

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Мельник Ю. В.

« » 2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ**  
**«МАГІСТР»**

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**Тема: «Транспортна задача для багатооб'єктної системи БПЛА»**

Виконавець: студент групи СУ-214М Назаренко Ілля Вадимович

(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: кандидат техн. наук, доцент, Білак Наталія Василівна

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Дивнич М.П.

Консультант з «Охорони

праці» \_\_\_\_\_

Консультант з «Охорони навколишнього

середовища» \_\_\_\_\_

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мельник Ю. В.

«    » 2022р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

---

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Транспортна задача для багатооб'єктної системи БПЛА»

затверджена наказом ректора від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін виконання роботи: з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентації:

---

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробка деталізованого зміста розділів диплому		
2	Вступ		
3	Розділ 1. Розділ 2.		
4	Розділ 3		
5	Оформлення дипломної роботи		

7. Консультанти з окремих розділів кваліфікаційної роботи

Назва розділу роботи		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Фролов В.Ф.		
Охорона навколишнього середовища	Козлітін О.О.		

8. Дата видачі завдання: “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник кваліфікаційної роботи

---

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

---

(підпис студента)

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Транспортна задача для багатооб'єктної системи БПЛА»: 100 сторінок, 32 рисунки, 3 таблиці, 2 додатки, 28 використаних джерел.

**Об'єкт дослідження** – група БПЛА та цілі

**Предмет дослідження** – Оптимальний розподіл цілей у групі (рої) БПЛА за критерієм мінімізації фактора відстані. **Мета роботи** – синтез системи автоматичного управління поздовжнім рухом літака методом частотних характеристик.

**Методи дослідження** – Методи математичного програмування, тобто дискретне програмування, цілочисельне програмування для задач про призначення, динамічне програмування з використанням угорського методу, обчислювальні та експериментальні метод.

Результати виконаної роботи - на основі заданої, тестової кількості безпілотників і цілей за допомогою угорського методу дискретного цілочисельного програмування розроблено алгоритм оптимізації розподілу цілей серед групи безпілотників шляхом мінімізації фактора відстані.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендовані для наукових досліджень, навчально-методичної та практичної діяльності з суміжних тем дослідження маршруту формування БПЛА

БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, ЗАДАЧА ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ,  
ГРУПОВА СИСТЕМА БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ,  
БАГАТООБ'ЄКТНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА,  
УГОРСЬКИЙ МЕТОД

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 .....	10
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БПЛА.....	10

1.1 Концепція дронів, радіус дії, класифікація та актуальність використання. ....	10
1.2. Бортове обладнання БПЛА .....	15
1.3 Багатооб'єктна система БПЛА, їх використання та актуальність. ....	20
1.4 Перспективи в розвитку використання БПЛА. ....	23
1.5. Висновки.....	26
РОЗДІЛ 2 .....	28
КОНЦЕПЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ .....	28
2.1. Поняття оптимізації .....	28
2.2 Критерій оптимальності .....	29
2.2.1. Постановка задачі оптимізації.....	31
2.2.2. Моделювання та класифікація задачі оптимізації.....	32
2.3. Застосування методів оптимізації.....	33
2.4. Задача про призначення .....	34
2.5 Угорський алгоритм.....	37
2.6. Висновки.....	38
РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА .....	39
3.1 Постановка задачі оптимізації.....	39
3.2. Розподіл цілей між БПЛА з мінімізацією сумарного шляху.....	40
3.3. Задача з однаковою кількістю БПЛА та цілей .....	40
3.4. Задача за умови кількості цілей більшої за БПЛА.....	47
3.5 Покрокове виконання оптимізаційної транспортної задачі .....	59
3.6. Висновки.....	60
РОЗДІЛ 4 .....	62
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	62
4.1. Аналіз впливу БПЛА на навколишнє середовище .....	62
4.2. Основні джерела впливу та їх вплив на людину та її середовище.....	64
4.3. Поради щодо зменшення негативних факторів.....	66
4.4 Висновки.....	69
РОЗДІЛ 5 .....	70
ОХОРОНА ПРАЦІ.....	70
5.1 Вступ.....	70
5.2. Аналіз умов праці .....	70
5.2.1. Організація робочого місця оператора.....	70
5.2.2. Перелік шкідливих і небезпечних виробничих факторів. ....	71
5.3. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на робочому місці операторів БПЛА.....	72
5.3.1 Мікроклімат робочої зони оператора БПЛА. ....	72

5.3.2. Випромінювання та неіонізуючі електромагнітні поля .....	73
5.3. Заходи з охорони праці .....	73
5.4. Заходи пожежної безпеки .....	74
ЗМІСТ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ВИСНОВКИ .....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	79

## ВСТУП

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів за останні роки змінив спосіб організації моніторингу стаціонарних і динамічних об'єктів. Це пов'язано з наступними причинами: безпілотні літальні апарати (БПЛА) набагато дешевші за пілотовані літаки-розвідники; дрони легші в обслуговуванні та керуванні; дрони можуть працювати вночі, в умовах поганої видимості, що загрожує життю пілотів. Завдання пошуку динамічних об'єктів на місцевості не нова. Однак лісостепова смуга є своєрідною, оскільки ця місцевість містить велику кількість лісу. Знайти цілі спостереження в цих областях складно. Особливо складним є процес вибору найкращого маршруту. При цьому йдеться не лише про виконання суто цивільних завдань, а й про вирішення військових. Можливість запрограмувати безпілотники слідувати маршруту та зависати над місцевістю, коли це необхідно, дає їм величезну перевагу. Використовувати дрони рекомендується в ситуаціях, коли життя людей може бути під загрозою, а потрібно заощадити час і гроші.

Актуальність дослідження: Одним із сучасних підходів до використання БПЛА є групові системи. У майбутньому його планують інтегрувати в систему зі штучним інтелектом. Зазвичай групами керує один оператор, а такі завдання, як підтримка дистанції між пристроями, уникнення перешкод і вибір траєкторії польоту, виконуються без участі оператора. На нижньому рівні знаходяться завдання на автоматичне планування маршруту та управління літальним апаратом. Необхідно розрахувати кількість необхідного обладнання, його вид залежить від типу завдання. Планувати маршрути таким чином, щоб заощадити час і ресурси та уникнути зіткнень між безпілотниками та навколишнім середовищем. Завдання ускладнюється, коли кількість дронів і цілей відрізняється. Тому завдання автоматизації цього рішення для подальшого використання в штучному інтелекті є дуже актуальним.



Об'єкт дослідження: група БПЛА та цілі

Предмет дослідження: алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА

Мета дипломної роботи: Оптимальний розподіл цілей у групі БПЛА за критерієм мінімізації фактора відстані.

Методи дослідження: Методи математичного програмування, а саме лінійне програмування, цілочисельне програмування для задач призначення, динамічне програмування угорського методу, обчислювальні та експериментальні методи.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БПЛА

#### 1.1 Концепція дронів, радіус дії, класифікація та актуальність використання.

Як відомо, основа процесу постійного вдосконалення авіаційної техніки включає в себе найсучасніші досягнення в галузі інформаційних технологій. У той же час необхідно активно враховувати передові тенденції у вирішенні стратегій і тактик та місії військової та цивільної авіації. Одна з найважливіших тенденцій в цій області активно займається безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та виконує вищезазначені завдання в різних формах, зокрема створення парку гібридної тактичної авіації, включаючи пілотовані та безпілотні літаки.

Українське законодавство передбачає кілька визначень дронів. Розглянемо основні.

Безпілотне повітряне судно — це літальний апарат без пілота, створений для різноманітних задач та контрольований за допомогою станції, розташованої поза літаком.

Безпілотний літальний апарат — конструкція, керування польотом якої виконується дистанційно через пункт пілотування, що розташований поза повітряним судном, або повітряне судно, яке виконує політ автономно у відповідності з програмою.

Безпілотний авіаційний комплекс — повітряне судно, що не має пілота та пункт дистанційного пілотування, що з ним пов'язаний (станція наземного керування), лінії контролю і керування та певні інші елементи, що наявні в затвердженому проекті даного комплексу. Комплекс зачасту може охоплювати одразу декілька БПЛА. [1]

					НАУ 21.09.11.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав.		Назаренко І.В.			РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БПЛА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник		Білак Н.В.					8	54
Консульт.								
Н. Контр.		Дивич М.П.						
Затверд.		Мельник Ю.В.						

БПЛА – це транспортний засіб, керування якого відбувається дистанційно. Почасту БПЛА охоплюються терміном «декілька», тому що можуть охоплювати кілька безпілотних літальних апаратів одночасно. Цей транспортний засіб здатний літати з штучним інтелектом.

БПЛА вперше були використані у військових цілях. Згодом вони також були зайняті в інших сферах для виконання різноманітних задач. Безпілотні літальні апарати для цивільних галузей почали розроблятися та виготовлятися на початку 2000-х років. Замість військової і бойової задачі, БПЛА почали використовувати в галузі цивільного захисту.

Завдяки численним перевагам розвиток безпілотних літальних апаратів продовжується. Основні позитивні риси використання БПЛА можна виділити наступні:

1. Відсутність ризику втрати екіпажу через дистанційне керування.
2. Виконання певних маневрів, які перевищують можливості пілотів.
3. Відсутність втоми екіпажу, що збільшує витривалість та дальність таких польотів.
4. Потенційні можливості масового виробництва та низька вартість, що роблять БПЛА доступними для великої кількості людей.

Щоб краще зрозуміти відмінності між безпілотними літальними апаратами, розглянемо їх класифікацію.

Всі БПЛА поділяються на 3 типи, в залежності від завдань, що вони виконують та за виглядом:

1. Безпілотні літаки.
2. Безпілотні вертольоти.
3. Безпілотні аеростати

Безпілотні літаки використовують в першу чергу для моніторингу різноманітних ділянок. Такі конструкції можуть долати великі відстані та робити онлайн моніторинг з повітря за будь-яких погодних умов та в будь-який час доби.

У цих літаків є можливість дистанційної роботи на відстані до 70 кілометрів від землі. Вони можуть літати від 30 хвилин до 8 годин та можуть розвивати швидкість до 400 кілометрів на годину.

Безпілотні вертольоти слугують для швидкого моніторингу місцевості. Вони є компактними та простими в управлінні. Їх використання не потребує спеціальної злітно-посадкової смуги. Вони також можуть працювати за будь-яких погодних умов та незалежно від часу. Час їх польоту триває від 30 хвилин до 3 годин.

Сфера використання безпілотних літальних апаратів у цивільному секторі не обмежена, але виконання польотів є складним за чинної законодавчої бази щодо використання повітряного простору. На благо національної економіки безпілотники можуть бути використані в таких сферах:

- проводити пошукову роботу;
- проводити геологорозвідувальні роботи;
- Регіональна аерофотозйомка;
- виконання авіаційної техніки;
- здійснювати моніторинг територій та об'єктів - вести відеоспостереження.

Безпілотні аеростати – сучасні апарати, що використовуються для розвідки і моніторингу місцевості на висоті до 400 м. Вони є більш надійними та здатні довго працювати в режимі реального часу.



Загальна схема класифікації БПЛА представлена на рис. 1.1.

Рис.1.1. Класифікація БПЛА.

Вирізняють такі методи управління БПЛА:

1. Віддалене пілотування: управління польотом відбувається в двох режимах: ручне керування, що здійснюється оператором дрона в режимі реального часу та автоматизоване керування, що має можливість регулювання. Для цього попередньо надають координати міток на маршруті, оцінивши поточне розташування літального апарату, використавши навігацію.

2. Автоматичний режим: керування відбувається автопілотом за попередньо заданою інформацією: траєкторією, висотою польоту, швидкістю тощо.

На сьогодні найбільш розповсюдженим є дистанційно-пілотувальний метод, який дозволяє в режимі реального часу виконувати оцінку на необхідній місцевості та об'єктів. Оператор дрону з землі керує безпілотником та в разі необхідності може корегувати маршрут. Проте, якщо розглядати

момент захищеності від завад, зумовлених електромагнітними впливами, цей метод є більш уразливим.

Розрізняють два основних типи безпілотних літальних апаратів: фіксованого та обертального крила.

БПЛА фіксованого крила називають безпілотниками, що для свого руху користуються прямим поштовхом по фіксованому крилу для отримання підйомної сили. Такі безпілотники не використовують при обмеженні у просторі або в небезпечних ділянках, оскільки для їх керування необхідна відносно висока пускова швидкість для отримання необхідної підйомної сили.

Безпілотники обертального крила в свою чергу поділяються на 2 типи: одногвинтові та багатогвинтові (мультикоптер). Одногвинтові БПЛА зазвичай мають несучий приводний гвинт, що надає підйомну силу та урівноважується за допомогою хвостового рульового гвинта. Багатогвинтові вертольоти використовують більше двох гвинтів для того, щоб управляти усіма варіантами руху.

Основні сфери застосування БПЛА:

1. Транспортування: логістичні задачі, доставка вантажу різних габаритів в автономному режимі без пілота за заздалегідь вказаним маршрутом, доставка біологічних матеріалів та медикаментів, пошти, товарів з інтернет-магазинів, інших товарів в різних цілях.

2. Аерофотозйомка: проведення зйомки місцевості, проведення діяльності в картографії та геодезії, аналіз та оцінка місцевої інфраструктури, діяльність в медіа та кіно сфері.

3. Забезпечення безпеки: охорона людей та об'єктів, моніторинг цивільної інфраструктури, земельних ресурсів, газопроводів та нафтопроводів, лісових ресурсів та доріг. Здійснення попереджень про виникнення надзвичайних ситуацій, проведення пошукових та рятувальних робіт, радіаційна оцінка місцевості.

4. Військова сфера: розвідувальні задачі, що виконують БПЛА мінімальних розмірів, які мають можливість непомітно проникати на ворожі

об'єкти. [4;40]

## 1.2. Бортове обладнання БПЛА

Структура організаційно-технічної системи (ОТС) усієї безпілотної авіації з вимогами системного підходу можна подати у вигляді трьохрівневої ієрархії:

- 1 рівень – БПЛА.
- 2 рівень – безпілотний авіаційний комплекс (БАК).
- 3 рівень – технічна ланка об'єднується з ергатичною.

У ергатичній ланці виділяють наступні основні елементи керування БПЛА:

1. Керівник – особа, яка приймає основні рішення по задачам використання БПЛА.

2. Оператори управління БПЛА.

3. Обслуговуючий персонал комплексу.

Крім самого БПЛА, до складу безпілотного авіаційного комплексу входять засоби:

1. Зв'язку і управління
2. Наземного обслуговування,
3. Запуску та посадки
4. Порятунку.
5. Транспортування та зберігання.

Розглянемо складові безпілотного авіаційного комплексу і їх основну характеристику.

