначення інформаційної моделі

Розроблена інформаційна модель містить ряд параметрів, таких як: множина доступних точок обльоту; множина доступних шляхів між парами точок обльоту; множина ділянок полів для позиціонування точок обльоту; множина полів що сегментовані на ділянки; множина сільхозпідприємств які обмежують використання точок для обльоту; множина точок обраних для обльоту; упорядкована множина точок за послідовністю обльоту; упорядкована множина шляхів за послідовністю обльоту; відносна довжина маршруту обльоту обраних точок. Перераховані параметри у своїй більшості є множинами під параметрів, що у сукупності дає повну інформаційну модель оптимізації переміщень безпілотних транспортних засобів.

## **2.2 Кроки методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму**

Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму дозволяє за вхідними

даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок, й відрізняється від існуючих методів тим, що обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту. На рисунку 2.2 наведено схему кроків виконання методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

Вхідними даними методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є множина точок обльоту із їх координатами, множина шляхів між парами точок обльоту, обрана початкова точка обльоту, обрані для поточного обльоту актуальні точки, параметри потреби в обльоті перешкод для шляхів та параметри налаштування мурашиного алгоритму, до яких належать стартовий обсяг ферменту на шляхах, коефіцієнт ефристики, коефіцієнт обсягу випаровування ферментів, стартовий обсяг ферментів на шляхах.

За виконання методу спершу (Крок 1) виконується створення запиту на побудову маршруту обльоту. Для цього робиться підбір шляхів між актуальними точками обльоту, обрахунок відстаней між парами точок без урахування різниць висот точок обльоту, а за одержаними значеннями – проводиться й обрахунок відстаней між парами точок з урахуванням різниць висот точок обльоту.

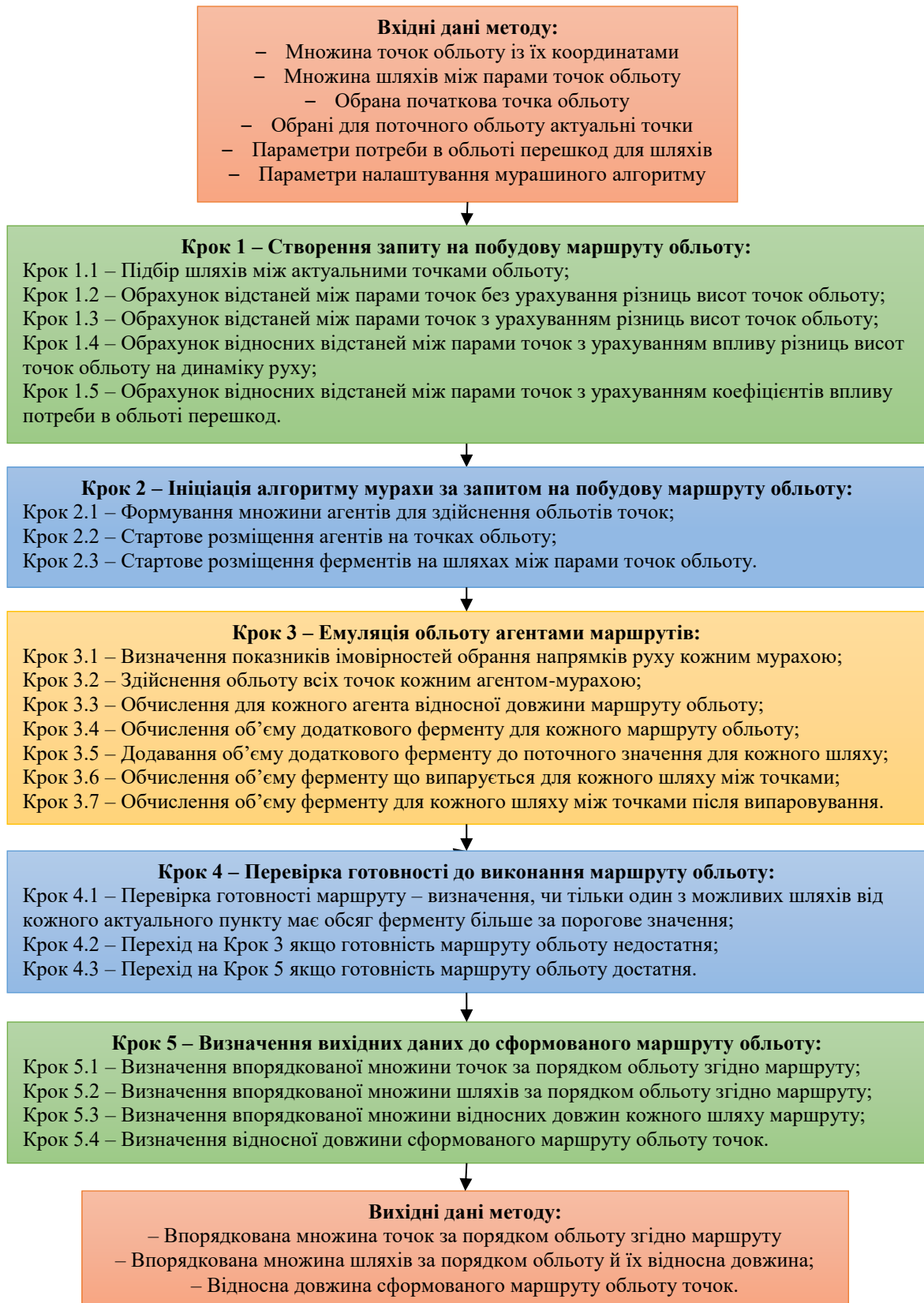


Рисунок 2.2 – Схема кроків виконання методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

Далі виконується обрахунок відносних відстаней між парами точок з урахуванням впливу різниць висот точок обльоту на динаміку руху й як результат – обрахунок відносних відстаней між парами точок з урахуванням коефіцієнтів впливу потреби в обльоті перешкод.

На Кроці 2 виконується ініціація алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту, зокрема проводиться формування множини агентів для здійснення обльотів точок, стартове розміщення цих агентів на точках обльоту й стартове розміщення об'ємів ферментів на шляхах між парами точок обльоту.

Крок 3 полягає безпосередньо у емуляції обльоту агентами маршрутів, для чого спершу виконується визначення показників імовірностей обрання напрямків руху кожним мурахою й за результатом – здійснення обльоту всіх точок кожним агентом-мурахою. Далі виконується обчислення для кожного агента відносної довжини маршруту обльоту, обчислення об'єму додаткового ферменту для кожного маршруту обльоту й відповідно додавання об'єму додаткового ферменту до поточного значення для кожного шляху. Після цього питання випаровування ферментів: спершу здійснюється обчислення об'єму ферменту що випарується для кожного шляху між точками, а за цими значеннями виконується обчислення об'єму ферменту для кожного шляху між точками після випаровування.

На Кроці 4 виконується перевірка готовності до виконання маршруту обльоту, тобто визначення, чи тільки один з можливих шляхів від кожного актуального пункту має обсяг ферменту більше за порогове значення. Якщо встановлюється, що більше ніж один з можливих шляхів від кожного актуального пункту має обсяг ферменту більше за порогове значення, то відбувається перехід на крок визначення показників імовірностей обрання напрямків руху кожним мурахою. Якщо ж встановлюється, що лише один з можливих шляхів від кожного актуального пункту має обсяг ферменту більше за

порогове значення, то відбувається перехід на крок визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту.

На Кроці ж 5 відбувається визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту, зокрема впорядкованої множини точок за порядком обльоту згідно маршруту, впорядкованої множини шляхів за порядком обльоту згідно маршруту, впорядкованої множини відносних довжин кожного шляху маршруту й відносної довжини сформованого маршруту обльоту точок.

Отже, вихідні дані методу складають впорядкована множина точок за порядком обльоту згідно маршруту, впорядкована множина шляхів за порядком обльоту й їх відносна довжина й відносна довжина сформованого маршруту обльоту точок.

Таким чином, було вдосконалено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, який дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

Особливостями створеного методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

### 2.3 Математичні моделі обрахунку довжини маршруту методом автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів

Математична модель обрахунку сумарної довжини маршруту обраховується у двох варіаціях: у варіанті реальної відстані без урахувань можливих перешкод та різниці висоти, а також оціночною величиною з урахуванням коефіцієнтів інформаційної моделі, описаної в п. 2.2.

Сумарний шлях без урахувань можливих перешкод та перепадів висоти розраховується за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n l_i \quad (2.8)$$

де  $l_i$  – множина відстаней між заданими точками обльоту без урахувань різниці висот між ними,  $i$  – параметр поточного номеру відповідної відстані обльоту,  $n$  – кількість відстаней для здійснення обльоту.

Відповідно,  $l_i$  між двома заданими точками для обльоту визначається як:

$$l_i = \sqrt{(x_{T2} - x_{T1})^2 + (y_{T2} - y_{T1})^2 + (z_{T2} - z_{T1})^2} \quad (2.9)$$

де  $T1$  та  $T2$  – точки обльоту, між якими здійснюється переміщення безпілотного  $i$ -го літаючого транспортного засобу.

Сумарний шлях з урахуванням можливих перешкод та перепадів висоти розраховується за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n l_i^{**} \quad (2.8)$$

де  $l_i^{**}$  – множина відстаней між заданими точками обльоту з урахуванням різниці висот між ними,  $i$  – параметр поточного номеру відповідної відстані обльоту,  $n$  – кількість відстаней для здійснення обльоту.

Відповідно, кожне  $l_i^{**}$  розраховується за формулою 2.7, описаною в п. 2.2.

Отже, було розроблено математичну модель обрахунку сумарної довжини маршруту, що обраховується у двох варіаціях: у варіанті реальної відстані без урахувань можливих перешкод та різниці висоти, а також оціночною величиною з урахуванням коефіцієнтів інформаційної моделі.

## **Висновки до розділу 2**

При виконанні другого розділу було створено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

Зокрема, для організації подальшої роботи з рядом процесів та сутностей, які формують предметну область було розроблено інформаційну модель переміщень безпілотних транспортних засобів. Розроблена модель містить ряд параметрів, таких як: множина доступних точок обльоту; множина доступних шляхів між парами точок обльоту; множина ділянок полів для позиціонування точок обльоту; множина полів що сегментовані на ділянки; множина сільхозпідприємств які обмежують використання точок для обльоту; множина точок обраних для обльоту; упорядкована множина точок за послідовністю обльоту; упорядкована множина шляхів за послідовністю обльоту; відносна довжина маршруту обльоту обраних точок. Перераховані параметри у своїй більшості є множинами підпараметрів, що у сукупності дає повну інформаційну модель оптимізації переміщень безпілотних транспортних засобів.

В розділі створено та описано покроково метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю

обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок, й відрізняється від існуючих методів тим, що обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

Також у ході виконання другого розділу було розроблено математичну модель обрахунку сумарної довжини маршруту, що обраховується у двох варіаціях: у варіанті реальної відстані без урахувань можливих перешкод та різниці висоти, а також оціночною величиною з урахуванням коефіцієнтів інформаційної моделі.

## Розділ 3

### Інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів

#### 3.1 Етапи роботи інформаційної системи

Інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму використовує описані вище у другому розділі інформаційну багато параметричну модель, а також описаний метод для розрахунку та виводу за вхідними даними користувача вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів безпілотного транспортного засобу.

У якості вхідних даних розроблюваної інформаційної системи є відомості про точки обльоту, шляхи обльоту, задання відповідних коефіцієнтів шляхів, а також налаштувань роботи самого алгоритму мурахи. Схему етапів роботи запропонованої інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму проілюстровано на рисунку 3.1.

Умовно інформаційна система працює у три етапи, першим з яких є етап формування множини доступних точок обльоту БПЛА. У рамках першого етапу здійснюється робота користувача з множиною точок обльоту. Сюди належить додавання нових точок обльоту, а також корекція та видалення уже існуючих. Також є можливість змінити тип пункту точки обльоту.

Другим етапом є формування множини доступних шляхів обльоту повітряних безпілотних літальних транспортних засобів. На поточному етапі організовано роботу користувача з множиною шляхів обльоту, а саме: додавання, корекція, видалення. Також є можливість корекції параметрів множини шляхів обльоту, та обрахунку відстаней з урахуванням висоти і без урахування зміни висоти. У рамках другого етапу відбувається відносна відстань згідно з обраними коефіцієнтами та точками обльотів.



Рисунок 3.1 – Етапи роботи інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів

Етап формування маршруту за заданими точками обльоту виконує ряд функцій, серед яких на базі автоматизованої перевірки коректності заданих точок обльоту у системі та автоматизованої перевірки коректності заданих шляхів формують множину можливих маршрутів згідно з уведеними даними та наводять деталізацію сформованих варіантів маршрутів руху БПЛА. Також користувачу формується та виводиться оптимальний прорахований алгоритмічно маршрут.

Вихідними даними інформаційної системи є впорядкована множина пунктів обльоту повітряного безпілотного транспортного літального засобу, впорядкована множина шляхів обльоту безпілотного транспортного літального засобу, деталізація відстаней маршруту, а також відповідно сформований маршрут із заданих точок обльоту безпілотного транспортного засобу.

Отже, було розроблено інформаційну систему автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

### **3.2 Структура інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів**

Структура інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів зображена на рисунку 3.2 та складається із бази даних і чотирьох підсистем.

База даних відіграє велику роль та зберігає такі відомості:

- Точки обльоту та шляхи обльоту, які у свою чергу згідно з інформаційною моделлю, описаною у п. 2.1 також мають відомості.
- Налаштування алгоритму мурахи (вхідні дані для початку роботи алгоритму).
- Відомості про здійснені маршрути обльотів. Дана інформація потрібна для подальшого аналізу та відображення вже здійснених польотів та їх результатів.

– Відомості про диспетчерів, а також у базі зберігається інформація про самі літальні апарати – БПЛА.

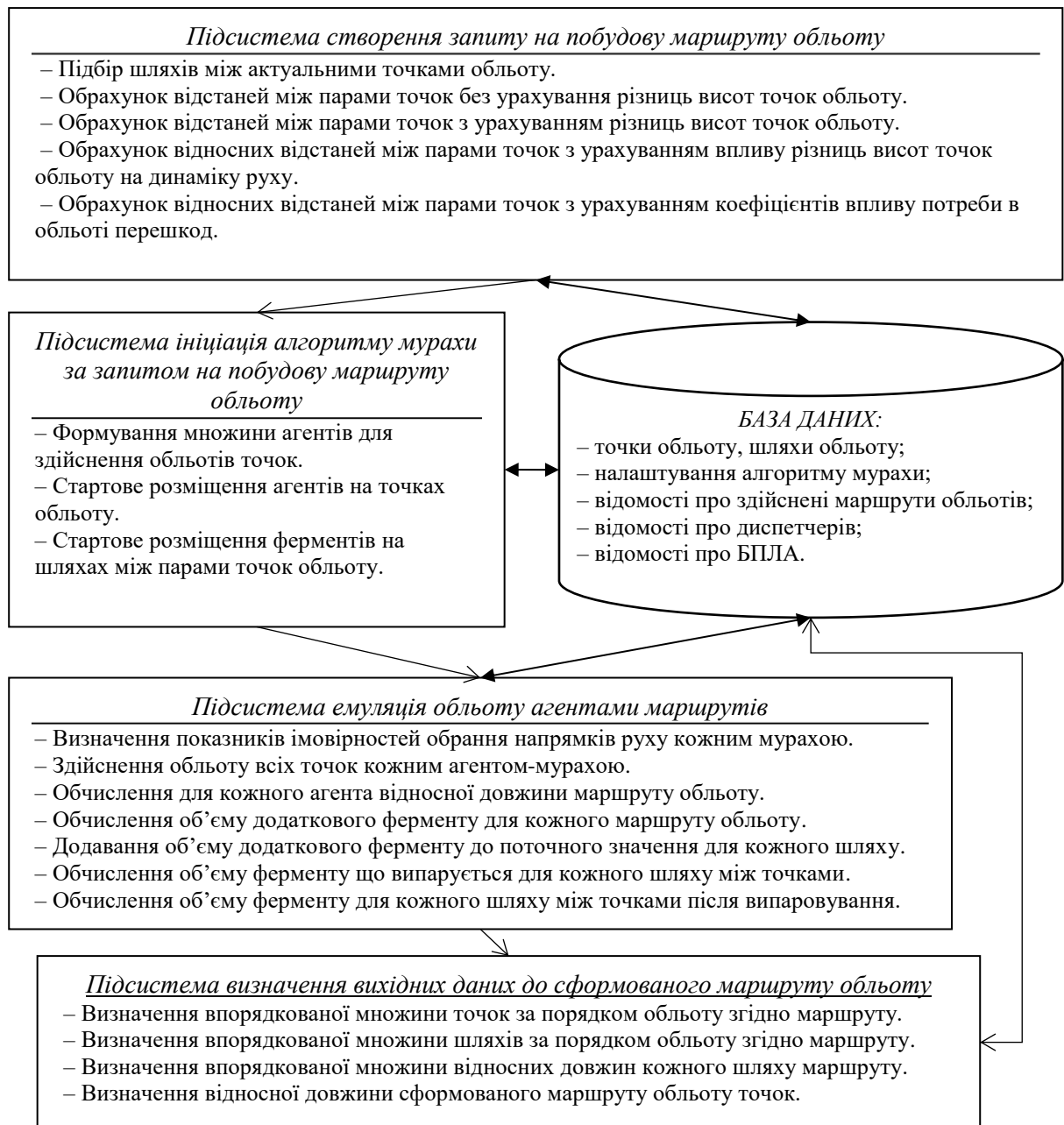


Рисунок 3.2 – Схема інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів

Підсистема створення запиту на побудову маршруту обльоту призначена для виконання нижчеперелічених функцій:

– Підбір шляхів між актуальними точками обльоту.

- Обрахунок відстаней між парами точок без урахування різниць висот точок обльоту.

- Обрахунок відстаней між парами точок з урахуванням різниць висот точок обльоту.

- Обрахунок відносних відстаней між парами точок з урахуванням впливу різниць висот точок обльоту на динаміку руху.

- Обрахунок відносних відстаней між парами точок з урахуванням коефіцієнтів впливу потреби в обльоті перешкод.

Обрахування відстаней було детально описано у п. 2.1 та п. 2.3. Відповідна підсистема формує дані, які потрібні у якості вхідних даних для наступної підсистеми – ініціації алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту. Функціями даної підсистеми є:

- Формування множини агентів для здійснення обльотів точок.

