

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускної кафедри

_____ О.М. Тачиніна

«___» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(Пояснювальна записка)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА за умови мінімізації
критерію вартості маршруту»

Виконавець: студентка групи СУ–201м, Македонська Анна Трифонівна

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

Консультант розділу «Охорона праці»: _____
(підпис)

Козлітін О.О.
(П.І.Б)

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища»: _____
(підпис)

Фролов В.Ф.
(П.І.Б)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

Дивнич М. П.
(П.І.Б)

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Напрямок: 15 «Автоматизація та приладобудування»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускної кафедри

_____ О.М. Тачиніна

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Македонської Анни Трифонівни

1. Тема роботи «Оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА за умови мінімізації критерію вартості маршруту» затверджена наказом ректора від «08» жовтня 2020 р. №1944/ст.
2. Термін виконання роботи: з 5 жовтня 2020 року по 27 грудня 2020 року
3. Вихідні дані роботи: координати положення групи БПЛА та цілей на координатній площині ОХУ, матриці вартостей (відстаней)
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, багатооб'єктна система безпілотних літальних апаратів, поняття оптимізаційної задачі про призначення, алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу цілей між групою БПЛА, охорона навколишнього середовища, охорона праці, висновки, Додаток А, Додаток Б, список використаних джерел.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Розробити деталізований зміст розділів диплому	05.10 – 17.10	
2	Вступ	19.10 – 31.10	
3	Розділ 1. Багатооб'єктна система безпілотних літальних апаратів	02.11 – 13.11	
4	Розділ 2. Поняття оптимізаційної задачі про призначення	16.11 – 27.11	
5	Розділ 3. Алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу цілей між групою БПЛА	23.11 – 04.12	
6	Усунення недоліків дипломної роботи	07.12 – 11.12	
7	Оформлення дипломної роботи	14.12 – 18.12	

7. Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.	22.10.2020	21.12.2020
Охорона праці	Козлітін О.О.	04.11.2020	21.12.2020

8. Дата видачі завдання:

Керівник дипломної роботи:

(підпис керівника)

Білак Н.В.

Завдання прийняв до виконання:

(підпис випускника)

Македонська А.Т.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА за умови мінімізації критерію вартості маршруту» містить: 95 сторінок, 13 рисунків, 3 таблиці, 2 додатки, 29 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: група (рій) БПЛА та цілі

Предмет дослідження: алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА

Мета роботи: виконати оптимальний розподіл цілей між групою (роєм) БПЛА за критерієм мінімізації фактору відстані.

Методи дослідження: методи математичного програмування, а саме дискретне програмування, цілочисельне програмування задачі про призначення, динамічне програмування угорським методом, обчислювально-експериментальні методи, комп'ютерне програмування .

Результати проведеної роботи – на основі визначеної кількості БПЛА та цілей було розроблено алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА, шляхом мінімізації фактору відстані, за допомогою Угорського методу дискретного цілочисельного програмування. Отриманий алгоритм було реалізовано на мові програмування Java.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності при викладанні дисциплін, пов'язаних з дослідженням маршрутизацією груп БПЛА.

БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, РОЙОВА СИСТЕМА БПЛА,
БАГАТООБ'ЄКТНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ДИСКРЕТНЕ
ПРОГРАМУВАННЯ, ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА, ЗАДАЧА ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ,
УГОРСЬКИЙ МЕТОД

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1. БАГАТООБ'ЄКТНА СИСТЕМА БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	9
1.1. Поняття БПЛА, область застосування та актуальність	9
1.2. Бортове обладнання БПЛА	17
1.3. Ройова система БПЛА та актуальність її застосування	22
1.4. Розгляд ройової системи БПЛА як багатооб'єктної системи управління	25
1.5. Висновки	30
Розділ 2. ПОНЯТТЯ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ	31
2.1. Оптимізація	31
2.2. Методи оптимізації	37
2.3. Дискретне програмування	39
2.4. Задача про призначення	42
2.5. Висновки	46
Розділ 3. АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА	47
3.1. Постановка оптимізаційної задачі	47
3.2. Задача оптимального розподілу при конкретних умовах	48
3.3. Розробка алгоритму розв'язку	57
3.4. Розробка програмного забезпечення	59
3.5. Висновки	61
Розділ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	62
4.1. Аналіз проблеми впливу БПЛА на стан довкілля	62
4.2. Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та її оточення	66

4.3. Рекомендації щодо зниження негативних чинників.	68
4.4. Висновки	72
Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
5.1. Вступ	73
5.2. Аналіз умов праці	73
5.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці оператора БПЛА	75
5.4. Розробка заходів з охорони праці	77
5.5. Пожежна безпека	78
5.6. Розрахунок мінімальної відстані до джерела електромагнітного випромінювання	79
5.7. Висновки	81
ВИСНОВКИ	82
Додаток А	84
Додаток Б	89
СПОСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати все більше набирають популярність. Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть стати проривом в світі комерції. На ринку праці з'явилася нова професія «оператор з управління безпілотними літальними апаратами». Питання про доцільність застосування даної технології і її життєздатності вже не обговорюються, всі експерти намагаються провести економічні прогнози розвитку даної технології.

Інтерес у використанні БПЛА зумовлена економічною ефективністю. Застосування безпілотників обходиться набагато дешевше, ніж використання супутникових технологій для дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та застосування пілотованої авіації в проведенні авіаційних робіт. Можливість запрограмувати БПЛА на політ за маршрутом, а, якщо треба, зависнути над місцевістю дає їм величезну перевагу. Застосування безпілотників доцільно там, де є загроза нанесення шкоди життю персоналу та потрібна економія часу і грошей.

Актуальність дослідження: одним із сучасних методів застосування БПЛА є ройова система. В перспективі передбачається інтеграція до рою штучного інтелекту. Рій управляється, як правило, одним оператором, при цьому такі задачі як дотримання відстані між апаратами, огинання перешкод, вибір маршруту польоту та інші виконуються без участі оператора. На нижчому рівні існує задача автоматичного планування маршрутів і управління БПЛА. Необхідно проводити розрахунок необхідної кількості апаратів, їх типів в залежності від виду завдання. Планувати маршрути таким чином, щоб заощадити час і ресурси, а також уникнути зіткнень між БПЛА і навколишнім середовищем. Задача ускладнюється, коли відрізняються кількості БПЛА та цілей. Тож задача автоматизації цього рішення для подальшого використання у штучному інтелекті є досить актуальною.

Об'єкт дослідження: група (рій) БПЛА та цілі

Предмет дослідження: алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА

Мета дипломної роботи: виконати оптимальний розподіл цілей між групою (роєм) БПЛА за критерієм мінімізації фактору відстані.