Засоби зв'язку та управління – група технічних засобів, що призначені для забезпечення зльоту БПЛА, його посадки та безпечного польоту за задалегідь заданим маршрутом в автоматизованому або автоматичному режимі, а також використовуються для управління певними процесами застосування бортового обладнання БПЛА.

До складу бортового обладнання БПЛА вносять засоби, що слугують

для отримання і передачі певної розвідувальної або моніторингової інформації. Така інформація має можливість доставлятися споживачам після повернення БПЛА на місце його базування або, в разі необхідності підвищити оперативність, ретранслюватись безпосередньо в польоті на пункт наземного управління.

Пункт управління БПЛА (ДПЛА) – наземні технічні засоби управління БПЛА і спеціальне обладнання для обробки розвідувальної, польотної та іншої інформації.

Оператор управління БПЛА – фахівець, який за допомогою технічних засобів, здійснює управління БПЛА і обладнанням на різних етапах польоту.

Цільове обладнання БПЛА – усі технічні бортові засоби, що призначені для досягнення цілей БПЛА за його призначенням:

1. Засоби розвідки та радіоелектронної боротьби.
2. Цілевказівки.
3. Ретрансляції.
4. Імітації повітряних цілей.
5. Пошуково-прицільні обладнання.

Засоби спеціального забезпечення:

1. Засоби запуску, порятунку та посадки.
2. Засоби транспортування та зберігання.



До складу після польотного обслуговування для розвідувального БПЛА вносять наземний комплекс з обробки розвідувальної інформації.

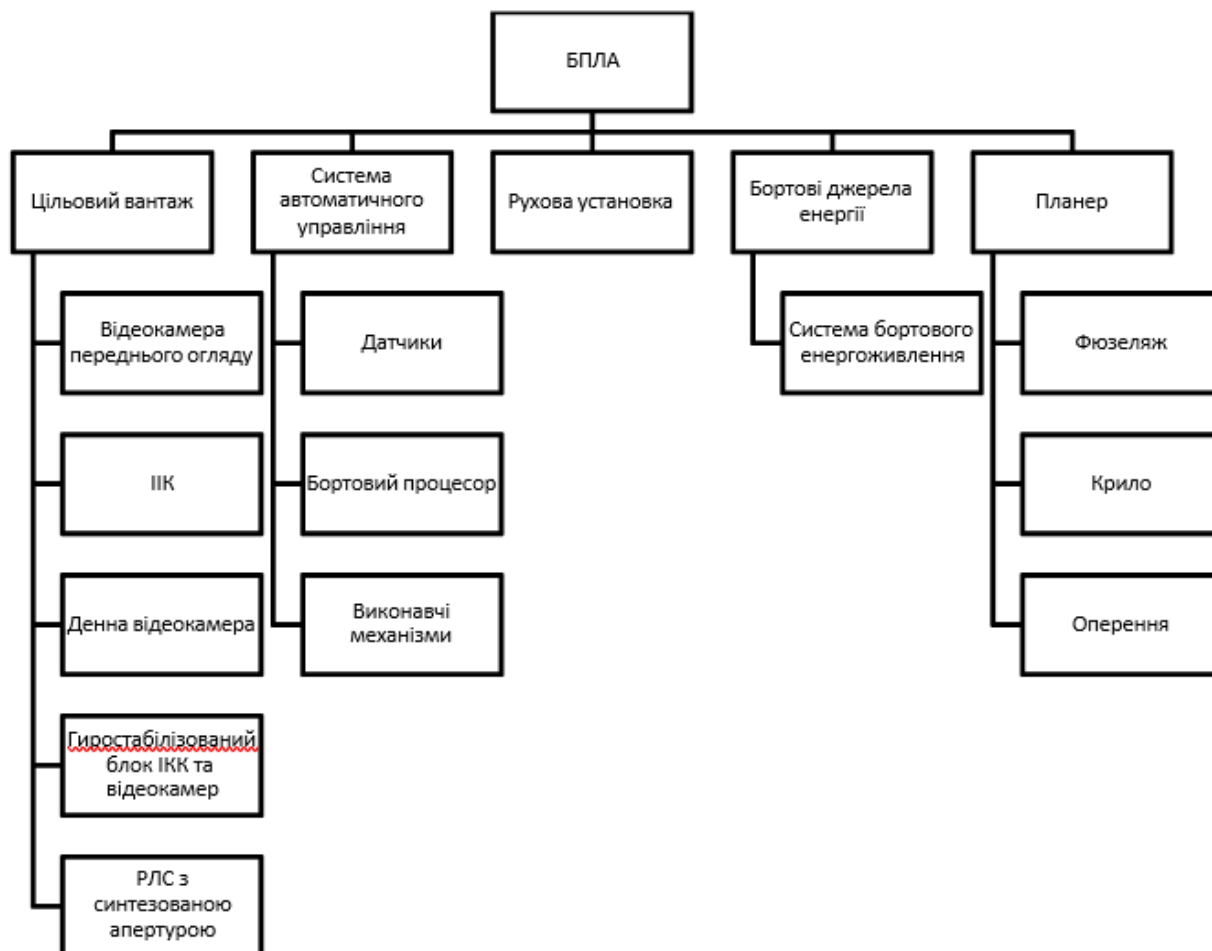


Рис. 1.2. Головні елементи бортового обладнання БПЛА

Бортове обладнання БПЛА надає автоматичне або за командою пункту дистанційного керування подання сигналів стабілізації, управління польотом. Також забезпечує подання сигналів управління пристроями навантаження, збереження та передачі на наземний пункт управління інформації про політ, про стан бортового обладнання та необхідну інформацію, що надають пристрої корисного навантаження. [1]

Головні елементи бортового обладнання БПЛА описані на рис. 1.2. На базі функціонально-структурного аналізу конструкцій БПЛА, сюди входить:

1. Система автоматичного управління.
2. Рухова установка.
3. Бортові джерела енергії.
4. Планер

До складу бортового обладнання відносять такі елементи:

1. Блок датчиків, що має супутникову навігаційну систему.
2. Система автоматичного управління БПЛА.
3. Передавач інформаційного каналу;
4. Командний радіоканал.
5. Система електроживлення.

Для прикладу розглянемо бортове обладнання міні-БПЛА.

1. Пристрій для огляду, що закріплюється нерухомо під певним кутом до осі літального апарату і задовольняє необхідну зону захоплення території. До складу оглядово-курсорового пристрою входить:

- 1) Телевізійна камера з ширококутним об'єктивом.
- 2) Тепловізорна камера.
- 3) Цифровим фотоапаратом.

2. Пристрій для детального огляду, що обладнаний поворотним пристроєм та складається з:

- 1) Вузкокутового об'єктиву.
- 2) Трикоординатного поворотного пристрою, що забезпечує поворот камери за курсом, тангажем та креном за командою оператора для детальної оцінки конкретної місцевості.

Для забезпечення правильної роботи в умовах поганого освітлення корпус може бути доповнений тепловізорною камерою.

3. Пристрої радіолінії та телеметричної інформації, що забезпечують передачу видової та телеметричної інформації в реальному або близькому до реального часу.

4. Пристрій обміну командною інформацією виконує розподіл командно-навігаційної інформації по носіях на борту БПЛА.

5. Пристрої командно-навігаційної радіолінії, що забезпечують отримання інформації в межах радіовидимості команд пілотування БПЛА та управління його складовими.

6. Пристрій інформаційного обміну виконує розподіл видової інформації між бортовими джерелами інформації, передавачем радіолінії інформації та бортовим пристроєм зберігання інформації. Цей пристрій також надає інформаційний обмін між функціональними пристроями, які входять до складу корисного навантаження БПЛА за заданим інтерфейсом.

7. Супутникова система навігації виконує прив'язку до координат. Застосування приймачів дає можливість визначати значення його курсового кута.

8. Бортова обчислювальна машина.

9. Пристрій зберігання видової інформації виконує накопичення обраної оператором дрону видової інформації до моменту його посадки. Цей пристрій буває знімним або стаціонарним. В стаціонарному передбачена наявність каналу знімання накопиченої інформації на зовнішні пристрої після посадки БПЛА.

10. Вбудований блок живлення для забезпечення узгодження з напругою і пристроями, що входять до корисного навантаження

У процесі управління кутом або висотою літака в автоматичній системі на вхідний термінал контролера надходить необхідне значення кута або висоти, а вихідна змінна контролера відхиляється від кута або висоти літака. Літак проходить через канали тангажу, крену та повороту.[2]

Вимоги до системи управління:

- мінімальний час переходу,
- Відсутність надмірного регулювання (нециклічний процес).

Система управління повинна забезпечувати задані параметри для процесу переходу.

Завдання, поставлені в даній роботі, вимагають вивчення наступних питань:

- Обґрунтованість математичного опису об'єкта управління.
- Побудова імітаційних моделей.
- Модельні кінетичні дослідження.
- Реалізувати метод управління об'єктом управління.

В різних типах БПЛА корисне навантаження може бути доповнене:

- 1) Різними видами РЛС.
- 2) Датчиками екологічного моніторингу.
- 3) Датчиками радіаційного моніторингу.
- 4) Датчиками хімічного моніторингу.

Підсумовуючи інформацію щодо бортового обладнання БПЛА, можна зазначити наступне: комплекс управління БПЛА є складною, багаторівневою структурою, основне завдання якої – задовольнити виведення БПЛА по заданим координатам і виконати завдання відповідно до польотних цілей, а також забезпечити отримання інформації, що отримана бортовими засобами БПЛА.

### **1.3 Багатооб'єктна система БПЛА, їх використання та актуальність.**

В даний час розширюється застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у різних сферах людської діяльності. На початку розвитку безпілотної авіації кожен апарат керувався дистанційно операторами-пілотами. Людина, як оператор, цінна тим, що може ухвалити рішення у позаштатній ситуації, де автоматична система дасть збій.

З розвитком технічних можливостей датчиків збільшується кількість БПЛА, які вирішують завдання. Це призводить до збільшення обсягів інформації, що передається. З'являється потреба в об'єднанні та систематизації даних, що передаються апаратами, щоб отримати загальну картину. З цією метою нині розробляється підхід із використанням штучного інтелекту та алгоритмів обробки великих обсягів даних. Це дозволяє вирішувати завдання розпізнавання об'єктів, аналізувати оперативну обстановку та надавати допомогу у прийнятті рішень. Штучний інтелект може передбачити можливий розвиток подій з урахуванням зібраних даних.

Необхідно розраховувати необхідну кількість апаратів, їх типів залежно від виду завдання. Планувати маршрути таким чином, щоб заощадити час та ресурси, а також уникнути зіткнень між БПЛА та навколишнім середовищем. Чим більше об'єктів управління системи, тим складніше організувати ефективний інформаційний обмін між операторами, якщо кожен БПЛА управляється вручну.

З'являється необхідність багатооб'єктних автоматизованих системах управління (БОСУ) БПЛА. Призначення таких систем полягає в тому, щоб знизити навантаження на оператора та підвищити продуктивність кожного БПЛА та системи загалом порівняно з ручним управлінням. Зниження навантаження досягається за рахунок делегування завдань на БОСУ, де участь людини не потрібна або менш ефективна. Наприклад, планування маршрутів для візуального спостереження за множинними статичними наземними об'єктами; планування траєкторії польоту з урахуванням певних обмежень апарату; прокладання мінімального шляху з обмеженням на радіус розвороту.

Методологічний аналіз зарубіжних досліджень розвитку безпілотної авіації показує, що ключовими проблемами, які визначають появу та бойове застосування перспективних авіаційних і бойових безпілотної авіаційних систем, є:

1. Здійснення спільного оперативного застосування пілотованих і бойових БПЛА у складі гібридних сил тактичної авіації.
2. Забезпечення безпеки виконання польотів.
3. Наявність бойових БПЛА в зоні польотів цивільної авіації, включаючи повернення та посадку без використання бойового навантаження.
4. Розподіл функцій керування між оператором зовнішнього пункту управління та бортовою системою керування.
5. Забезпечення рівня обізнаності про ситуацію, достатній для прийняття рішень щодо застосування зброї.

Часто на практиці використовується один БПЛА, що, у свою чергу, призводить до неефективності місії, особливо при використанні його на

великих територіях. Ці обмеження пов'язані з тим, що сенсорні системи БПЛА мають обмежену зону дії. Використання кількох незалежних безпілотників підвищує ефективність місії, але в той же час виникають додаткові проблеми, пов'язані з координацією руху при виконанні однієї місії.

Місії з управління групами БПЛА є дуже перспективними, оскільки використання групи БПЛА значно підвищує ефективність місії, а багато завдань значно спрощуються. Великі території можна спостерігати за менший проміжок часу, не пропускаючи важливі деталі, що, ймовірно, може статися при використанні одного дрона. У випадку керування групою безпілотників взаємодія між окремими дронами відбувається таким чином, що їхні рухи повністю узгоджуються з поставленим перед ними завданням.

На нижньому рівні знаходяться завдання на автоматичне планування маршруту та управління дроном. Необхідно розраховувати кількість обладнання, його вид та враховувати тип завдання. Планування маршруту відбувається таким чином, щоб заощадити час і ресурси та уникнути зіткнень між безпілотниками та навколишнім середовищем.

Чим більше об'єктів контролює система, тим складніше буде організувати ефективний обмін інформацією між операторами, якщо кожним дроном керувати вручну. Потрібна багатоцільова система автоматичного керування (БАСУ) БПЛА. Порівняно з ручним керуванням, мета таких систем – зменшити навантаження на оператора та покращити продуктивність кожного дрона та системи в цілому.

Варіанти завдань для використання груп дронів:

1. Планування маршруту для візуального огляду кількох статичних об'єктів.
2. Планування траєкторії польоту з урахуванням обмежень пристрою.
3. Прокладання мінімального шляху, обмеження радіусу повороту.

За допомогою цих систем вирішуються геологорозвідувальні завдання, проводяться пошуково-рятувальні роботи, здійснюється моніторинг ліній електропередач, здійснюється автоматична доставка пошти на місцях. В

основному подібні системи існують у вигляді прототипів і є перспективними.

Класифікація груп БПЛА на основі типів взаємодій між апаратами:

1. Безпосередня фізична взаємодія. В цьому випадку, БПЛА з'єднуються безпосередньо між собою та їх рух обмежений силами, які залежить від руху інших БПЛА. Як приклад можна навести підйом та транспортування вантажів декількома БПЛА. З точки зору планування шляху та уникнення зіткнень всі агенти можуть розглядатися як єдине ціле. Оскільки кількість апаратів у такому випадку зазвичай мала, можуть використовуватись як централізовані, так і децентралізовані системи управління.

2. Формації. Апарати не з'єднані між собою безпосередньо, але їх відносні положення суворо задані задля збереження форми. Планування шляху може розглядатися для формації з кількох БПЛА як єдиного цілого. Запобігання зіткненням між апаратами може бути вбудоване в алгоритми керування формою. Для цього підходу стає актуальною масштабованість і тому кращими стають децентралізовані алгоритми управління.