- Стартове розміщення агентів на точках обльоту.

- Стартове розміщення ферментів на шляхах між парами точок обльоту.

Після виконання функцій даної підсистеми, будуть сформовані дані, які будуть використані підсистемою емуляції обльоту агентами маршрутів. Дана підсистема призначена для виконання наступних функцій:

- Визначення показників імовірностей обрання напрямків руху кожним мурахою;

- Здійснення обльоту всіх точок кожним агентом-мурахою.

- Обчислення для кожного агента відносної довжини маршруту обльоту.

- Обчислення об'єму додаткового ферменту для кожного маршруту обльоту.

- Додавання об'єму додаткового ферменту до поточного значення для кожного шляху.

- Обчислення об'єму ферменту що випарується для кожного шляху між точками.

– Обчислення об'єму ферменту для кожного шляху між точками після випаровування.

За даними, обрахованими у підсистемі емуляції обльоту агентами маршрутів буде сформовано підсистему визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту. Остання підсистема повинна виконувати такі функції:

– Визначення впорядкованої множини точок за порядком обльоту згідно маршруту.

– Визначення впорядкованої множини шляхів за порядком обльоту згідно маршруту.

– Визначення впорядкованої множини відносних довжин кожного шляху маршруту.

– Визначення відносної довжини сформованого маршруту обльоту точок.

Отже, було розроблено структуру інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів, яка складається із 4-х підсистем та бази даних та дозволяє автоматизовано планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Інформаційна система обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при здійсненні обльотів між парами точок, а також виконує ряд операцій з елементами множини точок обльоту враховуючи їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті БПЛА за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

### 3.3 Аргументація вибору засобів розробки інформаційної системи

Сучасні інформаційні технології надають великий вибір засобів для розробки програмного забезпечення. Розробники обирають необхідні для них інструменти в залежності від того, яку вони задачу вирішують.

Для розробки програмного забезпечення прийнято рішення використати платформу .NET Framework.

.NET Framework є набором інструментів, що надають можливість швидко розробляти програми для операційної системи Microsoft, переважно використовуючи C# як мову для доступу до бібліотек .NET Framework. Платформа .NET має великий перелік функціональних можливостей, починаючи від обробки даних, що представлені рядками і закінчуючи такими речами, як створення інтерфейсів користувача, графіка, керування базами даних, та обробка великих масивів даних [27].

За допомогою інструментів, що надає дана платформа можна розроблювати різного роду додатки (рисунок 3.3).

## .NET – A unified platform



Рисунок 3.3 – Типи застосунків, що дозволяє створювати платформа .NET [28]

В якості мови програмування, що працює на платформі .NET обрано С#. С# – це об’єктно-орієнтована мова програмування, що була створена на основі мови програмування С. Вона має статичну типізацію, заснована на класах, а також є компонентно-орієнтованою.

Дана мова програмування є доволі гнучкою, тому використовується для розробки:

- настільних додатків
- веб-додатків і сервісів
- ігор;
- мобільних додатків;
- хмарних сервісів.

Дана мова програмування є дуже популярно, згідно рейтингу мов програмування, що зображено на рисунку 3.4.

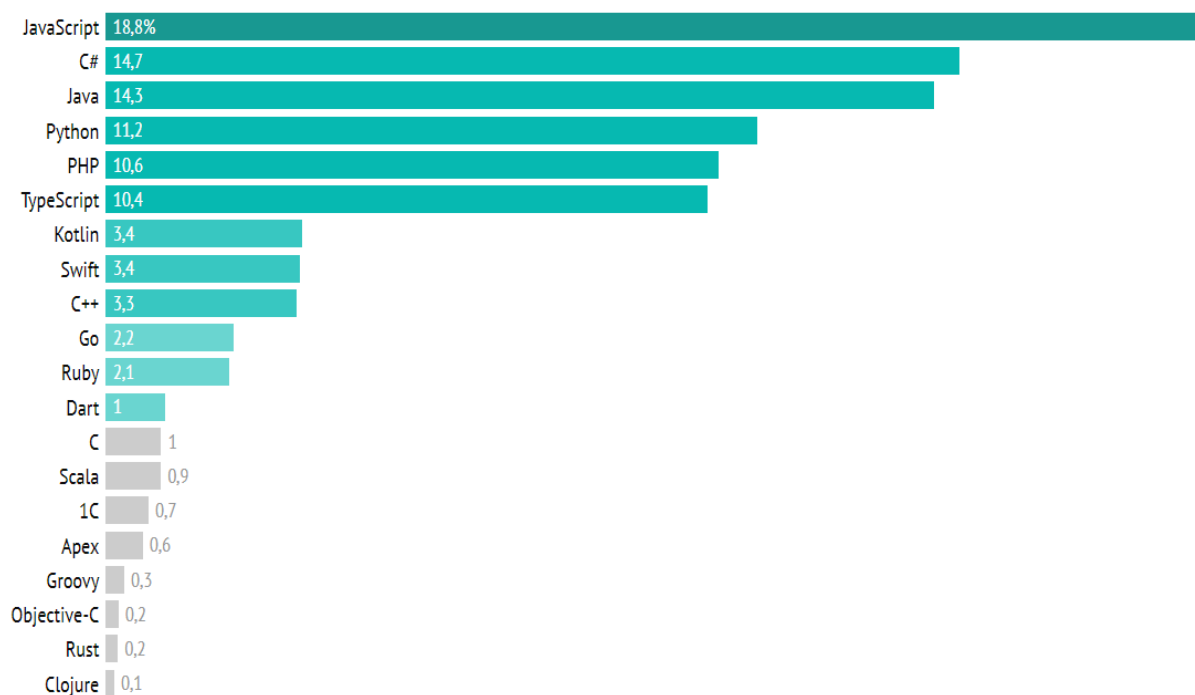


Рисунок 3.4 – Рейтинг мов програмування [29]

Серед переваг даної мови програмування можна відзначити [30]:

- велика кількість готових бібліотек;

- статично типізована мова, що забезпечує цілісність даних;
- велика ком'юніті розробників, що готові допомогти у вирішенні різних проблем;

– легка розширюваність функціоналу програмного забезпечення.

Для зручності розробки програмного забезпечення розробники використовують інтегровані середовища розробки. Зважаючи на те, що для розробки ПЗ прийнято рішення використовувати платформу .NET та мова програмування C# прийнято рішення використати інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studio. Вікно редактора зображено на рисунку 3.5.

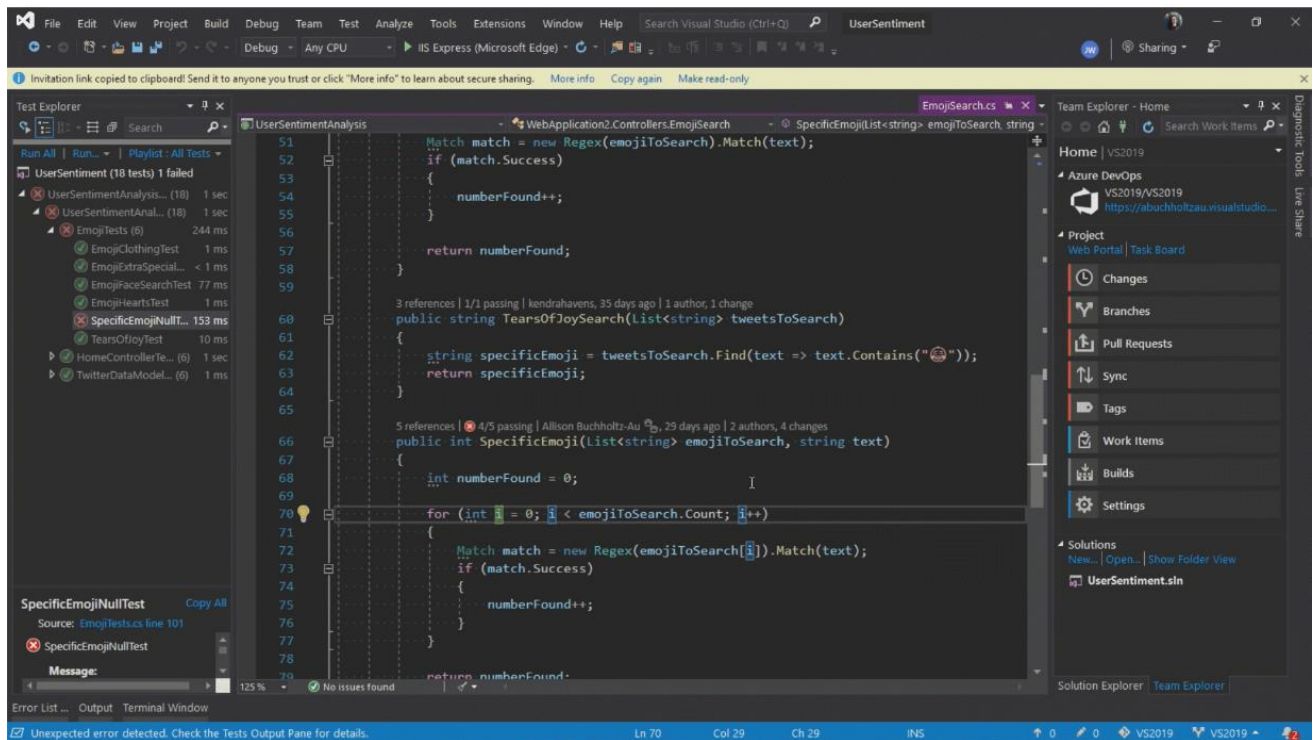


Рисунок 3.5 – Вікно Microsoft Visual Studio [31]

Перевагами даного середовища розробки є [32]:

- наявність підсвітки коду;
- контроль версій;
- наявність аналітики щодо написаного коду;
- наявність додаткових компонентів, як от для роботи з базами даних чи створення користувацького інтерфейсу;

– кросплатформеність.

Так як в для реалізації методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму в програмному застосунку використовується база даних, то для роботи з базою даних також необхідне спеціалізоване програмне забезпечення. Для роботи з базами даних використовують системи керування базами даних (СКБД).

У якості системи керування базами даних прийнято рішення використати Microsoft SQL Server. Він знаходиться на верхніх позиціях в рейтингу СКБД (рисунок 3.6).

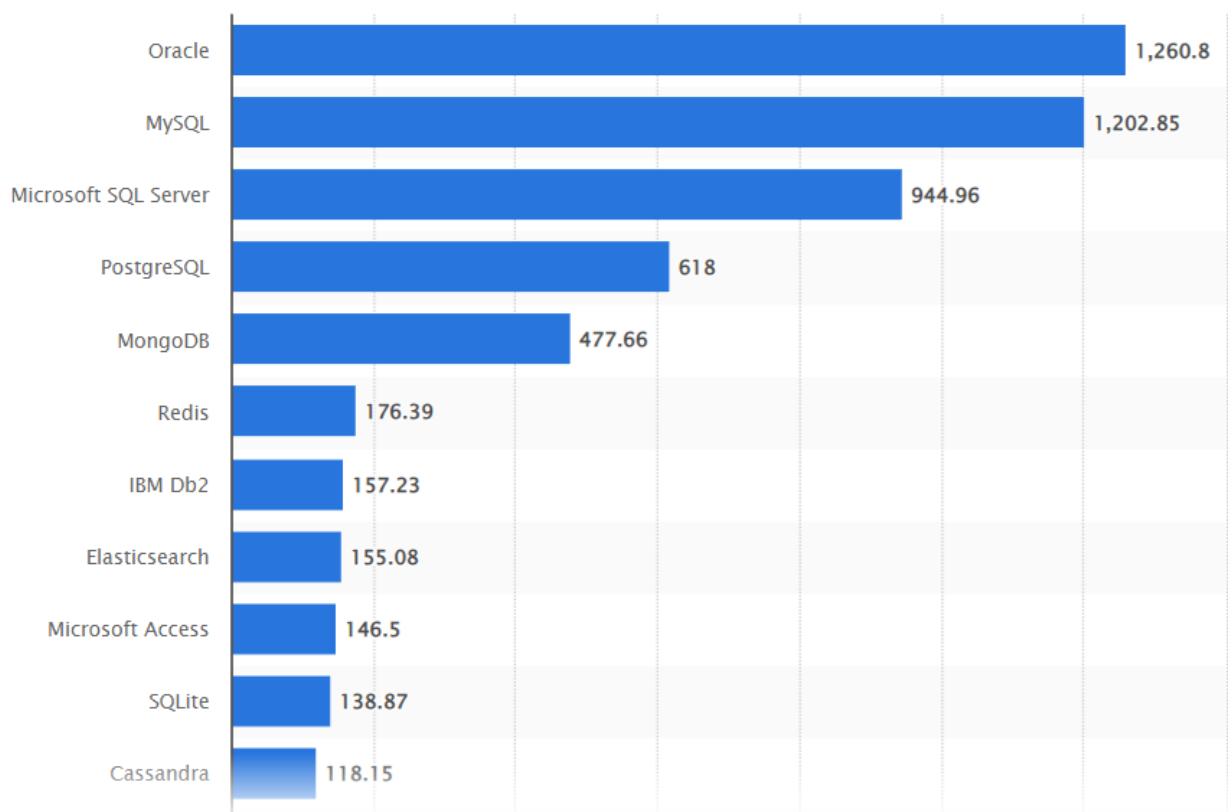


Рисунок 3.6 – Рейтинг СКБД [33]

Microsoft SQL Server – це система керування реляційними БД, яка була розроблена компанією Microsoft (рисунок 3.7). Основною функцією даного програмного продукту є зберігання та робота з даних за запитом інших програм, користувачів. При чому ці користувачі або програми можуть працювати як на тому самому комп’ютері, так і віддалено через мережу Інтернет.

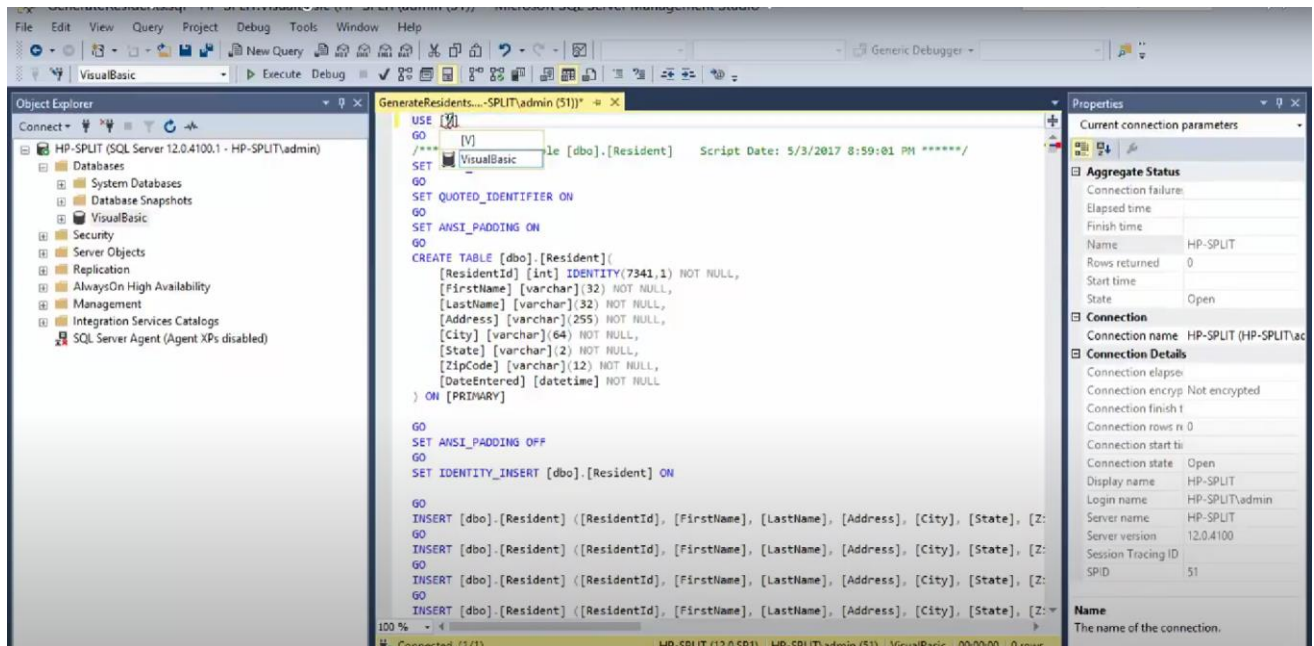


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд вікна Microsoft SQL Server [34]

До переваг Microsoft SQL Server можна віднести [34]:

- Microsoft SQL Server надає ролі можливість встановлення ролей для різного типу користувачів. Цей принцип забезпечує безпеку даних на різних рівнях системи.
- база даних доступна за рахунок мінімізації часу просто;
- присутня функція резервного копіювання даних, а також функція відновлення даних;
- потужна підтримка програмного продукту компанією Microsoft та його оновлення.

Таким чином для реалізації методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму було обрано в якості засобів розробки наступні компоненти: платформу .NET Framework, мову програмування C#, середовище розробки Microsoft Visual Studio та СКБД Microsoft SQL Server.

### 3.4 Створення даталогічної моделі бази даних інформаційної системи

Створення бази даних, відповідних таблиць у ній та забезпечення зв'язків між ними – відповідальний крок, адже робота застосунку на базі методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму неперервно отримуватиме інформацію з неї. Тому, необхідно забезпечити таку структуру бази даних, таблиці та зв'язки між ними, що забезпечать надійний зв'язок між усіма компонентами програми.