Задача дипломної роботи:

- виконати розв'язок часткової задачі з тестовими вхідними даними, на основі якої проаналізувати алгоритм розподілу цілей
- визначити загальний алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу цілей між групою БПЛА при довільній кількості цілей та БПЛА
- реалізувати розроблений алгоритм на мов програмування Java
- розробити графічний інтерфейс програми з відображенням графічного розв'язку у вигляді траєкторій руху БПЛА по цілям
- зробити аналіз отриманих результатів відповідно до довільного неоптимального рішення

Методи дослідження: методи математичного програмування, а саме дискретне програмування, цілочисельне програмування задачі про призначення, динамічне програмування угорським методом, обчислювально-експериментальні методи, комп'ютерне програмування .

РОЗДІЛ 1

БАГАТООБ'ЄКТНА СИСТЕМА БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1. Поняття БПЛА, область застосування та актуальність

Як відомо, процес постійної досконалості авіаційних устаткування базується, в тому числі на самих сучасних досягненнях в області інформаційних технологій. При цьому активно враховуються передові тенденції в стратегії та тактиці розв'язку цільових задач військової та цивільної авіацій. Одною з найважливіших тенденцій в цій області є активне залучення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для реалізації згаданих вище задач в різних формах та, зокрема, створення так названих змішаних тактичних груп ЛА, включаючи як пілотовані, так й безпілотні ЛА.

Українське законодавство надає декілька визначень безпілотного повітряного судна та безпілотного авіаційного комплексу.

Безпілотне повітряне судно — повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким, здійснюються за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном.

Безпілотне повітряне судно (безпілотний літальний апарат) — повітряне судно, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування, розташованого поза повітряним судном, або повітряне судно, що здійснює політ автономно за відповідною програмою.

Безпілотний авіаційний комплекс (безпілотна авіаційна система) — безпілотне повітряне судно, пов'язані з ним пункти дистанційного пілотування (станції

Кафедра АКСУ				НАУ 20 07 49 000 ПЗ			
Виконав	Македонська А.Т.			Багатооб'єктна система безпілотних літальних апаратів	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Білак Н.В.					9	95
Консульт.					201 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

наземного керування), необхідні лінії керування і контролю та інші елементи, вказані в затвердженому проєкті типу цього комплексу. Цей комплекс може охоплювати декілька безпілотних літальних апаратів. [1]

Загалом, безпілотний літальний апарат (БПЛА) - це будь-який віддалено керований або зовсім самостійний (інтелектуальний) літаючий засіб. Історично склалося так, що початкове застосування БПЛА визначалося як військове. Однак, з початку 2000-х почалася розробка і виготовлення безпілотних літальних апаратів для цивільної галузі. Розробка даного напрямку ведеться в багатьох країнах. Безпілотні літальні апарати є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання і створення нових робочих місць. В цілому історію БПЛА можна умовно розділити на чотири тимчасових етапу:

- 1849 рік - початок ХХ століття - спроби і експериментальні дослідження зі створення БПЛА, формування теоретичних основ аеродинаміки, теорії польоту і розрахунку літака в роботах вчених.
- Початок ХХ століття - 1945 рік - розробка БПЛА військового призначення (літаків-снарядів з невеликою дальністю і тривалістю польоту).
- 1945 - 1960 роки – період розширення класифікації БПЛА по призначенню і створення їх переважно для розвідувальних операцій.
- 1960 роки - наші дні – розширення класифікації і удосконалення БПЛА, початок масового використання для вирішення завдань невійськового характеру. [2; 1]

Активний розвиток БПЛА викликаний низкою їх важливих переваг. Відсутність екіпажу на борту усуває ризик людських втрат. Можливість виконання маневрів з переваженням, що перевищує фізичні можливості льотчиків, велика тривалість і дальність польоту при відсутності фактора втоми екіпажу. Відносно невелика вартість БПЛА, малі витрати на їх експлуатацію і можливість масового виробництва недорогих, але дуже ефективних в різних умовах літальних засобів. [2; 1]

1.1.1. Класифікація БПЛА

Різноманіття існуючих та проектуємих БПЛА, множина можливих варіантів їх оснащення, різноманіття тактики їх застосування приводять до необхідності виконати класифікацію БПЛА, що дозволяє проаналізувати тенденції удосконалення бортових інформаційно-керуючих комплексів БПЛА.

Всі БПЛА за своїм виглядом і областю виконуваних завдань поділяються на 3 основних типи: безпілотні літаки, безпілотні вертольоти і безпілотні аеростати (рис. 1.1.).

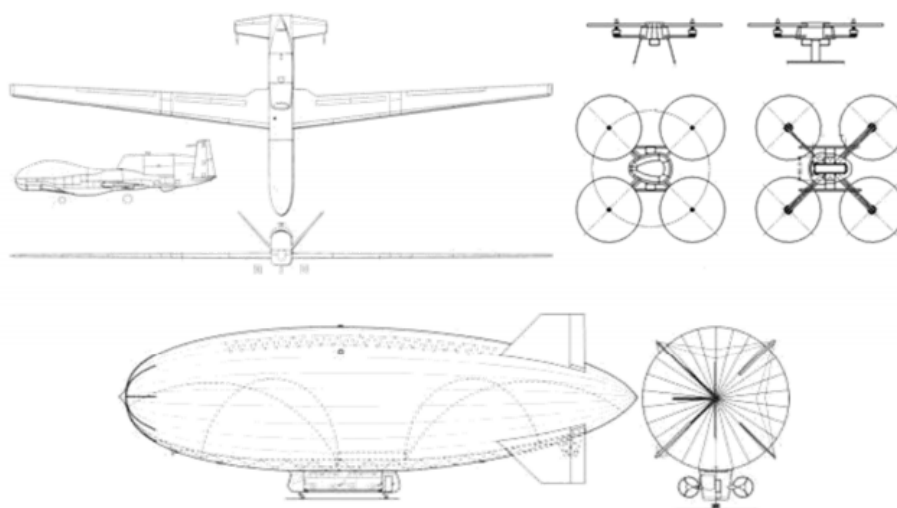


Рис 1.1. Безпілотні літаки, безпілотні вертольоти і безпілотні аеростати

Безпілотні літаки використовуються, перш за все, для моніторингу майданних і лінійних ділянок місцевості. Такі літаки здатні долати великі відстані, виконуючи аерозйомку онлайн в будь-який час доби і при будь-яких метеоумовах. Максимальна якість роботи і ефективність виконуваних завдань на видаленні до 70км від наземної станції управління. Швидкість - до 400 км/год. Час у польоті: від 30 хв до 8 год.

Безпілотні вертольоти – використовуються для оперативного моніторингу локальних ділянок місцевості. Вони компактні і легкі в управлінні. Їм не потрібна спеціальна взлітно-посадкова смуга. Як і літаки, безпілотні вертольоти можуть

працювати в будь-який час дня і ночі і при будь-яких погодних умовах. Час польоту: від 30 хв до 3 год.

Безпілотні аеростати - сучасні високоефективні апарати, призначені для розвідки і спостереження місцевості на висоті до 400 м. Легкі, надійні машини, здатні довгий час працювати в режимі реального часу. [3;1-2]

Одним з варіантів ефективного використання БПЛА є застосування сонячних батарей розташованих на поверхнях апаратів.