3. Рої апаратів. Команда з безлічі БПЛА, алгоритми взаємодії між якими забезпечують колективну поведінку. Результируючий рух групи не обов'язково є формацією.

4. Кооперація. БПЛА з групи планують свій рух відповідно до індивідуальних завдань, які мають бути розподілені для виконання місії вищого порядку у ієрархії системи управління. [3]

#### **1.4 Перспективи в розвитку використання БПЛА.**

Дрони стають все більш популярними. Спочатку безпілотні літальні апарати, або БПЛА, широко використовувалися для вирішення військових завдань (розвідки) і служби прогнозування погоди. Моніторинг льоду, моніторинг навколишнього середовища, геофізична та інші види розвідки, картографування, супровід пошуково-рятувальних операцій, охорона кордону – ці завдання безпілотники можуть виконувати цілодобово практично за будь-яких погодних умов без ризику для життя людей.

Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть стати проривом у світі бізнесу. На ринку праці з'явилася нова професія «оператор дрона». Питання про доцільність використання цієї технології більше не обговорюються, а всі експерти працюють над тим, щоб скласти економічні прогнози розвитку цієї технології.

Згідно із складеними прогнозами, до 2025 року комерційне використання дронів створить 100 000 додаткових робочих місць у Сполучених Штатах, а національна економіка зросте в рази. Використання безпілотних технологій допоможе збільшити ВВП країни в кілька разів.

Рівень технологій, досягнутий протягом 2012-2014 рр., дозволяє використовувати безпілотні літальні комплекси для будь-якої діяльності, крім пасажирських перевезень, але в міру розвитку технологічної та законодавчої бази рух у цьому напрямку може мати величезний успіх.

Інтерес до використання дронів зумовлений економічною ефективністю. Використання дронів набагато дешевше, ніж використання супутникових технологій для дистанційного зондування Землі (RDS) і використання пілотованих літальних апаратів в авіаційних операціях.

Можливість запрограмувати дрони на політ уздовж маршруту та зависання над територією, якщо це необхідно, змусила їх зацікавитися використанням дронів з міркувань економічної ефективності.

Використання дронів набагато дешевше, ніж використання супутникових технологій для дистанційного зондування Землі (RDS) і використання пілотованих літальних апаратів в авіаційних операціях. Можливість запрограмувати безпілотники слідувати маршруту та зависати над місцевістю, якщо це необхідно, дозволяє їм це зробити

Одним із найперспективніших напрямків може стати сільське господарство. Безпілотники можна використовувати не тільки для обприскування хімікатами, а й для спостереження за станом посівів. Застосування безпілотної технології в точкових методах землеробства дозволить збільшити врожайність у кілька разів. Так, наприклад, проведені в



Університеті Каліфорнії в Девісі випробування удобрення виноградників за допомогою вертолітного безпілотного літального апарату Yamaha Motor RMAX підтвердили ефективність технології в порівнянні з роботою дуже сучасних моделей тракторів.

Вирішення завдань охорони лісів і гасіння пожеж невіддільні від авіаційного патрулювання. З розвитком безпіотної авіації авіаційні лісозахисні підрозділи отримали новий ефективний засіб, який може економити час, а часом і життя пілотів. Для патрулювання локалізованих територій лісового фонду з метою виявлення лісових пожеж використовуються безпілотники авіаційного та вертолітного типу.

Проведено науково-дослідну роботу з оцінки перспектив використання безпілотних систем для лісового господарства. [5]

Дрони відіграють важливу роль у виконанні наукових і дослідницьких цілей. За допомогою дронів можна отримати інформацію з практично недоступних місць. Наприклад, за допомогою дрона з камерою високої роздільної здатності можна зафіксувати кількість яєць у гнізді лелеки, яке знаходиться на стовпі лінії електропередач і не може бути оглянуто з землі. Надає великого значення використанню дронів для здійснення моніторингу зон розвитку арктичних континентальних шельфів і льодової обстановки.

Безпілотники стали незамінними помічниками в пошуково-рятувальних операціях. Адже за допомогою дронів можна не лише передавати інформацію, а й доставляти вантажі, попереджаючи населення про небезпеку за допомогою активних гучномовців.

БПЛА беруть участь у пошуково-рятувальних операціях поряд з пілотованою авіацією, підвищуючи їх ефективність. Район пошуку може обстежуватись групою безпілотників одночасно. При цьому використовується оптико-електронна система високої роздільної здатності з кількома каналами виведення інформації: тепловізор, відеокамера, інфрачервона камера, мультиспектральна камера. Крім того, за потреби можна використовувати радіолокаційні системи, магнітометри та лідари.

Але зараз дрони найчастіше використовуються для дистанційного зондування Землі (DSS). Передумовою для використання БПЛА як нового фотограмметричного інструменту є недолік двох традиційних методів отримання даних ДЗД за допомогою космічних супутників (космічна зйомка) та пілотованих апаратів (аерофотозйомка). Дані супутникової зйомки дозволяють отримувати зображення з максимальною загальнодоступною роздільною здатністю 0,5 м, що недостатньо для великомасштабного картографування.

Традиційна аерофотозйомка виконується за допомогою пілотованих літальних апаратів і вимагає високої економії обслуговування та дозаправки, що призводить до збільшення витрат на кінцевий продукт.

Підсумовуючи вищесказане, перспективи в розвитку БПЛА продовжуються та охоплюють більшу кількість сфер та отримують нові можливості застосування. Перспектива стосується також і використання нових матеріалів, обладнання, функціоналу.

## **1.5. Висновки**

У першому розділі було розглянуто концепцію дронів: їх обладнання, класифікацію та перспективи розвитку. Також розглянуто методи використання дронів у вигляді системи (групи) дронів.

Виявлено, що основними сферами використання безпілотних літальних апаратів є:

1. Транспортування.
2. Аерофотозйомка.
3. Забезпечення безпеки.
4. Військова сфера.

Охарактеризовано актуальність і переваги різних видів керування безпілотниками. Проаналізовано бортове обладнання БПЛА та основні його елементи.

Розглянуто ефективність використання багатооб'єктної системи

управління та її основних переваг.

Також проведено аналіз перспектив розвитку в сфері БПЛА, їх застосування в різних сферах діяльності та використання нових механізмів для покращення їх функціоналу.

## РОЗДІЛ 2

### КОНЦЕПЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ

#### 2.1. Поняття оптимізації

Оптимізація існує в багатьох аспектах сучасного життя, життя чи науки, економіки чи політики тощо, тому що в основі людської діяльності лежить прагнення досягти найвигідніших результатів за найменших витрат. Пошуки цього найкращого рішення привели до створення спеціального математичного інструментарію. Оскільки промисловий розвиток вимагав дослідження екстремальних задач, основи для перших методів оптимізації у вигляді варіаційних обчислень і чисельних методів були закладені вже в 18 столітті. Однак вони почали використовуватися лише в другій половині 20 століття, коли комп'ютери стали можливими завдяки великій кількості раніше неавтоматизованих обчислювальних робіт. Крім того, у міру збільшення кількості параметрів проблеми та їх взаємозв'язків процес стає складнішим, що робить неможливим рішення без комп'ютера.[4]

Як правило, рішення оптимізаційної задачі складається з наступних етапів:

- Аналізуйте ситуацію та ставте запитання;
- Визначити параметри рішення, які необхідно оптимізувати (тобто параметри, які можна змінити під час вирішення);
- встановлення допустимих областей існування параметрів, тобто обмежень, що накладаються на параметри та їх зв'язки, обмежень на параметри та їх зв'язки, вибір і оцінка впливу зовнішніх факторів, які враховуються в процесі прийняття рішень;

					НАУ 21.09.11.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Виконав.		Назаренко І.В.			РОЗДІЛ 2		Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник		Білак Н.В.						8	54
Реценз.					КОНЦЕПЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА		ФАЕТ – 214М гр		
Н. Контр.		Дивнич М.П.							
Затверд.		Мельник Ю.В.							

- Розрахувати та оцінити отримані рішення за обраними критеріями;
- Остаточне рішення з урахуванням невизначеності та ризику.

Вхідна інформація може бути визначеною та однозначною. Така інформація називається остаточною або визначеною. Вхідна інформація може бути випадковою і відповідати законам теорії ймовірностей. Така інформація називається випадковою. Вхідна інформація може бути невизначеною та не відповідати законам теорії ймовірностей. Цю інформацію називають невизначеною або невизначеною.

## **2.2 Критерій оптимальності**

Характеризуючи об'єкт, складно обрати один критерій оптимізації, який би забезпечив всю повноту потреб. А прагнення до всеосяжного вирішення і призначення великого числа критеріїв сильно ускладнює завдання. Тому в різних завданнях кількість критеріїв може бути різним. Задачу однокритерійної оптимізації (з одним критерієм оптимізації) іноді називають скалярними, а багатокритерійної - векторної оптимізацією. Крім того, кількість параметрів, що характеризують задачу оптимізації, також може бути різним, причому параметри можуть змінюватися безперервно або дискретно (дискретна оптимізація). Важливу роль у виборі оптимального рішення відіграє правильний вибір критерію. У теорії прийняття рішень не знайдено загального методу вибору оптимальних критеріїв. [11] Головним чином керуючись досвідом або порадою. Найбільш вивчена проблема фінансів та економіки, де найчастіше використовується єдиний критерій - найбільший показник ефективності, прибутку або максимальної рентабельності. Застосування лише одного критерію до технічної проблеми (наприклад, максимальний рівень безпеки, мінімальне споживання енергії, мінімальна шкода навколишньому середовищу) призводить до абсурдних результатів, які перевищують прийнятні рішення, тому його часто порівнюють з економічними критеріями (наприклад, найнижча вартість або

найвищий дохід). . Експертні оцінки можуть бути використані для врахування «необчислюваних» критеріїв оптимальності, таких як гуманітарні питання, художні враження, зміни ландшафту (наприклад, максимальна зручність, привабливість).

Тому говорити про об'єктивне єдине вирішення такої проблеми неможливо. Тому до критерію оптимальності висуваються такі вимоги:

- 1) Критерій оптимальності повинен бути виражений кількісно
- 2) Критерій оптимальності повинен бути єдиним
- 3) Критерії оптимальності повинні відображати найважливіші аспекти процесу
- 4) Не завадило б щоб критерії оптимальності мали чіткий фізичний зміст і їх було легко обчислити

Відповідно до вимог щодо гладкості та наявності часткової похідної в цільовій функції її також можна розділити на:

Прямий метод потребує лише обчислення цільової функції в наближеній точці;

Метод першого порядку: необхідно обчислити часткову похідну першого порядку функції, тобто якобіан цільової функції;

Метод другого порядку: необхідно обчислити часткову похідну другого порядку, тобто Гессе цільової функції. Першою була детально вивчена задача лінійного програмування, а саме задача знаходження екстремуму функції за наявності обмежень нерівності. У 1820 р. Ж. Фур'є і 1947 р. Дж. Данціг запропонували метод прямого вибору суміжних вершин у напрямку зростання цільової функції - симплекс-метод, який став основним методом розв'язування задач лінійного програмування.[6]

Причина, чому слово «програмування» з'являється в назві предмету, полягає в тому, що перше вивчення та перше застосування задач лінійної оптимізації було в галузі економіки, тому що в англійській мові слово «програмування» означає планування, складання планів або схем. Природно, цей термін відображає тісний зв'язок, що існує між математичною постановкою задачі та її економічною інтерпретацією (вивченням оптимального економічного планування).

### **2.2.1. Постановка задачі оптимізації**

У найпростішому випадку задача оптимізації полягає в знаходженні екстремуму (мінімум або максимум) ефективної функції шляхом систематичного вибору вхідних значень з дозволеного набору і обчислення значення функції. Подальше узагальнення теорії та методів оптимізації до інших формулювань становить велику область прикладної математики. Загалом, оптимізація передбачає пошук «найкращого можливого» значення деякої цільової функції в межах області, включаючи різні типи цільових функцій і різні типи областей значень. Оскільки оптимізаційна задача є прикладною, то використання створеного математичного інструменту вимагає правильної постановки шуканої задачі, постановки оптимізаційної задачі.

При постановці цього завдання необхідно:

- Наявність об'єктів оптимізації та цілей оптимізації. При цьому формула повинна вимагати тільки один екстремум, тобто системі не слід призначати два або більше критеріїв оптимізації одночасно, оскільки майже завжди екстремум одного критерію не відповідає екстремуму іншого.
- Наявність ресурсів оптимізації, що означає можливість вибору певних значень параметрів об'єкта, що оптимізується. Об'єкт повинен мати певний ступінь свободи - керуючи впливами.
- Можливість кількісної оцінки оптимізованих значень, оскільки тільки в цьому випадку можна порівняти ефекти вибору певних впливів управління.

Процес формулювання задачі оптимізації займає багато часу та вимагає матеріальних витрат для збору та аналізу необхідних вхідних даних і чітких знань у галузі дисципліни математичного моделювання.

### 2.2.2. Моделювання та класифікація задачі оптимізації

Формальний математичні описи задач оптимізації (математичні моделі) включають:

- Цільова функція;
- ліміт;
- Граничні умови.

Цільова функція — це математична нотація критеріїв оптимальності. При вирішенні оптимізаційної задачі шукають екстремум цільової функції, наприклад мінімальних витрат або максимального прибутку. Узагальнена форма запису цільової функції така:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr},$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - шукані змінні, значення яких обчислюються в процесі виконання

завдання.

Існує кілька типів класифікації задач оптимізації. По-перше, за типом аргументу задачу поділяють на дискретну (елементи вектора приймають дискретні або цілі значення) і неперервну (елементи вектора неперервні). Якщо змінна може приймати будь-яке значення, то така змінна називається безперервною. Прикладом постійної змінної є електроенергія, що передається по лініях електропередачі. Якщо змінна може приймати лише цілі значення, змінна називається цілочисельною.[7]

Проблеми також класифікуються за типом цільової функції та розмірами її параметрів. Необмежені задачі, де вектор  $x$  є одновимірним, називаються однозмінними задачами і становлять підклас більш простих, але в той же час



важливих задач оптимізації. Задача умовної оптимізації, в якій функція обмеження є лінійною, називається задачею лінійного обмеження

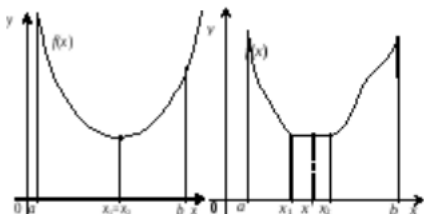


Рис.2.1. Унімодальна та багато-екстремумна функції

### 2.3. Застосування методів оптимізації

Загальні описи задач оптимізації забезпечують широкий спектр категорій. Вибір методу (ефективність його вирішення) залежить від класу задачі. Класифікація проблеми залежить від: цільової функції та допустимої області (заданої системами нерівностей і рівнянь або більш складними алгоритмами). Класифікація методів оптимізації є досить складним завданням, оскільки в основному вони історично розвивалися незалежно один від одного з використанням різних концепцій, математичних інструментів тощо.