На рисунку 3.8 наведено даталогічну модуль бази даних інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

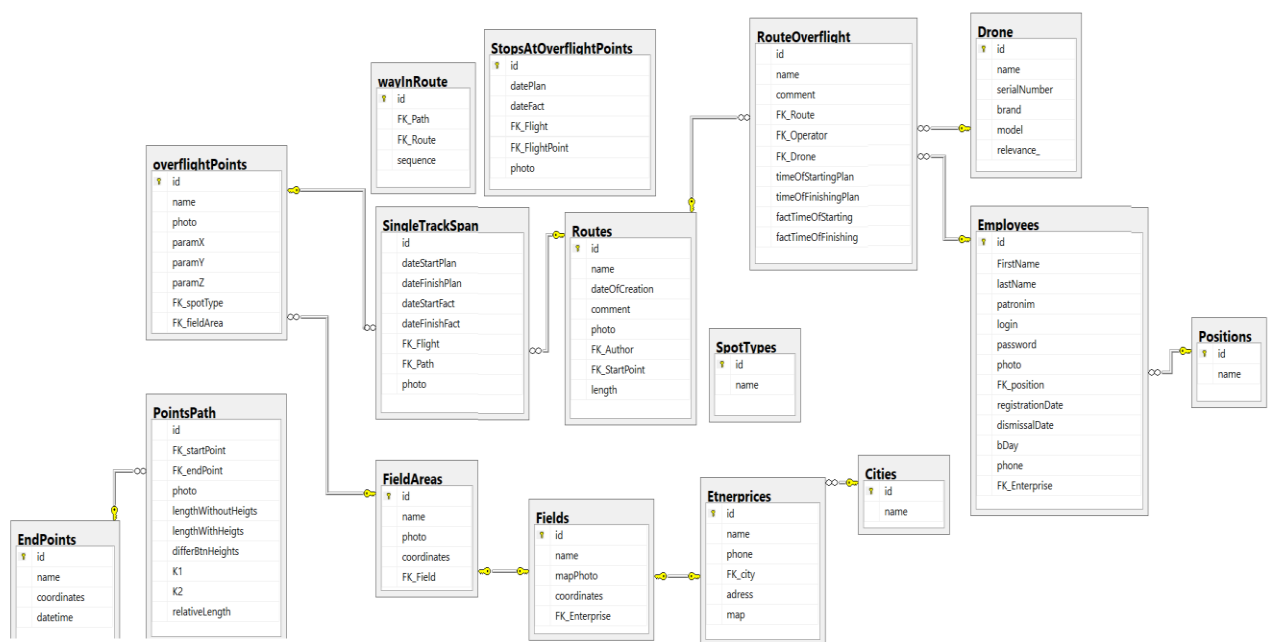


Рисунок 3.8 – Даталогічна модель бази даних інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

Таблиця «SpotTypes» (таблиця 3.1) створена, щоб зберігати в базі даних типи точок обльоту. Таблиця містить наступні поля: id та name, тобто зберігає назви точок обльоту.

Таблиця 3.1 – Атрибути таблиці «SpotTypes»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	ID	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	varchar	Назва точки обльоту БПЛА.

Таблиця «Positions» (таблиця 3.2) створена для зберігання назв посад працівників. Містить наступні поля: id та name, тобто зберігає назви посад.

Таблиця 3.2 – Атрибути таблиці «Positions»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	ID	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	varchar	Назва посади.

Таблиця «Cities» (таблиця 3.3) зберігає назви міст, містить наступні поля: id та name.

Таблиця 3.3 – Атрибути таблиці «Cities»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	ID	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	varchar	Назва міста.

Таблиця «Enterprises» (таблиця 3.4) зберігає дані про підприємство, зокрема містить наступні поля: id, name, phone, FK\_city, address, map.

Таблиця 3.4 – Атрибути таблиці «Enterprises»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	ID	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	varchar	Назва підприємства.
3.	phone	varchar	Контактний мобільний номер підприємства
4.	FK_city	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Cities» для співставлення із відповідним містом.
5.	address	varchar	Зображення карти підприємства та його розташування.
6.	map	varchar	Назва міста.

Таблиця «Fields» (таблиця 3.5) зберігає дані про поля, зокрема наступну інформацію: id, назву поля, фото карти поля, координати поля, посилання на підприємство, якому належить.

Таблиця 3.5 – Атрибути таблиці «Fields»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	nchar(10)	Назва поля.
3.	mapPhoto	photo	Фото карти поля.
4.	coordinates	nchar(10)	Координати місцезнаходження поля.
5.	FK_Enterprise	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Enterprise» для співставлення із відповідним підприємством.

Таблиця «FieldsAreas» (таблиця 3.6) зберігає дані про ділянки поля, зокрема наступну інформацію: id, назву поля, фото карти поля, координати поля, посилання на поле, до якого відноситься.

Таблиця 3.6 – Атрибути таблиці «FieldsAreas»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	nchar(10)	Назва поля.
3.	mapPhoto	photo	Фото карти поля.
4.	coordinates	nchar(10)	Координати місцезнаходження поля.
5.	FK_Field	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Fields» для співставлення із відповідним полем.

Таблиця 3.7 – Атрибути таблиці «Drone»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	nchar(10)	Назва безпілотнока, зареєстрована в мережі.
3.	serialNumber	varchar(50)	Серійний номер безпілотнока.
4.	brand	nchar(10)	Марка виробника безпілотнока.
5.	model	nchar(10)	Модель безпілотнока.
6.	relevance	nchar(10)	Актуальність статусу безпілотнока.

Таблиця «Drone» (таблиця 3.7) зберігає дані про безпілотник, зокрема наступну інформацію: id, назву, серійний номер, марку БПЛА, модель, актуальність.

Таблиця «StartPoints» (таблиця 3.8) зберігає дані про початкові точки обльоту безпілотника, зокрема наступну інформацію: id, назву, координати та дату й час.

Таблиця 3.8 – Атрибути таблиці «StartPoints»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	nchar(10)	Назва початкової точки.
3.	coordinates	varchar(50)	Координати початкової точки.
4.	dateTime	datetime	Дата й час появи початкової точки.

Таблиця «EndPoints» (таблиця 3.9) зберігає дані про кінцеві точки обльоту безпілотника, зокрема наступну інформацію: id, назву, координати та дату й час.

Таблиця 3.9 – Атрибути таблиці «EndPoints»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	name	nchar(10)	Назва кінцевої точки.
3.	coordinates	varchar(50)	Координати кінцевої точки.
4.	dateTime	datetime	Дата й час появи кінцевої точки.

Таблиця «PointsPath» (таблиця 3.10) зберігає дані про шляхи між точками, зокрема містить наступні поля: id, координати початкової точки, координати кінцевої точки, фото мапи, відстань без висот, відстань з висотами, різниця висот, коефіцієнти, відносна відстань.

Таблиця 3.10 – Атрибути таблиці «PointsPath»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці.
2.	FK_startPoint	int	Вторинний ключ, посилання за запис у таблиці «StartPoints» із записом відповідної початкової точки.
3.	FK_endPoint	int	Вторинний ключ, посилання за запис у таблиці «EndPoints» із записом відповідної кінцевої точки.
4.	photo	photo	Відповідне фото шляху.
5.	lengthWithoutHeigts	double	Числове значення відстані без висот.
6.	lengthWithHeigts	double	Числове значення відстані з висотами.
7.	differBtnHeigts	double	Різниця між значеннями з висотою та без висоти.
8.	K1	double	Коефіцієнт виміру №1.
9.	K2	double	Коефіцієнт виміру №1.
10.	relativeLength	double	Відносна відстань шляху між точками.

Таблиця «overflightPoints» (таблиця 3.11) призначена для збереження інформації про точки обльоту. Таблиця міститиме наступні поля: назва, фото точки обльоту, параметри координат по осях X, Y, Z, тип точки та ділянка, на якій міститься точка обльоту.

Таблиця 3.11 – Атрибути таблиці «overflightPoints»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	name	nchar(10)	Назва точки обльоту.
3.	photo	photo	Фото відповідної точки обльоту.
4.	paramX	nchar(10)	Координати точки по осі X.
5.	paramY	nchar(10)	Координати точки по осі Y.
6.	paramZ	nchar(10)	Координати точки по осі Z.
7.	FK_spotType	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «SpotTypes» із відповідним записом типу точки обльоту.
8.	FK_fieldArea	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «FieldsArea» із відповідним записом про ділянку поля.

Таблиця «Employees» (таблиця 3.12) призначена для збереження інформації про працівників, зокрема містить наступні поля: прізвище, ім'я, по батькові, логін та пароль у реєстрації в системі, фото працівника, посада, дати реєстрації та деактивації облікового запису, дата народження, телефон та посилання на відповідне підприємство, де зареєстрований користувач.

Таблиця 3.12 – Атрибути таблиці «Employees»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	FirstName	varchar(50)	Прізвище працівника.
3.	lastName	varchar(50)	Ім'я працівника.
4.	patronim	varchar(50)	По батькові працівника.
5.	login	varchar(50)	Логін для авторизації в системі.
6.	password	nchar(10)	Пароль для авторизації в системі.
7.	photo	nchar(10)	Фото працівника у форматі .png/.ipg/.jpeg.
8.	FK_position	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Positions» із відповідним записом про посаду працівника.
9.	registrationDate	nchar(10)	Дата реєстрації облікового запису користувача в системі.
10.	dismissalDate	nchar(10)	Дата деактивації облікового запису користувача в системі.
11.	bDay	nchar(10)	Дата народження працівника.
12.	phone	nchar(10)	Мобільний номер телефону працівника.
13.	FK_Enterprise	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Enterprises» із відповідним записом про місце роботи користувача.

Таблиця «Routes» (таблиця 3.13) призначена для збереження інформації про маршрути, зокрема містить наступну інформацію: назву маршруту, дата й час створення, коментар, посилання на автора маршруту, посилання на початкову точку та відносну довжину маршруту.

Таблиця 3.13 – Атрибути таблиці «Routes»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	name	nchar(10)	Назва маршруту.
3.	dateOfCreation	nchar(10)	Дата й час створення маршруту.
4.	comment	nchar(10)	Коментар пор маршрут.
5.	photo	nchar(10)	Фото мапи маршруту у форматі .png/.ipg/.jpeg..
6.	FK_Author	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Author» із відповідним записом про автора маршруту.
7.	FK_StartPoint	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «StartPoints» із відповідним записом про початкову точку маршруту.
8.	length	nchar(10)	Відносна довжина маршруту.

Таблиця «WayInRoute» (таблиця 3.14) призначена для збереження інформації про шляхи в маршруті, містить наступні поля: посилання на шлях, посилання на маршрут та послідовність, в якій здійснюватиметься рух.

Таблиця 3.14 – Атрибути таблиці «WayInRoute»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	FK_Path	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Pathes» із відповідним записом про шлях маршруту
3.	FK_Route	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Routes» із відповідним записом про маршрут..
4.	sequence	int	Послідовність, в якій здійснюватиметься рух.

Таблиця «RouteOverflight» (таблиця 3.15) призначена для збереження інформації про обльоти маршрутів, містить наступні поля: назва обльоту, коментар, посилання на маршрут, посилання на запис про опаре тора маршруту, посилання на відповідний БПЛА та дати й час про здійснення обльоту.

Таблиця 3.15 – Атрибути таблиці «RouteOverflight»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	name	nchar(10)	Назва обльоту маршруту.
3.	comment	nchar(10)	Коментар про запис.
4.	FK_Route	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Routes» із відповідним записом про маршрут.
5.	FK_Operator	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Operators» із відповідним записом про оператора маршруту.
6.	FK_Drone	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Drone» із відповідним записом про БПЛА на обльоті.
7.	timeOfStartingPlan	date	Плановий час початку обльоту.
8.	timeOfFinishingPlan	date	Плановий час завершення обльоту.
9.	factTimeOfStarting	date	Фактичний час початку обльоту.
10.	factTimeOfFinishing	date	Фактичний час завершення обльоту.

Таблиця «StopsAtOverflightPoints» (таблиця 3.16) призначена для збереження інформації про обльоти маршрутів, містить наступні поля: назва обльоту, коментар, посилання на маршрут, посилання на запис про опаре тора

маршруту, посилання на відповідний БПЛА та дати й час про здійснення обльоту.

Таблиця 3.16 – Атрибути таблиці «StopsAtOverflightPoints»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	datePlan	date	Планові дата й час початку обльоту на точці.
3.	dateFact	date	Фактичні дата й час початку обльоту на точці.
4.	FK_Flight	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «RouteOverflight» із відповідним записом обліт.
5.	FK_FlightPoint	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «FlightPoint» із відповідним записом про точку обльоту.
6.	photo	photo	Фото мапи маршруту у форматі .png/.ipg/.jpeg..

Таблиця 3.17 – Атрибути таблиці «StopsAtOverflightPoints»

№ п/п	Назва атрибуту	Тип даних	Опис
1.	id	int	Первинний ключ, числовий ідентифікатор для однозначного визначення запису таблиці
2.	dateStartPlan	date	Планові дата й час початку прольоту шляху.
3.	dateFinishPlan	date	Планові дата й час закінчення прольоту шляху.
4.	dateStartFact	date	Фактичні дата й час початку прольоту шляху.
5.	dateFinishFact	date	Фактичні дата й час закінчення прольоту шляху.
6.	FK_Flight	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «FlightPoint» із відповідним записом про точку прольоту.
7.	FK_Path	int	Вторинний ключ, посилання на таблицю «Path» із відповідним записом про маршрут прольоту.
8.	photo	nchar(10)	Фото мапи маршруту у форматі .png/.ipg/.jpeg..

Таблиця «SingleTrackSpan» (таблиця 3.17) призначена для збереження інформації про проліт одного шляху, містить наступні поля: дата й час початку плану фактичні та планові, посилання на обліт та шлях, фото прольоту.

В результаті написання підрозділу, було створено структуру бази даних для реалізації інформаційної системи на базі методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Було створено відповідні таблиці та налагоджено зв'язки між ними.

### **Висновки до розділу 3**

Отже, було створено інформаційну систему автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів, зокрема, описано її послідовність кроків. Пропонована інформаційна система використовує описані вище у другому розділі інформаційну багатопараметричну модель, а також описаний метод для розрахунку та виводу за вхідними даними користувача вихідних даних у вигляді сформованих маршрутів безпілотного транспортного засобу.

Також розписано структуру інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування БПЛА, що складається із бази даних й чотирьох підсистем: підсистеми створення запиту на побудову маршруту обльоту, підсистеми ініціації алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту, підсистеми емуляції обльоту агентами маршрутів та підсистеми визначення вихідних даних до сформованого маршруту обльоту та дозволяє автоматизовано планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Інформаційна система обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при здійсненні обльотів між парами точок, а також виконує ряд операцій з елементами множини точок обльоту враховуючи їх відношення до визначеної

ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті БПЛА за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

Проведено аналіз засобів розробки та встановлено, що для реалізації методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму було обрано в якості засобів розробки наступні компоненти: платформу .NET Framework, мову програмування C#, середовище розробки Microsoft Visual Studio та СКБД Microsoft SQL Server.

Створено базу даних, адже робота застосунку на базі методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму неперервно отримуватиме інформацію з неї. Тому, необхідно забезпечити таку структуру бази даних, таблиці та зв'язки між ними, що забезпечать надійний зв'язок між усіма компонентами програми.

## Розділ 4

### Дослідження ефективності методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

#### 4.1 Програмна архітектура інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування

Для дослідження ефективності інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму було створено відповідне програмне забезпечення, що містить весь заявлений у попередніх розділах функціонал. Діаграма класів застосування зображена на рисунку 4.1

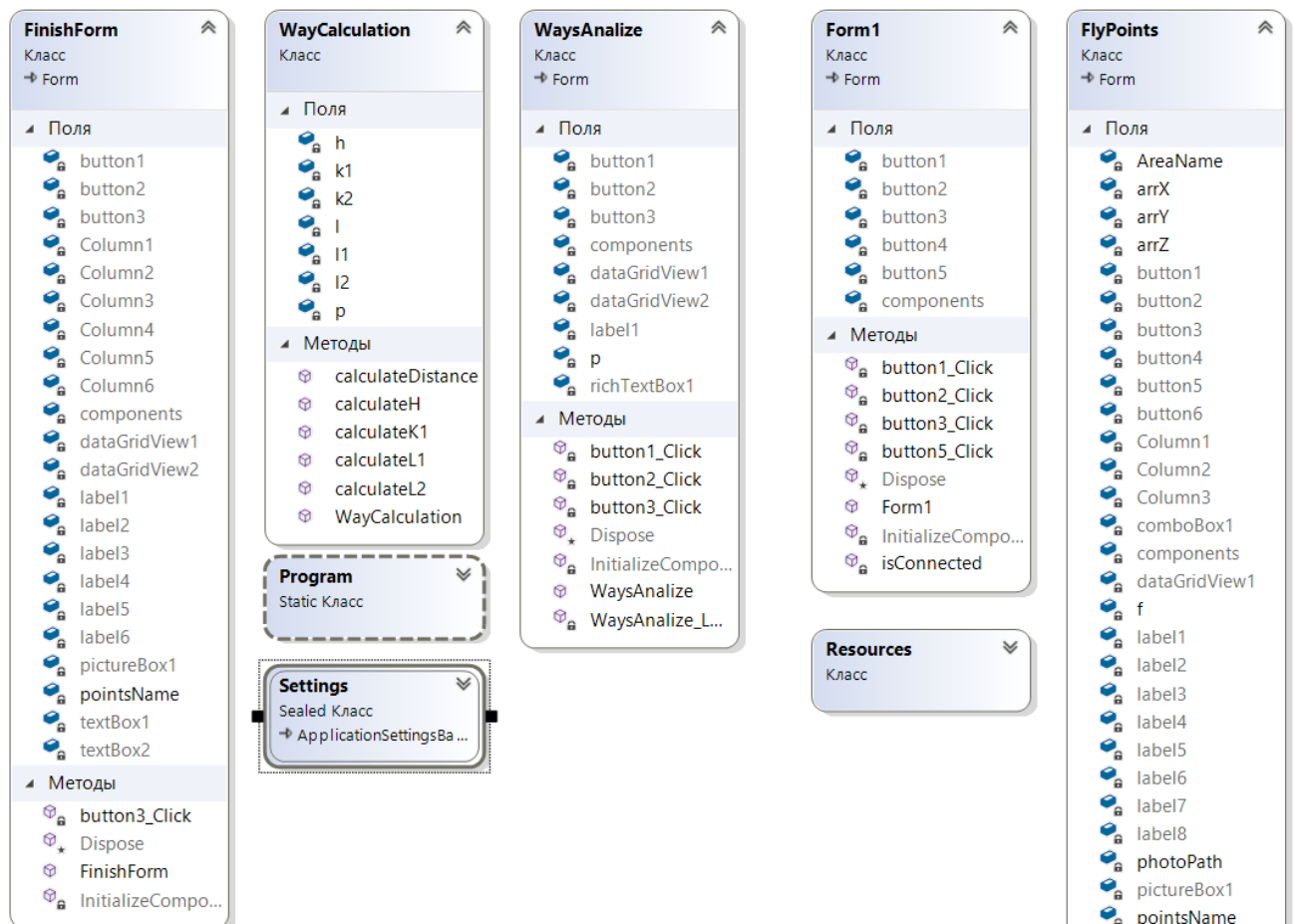


Рисунок 4.1 – Діаграма класів інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів

Клас *FlyPoints* містить структуру та методи для роботи з точками обльоту. Тут реалізовано відповідну структуру даних та форму роботи користувача із точками обльоту, а саме: відображення існуючих точок, редагування інформації про них, перегляд інформації про них, видалення існуючих точок та додавання нових.