Загальна схема класифікації БПЛА представлена на рис. 1.2.



Рис.1.2. Класифікація безпілотних літальних апаратів.

Існують наступні методи управління БПЛА:

- Дистанційне пілотування: управління польотом здійснюється в двох режимах: ручне управління, що здійснюється за рахунок управління оператора БПЛА у

режимі реального часу, та автоматизоване управління, що виконується автономно, з можливістю його корегування. Попередньо вводять координати точок маршруту, визначаючи поточне положення літального апарату за допомогою навігації.

- Автоматичний метод: управління здійснюється автопілотом за заздалегідь заданій траєкторії на заданій висоті з заданою швидкістю та зі стабілізацією кутів орієнтації. [4;39]

Найбільш розповсюджений на сьогоднішній час є дистанційно-пілотувальний метод, що дозволяє в режимі реального часу проводити дослідження необхідної місцевості та об'єктів. Оператор з землі керує БПЛА чи вносить зміни до заданого маршруту. Однак з точки зору захищеності від завад, зумовлених електромагнітними впливами, він є більш уразливим.

Існують два типи безпілотних літальних апаратів: обертального та фіксованого крила. БПЛА фіксованого крила – це безпілотні літаки, що використовують прямий поштовх по фіксованому крилу, щоб отримати підйомну силу. Вони потребують в відносно високій пусковій швидкості, щоб отримати цю підйомну силу, тому не підійдуть для роботи в обмеженому або небезпечному навколишньому середовищі. [4;40]

Безпілотні літальні апарати обертального крила також поділяються на 2 типа: одногвинтової та багатогвинтової (мультикоптер). Одногвинтові схеми використовуються для побудови вертольотів. Вони зазвичай використовують приводний несучий гвинт, що забезпечує підйомну силу, що урівноважується хвостовим рульовим гвинтом. Багатогвинтові вертольоти мають більше двох несучих гвинтів для управління всіма формами руху.

БПЛА охоплюють широкий діапазон маси: від мікро- до БПЛА спеціального призначення, вага яких досягає 11 тон. Точна класифікація БПЛА за габаритами вказана у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Класифікація БПЛА за масою та розміром

Класифікація	Категорія	Зльотна маса (кг)	Висота польоту (м)	Час польоту (год)
Мікро- та міні-	Мікро-	0,1	250	1
	Міні-	30	150-300	2
Тактичні	Близької відстані	150	3000	2-4
	Середнього діапазону	150-500	3000-5000	6-10
	Дальнього діапазону	150-500	5000	9-13
	Висотний витривалий	2500-12500	15000-20000	24-48
Стратегічні	Смертоносний	250	3000-4000	3-5
Спеціального призначення	Приманка	250	50-5000	5
	Стратосферний	-	20000-30000	48

Застосовуються БПЛА для:

- Транспортування: доставка вантажів різних габаритів без пілота в автономному режимі за запрограмованим маршрутом, доставка медикаментів та біологічних матеріалів, пошти, товарів з інтернет-магазинів
- Аерофотозйомка: зйомка місцевості, геодезія, картографія, дослідження місцевої інфраструктури, створення художнього та документального кіно.
- Забезпечення безпеки: охорона об'єктів та людей, моніторинг електростанцій, земельних ресурсів, нафтопроводів/газопроводів, лісних ресурсів та доріг, попередження при виникненні надзвичайної ситуації, виконання рятувальних та пошукових робіт, радіаційний контроль місцевості
- Військова сфера: розвідувальні БПЛА мінімальних розмірів, що здатні непомітно проникати на об'єкти супротивника. [4;40]

1.1.2. Перспективи розвитку БПЛА

Безпілотні літальні апарати все більше набирають популярність. Спочатку безпілотники або, як раніше прийнято було називати, дрони широко використовувалися для вирішення військових завдань (проведення розвідки) і службами метеопрогнозу. Моніторинг льодової обстановки, екологічний моніторинг, геофізична і інші види розвідки, картографування, підтримка пошуково-рятувальних операцій, охорона кордонів - ці завдання можуть вирішуватися безпілотними апаратами цілодобово практично в будь-яких погодних умовах і без ризику для життя людини.

Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть стати проривом в світі комерції. На ринку праці з'явилася нова професія «оператор з управління безпілотними літальними апаратами». Питання про доцільність застосування даної технології і її життєздатності вже не обговорюються, всі експерти намагаються провести економічні прогнози розвитку даної технології. За результатами складених прогнозів комерційне застосування безпілотників призведе 2025 р до створення в США 100 000 додаткових робочих місць, а національна економіка отримає більше млрд. Застосування безпілотних технологій допоможе збільшити ВВП країн в кілька разів. [5]

Технічний рівень, досягнутий за період 2012-2014 рр., Дозволяє використовувати безпілотні авіаційні системи (БАС) для будь-якої діяльності, за винятком перевезення пасажирів, але з розвитком технологій і законодавчої бази розвиток даного напрямку, можливо, буде мати великий успіх.

Інтерес у використанні БПЛА зумовлена економічною ефективністю. Застосування безпілотників обходиться набагато дешевше, ніж використання супутникових технологій для дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та застосування пілотованої авіації в проведенні авіаційних робіт. Можливість запрограмувати БПЛА на політ за маршрутом, а, якщо треба, зависнути над місцевістю дає їм

величезну перевагу. Застосування безпілотників доцільно там, де є загроза нанесення шкоди життю персоналу та потрібна економія часу і грошей. [5]

Так, наприклад, на Заході, безпілотники стають все більш затребуваними в гірничодобувній галузі. Це обумовлено можливістю отримання якісних знімків в режимі реального часу. Їх можна використовувати в самих різних аспектах: при видобутку, вибухових роботах, при плануванні та розвідці.

Однією з найбільш перспективних сфер може стати сільське господарство. Безпілотники можна застосовувати не тільки для розприскування реагентів, але і для моніторингу стану сільськогосподарських культур. Застосування безпілотної технології в методології точкового землеробства дозволить підвищити врожайність в кілька разів. Так, наприклад, випробування, проведені в університеті Каліфорнії в Девіса з метою внесення добрив на винограднику із застосуванням безпілотною літального апарату вертолітного типу RMAX від Yamaha Motor Company, підтвердили ефективність застосування даної технології на сільськогосподарських угіддях з дуже крутими для тракторів схилами, в вузьких долинах, небезпечних для пілотованої авіації, і в місцях, де потужні потоки повітря від лопатей звичайного вертольота можуть пошкодити врожай. [5]

Для вирішення завдань охорони лісів і гасіння пожеж неможливо обійтися без авіаційного патрулювання. З розвитком безпілотної авіації загони авіа-лісозбереження отримали новий ефективний інструмент, що дозволяє економити час, а іноді і зберегти життя пілотів. Для виконання робіт з патрулювання локальних територій лісового фонду з метою виявлення лісових пожеж застосовуються БПЛА літакового і вертолітного типів. Були проведені дослідні роботи з оцінки перспектив застосування безпілотної комплексів для лісового господарства. [5]

БПЛА грають важливу роль в проведенні науково-дослідних цілях. Застосування дронів дозволяє отримувати інформацію з таких місць, куди дістатися практично неможливо. Наприклад, за допомогою БПЛА з відеокамерою високої роздільної здатності можна зафіксувати кількість яєць в гніздах лелек,

розташованих на опорах ліній електропередачі, недоступних для обстеження з землі. Величезна увага приділяється проведенню робіт із застосуванням безпілотних літальних апаратів з організації моніторингу в районах освоєння арктичного шельфу, а також моніторингу льодової обстановки.