Методи оптимізації класифікуються за завданням оптимізації:

- Локальний метод: збігається до деяких локальних екстремумів цільової функції. У випадку унімодальної цільової функції цей екстремум є унікальним і буде глобальним максимумом/мінімумом.

- Глобальний підхід: обробляє мультиекстремальні цільові функції. У глобальному пошуку головним завданням є виявлення тенденцій у глобальній поведінці цільової функції.

Існуючі методи пошуку можна розділити на три категорії:

- метод детермінований;
- метод стохастичний (випадковий);
- метод комбінування.

За критерієм розмірності допустимої множини методи оптимізації поділяються на одновимірні та багатовимірні.

За типом цільової функції та допустимою множиною задачі оптимізації та їх розв'язки можна розділити на такі категорії:

1) Задача оптимізації, в якій цільова функція та обмеження є лінійними функціями, розв'язується так званим методом лінійного програмування;

2) В іншому випадку вирішіть задачу нелінійного програмування та застосуйте відповідний метод. У свою чергу, з них виділяють дві окремі задачі:

а) Якщо цільова функція та обмеження є опуклими функціями, то

Ця задача називається задачею опуклого програмування;

б) якщо допустима множина належить множині цілих чисел, то

Задачі, що стосуються цілочисельного (дискретного) програмування.

Відповідно до вимог щодо гладкості та наявності часткової похідної в цільовій функції її також можна розділити на:

- Прямий метод, який потребує лише обчислення цільової функції в точці апроксимації;

- Метод першого порядку: потрібно обчислити часткову похідну першого порядку функції;

- Метод другого порядку: він потребує обчислення часткової похідної другого порядку, тобто обчислення цільової функції.

Крім того, методи оптимізації поділяються на такі групи:

- Аналітичні методи (наприклад, множники Лагранжа та умовні методи Каруша-Куна-Такер).

## **2.4. Задача про призначення**

Задача, поставлена в першій частині, відноситься до класу задач про призначення, оскільки необхідно оптимально записати елементи множини в другому елементі з урахуванням вартісного критерію.

Завдання призначення можна згрупувати в широку категорію завдань прийняття управлінських рішень. Вона передбачає знаходження розподілу об'єктів однієї з множин через множину об'єктів другої множини, причому цей

розподіл має відповідати оптимальності цільової функції. Задачі призначення є частиною загального класу задач оптимізації. Зокрема, однією з актуальних проблем, пов'язаних з цим класом, є проблема ефективного формування різних потоків (ресурсів). Як приклади можна навести процес побудови періодичних розкладів, що працюють одночасно, завдання оптимізації фіксованих елементів системи, аналіз і порівняння інтеграції основних інформаційних потоків і сервісів, що циркулюють у будь-якій мережі, транспортну логістику та деякі інші.

Проблему розподілу можна описати відповідно до різних прикладних ситуацій. Наприклад, багато агентів і багато завдань. Будь-якому агенту можна призначити виконання будь-якого завдання. Вартість агента, який виконує завдання, залежить від агента, який виконує завдання. Усі завдання потрібно виконувати, призначаючи лише одного агента для кожного завдання, таким чином мінімізуючи загальні витрати.

Задача, представлена в першій частині, відноситься до класу задач про призначення, оскільки необхідно оптимізувати елементи набору записів у другому елементі з урахуванням критерію значення.

Якщо кількість агентів і завдань однакова, а загальна вартість виконання всіх завдань дорівнює сумі витрат на виконання окремих завдань, завдання називається лінійною задачею призначення. Цей варіант задачі є основним і найпростішим. Зазвичай, коли ми говоримо про задачі призначення без додаткових вимог, ми маємо на увазі задачі лінійного призначення.[8]

В інших варіантах питання можуть бути додаткові умови, інші способи розрахунку загальної вартості, а базові умови можуть незначно змінюватися. Наприклад, може бути неоднакова кількість агентів і завдань, нелінійність у визначенні загальної вартості тощо. У цьому випадку мова йшла про загальну проблему розподілу.

Для вирішення задачі лінійного призначення можна використовувати різні підходи. Від загальних методів розв'язування задач лінійного програмування до спеціальних методів розв'язування графових задач. Загалом, спеціальні методи, розроблені спеціально для цього завдання, працюють набагато швидше, оскільки

враховують і використовують специфіку структури завдання. Так, наприклад, угорський алгоритм був одним із перших алгоритмів, розроблених для розв'язання задач лінійного призначення. Час вирішення проблеми пропорційний кількості агентів. Іншими алгоритмами, що використовуються для вирішення цієї проблеми, є адаптивний симплексний алгоритм і алгоритм аукціону.

Завдання призначення можна розділити на широкі категорії завдань управлінського рішення. Він передбачає знаходження розподілу об'єктів однієї з множин через множину об'єктів другої множини, причому цей розподіл має відповідати оптимальності цільової функції. Проблема призначення є частиною загальної задачі оптимізації. Одним із актуальних питань, які стосуються саме цієї категорії, є ефективне формування різноманітних потоків (ресурсів). Приклади включають процес побудови періодичних розкладів, які працюють одночасно, завдання оптимізації фіксованих елементів системи, аналіз і порівняння інтеграції основних інформаційних потоків і послуг, що циркулюють у будь-якій мережі, транспортну логістику тощо.[9]

Для вирішення проблеми збалансованого розподілу можна запропонувати наступний простий алгоритм: на кожному кроці розподілу, починаючи з першого виконавця, вибирається найбільш ефективний (неефективний). Тому, щоб знайти оптимальний розподіл, операція планування розбивається на кілька послідовних кроків. Таким чином, сам процес розподілу роботи між виконавцями стає багатоетапним і послідовно переходить від одного етапу до іншого. Однак цей метод рішення зазвичай не призводить до оптимального рішення. Якщо на першому кроці обрано найефективнішого (найменш ефективного) виконавця, то на останньому кроці алгоритму повинні бути виконані призначення, які можуть негативно вплинути на загальний стандарт.[10]

Тому в якості способу розв'язання задачі призначення рекомендується використовувати математичний інструмент динамічного програмування, який був розроблений для розв'язування певного класу задач, розділяючи їх на відносно менші задачі, одночасно оптимізуючи керування крок за кроком. Найкращий ефект цього етапу разом із уже розглянутими кроками характеризує функція

стану. Принципи динамічного програмування припускають, що вибір управління для кожного кроку повинен враховувати всі його майбутні наслідки. Проте «не дивлячись у майбутнє» можна планувати лише останній крок. Тому після оптимального визначення останнього кроку можна відтворити попередній крок і так далі. Тому процес динамічного програмування розгортається від початку до кінця. Принцип знаходження оптимального продовження процесу щодо досягнутого в даний момент стану називається принципом оптимальності Беллмана.

## 2.5 Угорський алгоритм

Специфіка поставлених завдань зумовила появу ефективних угорських методів їх вирішення. Метод був розроблений і опублікований Гарольдом Куном у 1955 році. Автори назвали його «угорським методом», оскільки алгоритм значною мірою базується на попередніх роботах двох угорських математиків (Кеніга та Егерварі). [13]

Основна ідея угорського методу полягає в перетворенні вихідної квадратної матриці значень до її еквівалентної матриці з цілочисельними елементами та системою незалежних нулів, жодні два з яких не належать ні одному рядку, ні іншому. Якщо клітинки розміщені в матриці розподілу  $X$  так, що в кожному рядку та стовпці є лише одна клітинка, розташована відповідно до незалежних нулів матриці еквівалентності, то ми отримаємо прийнятне рішення проблеми розподілу.

Алгоритм заснований на двох ідеях:

- 1) Якщо всі елементи рядка чи стовпця відняти на одне й те саме число  $a$ , то загальна вартість зменшиться на  $a$ , а оптимальний розв'язок не зміниться;
- 2) Якщо існує рішення без витрат, то воно є оптимальним.

Алгоритм шукає значення для віднімання від усіх елементів у кожному рядку та стовпці (різне для різних рядків і стовпців), щоб усі елементи матриці

залишалися невід'ємними, але з'являлися нульові значення. У матричній інтерпретації алгоритм може бути виражений у формі послідовних кроків одного типу.

Алгоритм угорського методу:

Крок 1. У кожному рядку матриці витрат вам потрібно знайти найменший елемент і відняти його від усіх елементів цього рядка.

Крок 2. У кожному стовпці матриці значень, які не містять нулів, знайдіть найменший елемент і відніміть його з усіх елементів цього стовпця. Ми отримаємо матрицю значень, кожен рядок і стовпець якої містить хоча б один нульовий елемент. Якщо після цього етапу запис неможливий, ми переходимо до наступного кроку.

Крок 3. Намалюйте мінімальну кількість ліній (вертикальних і горизонтальних), щоб покрити всі нулі. Для цього можна використовувати будь-який відомий спосіб.

Крок 4. Знайти найменший елемент, через який не проходить пряма, відняти його від усіх елементів, через які не проходить пряма, і додати до всіх елементів на перетині прямих. Елементи, через які проходить лише одна пряма, повинні залишатися незмінними. Завдяки цій операції в матриці розподілу з'явиться принаймні одне нульове значення. Перевірте, чи можна його призначити. Якщо ви не можете призначити, повторюйте кроки 3 і 4, доки не зможете.

## **2.6. Висновки**

У розділі 2 я розглядаю процедури оптимізації, критерії оптимізації, основні формулювання та математичні форми загальних задач оптимізації, а також різні класифікації та рішення проблем. Розглянуто поняття дискретного програмування та основні види задач дискретного програмування. Завдання побудови оптимального маршруту для групи безпілотників пов'язане з призначенням. Враховуючи простоту математичного інструменту та достатньо високу швидкість вирішення для невеликої кількості БПЛА і пунктів призначення, для вирішення

заданої задачі було обрано угорський метод. Метод простий та відносно швидкий у використанні. Алгоритм проходить в декілька етапів та може використовуватись для збалансованих та не збалансованих задач.

### РОЗДІЛ 3

#### АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА

##### 3.1 Постановка задачі оптимізації

У розділах вище було описані оптимізаційні задачі розподілу цілей між БПЛА за критерієм вартості. У дипломній роботі буде розглянуто критерій найменшої вартості. При використанні цього критерію у прямолінійних маршрутах та для невеликої кількості БПЛА та цілей водночас фактор перетинів зводиться до мінімуму. В той же час при використанні однакової кількості БПЛА та цілей перетини не зустрічаються.

Як зазначалося вище, мінімізація фактору відстані є рішенням транспортної задачі, вхідним параметром якої є матриця вартості виду:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1m} \\ \dots & C_{ij} & \dots \\ C_{n1} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

де  $C_{ij}$  – вартість маршруту  $i$ -го БПЛА до  $j$ -ї цілі,  $r_{ij}$  – фактор відстані від  $i$ -го БПЛА до  $j$ -ї цілі.

У другій частині визначено, що зазначена задача належить до класу транспортних задач лінійного програмування з цілочисельними вихідними даними, тобто задач про присвоєння.

Задача передбачає знаходження розподілу об'єктів однієї з множин через множину об'єктів другої множини, причому цей розподіл повинен відповідати

оптимальності цільової функції. Одним із найвідоміших способів вирішення задачі про розподіл є угорський метод, тому мною був обраний саме він.

оптимальності цільової функції. Одним із найвідоміших способів вирішення задачі про розподіл є угорський метод, тому мною був обраний саме він.				НАУ 21.09.11.000 ПЗ			
Виконав.	Назаренко І.В.			РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Білак Н.В..					8	54
Реценз.					ФАЕТ – 214М гр		
Н. Контр.	Дивнич М.П.						
Затверд.	Мельник Ю.В..						

Для прикладу буде використано два варіанти завдання збалансована та незбалансована. У цьому документі представлено ітераційний підхід, у якому перший дрон вибирає ціль із найменшою вартістю маршруту. Потім розраховується нова матриця вартості, де координати дрона будуть координатами цілі, зайнятої в попередній ітерації. Цілями залишаються лише вільні поля. Далі вирішити задачу на основі нової матриці витрат. І так до тих пір, поки не залишиться «вільних» полів. Тому ми розіб'ємо складну задачу на більш прості підзадачі.[14]

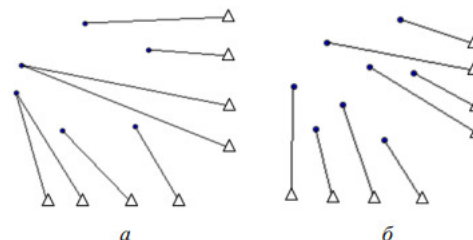
### 3.2. Розподіл цілей між БПЛА з мінімізацією сумарного шляху

Необхідно розподілити  $m$  цілей між  $n$  однотипними БПЛА таким чином, щоб

мінімізувати сумарний шлях. У такій постановці дане завдання є лінійним завданням про призначення. Вхідні дані: початкові координати БПЛА та розташування цілей.

Необхіднокласти  $m \times n$  матрицю вартості, елементами якої є відстані від початкових позицій БПЛА до кожної цілі. Знайти мінімум матриці вартості використовуючи угорський алгоритм. Залежно від кількості БПЛА та цілей можна виділити два випадки: а)  $m \leq n$ ; б)  $m > n$ , т. е. цілей більше, ніж БПЛА.

На рис. 3.1. наведено вирішення цієї проблеми методом потенціалів для випадку  $m \leq n$ .