Клас *WayCalculation* містить обрахунок всіх ключових відстаней між точками обльоту, а також обрахунок коефіцієнтів, які залежать від вхідних параметрів.

Клас *WayAnalyze* містить реалізацію алгоритму мурахи, а клас *FinishForm* відповідає за виведення аналізу шляху алгоритму мурахи, а також за виведення всієї вихідної інформації.

Отже, було створено програмну архітектуру інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. У подальшому для сформованої архітектури буде розроблено прикладну програмну реалізацію.

#### **4.2 Розробка прикладних компонентів інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів**

Було розроблено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. У процесі реалізації було реалізовано дії з джерелом даних – базою, а саме: редагування, виведення та видалення інформації. Для відображення інформації на формах було виконано зчитування даних з розробленої бази, що реалізовано у методі *isConnected()*, код якого проілюстровано нижче:

```

Boolean isConnected() {
    SqlConnection sqlConnection = new
SqlConnection(ConfigurationManager.ConnectionStrings["Database"].ConnectionString);
sqlConnection.Open();
if (sqlConnection.State == ConnectionState.Open)
{
    MessageBox.Show("Connected");
    return true;
}
else return false;
}
}

```

Метод *isConnected()* поверне *true*, якщо з'єднання встановлено, та поверне *false* якщо з'єднання з базою даних не вдалось встановити. Для перевірки роботи даного методу, на стартовій формі потрібно натиснути кнопку «Перевірка зєднання з БД» головної форми (рисунок 4.2).

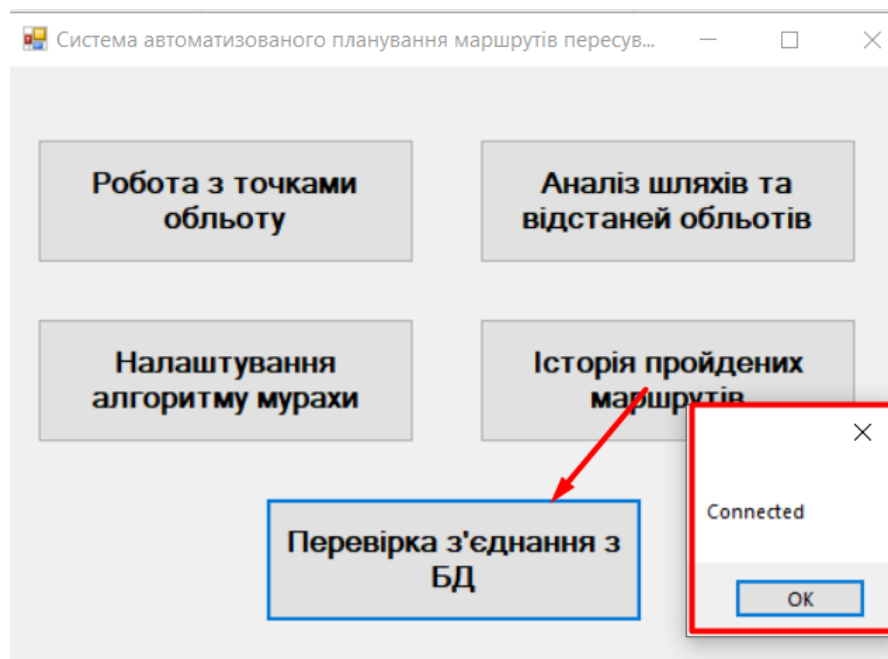


Рисунок 4.2 – Перевірка з'єднання з базою даних

При організації форми роботи з точками обльоту є потреба в деталізації інформації перерахованих у таблиці точок. Для деталізації інформації обраної точки з таблиці реалізовано метод натиснення на елемент таблиці, код якого проілюстровано нижче:

```

private void dataGridView1_CellContentClick(object sender,
DataGridViewCellEventArgs e)
{
    pictureBox1.Load(f[e.RowIndex].photoPath);
    comboBox1.Text = f[e.RowIndex].PointType;
    textBox1.Text = "" + f[e.RowIndex].x;
    textBox2.Text = "" + f[e.RowIndex].y;
    textBox3.Text = "" + f[e.RowIndex].z;
    textBox5.Text = "" + f[e.RowIndex].AreaName;
    textBox4.Text = "" + f[e.RowIndex].Name;
}

```

Результатом виконання програмного коду є деталізована точка, обрана з таблиці вибору відомих точок об'льоту. Результат відображено на рисунку 4.3

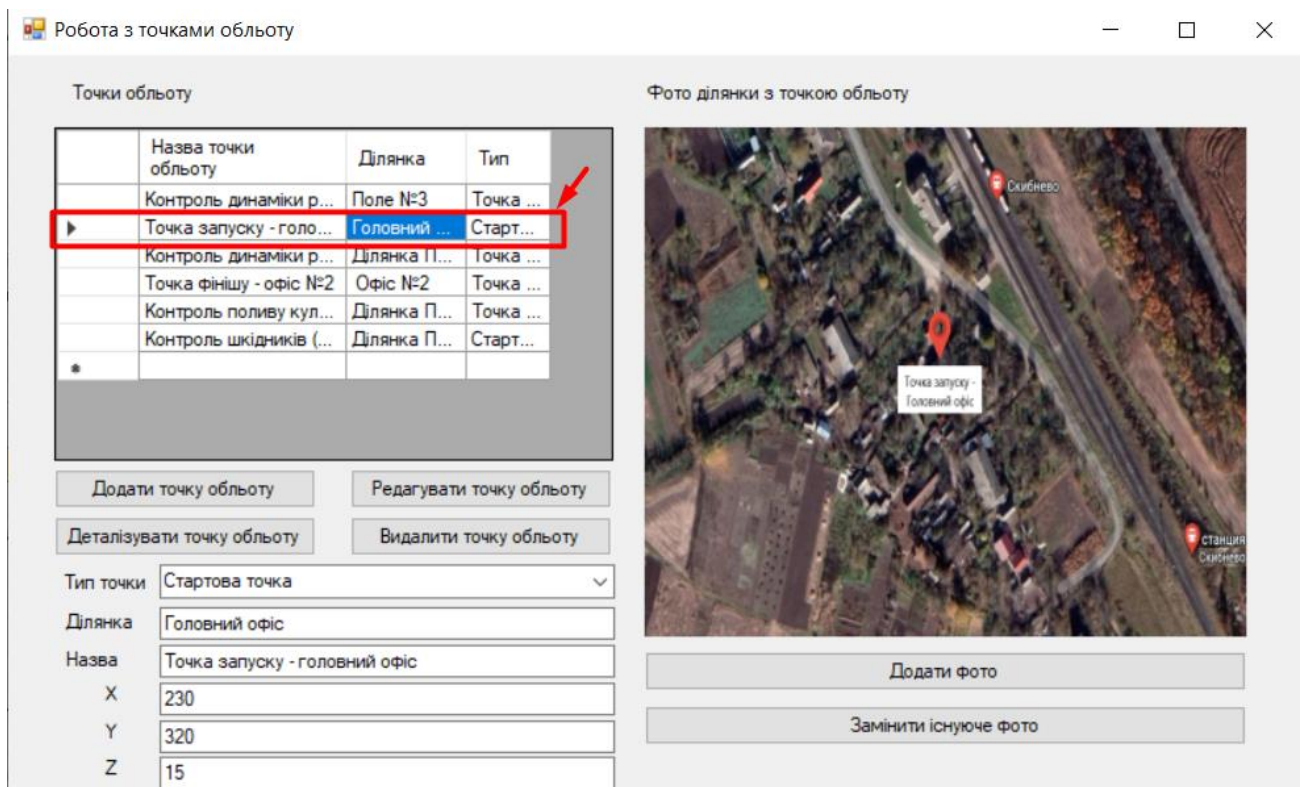


Рисунок 4.3 – Відображення деталізації обраної точки об'льоту

У межах розробки прикладних частин інформаційної системи було розроблено реалізацію обчислень ключових значень. Реалізація обрахунку відстані між точками без урахувань перепадів висот обраховується у методі *calculateDistance()*, код якого проілюстровано нижче:

```

public double calculateDistance(FlyPoints.PointsF T1, FlyPoints.PointsF T2)
{

```

```

        return Math.Sqrt((Math.Pow((T2.x - T1.x), 2) +
            Math.Pow((T2.y - T1.y), 2) + Math.Pow((T2.z - T1.z), 2)));
    }

```

Реалізація обрахунку коефіцієнту  $k1$  обраховується у методі *calculateK1()*, код якого проілюстровано нижче:

```

public double calculateK1(FlyPoints.PointsF T1, FlyPoints.PointsF T2)
{
    return 1 + ((T2.z - T1.z) / (T2.z + T1.z));
}

```

Реалізація обрахунку відстані між точками з урахуванням перепаду висоти обраховується у методі *calculateL1()*, код якого проілюстровано нижче:

```

public double calculateL1(int h, double l)
{
    return Math.Sqrt(Math.Pow(l, 2) + Math.Pow(h, 2));
}

```

Реалізація обрахунку відносної відстані між точками обльоту  $T1$  і  $T2$  з урахуванням перепаду висоти та коефіцієнтів обраховується у методі *calculateL2()*, код якого проілюстровано нижче:

```

public double calculateL2( double l1, double k1, double k2 )
{
    return l1*k1*k2;
}

```

Обрахунок різниці висот між двома точками обльоту  $T1$  і  $T2$  реалізовано у методі *calculateH()*:

```

public int calculateH(FlyPoints.PointsF T1, FlyPoints.PointsF T2)
{
    return T2.z - T1.z;
}

```

Для обчислення вірогідності перельоту з однієї точки обльоту до іншої, потрібно виконати обчислення бажань мурахи перелітати у кожен пункт. Це реалізовано за допомогою коду, написаного нижче:

```

public double [,] Transfer(double k1, double k2, double[,] distance, int
count_of_stations, double[,] ferment)
{
    transfer = 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)
                transfer [i, j] = 0;
            else
                transfer [i, j] = Math.Pow(ferment[i, j], k1) *
Math.Pow(distance[i, j], k2);
        }
    }
    return transfer;
}

```

У результаті запрограмованого функціоналу, програмна реалізація видає маршрут обльоту та його деталі. Результат роботи програми проілюстровано на рисунку 4.4.

Формування маршруту обльоту дроном

Сформований маршрут обльоту дроном:

Точки обльоту:

№	Назва
1	Контроль динаміки розвитку культур (Підліс...
2	Точка запуску - головний офіс
3	Контроль динаміки розвитку культур (Ділян...
4	Точка фінішу - офіс №2
5	Контроль поливу культур (Ділянка Поля №3)

Шляхи між точками:

№	Початок шляху	Кінець шляху	Відносна відстань
1	Точка зап...	Контроль ...	1.29
2	Контроль ...	Контроль ...	1.55
3	Контроль ...	Контроль ...	1.24
4	Контроль ...	Контроль ...	1.31
5	Контроль ...	Контроль ...	2.38

Назва маршруту обльоту: Щотижневий контроль розвитку культур

Обрахована відносна довжина маршруту: 4098.5 м

Зберегти дані маршруту    Завантажити дані іншого маршруту    Запланувати обльот дроном маршруту -->

Рисунк 4.4 – Формування маршруту обльоту дроном

Отже, таким чином було здійснено розробку прикладних компонентів інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування

повітряних безпілотних транспортних засобів. Створену прикладну програмну реалізацію надалі потрібно протестувати.

### 4.3 Прикладне тестування інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів

Для здійснення прикладного тестування інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів було розроблено тест-кейси. Так як велику роль у застосуванні відіграє база даних, то є потреба перевірки коректності установлення з'єднання з нею. Деталі даного тестового випадку проілюстровано в таблиці 4.1.

Результат коректного виконання проілюстровано на рисунку 4.5. При натисненні на кнопку «Перевірка з'єднання з БД» форми «Система автоматизованого планування маршрутів пересування БПЛА» користувач побачить текстове спливаюче повідомлення.

Таблиця 4.1 – Тест-кейс АМ0001

Тест-кейс ID: АМ0001	Пріоритет: 1	Створено: 23.10.2022, А.В. Мельник
Назва: Перевірка коректності з'єднання з БД		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Запустити програму</li> <li>2. Натиснути на головній формі кнопку «Перевірка з'єднання з БД»</li> <li>3. Закрити діалогове вікно з повідомленням</li> <li>4. Порівняти текст повідомлення</li> </ol>	<p>Відкрився головний екран застосування</p> <p>Відобразилось повідомлення із текстом «Connected»</p> <p>Закрилось діалогове вікно</p> <p>Текст відповідає очікуваному, з'єднання успішне</p>	
Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно		

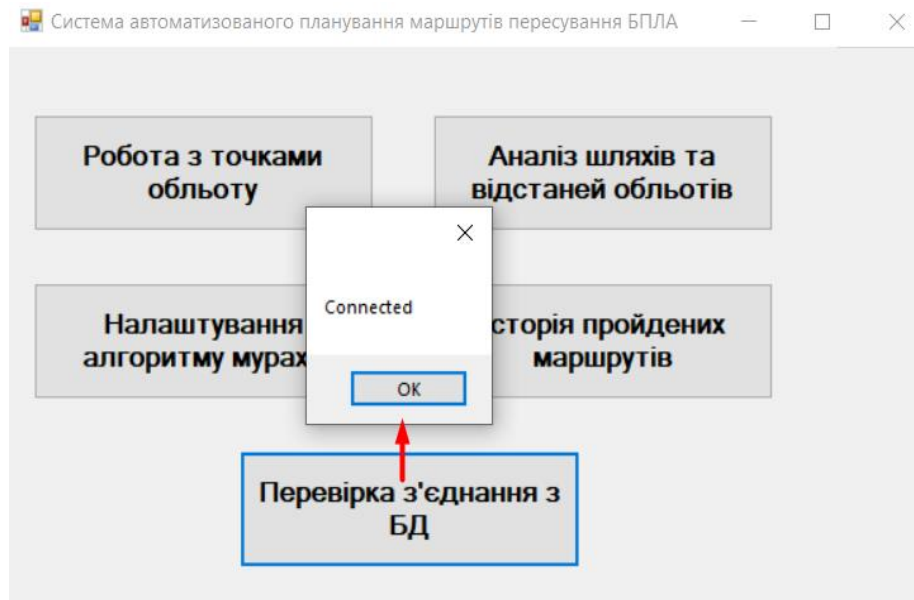


Рисунок 4.5 – Успішне з'єднання з БД

Другим тестовим випадком буде перевірено коректність відображення інформації про обраний пункт обльоту БПЛА. Для перевірки даного випадку потрібно пройти кроки, описані у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Тест-кейс АМ0002

Тест-кейс ID: АМ0002	Пріоритет: 1	Створено: 20.11.2022, А.В. Мельник
Назва: Перевірка коректність відображення інформації про обраний пункт обльоту БПЛА		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Запустити програмну реалізацію</li> <li>Натиснути на головній формі кнопку «Робота з точками обльоту»</li> <li>У вікні що відкрилося, обрати з таблиці пункт на першій стрічці таблиці</li> <li>Переконатись, що дані відображені коректно, підписи коректні та деталізація точки обльоту здійснена правильно</li> </ol>	<p>Вікно з інтерфейсом користувача відкрито. Вікно роботи з точками обльоту відкрито</p> <p>У полях нижче та на місці світлини коректно відображені дані</p>	
Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно		

Пройшовши всі кроки, описані у таблиці 4.2, користувачу буде відображено результат, проілюстрований на рисунку 4.6.

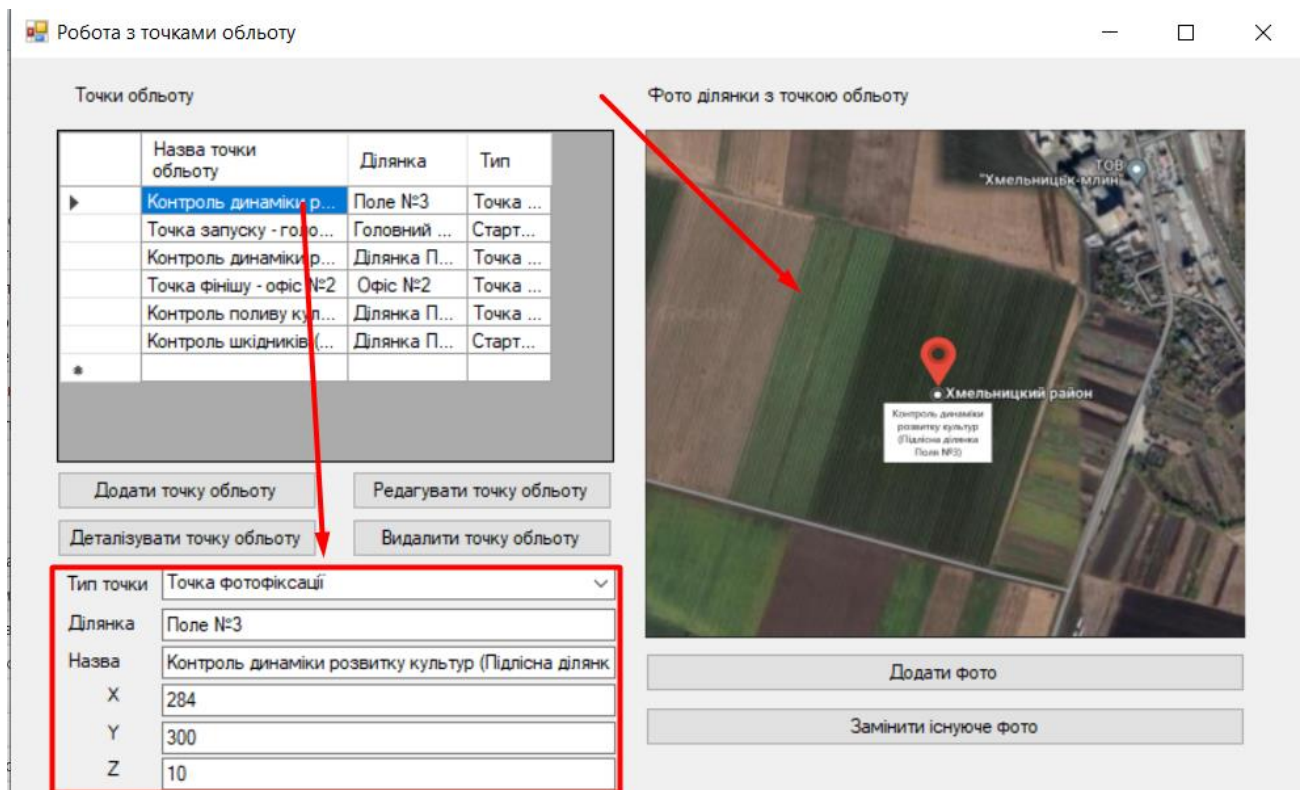


Рисунок 4.6 – Перевірка коректності відображення даних

Третім тестовим випадком буде перевірено коректність внесення змін у інформацію про обраний пункт обльоту БПЛА. Для перевірки даного випадку потрібно пройти кроки, описані у таблиці 4.3.