Незамінним помічником стає БПЛА в проведенні пошуково-рятувальних операцій. Адже за допомогою БПЛА можна не тільки передавати інформацію, але і доставляти вантажі, попереджати населення за допомогою активного гучномовця про небезпеку. Беручи участь спільно з пілотованої авіацією в пошуково-рятувальних операціях, БПЛА підвищують ефективність їх проведення. Зону пошуку можна обстежити одночасно групою дронів. При цьому застосовується з високою роздільною здатністю оптико-електронна система з декількома каналами виведення інформації: тепловізор, відеокамера, інфрачервона камера, мультиспектральна камера. Також при необхідності можуть застосовуватися радіолокаційна система, магнетометр, лідари.[5]

Але зараз найчастіше БПЛА використовують для проведення дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Передумовами застосування БПЛА в якості нового фотограмметричного інструменту є недоліки двох традиційних способів отримання даних ДЗЗ за допомогою космічних супутників (космічна зйомка) і повітряних пілотованих апаратів (аерофотозйомка). Дані супутникової зйомки дозволяють отримати знімки з максимальним загальнодоступним дозволом 0,5 м, що недостатньо для великомасштабного картування. Традиційна аерофотозйомка, яка проводиться за допомогою пілотованих літаків, вимагає високих економічних витрат на обслуговування і заправку, що призводить до підвищення вартості кінцевої продукції.

1.2. Бортове обладнання БПЛА

Структуру організаційно-технічної системи (ОТС) безпіотної авіації з урахуванням вимог системного підходу можна представити в ієрархічному трьохрівневому вигляді, де на першому (нижньому) рівні складних технічних

систем знаходиться БПЛА, на другому рівні - безпілотний авіаційний комплекс (БАК), на третьому рівні ОТС технічне ланка об'єднується з ергатичній.

У складі ергатичної ланки можна виділити наступні основні елементи: керівник - особа, яка приймає рішення, оператори управління БПЛА і обслуговуючий персонал комплексу.

Крім БПЛА, до складу БАК входять засоби: зв'язку і управління, наземного обслуговування, запуску, посадки, порятунку, транспортування і зберігання. Розглянемо складові БАК і дамо їх коротку характеристику:

Засоби зв'язку і управління - сукупність технічних засобів, призначених для забезпечення зльоту, посадки, польоту БПЛА (дистанційно пілотованого літального апарату - ДПЛА) за заданим профілем і маршруту в автоматичному або автоматизованому режимах, а також для управління процесами застосування бортового обладнання. До складу бортового обладнання БПЛА входять засоби отримання і передачі розвідувальної (моніторингової) інформації. При цьому така інформація може доставлятися споживачам і зніматися після повернення БПЛА на місце базування або, для підвищення оперативності, ретранслюватись в польоті на пункт наземного (надводного, повітряного) управління.

Пункт (пульт) управління БПЛА (ДПЛА) - наземні (корабельні, повітряні) технічні засоби управління БПЛА (ДПЛА) і його спеціальне обладнання, засоби обробки польотної, розвідувальної та іншої інформації.

Оператор управління БПЛА (ДПЛА) - фахівець, який здійснює за допомогою технічних засобів управління БПЛА (ДПЛА) і його обладнанням на передбачених завданнях етапах польоту.

Цільове обладнання (цільова навантаження) БПЛА - бортові технічні засоби, призначені для виконання завдань БПЛА за його призначенням: засоби розвідки, радіоелектронної боротьби, цілевказівки, ретрансляції, імітації повітряних цілей, пошуково-прицільні обладнання (денна та інфрачервоні камери (ІК)) і ін . Засоби

спеціального забезпечення включають засоби запуску, порятунку і посадки, засоби транспортування і зберігання.

До складу засобів послепольотного обслуговування для БПЛА розвідувального типу входить наземний комплекс обробки розвідувальної інформації і т. д.