### 3.3. Задача з однаковою кількістю БПЛА та цілей

Необхідно задати вихідні умови розв'язання задачі. Розглядаючи статичний однорідний БПЛА, тобто в точці призначення дрон не виконує додаткових рухів,

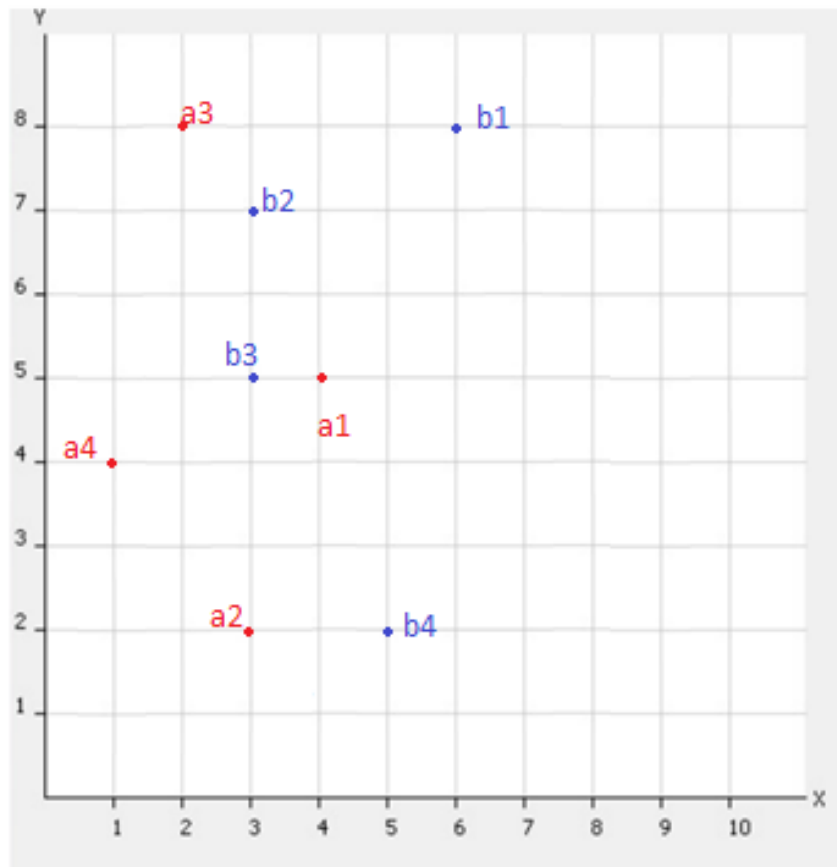


тобто не рухається, кожен дрон може рухатися до кожної цілі, оскільки він виконує ту саму функцію.

Давайте встановимо вихідні дані наступним чином: з 4 БПЛА та 4 цілями на координатній площині ОХУ необхідно розрахувати оптимальний розподіл 4 цілей між 4 БПЛА, за мінімальним фактором відстані. Вказано початкові координати дронів та цілі у табл. 3.1., зображено на рис. 3.2.

Координати БПЛА			Координати цілей		
	x	y		x	y
a1	4	5	b1	6	8
a2	3	2	b2	3	7
a3	2	8	b3	3	5
a4	1	4	b4	5	2

Таблиця 3.1. Вихідні дані тестової задачі



### 3.2 Початкові координати БПЛА та цілей

Щоб застосувати угорський метод, розрахуйте матрицю витрат 3.1. Елементами цієї матриці є вартість маршруту, враховуючи обраний фактор оптимізації, вартість маршруту – його довжина. Довжина маршруту БПЛА – це відстань між кожною точкою БПЛА та відповідною ціллю БПЛА:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (3.2)$$

де  $x_i, y_i$  – координати і-го БПЛА, а  $x_j, y_j$  – координати і-ї цілі.

Припустимо, що в літаку є  $m$  різних цілей і  $n$  різних безпілотників, кожен безпілотник може досягти будь-якої цілі. Необхідно розподілити безпілотники по цілях, щоб загальна дальність до них була мінімізована і кожна ціль була досягнута.

Для розуміння представимо матрицю вартостей:

i/j	1	2	3	4
1	3, 61	2, 24	1, 00	3, 16
2	6, 71	5, 00	3, 00	2, 00
3	4, 00	1, 41	3, 16	6, 71
4	6, 40	3, 61	2, 24	4, 47

### Крок 1

У кожному рядку матриці необхідно знайти мінімальний елемент і відняти його від усіх елементів ряду(для зручності комірки в яких наведено мінімальне значення що віднімається помічено жовтим кольором):

2, 61	1, 24	0	2, 16	- 1
4, 71	3	1	0	- 2
2, 59	0	1, 75	5, 3	- 1.41
4, 16	1, 37	0	2, 23	2. 24

Після чого така сама операція проводиться зі стовчиками:

0,	1,	0	2,
----	----	---	----

02	24		16
2, 12			
	3	1	0
0	0	75	1, 5, 3
1, 57	1, 37		2, 23
- 2,59			
	0	0	0

Розв'язок положень нульових елементів у матриці не утворює систему з 4 окремих нулів (усього в матриці лише 3), тобто їх розв'язки неприйнятні. Тому проводимо модифікацію матриці.

Викреслюємо рядки та стовпці з можливо великою кількістю нульових елементів:

Рядок-3, стовпець-3, рядок-2

Отримуємо скорочену матрицю (елементи виділено блакитним):

0, 02	1, 24		2, 16
2, 12			
	3	1	0
0	0	75	1, 5, 3
1, 57	1, 37		2, 23

Мінімальний елемент скороченої матриці ( $\min(0.02, 1.24, 2.16, 1.57, 1.37, 2.23) = 0.02$ ) віднімаємо з усіх її елементів:

0	22	1, 0	2, 14
2, 12	3	1	0
0	0	75	1, 5, 3
1, 55	1, 35	0	2, 21

Потім додаємо мінімальний елемент з елементами, розташованими на перетинах викреслених рядків та стовпців:

0	22	1, 0	2, 14
2, 12	3	1	0
0	0	77	1, 5, 3
1, 55	1, 35	0	2, 21

Крок 2

Проводимо пошук допустимого рішення, котрим всі призначення мають нульову вартість:

Фіксуємо нульове значення у клітині (1, 1). Інші нулі у рядку 1 та стовпці 1 викреслюємо. Для цієї клітини викреслюємо нулі у клітинах (3; 1), (1; 3).

Фіксуємо нульове значення у клітині (2, 4). Інші нулі у рядку 2 та стовпці 4 викреслюємо.

Фіксуємо нульове значення у клітині (3, 2). Інші нулі у рядку 3 та стовпці 2 викреслюємо.

Фіксуємо нульове значення у клітині (4, 3). Інші нулі у рядку 4 та стовпці 3 викреслюємо.

Кількість знайдених нулів – 4.

Отримуємо матрицю виду:

0	22	1, 0	2, 14
2, 12	3	1	0
0	0	77 1, 3	5, 3
1, 55	1, 35	0	2, 21

Розрахуємо сумарну мінімальну відстань:

$$S = 3.61 + 2 + 1.41 + 2.24 = 9.26$$

Відповідний шлях буде такого виду:

Б	
ПЛА	ІЛЬ
а	

1	>	1
a		
2	>	4
a		
3	>	2
a		
4	>	3

Рішення у вигляді траекторій польоту груп БПЛА рис. 3.3.

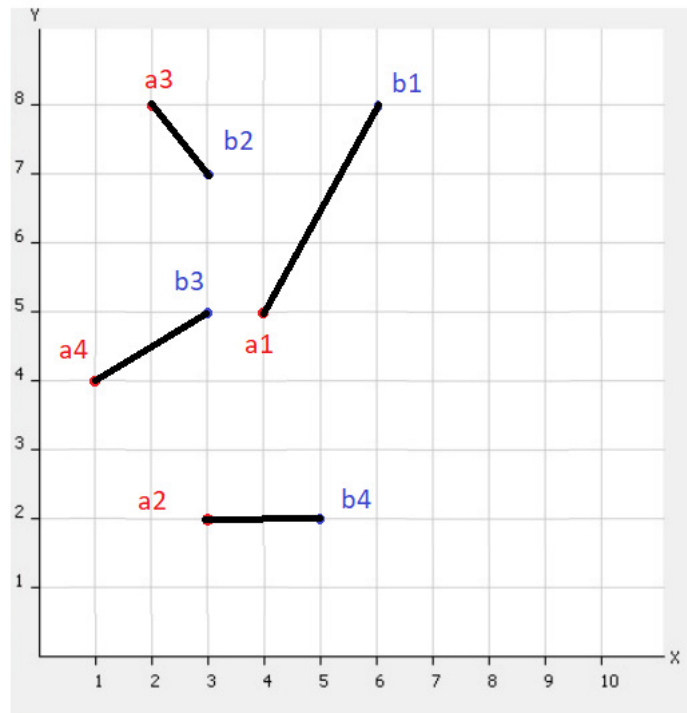


Рис.3.3 Розв'язок тестової задачі у графічному виді

### 3.4. Задача за умови кількості цілей більшої за БПЛА

Встановимо вихідні дані наступним чином: з 4 БПЛА та 6 цілями на координатній площині ОХУ необхідно розрахувати оптимальний розподіл 6 цілей між 4 БПЛА, за мінімальним фактором відстані. Вказано початкові координати дронів та цілі у табл. 3.2., зображено на рис. 3.4.

Координати	Координати
------------	------------

БПЛА			цілей		
1	a		1	b	
2	a		2	b	
3	a		3	b	
4	a		4	b	
			5	b	
			6	b	

Таблиця 3.2. Вихідні дані тестової задачі



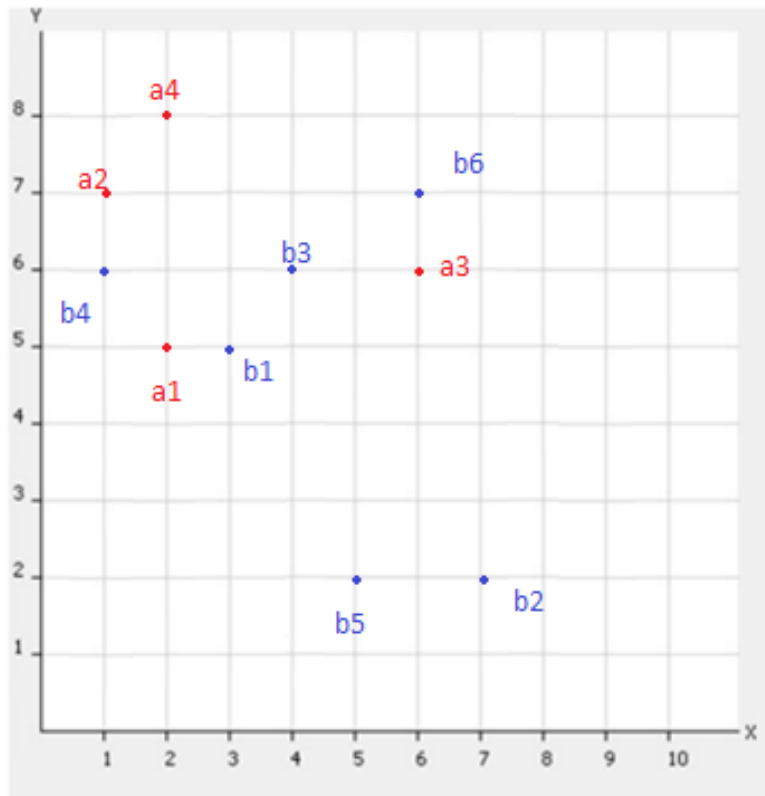


Рис. 3.4. Початкові координати БПЛА та цілей

Представимо матрицю вартостей:

i/j	1	2	3	4	5	6
1	1,00	5,83	2,24	1,41	4,24	4,47
2	2,83	7,81	3,16	1,00	6,40	5,00
3	3,16	4,12	2,00	5,00	4,12	1,00
4	3,16	7,81	2,83	2,24	6,71	4,12

### Крок 1

Оскільки кількість цілей перевищує кількість безпілотників, місія є незбалансованою. Щоб усунути дисбаланс, збалансована форма досягається шляхом введення уявного виконавця (у нашому випадку дрон, нульове значення)

У кожному рядку матриці знаходимо мінімальний елемент і віднімаємо його від усіх елементів ряду(для зручності комірки в яких наведено мінімальне значення що віднімається помічено жовтим кольором):

0,00	4,83	1,24	0,41	3,24	3,47	1
1,83	6,81	2,16	0,00	5,40	4,00	1
2,16	3,12	1,00	4,00	3,12	0,00	1
0,92	5,57	0,59	0,00	4,47	1,88	2,24
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Далі ми шукаємо прийнятне рішення з нульовою вартістю для всіх завдань.

Фіксуємо нульове значення в комірці (1, 1). Інші нулі в рядку 1 і стовпці 1 закреслені. Для цієї клітинки викреслюємо нулі в клітинках (5; 1), (6; 1)

Фіксуємо нульове значення в комірці (2, 4). Інші нулі в рядку 2 і графі 4 закреслені. Для цієї клітинки викреслюємо нулі в клітинках (4; 4), (5; 4), (6; 4)

Фіксуємо нульове значення в комірці (3, 6). Ми викреслили інші нулі в рядку 3 і стовпці 6. Для цієї клітинки викреслюємо нулі в клітинках (5; 6), (6; 6)м

,00	,83	,24	,41	,24	,47
,83	,81	,16	,00	,40	,00
,16	,12	,00	,00	,12	,00
,92	,57	,59	,00	,47	,88

Оскільки розташування нульових елементів у матриці не дозволяє утворити систему з 6 незалежних нулів (в матриці їх тільки 3), то рішення неприпустиме.

## Крок 2

Викреслюємо рядки та стовпці з можливо великою кількістю нульових елементів:

рядок 5, рядок 6, стовпець 4, стовпець 1, рядок 3

Отримуємо скорочену матрицю (елементи виділено):

,00	,83	,24	,41	,24	,47
,83	,81	,16	,00	,40	,00
,16	,12	,00	,00	,12	,00
,92	,57	,59	,00	,47	,88

Вирахуємо мінімальний елемент утвореної матриці:  
 $(\min(4.83, 1.24, 3.24, 3.47, 6.81, 2.16, 5.4, 4, 5.57, 0.59, 4.47, 1.88) = 0.59)$  віднімаємо з усіх її елементів:

,00	,24	.65	,41	.65	.88
,83	.22	.57	,00	.81	.41

,16	,12	,00	,00	,12	,00
,92	.98		,00	.88	.29

Потім додаємо мінімальний елемент до елементів, розташованими на перетинах викреслених рядків та стовпців:

,00	,24	.65	,41	.65	.88
,83	.22	.57	,00	.81	.41
.75	,12	,00	.59	,12	,00
,92	.98		,00	.88	.29
.59			.59		
.59			.59		

Крок

Проводимо пошук допустимого рішення:

Фіксуємо нульове значення у клітині (1, 1). Інші нулі у рядку 1 та стовпці 1 викреслюємо.

Фіксуємо нульове значення у клітині (2, 4). Інші нулі у рядку 2 та стовпці 4 викреслюємо. Для цієї клітини викреслюємо нулі у клітинах (4; 4)

Фіксуємо нульове значення у клітині (3, 6). Інші нулі у рядку 3 та стовпці 6 викреслюємо. Для цієї клітини викреслюємо нулі у клітинах (5; 6), (6; 6)

Фіксуємо нульове значення у клітині (4, 3). Інші нулі у рядку 4 та стовпці 3 викреслюємо. Для цієї клітини викреслюємо нулі у клітинах (5; 3), (6; 3)

Фіксуємо нульове значення у клітині (5, 2). Інші нулі у рядку 5 та стовпці 2 викреслюємо. Для цієї клітини викреслюємо нулі у клітинах (6; 2), (5; 5).