Пройшовши всі кроки, описані у таблиці 4.3, користувач побачить повідомлення про успішно внесені зміни, та результат, проілюстрований на рисунку 4.7.

Таблиця 4.3 – Тест-кейс AM0003

Тест-кейс ID: AM0003	Пріоритет: 1	Створено: 20.11.2022, А.В. Мельник
Назва: Перевірка коректності внесення змін у інформацію про обраний пункт об'льоту БПЛА		
<b>Кроки</b>	<b>Очікуваний результат</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Запустити програмну реалізацію</li> <li>Натиснути на головній формі кнопку «Робота з точками об'льоту»</li> <li>У вікні що відкрилося, обрати з таблиці пункт об'льоту на 5-й стрічці таблиці</li> <li>Переконатись, що дані відображені коректно, підписи коректні та деталізація точки об'льоту здійснена правильно</li> <li>Змінити тип пункту об'льоту з «Точка фінішу» на «Точка фотофіксації».</li> <li>Натиснути кнопку «Редагувати точку об'льоту»</li> <li>Перевірити, чи змінились дані у таблиці та базі даних</li> </ol>	<p>Вікно з інтерфейсом користувача відкрито. Вікно роботи з точками об'льоту відкрито</p> <p>У полях нижче та на місці світлини коректно відображені дані</p> <p>Відображення повідомлення про успішно внесені зміни. Дані змінились на очікувані</p>	
Результат виконання тест-кейсу: пройдено успішно		

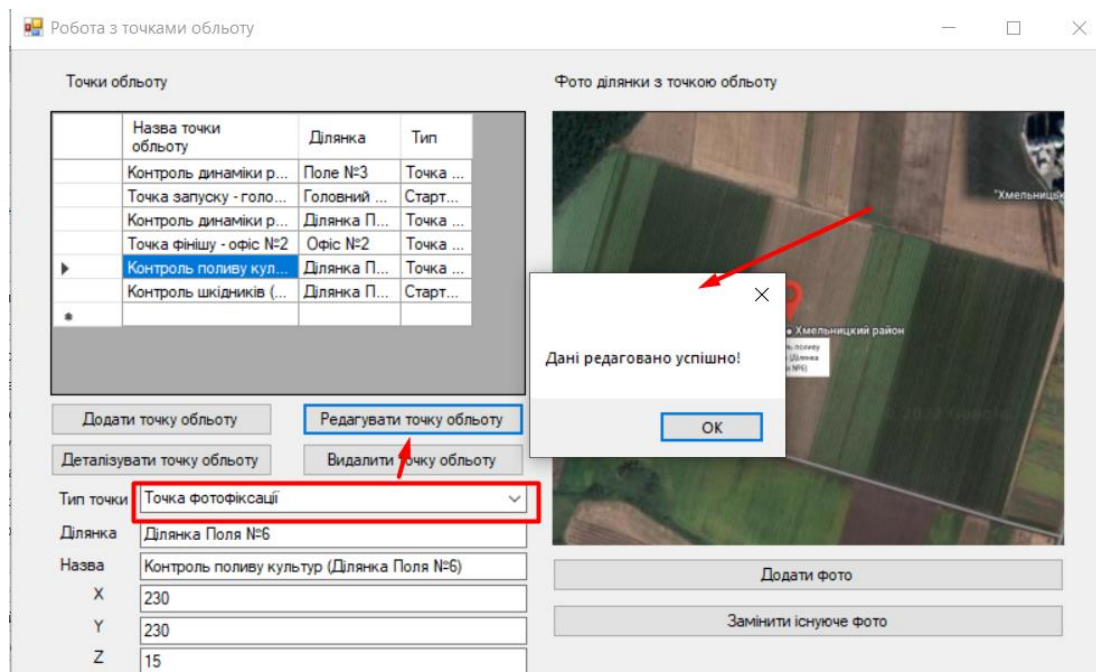


Рисунок 4.7 – Перевірка коректності редагування точки об'льоту

Отже, було розроблено та успішно пройдено тестові ситуації, описані у таблицях 4.1 – 4.3. Згідно з проведеного тестування, можна зробити висновок що інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів працює коректно та містить увесь заявлений функціонал.

#### 4.4 Дослідження ефективності

Дослідження ефективності методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму виконувалось шляхом розробки і подальшого використання відповідної програмної реалізації у вигляді інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.

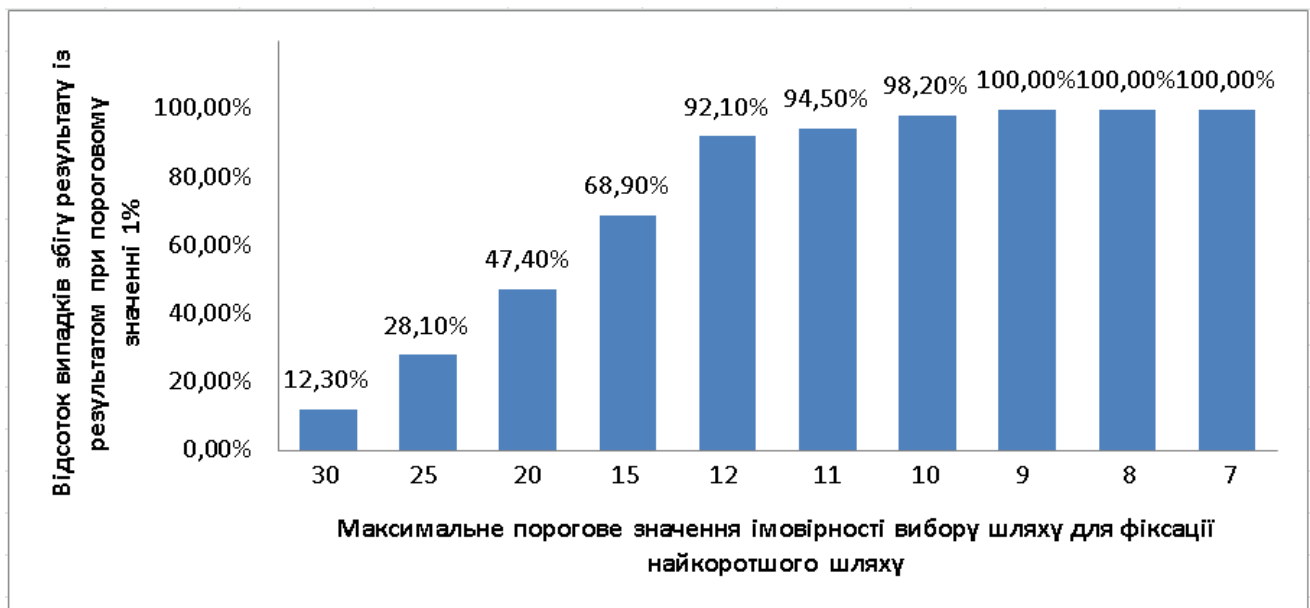


Рисунок 4.8 – Діаграма залежності відсотку випадків збігу результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1% від максимального порогового значення імовірності вибору шляху для фіксації найкоротшого шляху

Визначною рисою розробленого методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є можливість завчасного завершення формування маршруту до повного випаровування ферменту на вторинних шляхах внаслідок перевірки, чи тільки один з можливих шляхів від кожного актуального пункту має обсяг ферменту більше за порогове значення. Дане значення було досліджено шляхом експериментів, результати яких наведено на рисунку 4.8.

Дані наведені у діаграмі залежності відсотку випадків збігу результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1% від максимального порогового значення імовірності вибору шляху для фіксації найкоротшого шляху залежності свідчать, що за досягнення порогового значення імовірності обрання агентом вторинних шляхів 9% відбувається збіг результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1.

Таким чином, проведене дослідження залежності відсотку випадків збігу результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1% від максимального порогового значення імовірності вибору шляху для фіксації найкоротшого шляху встановило, що за досягнення порогового значення імовірності обрання агентом вторинних шляхів 9% відбувається збіг результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1%, тобто за досягнення такого значення допускається завчасне завершення формування маршруту до повного випаровування ферменту на вторинних шляхах.

#### **Висновки до розділу 4**

В розділі 4 наведено опис прикладних компонентів інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Наведено діаграму класів, яка відображає розроблені класи, а саме: FlyPoints, WayCalculation, WayAnalyze, FinishForm та їх методи.

Розроблено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі

мурашиного алгоритму. Описано основні методи, як от робота з базою даних, метод натиснення на елемент таблиці для деталізації інформації обраної точки з таблиці, метод обрахунку відстані між точками без урахувань перепадів висот, метод обрахунку основних коефіцієнтів, відстані між точками з урахуванням перепаду висоти, відносної відстані між точками обльоту, різниці висот між двома точками обльоту, метод обчислення бажань мурахи перелітати у кожен пункт.

Також розроблено та успішно пройдено тестові ситуації, як от перевірка коректності з'єднання з БД, коректність відображення інформації про обраний пункт обльоту БПЛА, а також перевірка коректності внесення змін у інформацію про обраний пункт обльоту БПЛА.

Згідно з виконаних тест-кейсів, можна зробити висновок, що інформаційна системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів працює коректно та містить увесь заявлений функціонал.

Проведено дослідження, яке відображає залежності відсотку випадків збігу результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1% від максимального порогового значення імовірності вибору шляху для фіксації найкоротшого шляху встановило, що за досягнення порогового значення імовірності обрання агентом вторинних шляхів 9% відбувається збіг результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1%, тобто за досягнення такого значення допускається завчасне завершення формування маршруту до повного випаровування ферменту на вторинних шляхах.

## Загальні висновки

Кваліфікаційна робота магістра вирішує науково-технічну задачу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Результатом роботи є розроблений метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, що дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.

У результаті виконання роботи поставлено та *вирішено наступні завдання:*

1. Досліджено сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.

2. Розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.

3. Розроблено метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

4. Створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

5. Досліджено практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

За виконання роботи були одержано результати, що містять *інновації й наукову новизну*, зокрема було вдосконалено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, який дозволяє за вхідними даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати вихідні дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок. Особливостями створеного методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

Для дослідження практичної ефективності застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, було створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Розроблена інформаційна система автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму складається із бази даних й чотирьох підсистем: підсистеми створення запиту на побудову маршруту обльоту, підсистеми ініціації алгоритму мурахи за запитом на побудову маршруту обльоту, підсистеми емуляції обльоту агентами маршрутів та підсистеми визначення вихідних даних до сформованого маршруту

обльоту та дозволяє автоматизовано планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Інформаційна система обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при здійсненні обльотів між парами точок, а також виконує ряд операцій з елементами множини точок обльоту враховуючи їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті БПЛА за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту.

*Напрямком практичного використання розробленого методу й структури інформаційної системи є автоматизація планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. Перевагами розробленого методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є те, що він обраховує й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а ще виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів і уникнути потреб в вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок за побудови маршруту обльоту. Характерними рисами розробленої інформаційної системи є те, що вона дозволяє за даними множин точок обльоту з їх координатами, можливих шляхів переміщень між парами точок обльоту з урахуванням впливу фактору потреб у обльоті перешкод та обраною точкою старту одержувати дані у вигляді упорядкованої множини точок за послідовністю обльоту, упорядкованої множини шляхів за послідовністю обльоту та обрахованої відносної довжини маршруту обльоту обраних точок.*

Основні наукові й практичні результати кваліфікаційної роботи магістра доповідались у доповіді на тему «Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів» на X International Scientific and Practical Conference

«Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions» (Bilbao, Spain. 2022) та у доповіді на тему «Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму» на XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022» (18-19 листопада 2022 року); за темою кваліфікаційної роботи автором виконано 2 наукові публікації [35, 36].

## Перелік посилань

1. Tutorials point. Control Systems Introduction. URL: [https://www.tutorialspoint.com/control\\_systems/control\\_systems\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/control_systems/control_systems_introduction.htm)
2. В. О. Апостолюк, О. С. Апостолюк. Інтелектуальні системи керування Конспект лекцій. URL: <http://www.apostolyuk.com/files/books/ICS.pdf>
3. Tproger. Штучний інтелект: основні завдання та методи на прикладах з життя. URL: <https://tproger.com/articles/ai-is-not-neural-network/>
4. ETSII. The Postman Problems. URL: [http://cc.etsii.ull.es/ftp/antiguo/PRGCOM/trabajos/circuitos\\_eulerianos/postman\\_problems.pdf](http://cc.etsii.ull.es/ftp/antiguo/PRGCOM/trabajos/circuitos_eulerianos/postman_problems.pdf)
5. Nina AZ. Задача листоноші. URL: [https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Задача\\_листоноші.html#Методи\\_розв'язання\\_задачі](https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Задача_листоноші.html#Методи_розв'язання_задачі)
6. Studfile. Задача листоноші. URL: <https://studfile.net/preview/5201810/page:3/>
7. Wikipedia. Задача комівояжера. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача\\_комівояжера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_комівояжера)
8. Хабр. Алгоритми про вибір дороги та мережі. Мережі Штейнера.. URL: <https://habr.com/blog/215931/>
9. Wikipedia. Задача Штейнера. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача\\_Штейнера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_Штейнера)
10. Wikipedia. Задача Штейнера. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача\\_Штейнера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_Штейнера)
11. Wikipedia. Алгоритм пошуку A\*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_пошуку\\_A\\*](https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_пошуку_A*)
12. Disted. Алгоритм Дейкстри. URL: <https://disted.edu.vn.ua/media/doc/Алгоритм%20Дієкстри.pdf>
13. Wikipedia. Мурашиний алгоритм. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Мурашиний\\_алгоритм](https://uk.wikipedia.org/wiki/Мурашиний_алгоритм)
14. Хабр. Мурашині алгоритми. URL: <https://habr.com/post/105302/>

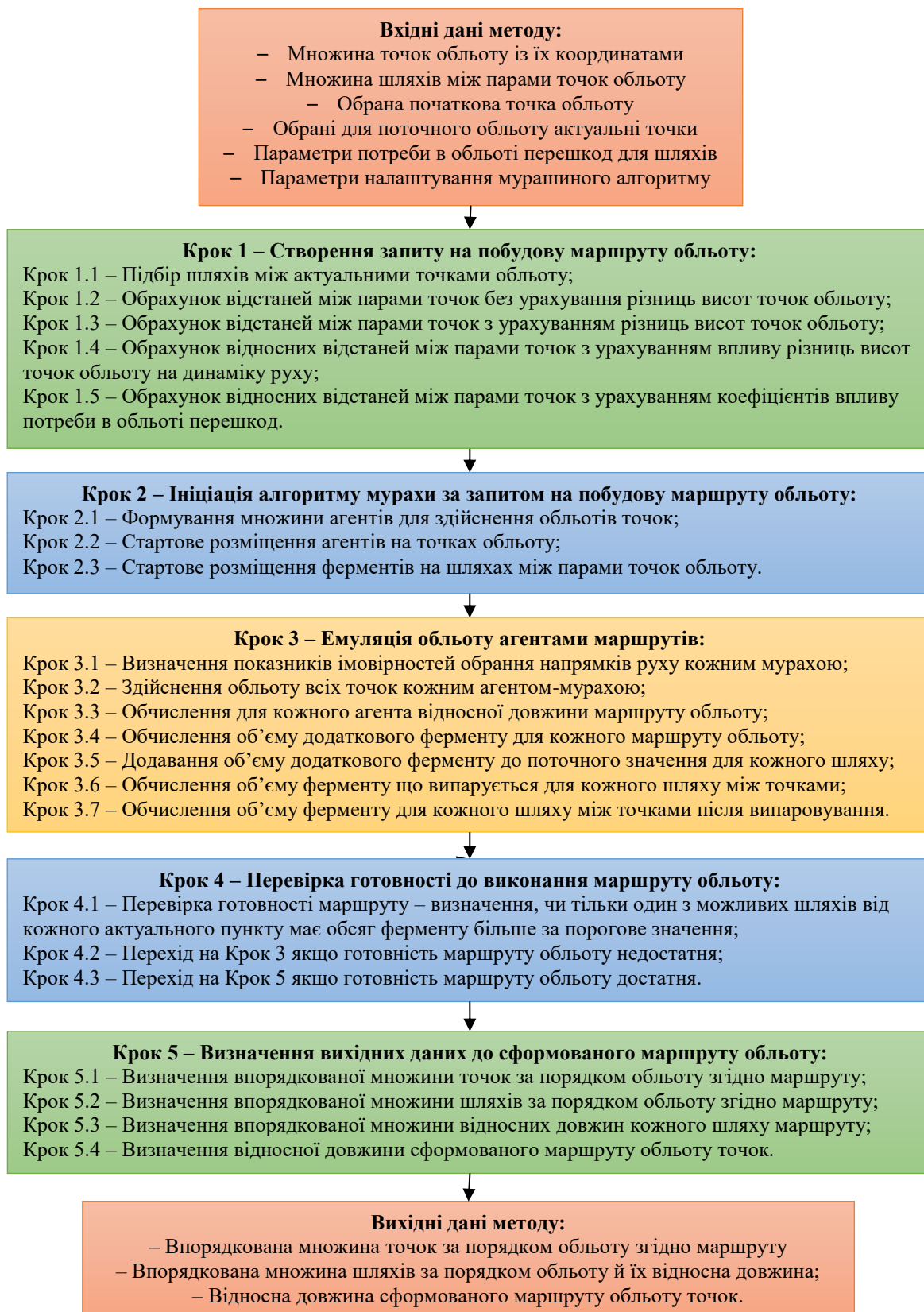
15. Encyclopedia. Unmanned Systems. URL:  
<https://encyclopedia.pub/entry/8019>
16. Synopsys. What is an Autonomous Car? URL:  
<https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html>
17. Planning. Autonomous Vehicles. URL:  
<https://www.planning.org/knowledgebase/autonomousvehicles/>
18. Encyclopedia. Applications of Unmanned Aerial Vehicles. URL:  
<https://encyclopedia.pub/entry/25512>
19. A. A. Sinodkin, T.S. Evdokimova, M. I. Tiurikov. A method for constructing a global motion path and planning a route for a self-driving vehicle. URL:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1086/1/012003/pdf>
20. Dronedeploy. Full Reality Capture. URL:  
<https://www.dronedeploy.com/>
21. Pix4d Measure from images. URL: <https://www.pix4d.com/>
22. Propelleraero. Map and manage your worksite with drone data. URL:  
<https://www.propelleraero.com>
23. Flylitchi. Plan waypoint missions anywhere. URL: <https://flylitchi.com>
24. N. A. Kyriakakis, M. Marinaki, N. Matsatsinis, Y. Marinakis. A cumulative unmanned aerial vehicle routing problem approach for humanitarian coverage path planning. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221721007670>
25. H. Gunji, K. Ueda, T. Miyoshi, T. Yamazaki. A Method for Constructing Collision Avoidance Route for Multiple Unmanned Aerial Vehicles Using OLSR-Based Link Hierarchization. URL: <https://ken.ieice.org/ken/paper/202205121C98/eng>
26. V. Jeaneau, L. Jouanneau, A. Kotenkoff. Path planner methods for UAVs in real environment. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318332634>
27. Quora. What is the .NET framework in layman's terms? URL:  
<https://www.quora.com/What-is-the-NET-framework-in-laymans-terms>