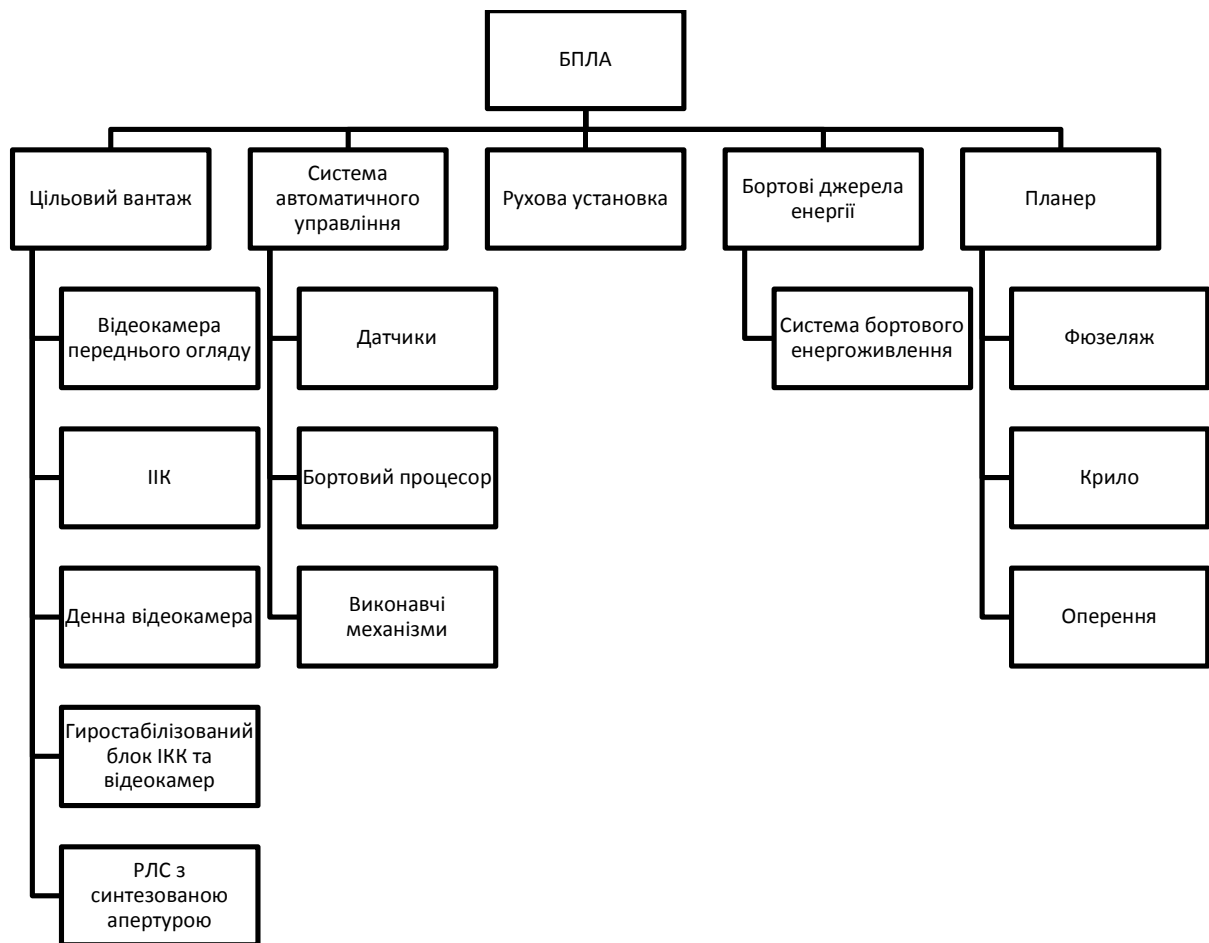


Рис. 1.3. Основні елементи бортового обладнання БПЛА

Бортове обладнання БПЛА забезпечує автоматичне, або по командам пункту дистанційного керування формування сигналів стабілізації і управління польотом, сигналів управління пристроями корисного навантаження, збереження і передачу на наземний пункт управління (НПУ) інформації про політ, про стан бортового обладнання та необхідну інформацію від пристроїв корисного навантаження. Основні елементи бортового обладнання БПЛА наведені на рис. 1.3. На основі функціонально-структурного аналізу існуючих конструкцій БПЛА, який наведено в

якості основних підсистем БПЛА, прийняті цільової вантаж (ЦГ), система автоматичного управління (САУ), рухова установка (ДУ), бортові джерела енергії (БЕ) і планер, утворені за функціональним ознакою з функціональних елементів нижчого рівня.

До складу бортового обладнання входить:

- блок датчиків з інтегрованою супутниковою навігаційною системою;
- система автоматичного управління;
- командний радіоканал;
- передавальний пристрій інформаційного каналу;
- система електроживлення

Розглянемо склад бортового обладнання міні-БПЛА.

- *Оглядовий курсовий пристрій* закріплюється нерухомо під деяким кутом до стройової осі літального апарату, що забезпечує необхідну зону захоплення на місцевості. До складу оглядового курсового пристрою може входити телевізійна камера (ТК) з шірокопольним об'єктивом (ШПЗ). Залежно від розв'язуваних завдань може бути оперативно замінена або доповнена тепловізійної камерою (ТПВ), цифровим фотоапаратом (ЦФА) або РЛС.
- *Пристрій детального огляду з поворотним пристроєм* складається з ТК детального огляду з узкопольним об'єктивом (УПЗ) і трикоординатної поворотного пристрою, що забезпечує розворот камери за курсом, креном і тангажем по командах оператора для детального аналізу конкретної ділянки місцевості. Для забезпечення роботи в умовах зниженої освітленості ТК може бути доповнена тепловізійної камерою (ТПВ) на мікроболометричних матриці з узкопольним об'єктивом. Можлива також заміна ТК на ЦФА. Подібне рішення дозволить використовувати БЛА для проведення аерофотозйомки при розвороті оптичної осі ЦФА в надир.
- *Пристрої радіолінії і телеметричної інформації* (передавач та антенно-фідерний пристрій) повинні забезпечувати передачу видовий і телеметричної

інформації в реальному або близькому до реального масштабі часу на ПУ в межах радіовидимості.

- *Пристрої командно-навігаційної радіолінії* (приймач і антенно-фідерне пристрій) мають забезпечувати приймання в межах радіовидимості команд пілотування БПЛА і управління його обладнанням.
- *Пристрій обміну командною інформацією* забезпечує розподіл командно і навігаційної інформації по споживачах на борту БПЛА.
- *Пристрій інформаційного обміну* забезпечує розподіл видової інформації між бортовими джерелами видової інформації, передавачем радіолінії видової інформації і бортовим пристроєм зберігання видової інформації. Цей пристрій також забезпечує інформаційний обмін між усіма функціональними пристроями, що входять до складу корисного навантаження БЛА за обраним інтерфейсу (наприклад, RS-232).
- *Супутникова навігаційна система* забезпечує прив'язку координат (топоприв'язки) БЛА і спостережуваних об'єктів за сигналами глобальної супутникової навігаційної системи ГЛОНАСС (GPS). Супутникова навігаційна система складається з одного або двох приймачів (ГЛОНАСС / GPS) з антенними системами. Застосування двох приймачів, антени яких рознесені по будівельній осі БПЛА, дозволяє визначати крім координат БПЛА значення його курсового кута.
- *Бортова цифрова обчислювальна машина.*
- *Пристрій зберігання видової інформації* забезпечує накопичення обраної оператором (або відповідно до польотного завдання) видової інформації до моменту посадки. Цей пристрій може бути знімним або стаціонарним. В останньому випадку повинен бути передбачений канал знімання накопиченої інформації в зовнішні пристрої після посадки БПЛА. Інформація, лічена з пристрою зберігання видової інформації, дозволяє проводити більш детальний аналіз при дешифруванні отриманої в польоті видової інформації.
- *Вбудований блок живлення* забезпечує узгодження по напрузі і струмів споживання бортового джерела живлення і пристроїв, що входять до складу

корисного навантаження, а також оперативний захист від коротких замикань і перевантажень в електромережі. Залежно від класу БПЛА корисне навантаження може доповнюватися різними видами РЛС, датчиками екологічного, радіаційного та хімічного моніторингу. Комплекс управління БПЛА являє собою складну, багаторівневу структуру, основне завдання якої - забезпечити виведення БПЛА в заданий район і виконання операцій відповідно до польотного завдання, а також забезпечити доставку інформації, отриманої бортовими засобами БПЛА, на пункт управління.