Фіксуємо нульове значення у клітині (6, 5). Інші нулі у рядку 6 та стовпці 5 викреслюємо.

Отримуємо матрицю :

,00	,24	.65	,41	.65	.88
,83	.22	.57	,00	.81	.41
,75	,12	,00	,59	,12	,00
,92	.98		,00	.88	.29
,59			,59		
,59			,59		

Розрахуємо сумарну мінімальну відстань:

$$S1 = 1.00 + 1.00 + 1.00 + 2.83 = 5.83$$

БПЛА	ЦІЛЬ
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Так як 4 та 5-ті БПЛА – уявні, то ціль під номером 2 та 5 – будуть опрацьовані наступним кроком

#### Крок 4

Враховуючи те що ми виявили найменші відстані для перших чотирьох БПЛА, в нас залишається питання найвигіднішого маршруту до 2 та 5 цілі, так як новими початковими точками БПЛА ми маємо координати відповідних цілей зробимо таблицю нових координат:

Координати БПЛА		Координати цілей		
1	a	1	b	
2	a	2	b	
3	a			
	a			

4					
---	--	--	--	--	--

Розрахуємо нову матрицю вартостей:

00	5,	61	3,
21	7,	66	5,
10	5,	10	5,
00	5,	12	4,

Для цієї матриці застосуємо 1,2,3 крок, після чого нулі в матриці будуть призначенням для БПЛА, відповідно той БПЛА полетить до своєї цілі, що буде найвигіднішою.

00	5,	61	3,	0	0
21	7,	66	5,	0	0
10	5,	10	5,	0	0
00	5,	12	4,	0	0

Після виконання всіх кроків отримаємо з нулями в кожній цілі, а саме

--	--	--	--	--

	,21	,05		
	,1	,49		
		,51		

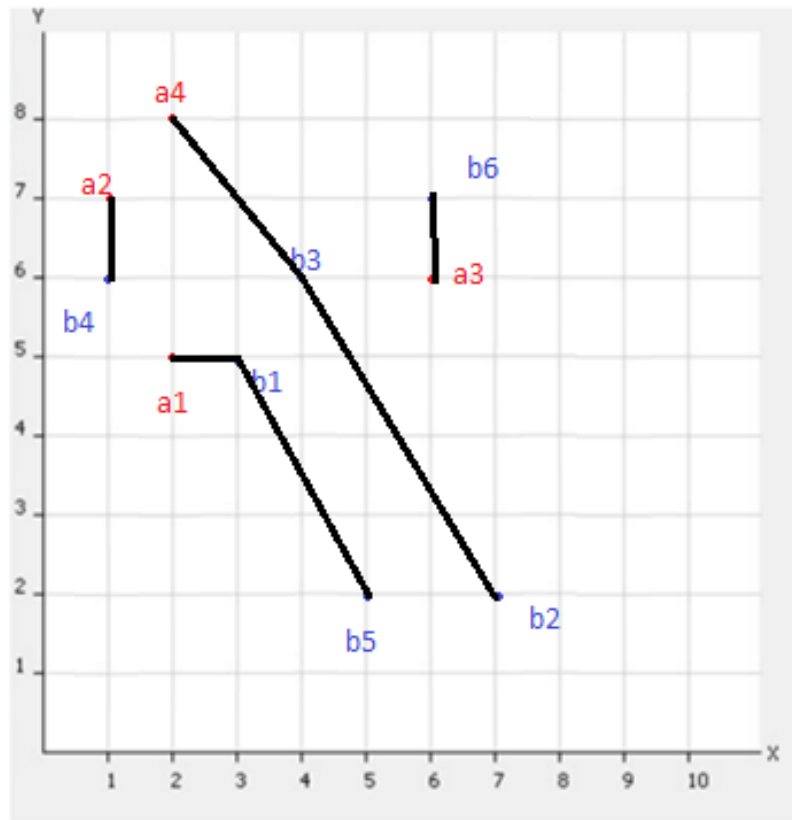
Так як 3 і 4 цілі уявні, маємо: 1 БПЛА летить до цілі 2, 4 БПЛА летить до цілі 1  
 Розрахуємо довжину отриманого маршруту  $s_2 = 3.61 + 5.00 = 8.61$

Представимо залежність усього маршруту:

1	>	1	>	5
2	>	4		
3	>	6		
4	>	3	>	2

На Рис.3.5. зобразимо маршрут усього польоту БПЛА до цілей





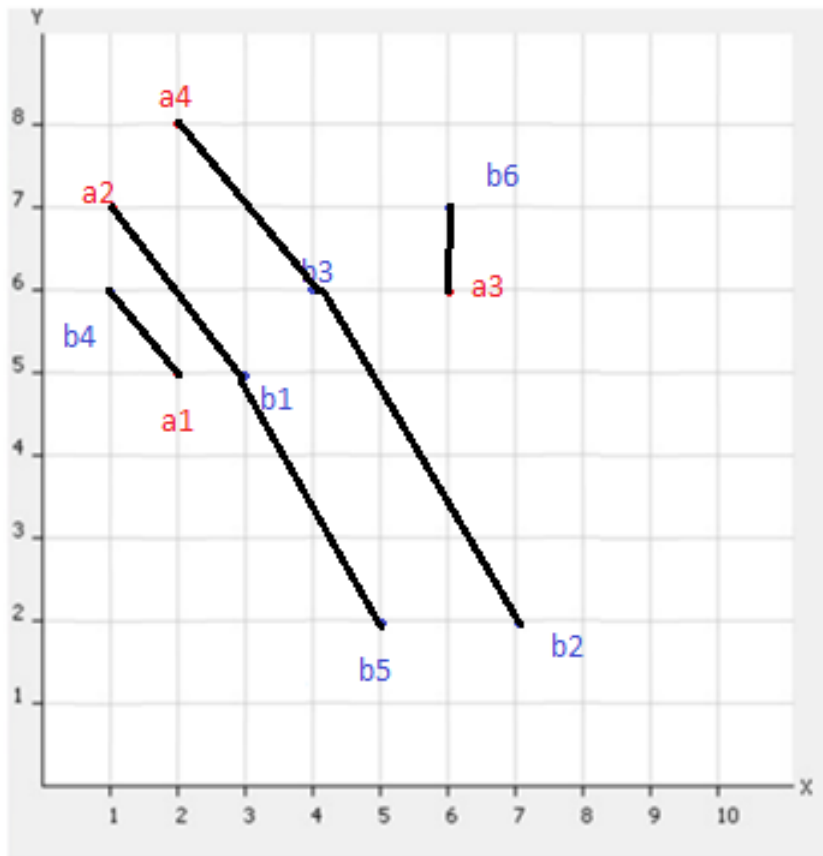
### 3.5.Графічне зображення усього маршруту

Довжина усього маршруту:

$$S=s_1+s_2 = 5.83+8.61=14.44$$

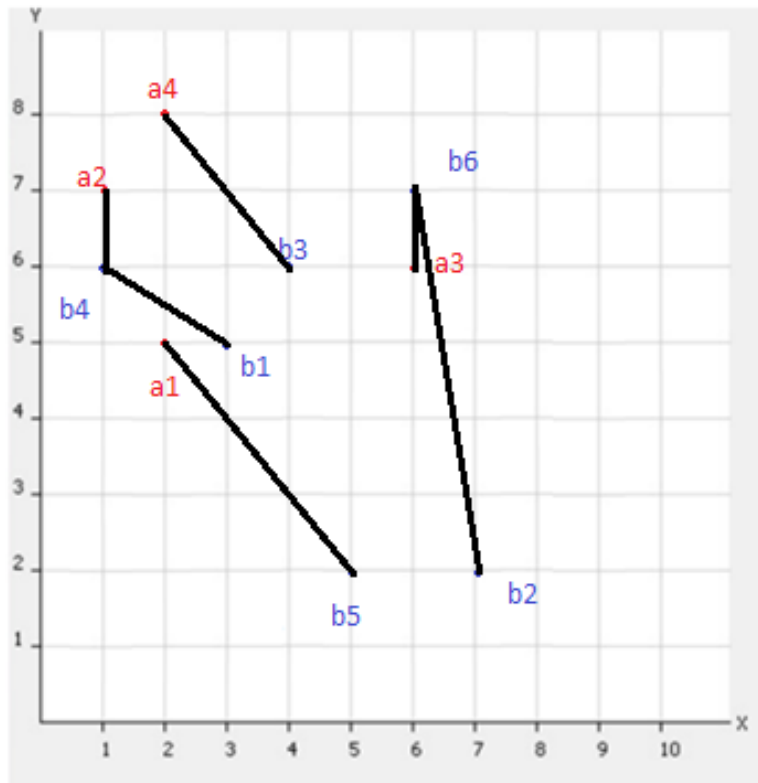
Задля доведення переваг виконання Угорського алгоритму розглянемо альтернативні вирішення задачі з розрахунками відстані усього маршруту:

Варіант 1:



3.6. Графічне зображення варіанта 1

$$S = 1.4 + 2.8 + 2.8 + 1 + 3.6 + 5 = 16.6$$



Варіант 2:

### 3.7. Графічне зображення варіанта 2

$$S=1+1+2.2+2.8+5.1+4.2=16.3$$

$$14.4 < 16.3 < 16.6$$

Важливо зазначити що альтернативні розв'язки також не мають перетинів, проте сумарний шлях який пройшли дрони є більшим за значення яке отримане за допомогою Угорського метода.

Було використано два варіанти розв'язку задачі, за різних умов. За умови однакової кількості БПЛА та цілей, та коли кількість цілей більша за кількість БПЛА

### **3.5 Покрокове виконання оптимізаційної транспортної задачі**

Орієнтуючись на кроки приведені в розділах 3.2 робимо умовну блок-схему алгоритм.

При побудові алгоритму враховуються різні вихідні дані: у випадку різної кількості дронів і цілей, введенням віртуальних дронів розрахована незбалансована матриця значень змінюється на збалансовані значення.

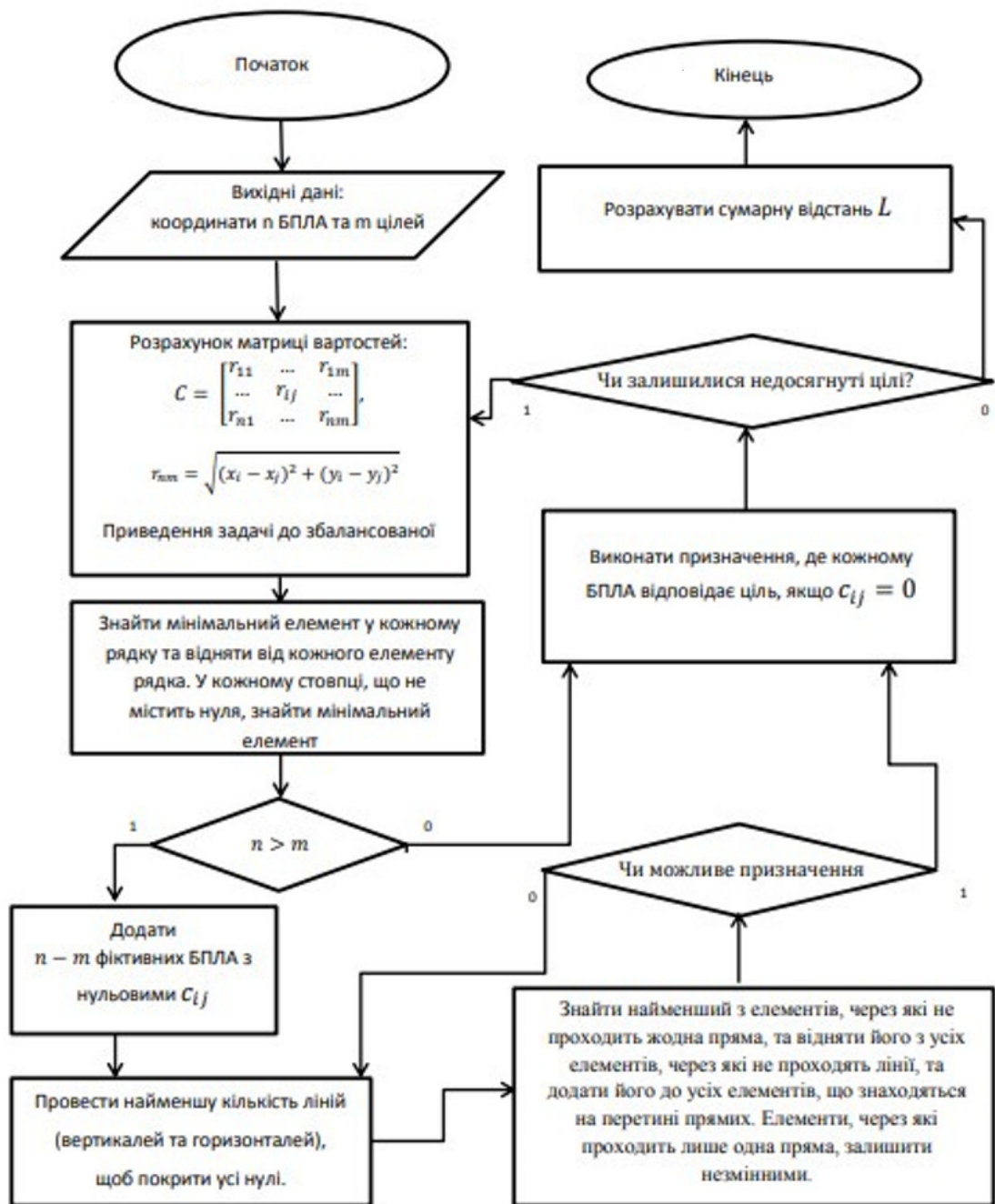


Рис.3.8-.Блок-схема виконання угорського методу

### 3.6. Висновки

У розділі 3 була вирішена задача оптимального розподілу цілей у наборі БПЛА на основі фактора відстані, тобто на основі угорського методу, і розробив загальний алгоритм(блок-схему) для мінімізації загальної відстані руху БПЛА. Цей фактор вибрано як мінімізоване одночасне рішення з урахуванням інших факторів, а саме перетинів і ресурсів. Для розробки алгоритму була поставлена задача з використанням конкретних вихідних даних з координат 4

цілей і 4 однорідних БПЛА. Частково вибір завдання зумовлений також врахуванням поведінки угорського алгоритму, коли кількість дронів менша за кількість цілей. У результаті виходить загальна дальність руху БПЛА та карта траєкторії БПЛА на ціль. Для демонстрації оптимальності отриманого рішення розглядаються альтернативні рішення без певного алгоритму. Результати показують, що загальна отримана відстань більша, ніж отримана при застосуванні розробленого алгоритму. Алгоритм дозволяє оптимізувати будь-яку кількість розподілів цілей з будь-якою кількістю БПЛА.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 4.1. Аналіз впливу БПЛА на навколишнє середовище

Одним із найактивніших джерел забруднення повітря є транспорт. Хоча сьогодні авіація значно (орієнтовно в 15 разів) поступається автомобільному транспорту за кількістю забруднюючих речовин, що викидаються в повітря, вона щодня впливає на екологію верхньої та нижньої стратосфери. На відміну від інших видів транспорту, авіація долає великі відстані та впливає на якість повітря на місцевому, регіональному та глобальному рівнях. При цьому вплив авіації на атмосферу можна розділити на два аспекти: акустичний і хімічний.