28. Altexsoft. The Good and the Bad of .NET Framework Programming. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/engineering/the-good-and-the-bad-of-net-framework-programming/>
29. Dou. Рейтинг мов програмування 2022. С# обійшов Java. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-2022/>
30. Testgorilla. What is C# used for and which companies use it? URL: <https://www.testgorilla.com/blog/what-is-c-sharp-used-for/>
31. Softonline. Microsoft visual studio professional. URL: <https://softonline.com.ua/catalog/microsoft/microsoft-visual-studio-professional/>
32. Visualstudio. Створіть майбутнє з Visual Studio 2022. URL: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/>
33. Statista. Ranking of the most popular database management systems worldwide, as of August 2022. URL: <https://www.statista.com/statistics/809750/worldwide-popularity-ranking-database-management-systems/>
34. Siit. The Benefits Of Studying Microsoft SQL Server. URL: <https://siit.co/blog/the-benefits-of-studying-microsoft-sql-server/5072>
35. Мельник А.В., Скрипник Т. К. Метод обрахунку ефективності нейронних мереж з використанням еволюційного алгоритму. Збірник наукових праць за матеріалами XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022». Хмельницький, 2022. с. 194-197. URL: <https://kn.khmnu.edu.ua/apkn/>
36. Мельник А.В., Скрипник Т.К., Молчанова М.О., Собко О.В., Мазурець О.В. Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. November 29 – December 02. 2022. Bilbao, Spain. Pp. 576-580. URL: <https://isg-konf.com/analysis-of-modern-ways-of-development-of-science-and-scientific-discussions/>

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Схема кроків виконання методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму



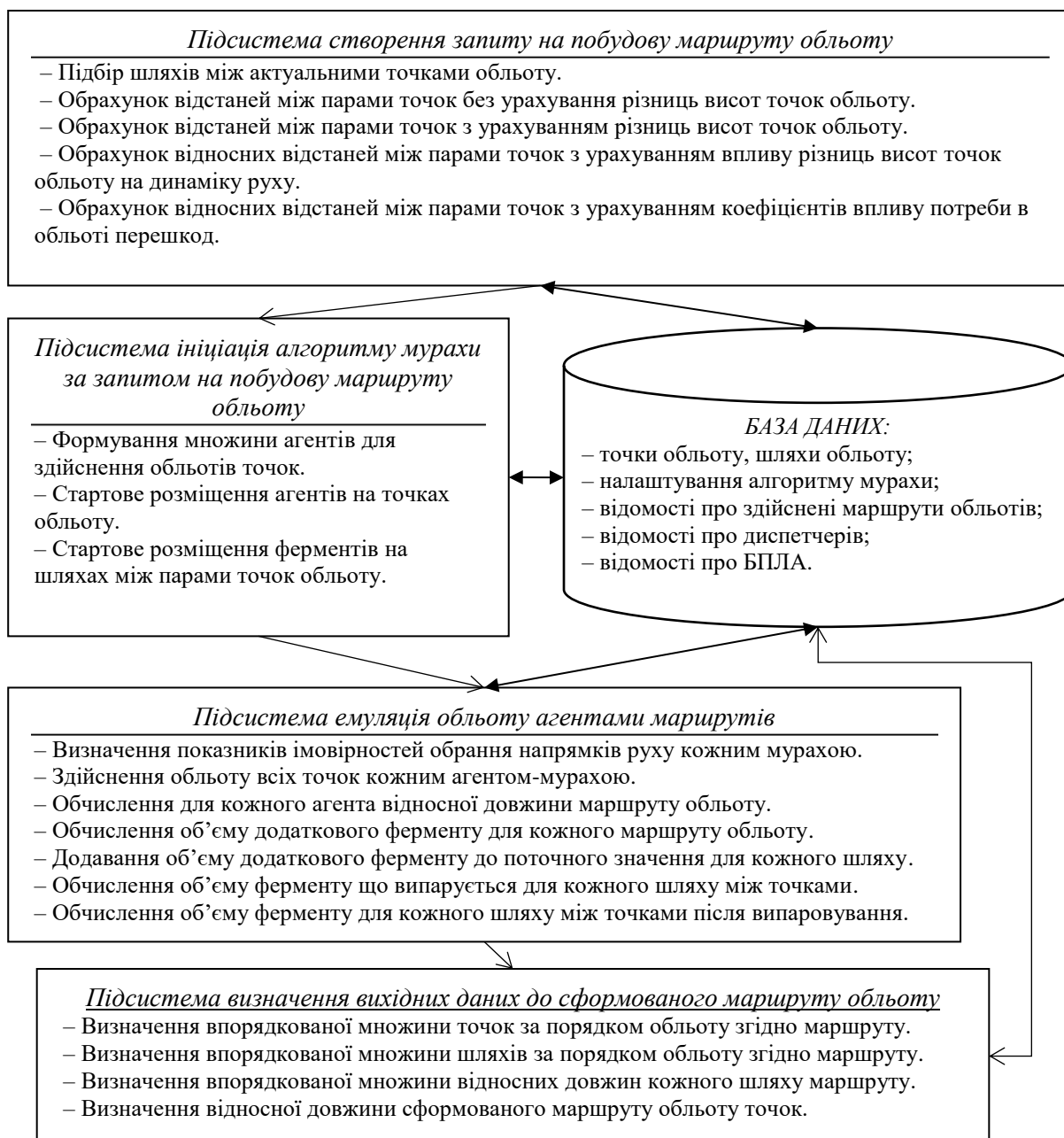
## Додаток Б

### Етапи роботи інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів



## Додаток В

### Схема інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів



## 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. Мельник А.В., Скрипник Т.К., Молчанова М.О., Собко О.В., Мазурець О.В. Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. Analysis of modern ways of development of science and scientific discussions. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. November 29 – December 02. 2022. Bilbao, Spain. Pp. 576-580

2. Мельник А.В., Скрипник Т.К. Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Збірник наукових праць за матеріалами XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022». Хмельницький, 2022. с. 194-197.

132.	Мардявко В.А. КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	571
133.	Мельник А.В., Скрипник Т.К., Молчанова М.О., Собко О.В., Мазурець О.В. МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ ПЕРЕСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	576
134.	Нестерчук О.І. ОГЛЯД НАУКОВИХ СТАТЕЙ З ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФЕКТІВ У ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ	581
135.	Погаленко М.В., Шаршопь В.Л. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	588
136.	Рубель А.О., Кураєва А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ТИПІВ РОЗСТРІЛІВ ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ КОНСОЛЬНО-ДЕМПІФІРУЮЩИХ РОЗСТРІЛІВ АРМУВАННЯ СТОВБУРА	591
137.	Қаулыбек А., Мамырбаев О. ОНТОЛОГИЯНЫ СИПАТТАУ ТІЛІНДЕГІ ДОМЕН МОДЕЛІ	596
VETERINARIAN		
138.	Prapirnyi V.V. PATHOLOGICAL CHANGES IN THE ABORTED AND NEONATAL HORSE'S CORPSES DUE TO EQUINE RHINOPNEUMONITIS	603



International Science Group

ISG-KONF.COM

X  
INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE  
"ANALYSIS OF MODERN WAYS OF DEVELOPMENT OF  
SCIENCE AND SCIENTIFIC DISCUSSIONS"

Bilbao, Spain

November 29 – December 02, 2022

ISBN 979-8-88831-928-4

DOI 10.46299/ISG.2022.2.10

Обов'язково складовою, без якої БТЗ не може існувати є наявність датчиків, які допомагають керувати навігацією та виявляти середовища, які оточують БТЗ. Серед таких датчиків можуть бути наявні:

- компаси;
- гіроскопи, камери для триангуляції;
- інфрачервоні технології;
- далекоміри;
- лазерні та ультразвукові датчики.

БТЗ можуть керуватися дистанційно та автономно. Якщо при дистанційному керуванні при переміщенні БТЗ бере участь людина, то при автономному, БТЗ повинен мати набір алгоритмів, які дозволятимуть йому слідувати з однієї точки в іншу при цьому уникаючи перешкод.

Наприклад, безпілотні (автономні) автомобілі працюють завдяки датчикам, виконавчим механізмам, складним алгоритмам на кшталт систем машинного навчання та використовують потужні процесори для виконання запрограмованих алгоритмів.

Складні алгоритми, що обробляють всі ці дані, які були отримані від датчиків, прокладають шлях автомобіля, вони керують прискоренням, гальмуванням та рульовим управлінням. Програмне забезпечення представляє собою жорстко створені правила, алгоритми, що дозволяють уникати перешкоди, а також дотримуватися правил дорожнього руху, що є дуже важливим для руху на дорозі, особливо в міській місцевості. Важливою задачею також є пошук оптимального маршруту БТЗ, який дозволить виконувати максимально швидко поставлені для БТЗ задачі, наприклад, доставка пакунків, порятунком людей. При керуванні БТЗ слід враховувати особливості їх руху. В загальному випадку можна сказати, що для пошуку оптимального маршруту БТЗ необхідно розв'язати задачу комівояжера.

Суть задачі комівояжера полягає у пошуку самого вигідного маршруту, який проходить через певний список міст хоча б раз. Алгоритм розв'язку цієї задачі є евристичним, тобто може надати прийнятне рішення з помірними знайденими, проте не може гарантувати, що воно є найоптимальнішим. Також при формулюванні задачі додатково можуть вказуватись умови щодо вигідності шуканого маршруту, тобто він може бути найкоротшим чи найдешевшим. А також можуть накладатися додаткові обмеження, наприклад у вигляді затраченого часу на проходження маршруту.

Так у публікаціях [2], [3], [4], представлено підходи які базуються на гібридному алгоритмі A\*, фронту Парето, застосування жадібних алгоритмів.

Ще одним доволі продуктивним є мурашиний алгоритм [5]. Принципи роботи мурашиного алгоритму зображено на Figure 1.

## МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ ПЕРЕСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Мельник Андрій Васильович,**  
студент  
Хмельницький національний університет

**Скрипник Тетяна Казимирівна,**  
ст. викладач  
Хмельницький національний університет

**Молчанова Марина Олексіївна,**  
викладач Кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет

**Собко Олена Віталіївна,**  
викладач Кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет

**Мазурець Олександр Вікторович,**  
к.т.н, доцент  
Хмельницький національний університет

Створення безпілотних транспортних засобів стало великим проривом у транспортній галузі. А саме такий тип транспорту дозволяє автоматизувати безліч процесів, де мала би бути задіяна людина. Такі безпілотні транспортні засоби оснащені спеціальними системами керування на базі штучного інтелекту.

Безпілотною системою або транспортним засобом називається електромеханічна система, яка здатна отримувати інформацію про зовнішнє середовище, в якому знаходиться та працює без людини-оператора на борту, здатна використовувати свої можливості для виконання поставлених задач.

Безпілотні транспортні засоби (БТЗ) можуть дистанційно керуватися людиною або можуть здійснювати навігацію на основі попередньо запрограмованих алгоритмів, заданих маршрутів, або більш складних динамічних систем автоматизації. БТЗ поділяються на [1]:

- безпілотні літальні апарати;
- безпілотні наземні апарати;
- безпілотні надводні апарати;
- безпілотні підводні апарати.

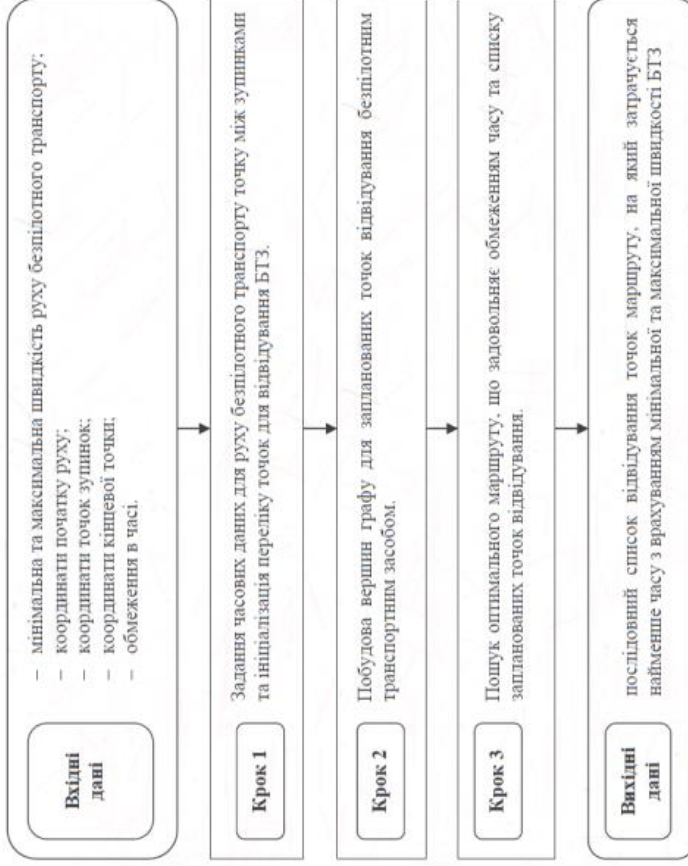


Figure 2. Схеми методу використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.

Вхідними даними методу використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів є характеристики безпілотного транспортного засобу, а саме його мінімальна та максимальна швидкість руху. Необхідним також є задані точки управління, проміжних точок та кінцевої точки маршруту. На першому кроці користувач задає часові обмеження щодо руху безпілотного транспортного руху та відбувається ініціалізація точок маршруту. Також користувач може ввести обмеження щодо часу, який БТЗ може витратити рухаючись від однієї точки маршруту до іншої.

На кроці 2 будується граф з його вершинами (точки зустрінок на маршруті) та ребрами (шляхом, який з'єднує конкретні точки зустрінок).

На кроці 3 застосовується мурашиний алгоритм для пошуку оптимального маршруту, що задовольняє обмеження в часі, на шлях між двома точками в графі.

Результатом роботи даного методу є візуальне представлення маршруту та послідовний список точок маршруту, який можна пройти БТЗ за найменший проміжок часу.

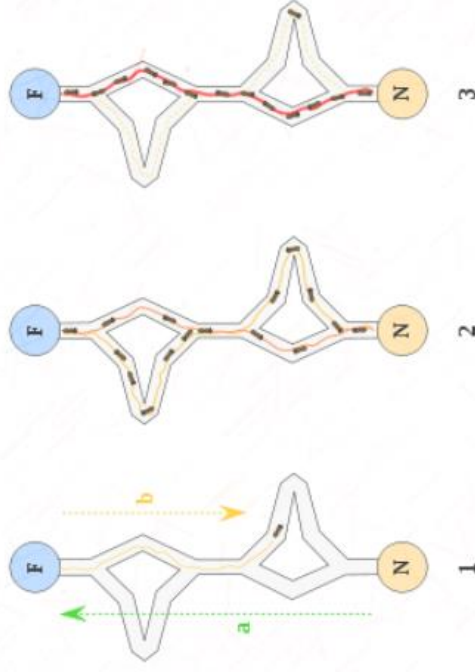


Figure 1. Принцип роботи мурашиного алгоритму [5]

На кроці 1 мураха, виходячи зі свого гнізда (точка N) в напрямку «а» прямує в пошуках їжі, знаходячи їжу у точці F. Повертаючись до гнізда у зворотньому напрямку мураха позначає маршрут «b» феромоном. Інші мурахи, також у пошуках їжі обирають усі можливі 4 шляхи до точки F, проте, залишений першою мурахою слід з феромону робить маршрут «b» більш привабливим для інших мурах, тому вони намагаються дотримуватись саме цього маршруту. Знайшовши у точці F їжу, вони повертаються назад до мурашника, також підсилюючи феромонами даний маршрут «b». Деякі мурахи з гнізда, які можуть рухатись випадковим чином, теж залишають феромоновий слід для неоптимального маршруту. Проте, з часом він вигірюється, так як більшість мурах все ж притримуються маршруту, на якому сильніше виражений феромон. Таким чином, маршрут, який був прокладений мурахою, що рухалась випадково, не підсилюється феромонами інших мурах та з часом зникає. При наявності кількох маршрутів, які приводять до цілі, з часом залишається один – оптимальний, на якому сильніше виражений феромон.

Авторами даної публікації пропонується використати мурашиний алгоритм для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.

На Figure 2 зображено схему методу використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.