1.3. Ройова система БПЛА та актуальність її застосування

В 2016 році пройшли успішні випробування рою мікроБПЛА, який складався зі 103 апаратів Perdix. Ця ройова система БПЛА була розроблена Управлінням стратегічних можливостей при Міністерстві оборони США, в співпраці з Командуванням авіаційних систем ВМС США. [7; 89]

Ройовий інтелект передбачає скоординовані дії великої кількості апаратів, які локально взаємодіють з собою та оточуючим середовищем. Кожен апарат наслідує прості базові правила, але в сукупності система ройового інтелекту демонструє виключно складну спільну поведінку. Вона діє фактично як єдиний великий організм. БПЛА у рою продемонстрували колективне прийняття рішень, гнучке формування польоту та самовідновлення. БПЛА Perdix не є заздалегідь запрограмованими, вони є колективним організмом, мають розподілений мозок для ухвалення рішень і адаптації один до одного. Так діють рої комах в природі. Оскільки кожен БПЛА Perdix “спілкується” та “співпрацює” з усіма іншими апаратами, увесь рій не має лідера та може плавно адаптуватися до будь-яких змін в команді. Передбачається, що БПЛА діятимуть проти сучасної системи ППО. [7; 89]

Передбачається, що БПЛА діятимуть проти сучасної системи ППО. Її подолання здійснюватиметься завдяки одночасному застосуванню безлічі БПЛА. Малорозмірні БПЛА мають підлітати до своїх цілей з мінімально можливими інтервалами та дистанціями між собою. Отже, одна з головних проблем при цьому –

зіткнення БПЛА один з одним. Для цього безпілотні апарати повинні мати можливість взаємодії один з одним, утворюючи інформаційну мережу. Ця властивість забезпечує перерозподіл завдань в обстановці, що змінюється, у тому числі у разі виведення з ладу деяких БПЛА. На численних випробуваннях в якості носіїв рою використовувались літаки F/A-18 Super Hornet на випробувальному полігоні Чайна-Лейк в штаті Каліфорнія. Вважається, що невеликі та недорогі автономні системи спроможні виконувати завдання, які раніше виконувались великими БПЛА, які у порівнянні з малими мають велику вартість. [7]

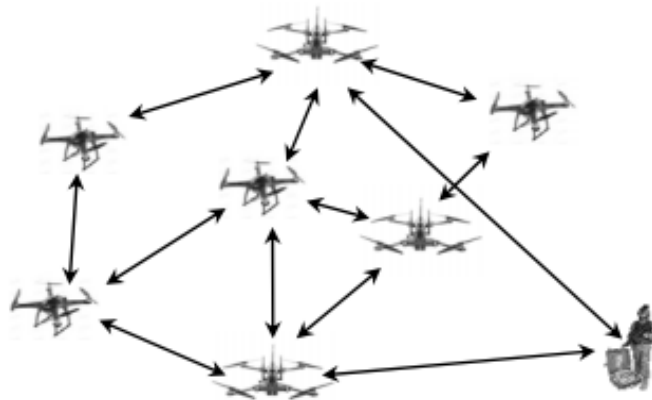


Рис. 1.4.Мережі управління ройових систем

Управління БПЛА, які пов'язані один з одним за допомогою бездротової мережі, здійснюється наземним оператором. Після запуску БПЛА встановлюють зв'язок один з одним і можуть оперативнo взаємодіяти між собою в повітрі. Запуск БПЛА планується здійснювати не лише з кораблів, але й з різних машин і літаків. При цьому оператор у будь-який момент зможе особисто втручатися в управління БПЛА, або просто буде стежити за ходом виконання місії. Фахівці розробили технологію – систему координованої автономії, завдяки якій БПЛА можуть працювати індивідуально або в групі під управлінням однієї людини. БПЛА обмінюватимуться інформацією один з одним, прийматимуть рішення про розподіл завдань і синхронізації дій, взаємодіятимуть один з одним та з оператором. Усе це вони робитимуть самостійно, залежно від обстановки. Також наявність штучного інтелекту на основі модульного програмного забезпечення з відкритим кодом дозволить БПЛА самостійно виявляти цілі та обирати маршрут підльоту.

В перспективі передбачається інтеграція до рою штучного інтелекту. Не зважаючи на те, що загальною тенденцією створення ройових систем є зменшення вартості БПЛА, головною проблемою створення подібних роїв є створення системи обміну інформацією між окремими БПЛА. На відміну від управління поодинокими БПЛА де є тільки мережа зв'язку “оператор – БПЛА” в роях необхідне створення мережі “БПЛА – БПЛА” (рис. 1.4).

На даний час розрізняють два типи роїв. Перший тип складається з однотипних апаратів, які призначені для виконання однієї загальної задачі і діють як розподілений об'єкт. В даному випадку застосовують ройовий метод управління. В другому типі рій складається з апаратів, які мають різне корисне навантаження та виконують різні функції в межах загальної задачі. В даному типі використовують мультиагентні методи управління.

Рій управляється, як правило, одним оператором, при цьому такі задачі як дотримання відстані між апаратами, огинання перешкод, вибір маршруту польоту та інші виконуються без участі оператора. Взаємодія в групі відбувається не між всіма, а між сусідніми апаратами. БПЛА приймають часткові рішення (наприклад, огинання перешкод) виконання завдання на основі своїх даних та даних, зібраними сусідніми апаратами. Сусідні БПЛА обмінюються даними про обстановку навколо себе, таким чином розповсюджуючи дані між всіма членами рою. Кожний апарат самостійно контролює та дотримується відстані між сусідніми БПЛА та перешкодами, що виникають. [7]

Зв'язок з оператором здійснюється епізодично для постановки загального завдання групі та для контролю про стан групи та хід виконання завдання. При мультиагентному методі визначені БПЛА виконують функції “агента”, який за допомогою спеціального програмного забезпечення та встановленої апаратури (датчиків) оцінює ситуацію, приймає рішення та взаємодіє з іншими “агентами” та рештою апаратів.

Спеціальне програмне забезпечення “агента” групи БПЛА дозволяє вирішувати наступні задачі:

- визначення місцеположення;
- визначення ступеня виконання задач;
- обмін інформацією між іншими “агентами”;
- порівняння своїх даних з поставленим завданням;
- корегування своїх дій за прийнятими даними.

Характеристиками інтелектуальних “агентів” є здатність до:

- колективної цілеспрямованої поведінки в інтересах рішення однієї задачі;
- самостійного вирішення локальних задач;
- активних дій з метою досягнення загальних і локальних цілей;
- переміщення та пошуку інформації та об’єктів, які необхідні для колективного рішення загальної задачі;
- автоматичної адаптації до невизначених умов в середовищі, що динамічно змінюється.

Тобто, мультіагентний метод колективного управління дозволяють керувати незалежними, автономними БПЛА, які виконують різні задачі. Управління оператором обмежується постановкою загальної задачі, але в будь-який момент часу може втручатись в керування окремим БПЛА.

1.4. Розгляд ройової системи БПЛА як багатооб’єктної системи управління

Як правило, на практиці застосовуються поодинокі БПЛА, це в свою чергу призводить до невисокої ефективності виконання завдання, особливо якщо воно виконується на великій території. Обмеження ці пов’язані з тим, що сенсорні системи БПЛА мають обмежені зони дії. Застосування ж декількох незалежних БПЛА підвищує ефективність виконання завдання, але при цьому виникають

додаткові проблеми, пов'язані з координацією дій при виконанні єдиного завдання. У зв'язку з цим виникає задача групового керування БПЛА.