Використання дронів під час польотних перевірок із налаштуваннями системи посадки та навігації зменшує вплив на навколишнє середовище, оскільки дрони працюють від батарейок. Пілотований літак, який традиційно використовується для тестування обладнання, споживає близько 270 кілограмів пального за годину польоту.

Ефективність БПЛА залежить від таких параметрів, як маневреність літака, мінімальний час, необхідний для підготовки та запуску літака.

Подібні особливості дозволять своєчасно вирішувати завдання виконання контрольних функцій у сфері раціонального природокористування та збереження природних ресурсів, а саме:

- дослідження радіаційної обстановки та контролю промислової безпеки;
- контроль концентрації забруднюючих речовин у компонентах природного середовища;

					НАУ 21.09.11.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав.		Назаренко І.В.			РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА	Літ.	Аркуш	Аркуші
Керівник		Білак Н.В.					8	54
Реценз.						ФАЕТ – 214М гр		
Н. Контр.		Дивнич М.П.						
Затверд.		Мельник Ю.В.						

- контроль за станом земель лісового фонду, особливо охоронних природних територій;
- Пошук та виявлення несанкціонованого розміщення відходів виробництва та споживання;
- Моніторинг лісових пожеж та надзвичайних ситуацій у лісовому фонді та на землях заповідної території;
- Антикризове управління та оцінка майнових збитків третіх осіб під час паводків;
- спостерігати та контролювати об'єкти тваринного світу, ідентифікувати та рахувати особин;
- Протидіяти несанкціонованому вилученню водних живих ресурсів та об'єктів тваринного світу. [21]

Використання дронів має економічні переваги порівняно з пілотованими літальними апаратами в умовах зростання цін на авіаційне паливо та надання послуг з виконання аеронавігаційних робіт та їх обслуговування.

Використання систем екологічного моніторингу дозволяє отримувати дані про стан навколишнього середовища на основі комплексних спостережень, з можливістю оцінки всіх процесів і явищ, що відбуваються, і, можливо, прогнозування змін [22]. Одним із перспективних напрямків удосконалення систем моніторингу навколишнього середовища є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які здатні оперативно отримувати дані про стан навколишнього середовища та своєчасно реагувати на те, що відбувається відхилення параметрів[23].

Безпілотники можуть виявляти ерозію, стежити за зміною стану рослинності, шукати несправності в інфраструктурі гірничодобувних підприємств, які можуть становити загрозу навколишньому середовищу, і вони зможуть це зробити набагато простіше та швидше, ніж без жодних технічних

засобів чи людини. Допомога з керуванням літаком. У деяких країнах дрони використовують для контролю навколишнього середовища (спостереження). У рамках боротьби із забрудненням повітря влада Китаю почала використовувати дрони для спостереження за незаконними викидами з кар'єрів у нічний час. [24]

Сьогодні БПЛА рекомендовані для екологічного моніторингу поводження з небезпечними об'єктами. Активний розвиток безпілотних літальних апаратів для вирішення екологічних і природокористувальних завдань зумовлений їх багатьма важливими перевагами. Це, насамперед, переваги БПЛА перед пілотованими літальними апаратами, мобільними та стаціонарними наземними екологічними комплексами, відносно низька вартість, низькі експлуатаційні витрати, великий час польоту та економічність. Використання дронів виводить екологічний моніторинг на новий рівень.

У лісовому секторі квадрокоптери допомагають класифікувати та підраховувати лісові насадження, оцінювати рівень ерозії ґрунту, виявляти існуючі проблеми, такі як хвороби дерев та комахи-шкідники, а головне – вчасно повідомляти про пожежі. Лісові пожежі, від яких щорічно гинуть тисячі гектарів лісу, є однією з найсерйозніших проблем сучасності.

За допомогою дронів, які передають інформацію в режимі реального часу, навіть невеликі пожежі можна вчасно виявити та швидко ліквідувати, зберігаючи «легені землі». Безпілотники також допомагають точно оцінити масштаби вирубки лісів за допомогою аерофотознімків і відео з високою роздільною здатністю.

У нафтовій і газовій промисловості безпілотники допомагають контролювати та оцінювати умови навколишнього середовища в зонах виробництва та транспортування, повідомляючи про пошкодження трубопроводів, розливи нафти та розливи.

#### **4.2. Основні джерела впливу та їх вплив на людину та її середовище**

Головна перевага дронів полягає в тому, що на борту нікого немає, тому, незалежно від складності та небезпеки місії дрона, життя співробітників нічого не



загрожує. Безпілотники здатні працювати в зонах радіаційного та хімічного забруднення. Йому не потрібна складна система життєзабезпечення екіпажу. У кризовій ситуації безпілотниками можна пожертвувати будь-коли, особливо коли їхнє виробництво переходить у виробництво.[27]

Аналітики вважають, що оскільки дрони використовуються в комерційних цілях, то й небезпека, яку вони несуть, зростатиме. Хакери можуть використовувати дрони для здійснення терактів.

Комерціалізація дронів може призвести до зростання загроз безпеці населення планети. Таку думку висловили аналітики дослідницької компанії ЮActive. Вони наполягають на тому, що широке використання дронів компаніями створює багато небачених ризиків.

Психологічний вплив дронів на людей викликає стурбованість МКЧХ та інших гуманітарних організацій. Наскільки стресовий дрон? Як їх подальша присутність у регіоні впливає на психічне здоров'я людей, які там живуть? На жаль, інформація з перших рук не завжди доступна, особливо коли використання дронів з міркувань безпеки ускладнює проведення детальних незалежних досліджень наслідків використання дронів. Проте експерти працюють над тим, щоб оцінити наслідки їх використання та визначити, чи порушує воно міжнародне гуманітарне право, як і використання будь-яких інших типів технологій. Там, де вони можуть зібрати інформацію, вони намагаються обговорити це та інші гуманітарні питання на двосторонній основі з відповідними органами.

Європейське агентство авіаційної безпеки працює над регулюванням використання безпілотників у спільному європейському просторі. Крім того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів безпілотників, включаючи безпечну інтеграцію малих і великих безпілотників у повітряний простір і аеропорти. Хоча Україна не є членом організації, вона зобов'язана забезпечувати безпечні умови для цивільної авіації в рамках міжнародного повітряного простору. Крім того, як майбутній член спільного європейського

неба, Україна повинна розробити нове законодавство, яке б відповідало європейським стандартам.

#### **4.3. Поради щодо зменшення негативних факторів**

У 2018 році Національна авіаційна служба України запровадила тимчасовий порядок використання повітряного простору України. Для всіх дронів вагою до 2 кг введено наступні обмеження:

- можна літати тільки вдень;
- Польоти не виконуються над дорогами державного значення (міжнародного, національного, обласного, обласного значення), центральними вулицями міст, селищ і сіл, залізницями державного та обласного значення, над і вздовж ліній електропередач, продуктопроводів. Але перетинати їх дозволено.
- Заборона польотів над промисловими зонами, електростанціями, вокзалами, морськими портами, сховищами палива, нафти, газу, інших небезпечних речовин і рідин, місцями аварій, катастроф, виправними установами, слідчими ізоляторами, але для керівництва такими місцями утримання. центри, ізолятори За винятком рейсів в інтересах відомства;
- польоти не здійснюються в межах зон поліції/спецоперацій, зон, призначених для забезпечення безпеки персоналу, що охороняється державою;
- політ здійснюється в межах прямої видимості, але не далі 500 м від пілота;
- максимальна висота польоту не вище 50 м над поверхнею землі (води);
- Не далі 30 м від іншої людини, не більше 50 м від натовпу до 12 осіб і не більше 150 м від натовпу більше 12 осіб.

З точки зору зменшення викидів парникових газів в атмосферу, використання квадрокоптерів для доставки невеликих вантажів набагато вигідніше — вони мають набагато менший «вуглецевий слід», ніж звичайні вантажівки. Загальна вага вантажу однакова. Однак для великих дронів і великих

вантажів стійкість доставки залежить від джерела електроенергії в даній місцевості.

Щоб вивчити екологічність використання різних багатороторних транспортних засобів для доставки вантажів на короткі відстані, вчені під керівництвом Джошуа Столароффа з Ліверморської національної лабораторії розрахували витрати на енергію, необхідні для доставки вантажів безпілотниками, оцінили викиди парникових газів і порівняли ці показники з аналогічними значеннями для традиційних наземних методів доставки. У рамках дослідження автори розглянули дві найпоширеніші конфігурації дронів: невеликі квадрокоптери, які використовуються для доставки вантажів вагою понад 500 грамів, і значні октокоптери, які використовуються для доставки важких предметів вагою до 8 кг.

Екологічність мультироторного вантажного транспорту оцінювали за методом розрахунку вуглекислого газу – кількості вуглекислого газу, який утворюється під час виробництва та споживається дроном на різних етапах транспортування та який необхідно забезпечити для його роботи. Автори зазначають, що такі розрахунки повинні враховувати вид енергії, що використовується в регіоні. Якщо енергія надходить з відновлюваних джерел (особливо від сонячних або вітряних електростанцій), кількість виробленого вуглекислого газу набагато нижча, ніж якщо енергія була отримана шляхом спалювання вугілля тощо.[29]

Використання невеликого квадрокоптера для доставки легких пакетів у будь-якому випадку виявилось більш екологічним, ніж традиційна наземна доставка, наприклад, за допомогою вантажівок. Водночас, однак, дослідники відзначили, що наявні на даний момент батареї квадрокоптерів можуть транспортувати вантаж на відстань до 4 кілометрів.

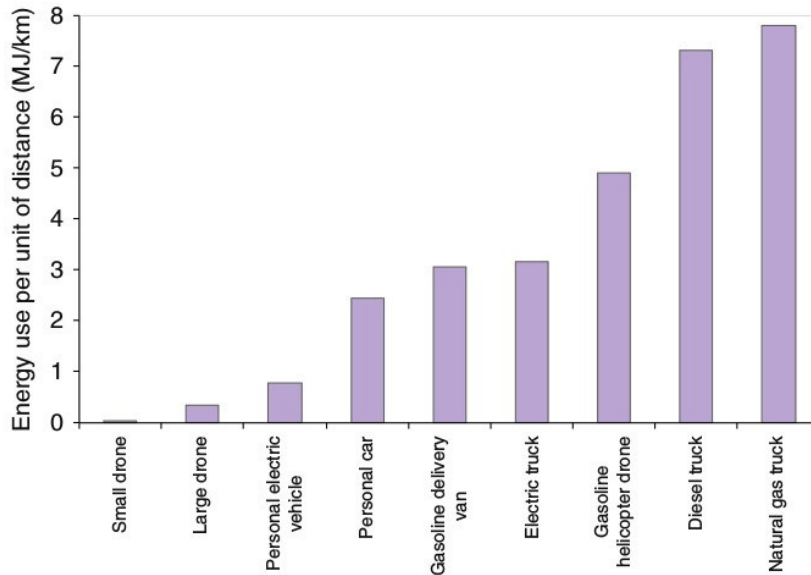


Рис. 4.1. Енергія, яка використовується різними транспортними засобами для транспортування одного вантажу (на кілометр шляху)

Для потужніших октокоптерів і більших навантажень приріст викидів не такий помітний. Наприклад, якщо постачальник дронів працює в регіоні, де основним джерелом електроенергії є викопні ресурси, дрон вироблятиме на 50% більше вуглекислого газу, ніж вантажівка, якщо транспортуватиме вантаж такої ж ваги на однакову відстань. Мультиротори вже мають перевагу, якщо вони використовують відновлювану енергію для своєї енергії, але розрив становить лише 9 відсотків.[15]

Автори дослідження відзначають, що наразі більшість людей дещо скептично ставляться до використання дронів для доставки товарів. Тому необхідно провести оцінку енергоефективності та екологічної безпеки цього виду транспорту. Отримані дані показують, що за правильного підходу доставка кількома гелікоптерами може значно збільшити прибутки з меншою шкодою, ніж традиційні методи.

Наразі експерти виділяють кілька негативних наслідків використання дронів. Викликає певні питання безпека автономних дронів, а точніше, можливість невдалого падіння дрона на землю. З цією метою вони розглядають можливість створення інтелектуальної системи управління повітряним рухом, яка

допоможе уникнути подібних ситуацій і в разі несправності забезпечить посадку обладнання до того, як його двигун відмовить. Така система могла б дуже просто діагностувати несправний двигун дрона та відправляти його на місце посадки далеко від житлових районів. Людський фактор не можна виключати. Відомо, що хтось збив дрон сусіда, який залетів на територію їхньої власності. Цей інцидент змусив нас задуматися не лише про концепцію меж приватної власності в контексті розвитку безпілотної авіації, а й про безпеку, яку може становити падіння уламків.

#### **4.4 Висновки**

Потреба у використанні дронів зростає з кожним місяцем. Дві головні переваги — відсутність людей у літаку, що виключає загрозу життю, та екологічність порівняно з літаками. Одним із сучасних напрямків розвитку є розробка дронів на сонячних батареях. Метою дослідження є скорочення викидів вуглецю, як описано в пункті 4.3. Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) рекомендовані для екологічного моніторингу поводження з небезпечними об'єктами. Активний розвиток безпілотних літальних апаратів для вирішення екологічних і природокористувальних завдань зумовлений їх багатьма важливими перевагами. Це, насамперед, переваги БПЛА перед пілотованими літальними апаратами, мобільними та стаціонарними наземними екологічними комплексами, відносно низька вартість, низькі експлуатаційні витрати, великий час польоту та економічність.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 5.1 Вступ

Сучасні розробки в виробничих технологіях і сучасні технології передбачають постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. Фактичне виробництво характеризується наявністю технологічних або інших шкідливих чи небезпечних виробничих факторів. Удосконалення охорони праці на виробництві завжди вимагає значних матеріальних витрат і практичного впровадження результатів наукової роботи в галузі охорони праці.

У дипломному проекті здійснюється оптимальний розподіл цілей по групі БПЛА за умови мінімізації вартості маршруту.

Робочим місцем оператора (зовнішнього пілота), що використовується для керування БПЛА, є командний пункт БПЛА (дистанційний пілотний пункт), який складається з комп'ютерних систем.