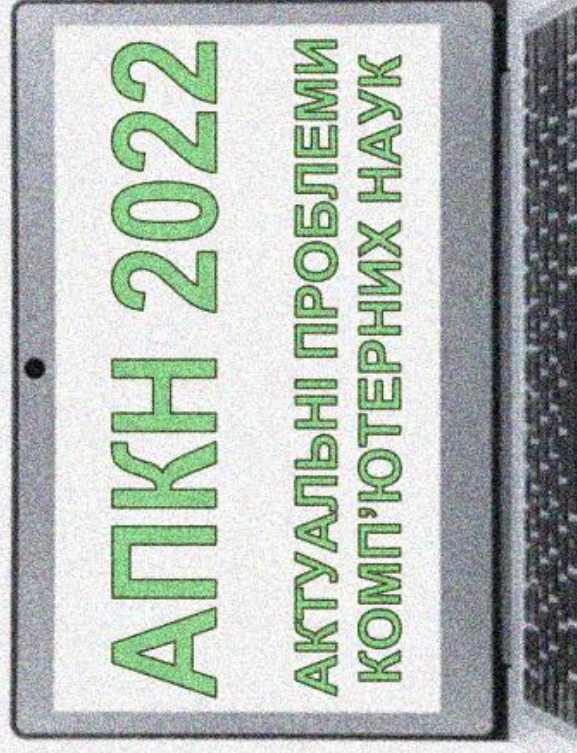
Таким чином представлений метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів заснований на мурашиному алгоритмі дає змогу планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів, отримуючи при цьому найоптимальніший маршрут як за часовими характеристиками, так і відповідно, за сумарною відстанню пересування БТЗ. Метод використання мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів дозволяє за вхідними даними у вигляді мінімальної та максимальної швидкостей руху безпілотного транспорту, координат початку руху, координат точок зупинки, координати кінцевої точки та обмежень у часі одержувати вихідні дані в вигляді послідовного списку відвідування точок маршруту, на який затрачується найменше часу з врахуванням мінімальної та максимальної швидкості безпілотного транспортного засобу.

Запропонований метод використання генетичного алгоритму для оцінювання ефективності розпізнавання образів нейронної мерею дозволить отримати комбінацію нейронних мереж з максимальними сукупними можливостями з ідентифікації фотографічних зображень.

#### Список літератури:

1. Encyclopedia. Unmanned Systems <https://encyclopedia.pub/entry/8019>
2. A. A. Sinodkin, T.S. Evdokimova, M. I. Tiurikov. A method for constructing a global motion path and planning a route for a self-driving vehicle. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1086/1/012003/pdf>
3. N. A. Kyriakakis, M. Marinaki, N. Matsatsinis, Y. Marinakis. A cumulative unmanned aerial vehicle routing problem approach for humanitarian coverage path planning. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221721007670>
4. H. Gunji, K. Ueda, T. Miyoshi, T. Yamazaki. A Method for Constructing Collision Avoidance Route for Multiple Unmanned Aerial Vehicles Using OLSR-Based Link Hierarchization. URL: <https://ken.ieice.org/ken/paper/202205121C98/eng>
5. Левченко Т. В., Блажук В. Д., Молчанова М. О., Собоко 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 XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
«Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022»

*18-19 листопада 2022*

Хмельницький 2022

**Козуб Д.С., Мельников О.Ю.**

Додаток для моніторингу вакцинованих студентів у навчальному закладі ..... 163

**Корольков В.О., Табенський С.М., Свистун С.О., Мельник В.В., Жуковський П.О.**

Метод та засоби ідентифікації об'єктів у тривимірних хмарах технологіями комп'ютерного зору та машинного навчання ..... 168

**Кравченко В.О., Чиркова К.С.**

Модуль «Супроводження ургентних замовлень компонентів крові» інформаційної системи «Служба крові» ..... 170

**Кулик О.М.**

Інформаційна система для проведення професійної орієнтаційної роботи ..... 174

**Ланде Д.В., Болух М.О., Назорний Д.О.**

OSINT для виявлення та запобігання інцидентів кібербезпеки та кібератак ..... 178

**Майор Є.В., Скрипник Т.К.**

Метод обрахунку ефективності нейронних мереж з використанням еволюційного алгоритму ..... 181

**Максимів О.В., Форкун Ю.В.**

Методи та програмні засоби моніторингу адміністрування хмарних сервісів ..... 185

**Малайко А.С., Пасічник О.А., Петровський С.С.**

Метод побудови оптимальної освітньої траєкторії здобувачів вищої освіти ..... 190

**Мельник А.В., Скрипник Т.К.**

Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму ..... 194

**Мельник В.С., Базрій Р.О.**

Огляд технології доповненої реальності ..... 198

**Мельниченко О.В.**

Метод та підсистема самовідновлення після критичних збоїв ..... 202

**Мітін С.В., Шамсієва А.А., Раківський Д.Ю.**

Аналіз варіантів захисту технології ІОТ ..... 205

**Мороз О.В., Базрій Р.О., Скрипник Т.К.**

Метод передбачення слів при введенні текстового повідомлення ..... 206

**Нізов Я.І.**

Розробка системи розумного моніторингу за парковими зонами ..... 213

© ДЛТКУН-2022

7

УДК 004.4

Мельник А.В., Скрипник Т.К.

## МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ ПЕРЕСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ

Розглянуто особливості будови безпілотних транспортних засобів та їх систем керування, представлено метод, що базується на застосуванні мурашиного алгоритму для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів.

Запропоновано метод визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу, який дозволяє за вхідними даними у вигляді мінімальної та максимальної швидкостей руху безпілотного транспорту, координат початку руху, координат точок зупинки, координати кінцевої точки та обмежень у часі одержувати вихідні дані в вигляді послідовного списку відвідування точок маршруту, на який затримується найменше часу з врахуванням мінімальної та максимальної швидкості безпілотного транспортного засобу.

*The features of the structure of unmanned vehicles and their control systems are considered, a method based on the application of the ant algorithm for the automated planning of the routes of movement of unmanned vehicles is presented.*

*A method for determining the optimal route of an unmanned vehicle is proposed, which allows receiving output data in the form of a sequential list of visits to route points based on input data in the form of the minimum and maximum speeds of the unmanned vehicle, the coordinates of the start of the movement, the coordinates of the stopping points, the coordinates of the end point, and time constraints, which takes the least amount of time, taking into account the minimum and maximum speed of the unmanned vehicle.*

Створення безпілотних транспортних засобів стало великим проривом у транспортній галузі. Адаже такий тип транспортного засобу дозволяє автоматизувати безліч процесів, де мала би бути задіяна людина. Такі безпілотні транспортні засоби оснащені спеціальними системами керування на базі штучного інтелекту.

Безпілотною системою або транспортним засобом називається електромеханічна система, яка здатна отримувати інформацію про зовнішнє середовище, в якому знаходиться та працює без людини-оператора на борту, здатна використовувати свої можливості для виконання поставлених задач.

Безпілотні транспортні засоби (БТЗ) можуть дистанційно керуватися людиною або можуть здійснювати навігацію на основі попередньо запрограмованих алгоритмів, заданих маршрутів, або більш складних динамічних систем автоматизації [1]. Обов'язковою складовою, без якої БТЗ не може існувати є наявність датчиків, які допомагають керувати навігацією та виявляти середовища, які оточують БТЗ. БТЗ можуть керуватися дистанційно та автономно. Якщо при

194

ДЛТКУН-2022 ©

дистанційному керуванні при переміщенні БТЗ бере участь людина, то при автономному, БТЗ повинен мати набір алгоритмів, які дозволитимуть йому слідувати з однієї точки в іншу при цьому унікаючи перешкоди.

Наприклад, безпілотні (автономні) автомобілі працюють завдяки датчикам, виконавчим механізмам, складним алгоритмам на кшталт систем машинного навчання та використовують потужні процесори для виконання запрограмованих алгоритмів.

Складні алгоритми, що обробляють всі ці дані, які були отримані від датчиків, прокладають шлях автомобіля, вони керують прискоренням, гальмуванням та рульовим управлінням. Програмне забезпечення представляє собою жорстко створені правила, алгоритми, що дозволяють уникати перешкоди, а також дотримуватися правил дорожнього руху, що є дуже важливим для руху на дорозі, особливо в міській місцевості. Важливою задачею також є пошук оптимального маршруту БТЗ, який дозволить виконувати максимально швидко поставлені для БТЗ задачі, наприклад, доставка пакунків, порятунков людей. При керуванні БТЗ слід враховувати особливості їх руху. В загальному випадку можна сказати, що для пошуку оптимального маршруту БТЗ необхідно розв'язати задачу комівояжера.

Суть задачі комівояжера полягає у пошуку самого вигідного маршруту, який проходить через певний список міст хоча б раз. Алгоритм розв'язку цієї задачі є евристичним, тобто може надати прийнятне рішення з помірними знайденими, проте не може гарантувати, що воно є найоптимальнішим [2]. Також при формулюванні задачі додатково можуть вказуватись умови щодо вигідності шуканого маршруту, тобто він може бути найкоротшим чи найдешевшим. А також можуть накладатись додаткові обмеження, наприклад у вигляді затраченого часу на проходження маршруту.

Так, у публікаціях [3], [4], [5], [6] представлено підходи які базуються на гібридному алгоритмі A\*, фронту Парето, застосування жадібних алгоритмів. Ще одним доволі продуктивним варіантом є мурашиний алгоритм. Принцип роботи мурашиного алгоритму містить три кроки. На кроці 1 мураха, виходячи зі свого гнізда (точка N) в напрямку «а» прямує в пошуках їжі, знаходячи їжу у точці F. Повертаючись до гнізда у зворотньому напрямку мураха позначає маршрут «fb» феромоном. Інші мурахи, також у пошуках їжі обирають усі можливі 4 шляхи до точки F, проте, залишений першою мурахою слід з феромону робить маршрут «fb» більш привабливішим для інших мурах, тому вони намагаються дотримуватись саме цього маршруту. Знайшовши у точці F їжу, вони повертаються назад до мурашника, також підсилюючи феромонами даний маршрут «fb». Деякі мурахи з гнізда, які можуть рухатись випадковим чином, теж залишають феромоновий слід для неоптимального маршруту. Проте, з часом він вивітряється, так як більшість мурах все ж притримуються маршруту, на якому сильніше виражений феромон. Таким чином, маршрут, який був прокладений мурахою, що рухалась випадково, не підсилюється феромонами інших мурах та з часом зникає. При наявності кількох

маршрутів, які приводять до цілі, з часом залишається один – оптимальний, на якому сильніше виражений феромон.

Авторами даної публікації пропонується використати мурашиний алгоритм для автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів. На рисунку 2 зображено схему методу автоматизованого визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу.

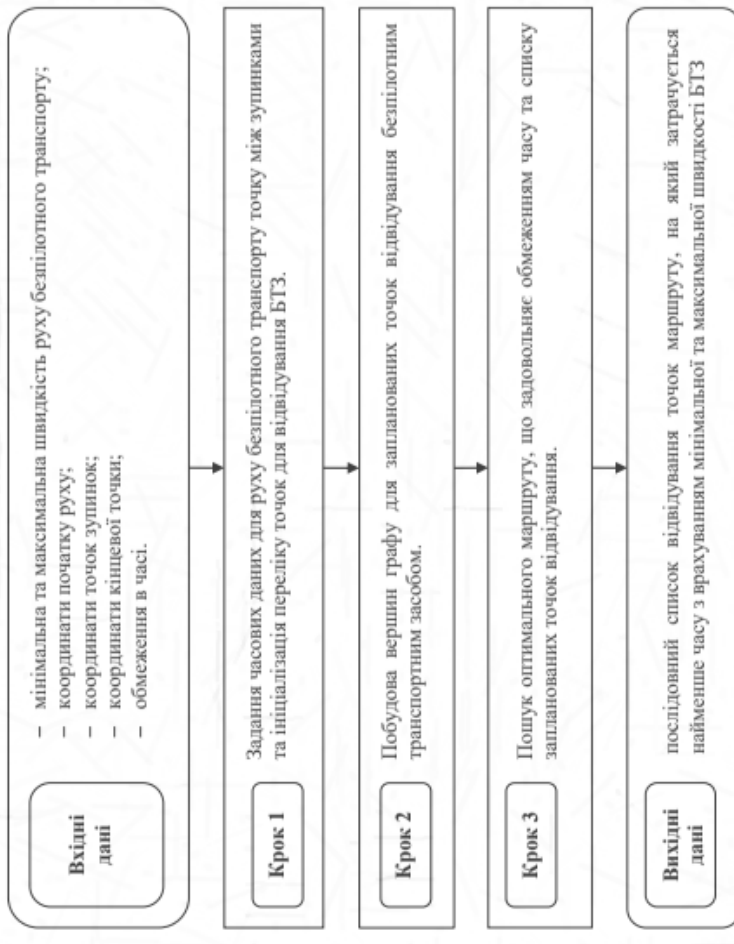


Рисунок 2 – Схема методу визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу

Вхідними даними для даного методу є характеристики безпілотного транспортного засобу, а саме його мінімальна та максимальна швидкість руху. Необхідним також є задання точки відправлення, проміжних точок та кінцевої точки маршруту.

На першому кроці користувач задає часові обмеження щодо руху безпілотного транспортного руху та відбувається ініціалізація точок маршруту.

Також користувач може ввести обмеження щодо часу, який БТЗ може витратити рухаючись від однієї точки маршруту до іншої.

На кроці 2 будується граф з його вершинами (точки зупинок на маршруті) та ребрами (шляхом, який з'єднує конкретні точки зупинок).

На кроці 3 відбувається застосування мурашиного алгоритму для пошуку оптимального маршруту, що задовольняє обмеження в часі, на шлях між двома точками в графі.

Результатом роботи запропонованого методу визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу є візуальне представлення маршруту та послідовний список точок маршруту, який можна пройти БТЗ за найменший проміжок часу.

Таким чином запропонований метод визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу заснований на мурашиному алгоритмі й дає змогу планувати маршрути пересування безпілотних транспортних засобів, отримуючи при цьому найоптимальніший маршрут як за часовими характеристиками, так і відповідно, за сумарною відстанню пересування БТЗ. Метод визначення оптимального маршруту безпілотного транспортного засобу дозволяє за вхідними даними у вигляді мінімальної та максимальної швидкостей руху безпілотного транспорту, координат початку руху, координат точок зупинок, координат кінцевої точки та обмежень у часі одержувати вихідні дані в вигляді послідовного списку відвідування точок маршруту, на який затрачується найменше часу з врахуванням мінімальної та максимальної швидкості безпілотного транспортного засобу.

#### Перелік посилань

1. Encyclopedia. Unmanned Systems <https://encyclopedia.pub/entry/8019>
2. Wikipedia. Задача комівояжера. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача\\_комівояжера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_комівояжера)
3. A. A. Sinodkin, T.S. Evdokimova, M. I. Tiurikov. A method for constructing a global motion path and planning a route for a self-driving vehicle. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1086/1/012003/pdf>
4. N. A. Kyriakakis, M. Marinaki, N. Matsatsinis, Y. Marinakis. A cumulative unmanned aerial vehicle routing problem approach for humanitarian coverage path planning. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221721007670>
5. H. Gunji, K. Ueda, T. Miyoshi, T. Yamazaki. A Method for Constructing Collision Avoidance Route for Multiple Unmanned Aerial Vehicles Using OLSR-Based Link Hierarchization. URL: <https://ken.iceice.org/ken/paper/202205121C98/eng>
6. V. Jeanneau, L. Jouanneau, A. Kottenkoff. Path planner methods for UAVs in real environment. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318332634>
7. Wikipedia. Мурашиний алгоритм. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Мурашиний\\_алгоритм](https://uk.wikipedia.org/wiki/Мурашиний_алгоритм)

## Додаток Д

### Презентаційний матеріал

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

Виконав студент 2 курсу, гр. КНм-21-1  
Мельник Андрій Васильович

Керівник  
ст.викладач каф.КН Скрипник Тетяна Казимирівна

## Мета роботи

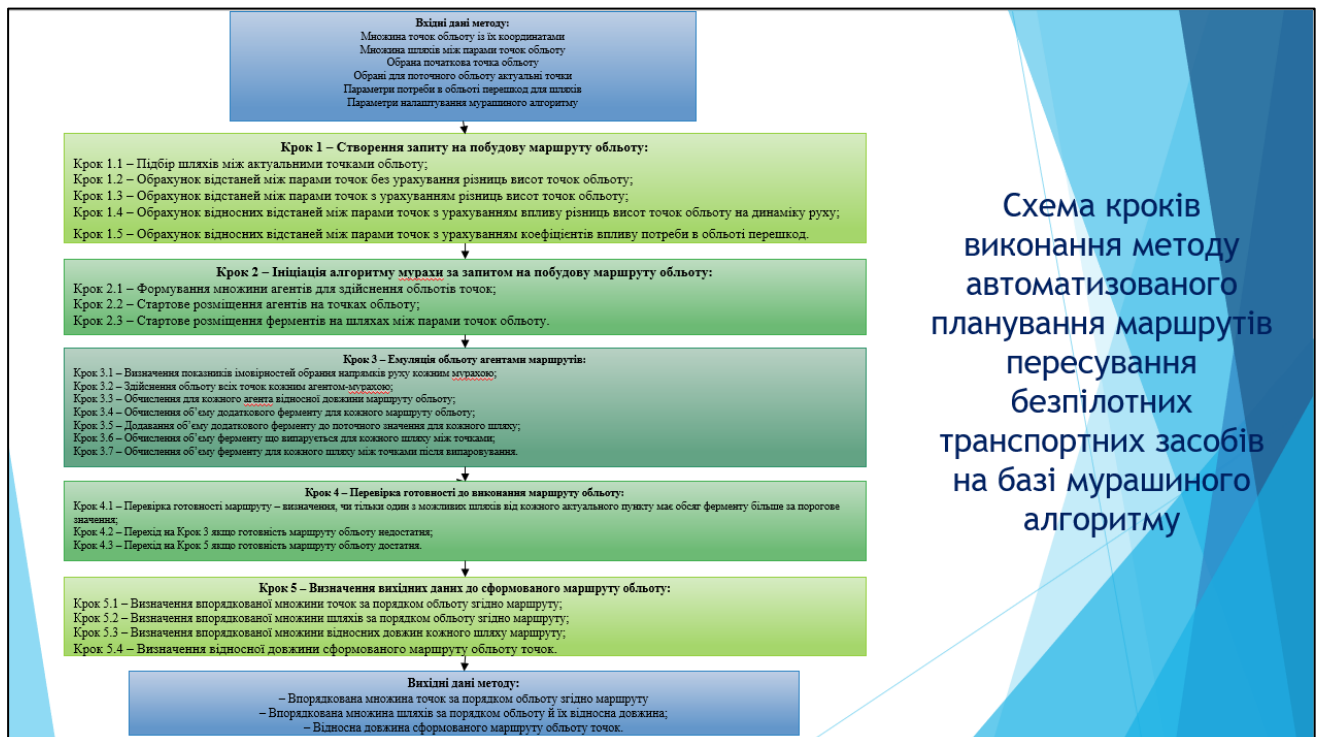
*Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає в вирішенні задачі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. В результаті виконання кваліфікаційної роботи були поставлені і вирішені такі завдання:*