Задача групового управління БПЛА дуже перспективна, так як застосування групи БПЛА істотно підвищує ефективність виконання завдання, при цьому багато завдань істотно спрощуються. З'являється можливість проведення моніторингу великих територій за короткий час без упущення важливих деталей, що дуже ймовірно при використанні одиночних БПЛА. У разі групового керування БПЛА проводиться взаємодія між окремими БПЛА таким чином, щоб було повне відповідність їх дій, з поставленими перед ними задачами. [8; 1]

На нижчому рівні існує задача автоматичного планування маршрутів і управління БПЛА. Необхідно проводити розрахунок необхідної кількості апаратів, їх типів в залежності від виду завдання. Планувати маршрути таким чином, щоб заощадити час і ресурси, а також уникнути зіткнень між БПЛА і навколишнім середовищем. Чим більша кількість об'єктів управління системи, тим складніше організувати ефективний інформаційний обмін між операторами, якщо кожен БПЛА управляється вручну. З'являється потреба у багатооб'єктних автоматизованих системах управління (БАСУ) БПЛА. Призначення таких систем полягає в тому, щоб знизити навантаження на оператора і підвищити продуктивність кожного БПЛА і системи в цілому в порівнянні з ручним керуванням. Зниження навантаження досягається за рахунок делегування завдань на БАСУ, 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 неголономних обмежень апарату; прокладання мінімального шляху з обмеженням на радіус розвороту і деякі інші. [8;1-2]

За допомогою таких систем вирішуються завдання геологічної розвідки, проводяться пошукові та рятувальні роботи, спостереження за лініями електропередач, автоматизована локальна доставка поштових відправлень. В основному подібні системи існують у вигляді прототипів і є перспективними.

1.4.1. Задача оптимального розподілу цілей між групою БПЛА

Одним із завдань, що виникають при розробці таких систем БАСУ, є розподіл цілей між БПЛА. Задача полягає в тому, щоб оптимально розподілити цілі між БПЛА системи в сенсі мінімізації критерію вартості. Як критерій вартості маршруту можна взяти:

- 1) фактор відстані - сума довжин маршрутів;
- 2) фактор ресурсів - сумарна кількість ресурсів, витрачених БПЛА для досягнення цілей;
- 3) фактор перетинів - кількість перетинів маршруту з іншими;
- 4) фактор часу - час, за яке все БПЛА досягнуть своїх цілей. [9; 1-2]

Якщо БПЛА однакові по витраті ресурсів на одиницю відстані, то фактор ресурсів 2 еквівалентний фактору відстані 1. Фактор перетинів 3 розраховується як кількість перетинів лінійного маршруту з іншими лінійними маршрутами. У загальному випадку є перешкоди для прямолінійного руху, і маршрути не будуть прямолінійними. В цьому випадку їх можна апроксимувати кусково-лінійною функцією і розглянути ділянки як лінійні маршрути. [9; 1-2]

Для лінійних маршрутів мінімізація фактора відстані вирішує також і завдання мінімізації фактора перетинів. Це можна довести на прикладі цієї задачі. Нехай на площині дано два БПЛА A_1 та A_2 та дві цілі T_1 та T_2 . Можливими маршрутами є R_1 та R_2 , D_1 та D_2 . Необхідно довести, що $R_1 + R_2 < D_1 + D_2$.

БПЛА та цілі утворюють чотирикутник $R_2R_1D_1D_2$ (рис 1.5). Діагоналі чотирикутника D_1 та D_2 перетинаються у точці O і розділяються на відрізки d_{11} та d_{12} , d_{21} та d_{22} відповідно.

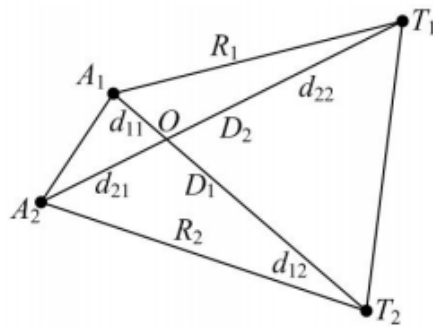


Рис.1.5. Чотирикутник, утворений двома БПЛА та двома цілями

Діагоналі, що перетинаються, утворюють трикутники OA_1T_1 та OA_2T_2 . Будь-яка сторона трикутника завжди менша за суму двох інших. На основі цього будеється система нерівностей:

$$\begin{cases} d_{11} + d_{22} > R_1 \\ d_{21} + d_{12} > R_2 \\ d_{11} + d_{12} = D_1 \\ d_{21} + d_{22} = D_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} d_{11} + d_{22} + d_{21} + d_{12} > R_1 + R_2 \\ d_{11} + d_{12} + d_{21} + d_{22} = D_1 + D_2 \end{cases} \rightarrow D_1 + D_2 > R_1 + R_2$$

Тобто сума довжин маршрутів, що не перетинаються, завжди менша суми довжин маршрутів, що перетинаються.

Проаналізуємо складності алгоритмів розрахунку матриць вартості на основі фактора перетинів і фактора відстаней. Для розрахунку фактора відстаней потрібно обчислити відстані від кожного БПЛА до кожної мети, тобто виконати $m \times n$ операцій, де m, n - кількість БПЛА і цілей відповідно. Складність алгоритму в Θ -нотації $\Theta(n^2)$. Для розрахунку фактора перетинів потрібно перевірити маршрути від кожного БПЛА до кожної мети на перетин з усіма можливими маршрутами, число яких $m \times n$. Загальна складність $(m - 1)n(m - 1)n$, тобто $\Theta(n^4)$. Більш того, кожна перевірка на перетин має велику обчислювальну складність, ніж розрахунок довжини маршруту.

Тобто при прямолінійних маршрутах мінімізація фактора відстані вирішує також задачу мінімізації фактора перетинів. Протилежне твердження, загалом, не вірне. Також розрахунок фактора відстаней має меншу обчислювальну складність. З

цих двох причин віддамо перевагу фактору відстаней, залишивши фактор перетинів для непрямолінійних маршрутів.

Мінімізація фактора відстані є вирішенням транспортної задачі. Зазвичай вона вирішується симплекс методом, а також його модифікаціями. Вхідним параметром цього завдання є матриця вартості, яка має вигляд:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \dots & C_{ij} & \dots \\ C_{m1} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1.1)$$

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

У загальному випадку кількість БПЛА не дорівнює кількості цілей. Більш простим є варіант, коли цілей менше ніж БПЛА. На одну мету призначаються кілька БПЛА. Якщо на мету потрібен тільки один об'єкт, для цілей, на які призначені кілька БПЛА, влаштовується конкурс. Мета отримує БПЛА, маршрут якого має найменшу вартість.

Якщо БПЛА менше ніж цілей, то ситуація ускладнюється і рішення залежить від порядку обходу цілей. Якщо БПЛА обходить мети без повернення на вихідну позицію, то при русі до наступної мети точкою відправлення є позиція поточної мети. У запропонованій матриці вартості немає елементів маршрутів від мети до мети, ця інформація значно збільшить розмірність матриці. Якщо в матрицю вартості додати ці елементи, то її розмірність виросте на кількість цілей n , а кількість елементів відповідно на n^2 . [9; 2-3]

У даній роботі пропонується ітераційний підхід, при якому в якості першої БПЛА вибирає мету з найменшою вартістю маршруту. Потім розраховується нова матриця вартості, в якій координатами БПЛА будуть координати зайнятих на останній ітерації цілей. Цілями залишаються тільки вільні мети. Далі відбувається рішення задачі на основі нової матриці вартості. І так до тих пір, поки не

залишитися «вільних» цілей. Таким чином, ми розіб'ємо складну задачу на простіші підзадачі.