#### 5.2. Аналіз умов праці

Аналіз умов праці на обраному робочому місці (виробничій ділянці) включає наступні пункти:

##### 5.2.1. Організація робочого місця оператора

Робоче місце оператора монітора слід розміщувати у спеціально відведеному приміщенні, яке відповідає гігієнічним вимогам щодо простору, природного освітлення та вентиляції. Для роботи за монітором краще кімната, вікна якої виходять на північ, північний схід або північний захід. Розмір кімнати повинен відповідати вимогам гігієнічних норм: 4,5 кв.м на одну особу. Обсяг виробничого

					НАУ 21.09.11.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав.	Назаренко І.В.				РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Білак Н.В..						8	54
Реценз.						ФАЕТ – 214М гр		
Н. Контр.	Дивнич М.П.							
Затверд.	Мельник Ю.В..							

приміщення для кожного оператора повинен становити не менше 15 куб.

Робоче місце складається зі столу з екраном, клавіатурою і підставкою для документів, стільця, підставки для ніг. Розмір столу залежить від розміру ширми, приблизні розміри: довжина 160 см, ширина 90 см, загальна площа 1,44 кв. Висоту столу регулювати відповідно до антропометричних даних людей в межах 68-84 см, клавіатуру рекомендується розміщувати окремо від екрана. Це забезпечує вибір оптимального положення, висоти та нахилу для всіх компонентів обладнання робочого місця.

Монітор має бути прямо нижче рівня очей або під кутом до оператора. Переконайтеся, що кут огляду для оптимального розміщення символів на екрані знаходиться в межах 0,5. Екран повинен розташовуватися на відстані 40-90 см від очей оператора. Оптимальна відстань для символу висотою 2,5 мм становить 50 см; якщо висота символу становить 3-4 мм, її можна збільшити до 80 см. Робочі стільці повинні бути рухливими. Короткий підлокітник крісла повинен забезпечувати положення рук трохи вище столу. Рекомендована підставка для ніг має розміри 40x30x15 см з кутом нахилу 30 без руху по підлозі.

### **5.2.2. Перелік шкідливих і небезпечних виробничих факторів.**

Шкідливі фізичні аспекти роботи оператора дрона:

- Підвищені рівні напруги в електричних колах, які можуть проходити через працівників;
- Підвищений рівень рентгенівського, УФ та ІЧ випромінювання;
- Можливість електростатичного пошкодження;
- Повітря в студії запилене;
- Збільшення вмісту важких (+) іонів газу;
- Нерівномірний розподіл яскравості в полі зору;
- Підвищені рівні пульсації світлового потоку.

Шкідливі хімічні фактори для роботи оператора дрона:

- Підвищення вмісту в повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду тощо. При роботі між комп'ютерами.

Шкідливі фактори трудового процесу для роботи операторів дронів:

- зір, пам'ять, концентрація уваги;
- тривала статична напруга;
- Обсяг інформації, що обробляється за одиницю часу, порівняно великий;
- монотонна робота в окремих випадках;
- Непродумана організація робочого місця.

### **5.3. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на робочому місці операторів БПЛА**

Цей аналіз відбувається з шкідливими факторами і факторами ризику, зі списку:

#### **5.3.1 Мікроклімат робочої зони оператора БПЛА.**

У теплий період року температура повітря повинна бути 22-25°C, швидкість руху повітря 0,1 м/с, відносна вологість повітря 40-60%. У холодні періоди року температура повітря може коливатися в межах 21-24 °С, швидкість руху повітря - до 0,1 м с, вологість повітря - 40-60%.

Часто температура перевищує норму протягом року через постійний нагрів компонентів ПК і низьку вологість.

Температура і вологість повітря можуть впливати на загальний стан здоров'я офісних працівників, стан слизових оболонок очей, верхніх дихальних шляхів і шкіри. Низька вологість збільшує час, протягом якого пил «висить» у повітрі приміщення. Характеристика повітря робочої зони користувача ПК включає вміст у повітрі позитивних і негативних іонів.

Як правило, в приміщеннях з добре розвиненими припливно-витяжними системами вентиляції та/або кондиціонуванням виявляються порушення нормативу аероіонного складу повітря, а концентрація корисних для організму негативно



заряджених аероіонів може перевищувати 10-кратну норму в 50 разів. нижче, концентрація шкідливих позитивних іонів може бути значно вищою за стандартну

### **5.3.2. Випромінювання та неіонізуючі електромагнітні поля**

Часто робота працівників, що використовують ПК, пов'язана зі шкідливим впливом електромагнітних полів. Це відбувається при використанні монітора з електронно-променевою трубкою. У сучасних комп'ютерах використовуються рідкокристалічні дисплеї, тому вплив електромагнітних полів дисплея практично відсутній. Електростатичне поле залишається на поверхні дисплея та поверхні клавіатури.

Стандартне значення напруженості електростатичного поля становить 150 В/см. Напруженість електростатичного поля, визначена на поверхнях дисплея та клавіатури, зазвичай не перевищує стандартних значень. Рівень напруженості електростатичного поля залежить від вологості повітря, регулярного прибирання (прибирання пилу) робочого місця.

### **5.3. Заходи з охорони праці**

Основне завдання освітлення - створити оптимальні умови для огляду об'єктів. Цю задачу може вирішити система освітлення, що відповідає наступним вимогам:

1) Освітлення має відповідати зоровій роботі, що визначається наступними параметрами: Освітлення на робочому місці має бути від 300 до 500, чи то в зоні, де розміщені документи, чи в зоні, де розміщена клавіатура. У межах робочої зони співвідношення яскравості поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а співвідношення яскравості між робочою поверхнею та навколишніми поверхнями (верстами, обладнанням тощо) повинно бути 10:1.

2) Забезпечити рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні та навколишньому просторі;

3) На робочій поверхні не повинно бути забруднень;

4) Немає прямого або відбитого збільшення яскравості в полі зору;

5) Рівень освітлення має бути постійним протягом часу. Це досягається за рахунок застосування стабілізуючих пристроїв;

6) Вибрати найкращий напрямок оптичного потоку;

7) Елементи трансформаторно-знижувальних освітлювальних приладів повинні бути довговічними, електротехнічними, вибухобезпечними та пожежобезпечними.

#### **5.4. Заходи пожежної безпеки**

Пожежна безпека - це стан об'єкта, який запобігає виникненню і розвитку пожежі та впливу її небезпечних факторів на людей із заданою ймовірністю, а також забезпечує захист матеріальних цінностей. Причина пожежі та вибуху на підприємстві – порушення правил пожежної безпеки та невиконання вимог Закону про пожежну безпеку. Відповідно до положень Закону України «Про пожежну безпеку» (статті 4 - 7) правила пожежної безпеки в Україні повинні встановлюватися всіма центральними і місцевими органами управління, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями (незалежно від їх виду). діяльності та форми власності), посадові особи та громадяни.

Робоче місце оператора дрона за вибухо- та пожежонебезпекою має клас D (знижена пожежна безпека). Вибирайте з первинного пожежогасіння та автоматичних, комбінованих і диференціальних пожежних сповіщувачів для захисту. Автоматичні пожежні сповіщувачі перетворюють виявлені ознаки пожежі в електричні сигнали, які передаються по лініях зв'язку на засоби технічної сигналізації. Залежно від типу та виду пожежі автоматичні пожежні сповіщувачі бувають тепловими, димовими, світловими та комбінованими. Автоматичні пожежні сповіщувачі діляться на три групи: максимальні, максимально диференціальні та диференціальні. Коли контрольований параметр (дим, температура, випромінювання) досягає певного значення, спрацьовує максимальне значення; диференціальна відповідь відстежує швидкість зміни

параметра; максимальне диференціальне значення реагує на досягнення контрольованим параметром заданого значення та швидкості його зміни .

ГОСТ «Пожежна безпека» і «Вибухобезпека» визначають основи протипожежного захисту. Ці критерії дозволяють виникнення пожеж і вибухів з імовірністю  $<10^{-6}$ . Протипожежні заходи поділяються на організаційні, технічні та експлуатаційні.

### **5.5. Обчислення мінімальної відстані до джерела електромагнітного випромінювання**

Дистанційне керування дроном здійснюється оператором через комп'ютер. Оператору необхідно працювати в комфортних умовах праці з мінімальним впливом на його здоров'я, тому визначимо оптимальну відстань від джерела електромагнітного РЧ-випромінювання до оператора. Частота мережі 50 Гц, напруга 220 В, частота радіочастотної хвилі 300 кГц.

Напруженість електричного поля на відстані  $r = 0,3$  м становить  $E = 50$  В/м.

При  $f = 300$  кГц довжина хвилі випромінювання визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^3} = 1000 \text{ м}, \quad (5.1)$$

У формулі (5.1),  $c$  – швидкість світла, м/с.

Розрахунок для межі ближньої зони  $\sim 10\%$ :

$$r_{\text{бл.з.}} \approx \frac{0,1 \cdot \lambda}{2 \cdot \pi} = \frac{0,1 \cdot 1000}{2 \cdot 3,14} = 15,9 \text{ м} \quad (5.2)$$

Обчислимо відношення напруженості

$$\frac{E_1}{E_{\text{дон}}} = \frac{r_{\text{дон}}^3}{r_1^3} \quad (5.3)$$

Із таблиці 5.1 (табл.1.2 ДНАОП 0.03-3.30-96) приймаємо в якості допустимого електричного поля для діапазону 5 електромагнітних хвиль (30 – 300 кГц) Едоп.= 25 В/м.

Таблиця 5.1

Номер діапазону1	ПДУ напруженості електричної складової поля
5	25 В/м
6	15 В/м
7	$3 \cdot \lg \lambda$ В/м
8	3 В/м

Підставивши значення у формулу отримаємо:

$$r_{дон.} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{50}{25}} = 0,38 \text{ м}$$

Від умов продуктивності залежить самопочуття і працездатність людини

Середовище, в якому вона перебуває, і середовище, в якому вона виконує свої посадові обов'язки. до оператора

Дрони повинні працювати в комфортних робочих умовах, так

його здоров'я, тому розраховується оптимальна відстань від джерела

Електромагнітне радіочастотне випромінювання до оператора - 38 см.

Отже, можна зробити висновок, що обрана тема дипломної роботи відповідає вимогам

Техніка безпеки, відповідно до вимог нормативних документів з охорони  
праці

## ВИСНОВКИ

У процесі написання дипломної роботи була запропонована блок-схема оптимального розподілу цілей серед групи БПЛА на основі фактора відстані.

Використання кількох незалежних дронів підвищує ефективність виконання різних завдань, але в той же час виникають додаткові проблеми, пов'язані з координацією рухів при виконанні одного завдання. У зв'язку з цим постало завдання управління групою дронів. Завдання ускладнюється, коли кількість дронів і цілей відрізняється. Одним із завдань розробки таких систем є розподіл цілей між безпілотниками. Завдання полягає в оптимальному розподілі цілей між БПЛА системи за певним критерієм, мною був вибраний критерій мінімізації вартості маршруту мінімізацією ймовірності зіткнення.

У першому розділі розглядається концепція, основні характеристики БПЛА та ідея групової системи БПЛА, як багатоцільової системи управління. Сформульована задача розподілу, оскільки в другій частині вона класифікується як транспортна задача для дискретного цілочисельного програмування. У другому розділі вивчається класифікація задач оптимізації та угорський матричний метод розв'язання подібних задач. У третьому розділі вибирається оптимальний критерій (фактор відстані) і розглядаються одночасні рішення, які мінімізують інші фактори, а саме перетини та ресурси, для розв'язання задачі локального розподілу, початкові умови якої визначаються одночасним розглядом обраного математичного методу при різних вихідні дані Поведінка , тобто коли кількість дронів відрізняється від кількості цілей, а загальний алгоритм розв'язання задачі оптимального розподілу цілей серед набору дронів будує кількість цілей і об'єктів шляхом мінімізації загального шляху відстань.

Отримане рішення порівнюється з альтернативними маршрутами та доведено його оптимальність, що свідчить про правильність запропонованого методу розподілу.

Розроблений алгоритм реалізовано на задачі про призначення, що є окремим випадком транспортної задачі та окремою реалізацією угорського методу, який є універсальним і може бути застосований до різноманітних однотипних задач, реалізуючи трансформацію незбалансованої задачі у збалансовану.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Повітряний кодекс України: Закон України від 19 травня 2011 року // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 48-49. – Ст. 536
2. Burkard R., Dell'Amico M., Martello S. Assignment Problems., Philadelphia, PA, USA, 2009. 386 p.
3. Pramendra Singh Pundir, Sandeep Kumar Porwal, Brijesh P. Singh. A New Algorithm for Solving Linear Bottleneck Assignment Problem // J. of Institute of Science and Technology. 2015. № 20(2). P. 101–102.
4. Choi H.-L., Brunet L., How J.P. Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation // IEEE Transactions on Robotics. 2009. Vol. 25, № 4. P. 912–926\
5. Pramendra Singh Pundir, Sandeep Kumar Porwal, Brijesh P. Singh. A New Algorithm for Solving Linear Bottleneck Assignment Problem // J. of Institute of Science and Technology. 2015. № 20(2). P. 101–102.
6. Аллилуева Н. Перспективы развития беспилотных летательных аппаратов [Електронний ресурс] / Наталья Аллилуева // Технологии защиты. – 2015.
7. Каршов Р. С. Классификация беспилотных летательных аппаратов [Електронний ресурс] / Р.С. Каршов // Проблемы современной науки и образования
8. Elston J., Argrow B., Stachura M., et al. Overview of Small Fixed-Wing Unmanned Aircraft for Meteorological Sampling // J. Atmos. Oceanic Technol. 2015. V. 32. P. 97–115.
9. Рейзлін, В.І. Чисельні методи оптимізації: навчальний посібник / В.І. Рейзлін; Томський політехнічний університет. – Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2011. – 105 с.

10. С.В. Богословский, А.Д. Дорофеев, «Динамика полётов летательных аппаратов», учебное пособие, СПбГУАП, 2002г.
11. Щукина Н.А. Некоторые подходы к решению задачи о назначениях [Электронный ресурс] / Н.А. Щукина // Проблемы экономики и менеджмента. – 2016. – № 7. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-podhody-k-resheniyu-zadachi-o-naznacheniyah> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
12. Choi H.-L., Brunet L., How J.P. Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation // IEEE Transactions on Robotics. 2009. Vol. 25, № 4. P. 912–926.
13. Венгерський алгоритм [Електронний ресурс] // Вікіпедія : Свободна енциклопедія. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Венгерский\\_алгоритм#Матричная\\_интерпретация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Венгерский_алгоритм#Матричная_интерпретация) (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
14. Глотов В. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, А. Церклевич // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2014. – Вип. I (27). – С. 131-136.
15. Экология и природо-пользование [Электронный ресурс] // SuperCam. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://supercam.aero/uses/eco> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.