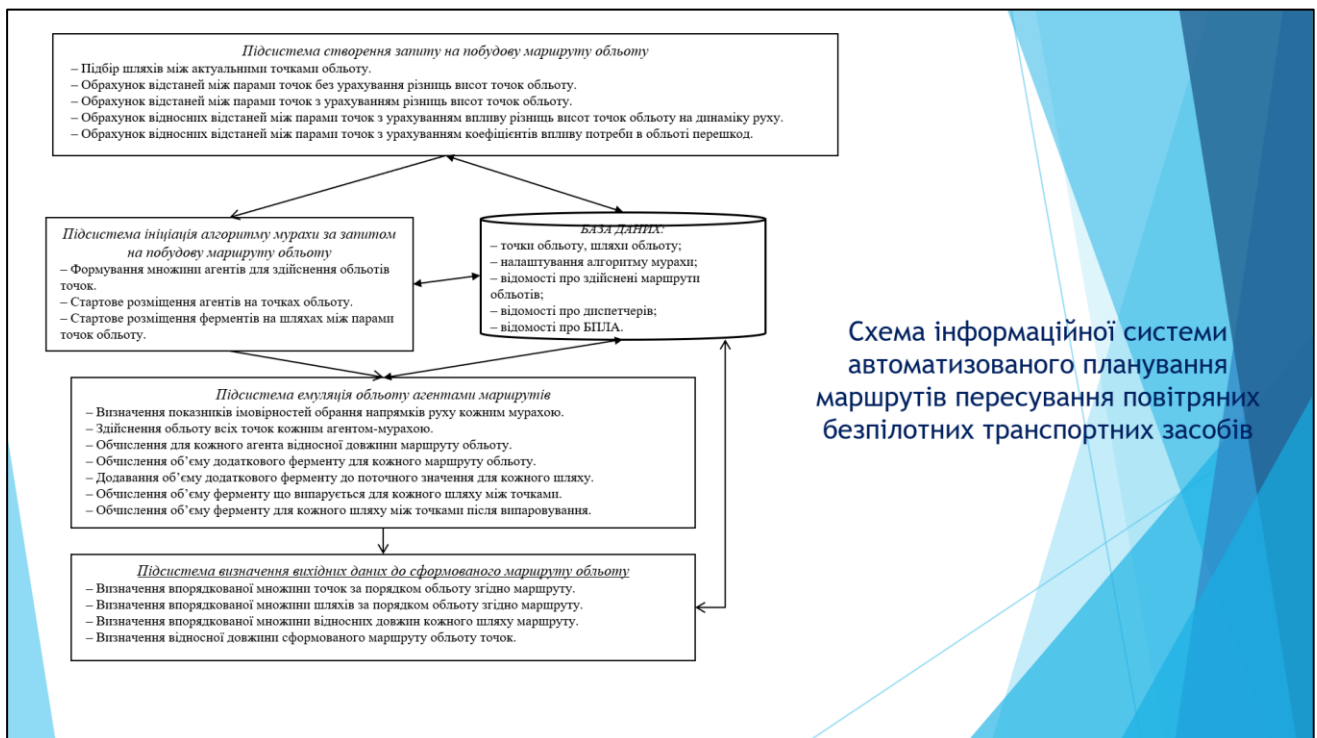
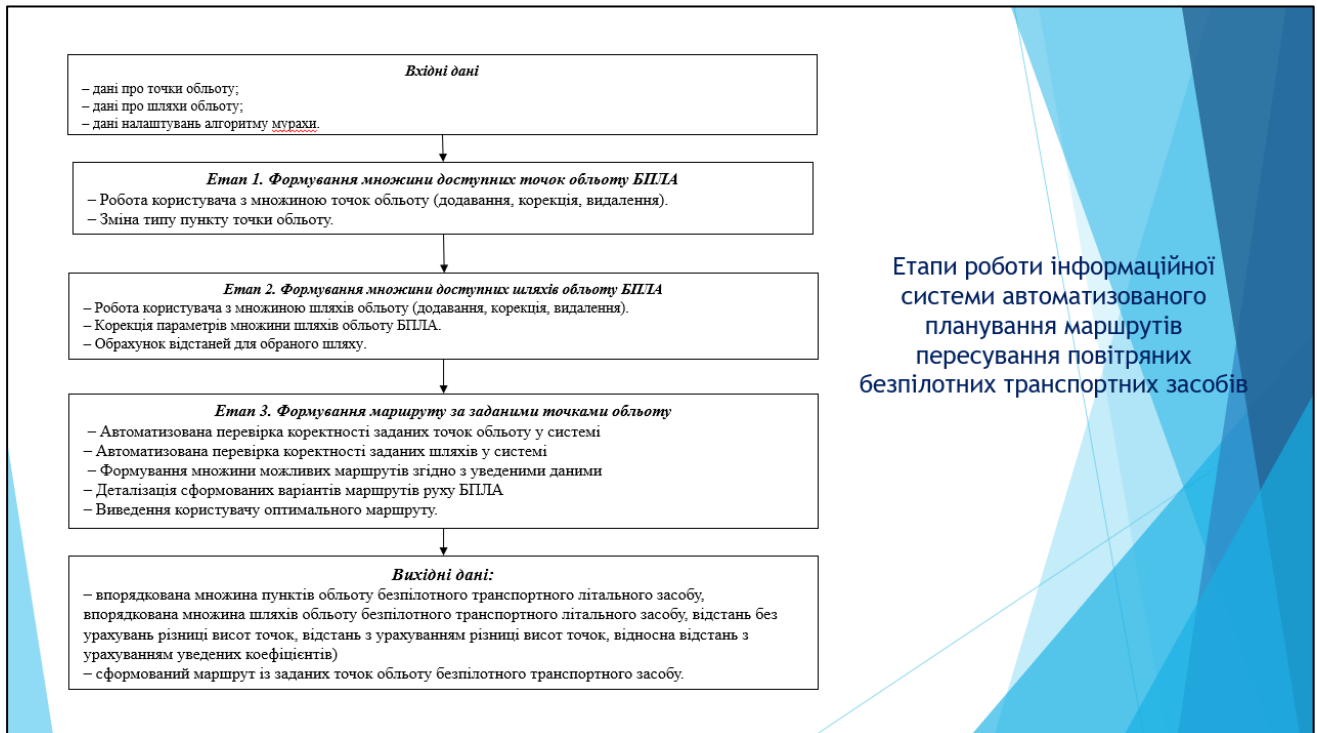
1. Досліджено сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.
2. Розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.
3. Розроблено метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму
4. Створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.
5. Досліджено практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

# Інформаційна модель маршруту пересування безпілотного транспортного засобу

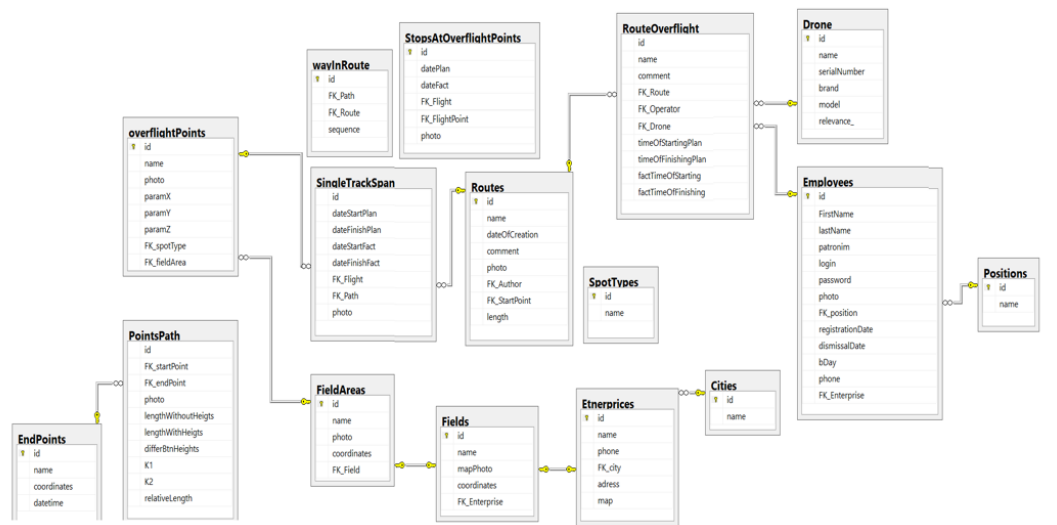
$$\{AUBUCUDUUEUFUGUHUI\} \subset W,$$

де  $A$  - множина доступних точок обльоту;  $B$  - множина доступних шляхів між парами точок обльоту;  $C$  - множина ділянок полів для позиціонування точок обльоту;  $D$  - множина полів що сегментовані на ділянки;  $E$  - множина сільхозпідприємств які обмежують використання точок для обльоту;  $F$  - множина точок обраних для обльоту;  $G$  - упорядкована множина точок за послідовністю обльоту;  $H$  - упорядкована множина шляхів за послідовністю обльоту;  $I$  - відносна довжина маршруту обльоту обраних точок.





## Даталогічна модель методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму



## Робота інформаційної системи

Робота з точками об'єкту

Точки об'єкту

Назва точки об'єкту	Ділянка	Тип
Контроль динаміки р...	Поле №3	Точка ...
Точка запуску - голо...	Головний ...	Старт...
Контроль динаміки р...	Ділянка П1...	Точка ...
Точка фінішу - офіс №2	Офіс №2	Точка ...
Контроль поливу кул...	Ділянка П...	Точка ...
Контроль шкідників (...)	Ділянка П...	Старт...

Додати точку об'єкту    Редагувати точку об'єкту

Деталізувати точку об'єкту    Видалити точку об'єкту

Тип точки:

Ділянка:

Назва:

X:

Y:

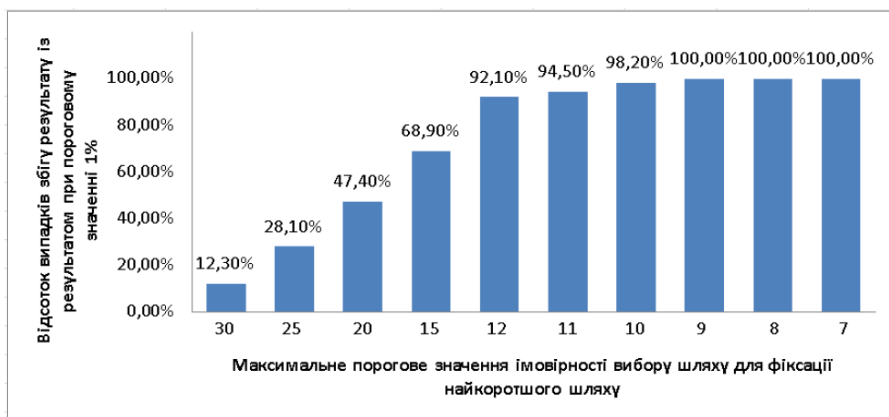
Z:

Фото ділянки з точкою об'єкту

Додати фото

Замінити існуюче фото

## Дослідження ефективності



Діаграма залежності відсотку випадків збігу результату формування маршруту із результатом при пороговому значенні 1% від максимального порогового значення імовірності вибору шляху для фіксації найкоротшого шляху

## Загальні висновки

Кваліфікаційна робота магістра вирішує науково-технічну задачу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів. У результаті виконання роботи поставлено та *вирішено наступні завдання*:

1. Досліджено сучасний стан автоматизації планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів та використання мурашиного алгоритму для оптимізації маршрутів обльоту цільових точок.
2. Розроблено інформаційну модель оптимізації переміщень повітряних безпілотних транспортних засобів.
3. Розроблено метод автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму
4. Створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.
5. Досліджено практичну ефективність застосування методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

Ім'я користувача:  
Кафедра КН

Дата перевірки:  
10.12.2022 06:02:46 EET

Дата звіту:  
10.12.2022 06:04:13 EET

ID перевірки:  
1013263971

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005671

Назва документа: КНм-21-1\_Мельник

Кількість сторінок: 86 Кількість слів: 14453 Кількість символів: 111594 Розмір файлу: 2.75 MB ID файлу: 1013021999

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 7.29% Схожість

Найбільша схожість: 4.27% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1013021998)

4.91% Джерела з Інтернету 30

Сторінка 88

5.96% Джерела з Бібліотеки 117

Сторінка 88

## 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 14

Підозріле форматування 13 сторінок

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%**

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Помилки в документах: 8%**

ID: 109306 Назва: КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА на тему Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму Додано в БД: 2022-12-10 Автора: А.В. Мельник Керівники: Т.К. Скрипник Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	105010	1239	8054 (8%)	73 (6%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

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, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого визначення маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму

Автор: Мельник Андрій Васильович

Спеціальність: 122 – Комп'ютерні науки

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: ст.викладач кафедри КН Скрипник Тетяна Казимирівна

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 8%, які є фрагментарними, не більше 3% на джерело – містять поширені конструкції, загальновідомі терміни та визначення.
- 2) За програмою UNICHECK виявлені 7,29%, які є фрагментарними, не більше 4,27% на джерело – містять поширені конструкції, загальновідомі терміни та визначення.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 8% і 7,29% відповідно, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



Тетяна Скрипник

Гарант ОП



Руслан Багрій

Завідувач кафедри КН



Олександр Бармак



## ВІДГУК ОПОНЕНТА

### на кваліфікаційну роботу магістра

*гр. КНм-21-1 Мельника Андрія Васильовича за темою: Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму*

#### **1. Актуальність обраної теми**

На сьогоднішній день великої популярності набувають безпілотні транспортні засоби. І своє застосування вони знаходять у багатьох сферах людського життя. Відповідно безпілотні транспортні засоби поділяються на різні види, в залежності від того, де вони застосовуються – на землі, у воді чи в повітрі. З огляду на це, розробка методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є актуальною завжди. Тому робота, присвячена створенню інформаційної системи на базі методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму є актуальною та перспективною, що належним чином обґрунтовано.

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

Обрана тема, а саме метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, 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**

В роботі повністю розкрито мету дослідження та поставленні в межах теми завдання дослідження.

#### **4. Наявність наукової новизни**

В кваліфікаційній роботі було продемонстровано наукову новизну та інновації, що повною мірою відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» в межах обраної області

дослідження. Продемонстровано й обґрунтовано результати, які мають наукове та інно значення. Результати дослідження оприлюдненні на науково-практичній конференції.

### **5. Зміст кожного розділу роботи**

Робота містить чотири розділи. В першому розділі автор розкриває актуальні проблеми в галузі автоматизованого формування маршрутів із використанням нейронних мереж та поставлено задачі дослідження. Другий розділ присвячено розробці методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. У третьому розділі виконано розробку інформаційної системи автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. У четвертому розділі виконано дослідження ефективності розробленого методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

### **6. Ступінь розкриття теми роботи**

Тема роботи в повній мірі обґрунтована й розкрита, проведено аналіз актуальності та відомих досліджень в межах обраної теми, поставлені завдання, які у роботі виконані, та проведено аналіз результатів прикладного застосування запропонованих методу і засобів.

### **7. Якість оформлення кваліфікаційної роботи**

Оформлення роботи відповідає необхідним нормам та вимогам, які ставляться до оформлення кваліфікаційних робіт.

### **8. Недоліки кваліфікаційної роботи**

У роботі відсутні суттєві недоліки. Рекомендовано оновити список скорочень, адже деякі з них не є зазначеними, проте зустрічаються в тексті.

### **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 відмінно.

Опонент  д.т.н., проф. каф.КІСП Мартинюк Валерій Володимирович



## ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА

### на кваліфікаційну роботу магістра

*гр. КНм-21-1 Мельника Андрія Васильовича за темою: Метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму*

#### **1. Актуальність теми**

Сучасність вносить корективи у всі сфери діяльності людини, зокрема в планування маршрутів та їх виконання. Кваліфікаційна робота магістра вирішує науково-технічну задачу автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму. Використання засобів штучного інтелекту робить цю роботу актуальною, що продемонстровано автором.

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

Поставлена у кваліфікаційній роботі магістра мета, пов'язана з автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, повною мірою відповідає предметній області спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та вимогам до кваліфікаційної роботи.

#### **3. Професійні та особистісні якості магістранта**

При роботі над кваліфікаційною роботою магістра Мельник Андрій Васильович проявив себе відповідальним та кваліфікованим студентом. Поставлені задачі виконував вчасно, старанно та якісно, пройшовши всі етапи дослідження, проявивши необхідні для одержання успішного результату компетентності знання та навички.

#### **4. Ступінь самостійності під час виконання кваліфікаційної роботи**

Поставлені задачі магістрант виконував самостійно, одержані положення наукової новизни та інновації, означені в роботі, є результатом особистої діяльності, що дозволило удосконалити існуючі методи в галузі автоматизованого планування маршрутів пересування повітряних безпілотних транспортних засобів.

#### **5. Наукова новизна та оригінальність запропонованих підходів**

В кваліфікаційній роботі магістра було представлено наукову новизну та інновації, відповідні спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» в межах обраної області дослідження. Вдосконалено метод автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму, його особливістю є те, що він обраховує

й дає можливість врахувати вплив показників зміни висоти при переміщенні між парами точок обльоту, а також виконує операції з елементами множини точок обльоту з урахуванням їх відношення до визначеної ділянки визначеного поля, що надає можливість врахувати вплив на параметри польоту географічних факторів й уникнути потреб у вильоті безпілотних транспортних засобів за межі актуальних ділянок при побудові маршруту обльоту. Результати роботи оприлюдненні на науково-практичній конференції.

#### **6. Ступінь оволодіння методами дослідження**

Магістрант виявив високий ступінь оволодіння необхідними методами дослідження.

#### **7. Повнота та якість розкриття теми роботи**

Тема роботи в повній мірі обґрунтована й розкрита, проведено аналіз актуальності та відомих досліджень в межах обраної теми, поставлені завдання, які у роботі виконані, а також проведено аналіз результатів прикладного застосування запропонованих засобів автоматизації планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

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

Структура роботи й послідовність викладення логічні та відповідні поставленій меті. Викладення матеріалу грамотне та виявляє високий ступінь відповідності стилю.

#### **9. Можливість практичного застосування кваліфікаційної роботи, окремих її частин**

Практичне використання розробленої інформаційної системи підтвердило її спроможність забезпечити виконання функцій побудови розкладів занять за генетичним алгоритмом. Було створено прикладну реалізацію методу автоматизованого планування маршрутів пересування безпілотних транспортних засобів на базі мурашиного алгоритму.

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

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

Науковий керівник Ступ ст. викладач каф. КН Скрипник Тетяна Казимирівна