Фактор часу 4 відрізняється від інших тим, що розраховується не як сума значень, що відповідають маршрутами, а визначається максимальним елементом. Якщо все БПЛА рухаються з однаковою швидкістю, то розрахунок елементів фактора часу аналогічний фактору відстаней. Відмінність полягає в способі рішення. Необхідно знайти таке поєднання маршрутів, в якому максимальна довжина маршруту мінімальна в порівнянні з будь-яким іншим поєднанням.

1.5. Висновки

У першому розділі мною було розглянуто поняття безпілотних літальних апаратів, їх класифікація та перспективи розвитку. Також було розглянуто спеціальний метод застосування БПЛА у вигляді ройової системи (груп) БПЛА, актуальність цього методу та переваги. У цій роботі ройова система розглянута з точки зору багатооб'єктної системи управління. При побудові БСУ виникає великий ряд задач, на нижчому рівні існує задача автоматичного планування маршрутів і управління БПЛА. Цю задачу можливо розглянути як оптимізаційну задачу, метод розв'язку якої буде розглянуто у розділі 2.

РОЗДІЛ 2

ПОНЯТТЯ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Оптимізація.

Існує великий клас задач, що мають важливе фундаментальне і/або прикладне значення, в рамках яких виникає необхідність в мінімізації або максимізації функцій різного виду (кажучи іншими словами, в знаходженні їх екстремумів). Даний розділ математики називається оптимізацією і включає в себе велику кількість задач різного виду і підходів до їх розв'язку. Математичні методи оптимізації не слід плутати з оптимізацією програмних засобів (як, наприклад, математичне програмування немає нічого спільного з програмуванням на мовах високого рівня), метою якої є зниження часу виконання програми і/або обсягу пам'яті.

Процес оптимізації (з латинської *optimus* – найкращий) зустрічається у багатьох аспектах сучасності, побуті чи науці, економіці чи політиці та інш, так як бажання досягнути найвигідніших результатів при найменших витратах стоїть в основі людської діяльності. Пошук таких оптимальних рішень привів к створенню спеціального математичного інструментарію. Основи перших методів оптимізації у вигляді варіаційного обчислення та числових методів були закладені вже в 18 сторіччі, оскільки розвиток промисловості потребував дослідження екстремальних задач. Однак застосовувати їх стали лише у другій половині 20 століття, коли стало можливим використовувати ЕОМ, в силу великої обчислювальної раніше неавтоматизованої роботи. До того ж процес ускладнювався зі збільшенням кількості параметрів задачі та їх зв'язків між собою, роблячи реалізацію розв'язку без обчислювальних машин неможливою. Зростання інтересу к дослідженням задач оптимізації також збільшувалося через виниклої проблеми обмеженості ресурсів у зв'язку з великим розмахом виробництва. Задача оптимального використання

Кафедра АКСУ				НАУ 20 07 49 000 ПЗ			
Виконав	Македонська А.Т.			Поняття оптимізаційної задачі про призначення	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Білак Н.В.					31	95
Консульт.					201 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

енергії, матеріалів, людських ресурсів, управління різними процесами техніки, економіки та тощо набули актуальності. До таких задач відноситься, наприклад, транспортна задача, суть якої полягає в пошуку найкращої організації перевізків при обмеженій кількості транспортних засобів, палива, часу. Як правило, розв'язок оптимізаційної задачі складається з наступних етапів:

- аналіз ситуації і формулювання задачі;
- визначення параметрів розв'язку, що підлягають оптимізації (тобто тих, які можуть бути змінені в ході рішення);
- встановлення допустимої області існування параметрів, тобто обмежень, що накладаються на параметри і їх зв'язки, що накладаються на параметри і їх зв'язки вибір і оцінка впливу зовнішніх факторів, що враховуються під час вирішення;
- вибір критеріїв оптимальності;
- побудова математичної моделі, яка видавала б показники, відповідні обраними критеріями;
- вибір математичного методу оптимізаційних розрахунків;
- проведення розрахунків і оцінка отриманих рішень за обраними критеріями;
- остаточне прийняття рішення з урахуванням невизначеності і ризику.

Слід підкреслити, що оптимізація на відміну від звичайного порівняння варіантів передбачає розгляд всіх рішень, що потрапляють в область допустимих значень параметрів. Ті рішення, в процесі пошуку яких не проводився повний перегляд можливих варіантів, зазвичай називають «раціональними». [10]

Вхідна інформація може бути визначеною і однозначною. Така інформація і називається певної або детермінованою. Вхідна інформація може носити випадковий характер і підкорятися законам теорії ймовірностей. Така інформація і називається випадковою. Вхідна інформація може носити невизначений характер і не підкорятися законам теорії ймовірностей. Така інформація називається невизначеною або недетермінованою.

2.1.1. Критерії оптимальності

Критерій оптимальності — основний показник якості роботи системи. Критерій оптимальності — фундаментальне поняття системи оптимального функціонування об'єктів (машин, процесів, підприємства, галузі, економіки у цілому).

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). [10]

Правильний вибір критеріїв грає істотну роль у виборі оптимального рішення. В теорії прийняття рішень не знайдено загального методу вибору критеріїв оптимальності. [11] В основному керуються досвідом або рекомендаціями. Найбільш вивчене питання фінансово-економічних задач, в яких найчастіше застосовується єдиний критерій - максимум показника ефективності, прибутку, або максимум рентабельності. Застосування для технічних задач тільки одного критерію (наприклад, максимум рівня безпеки, мінімум споживання енергії, мінімум екологічного збитку) часто призводить до абсурдних результатів, які виходять за область допустимих рішень, тому зазвичай поєднується з економічними критеріями (наприклад, мінімум вартості або максимум доходу). Для обліку «необчислювальних» критеріїв оптимальності, які стосуються, наприклад, гуманітарних питань, художнього враження, зміни ландшафту (наприклад, максимум зручності, привабливості) можуть застосовуватися експертні оцінки. [10]

Найбільш розроблені методи однокритерійної оптимізації, які дозволяють отримати однозначне рішення. У задачах багатокритеріальної оптимізації

абсолютно кращий розв'язок вибрати неможливо (за винятком окремих випадків), так як при переході від одного варіанта до іншого, як правило, поліпшуються значення одних критеріїв, але погіршуються значення інших. Склад таких критеріїв називається суперечливим, і остаточно вибране рішення завжди буде компромісним. Компроміс дозволяється введенням тих чи інших додаткових обмежень або суб'єктивних припущень. Тому неможливо говорити про об'єктивний єдиний розв'язок такої задачі. Тому до критерію оптимальності висувуються такі вимоги:

- 1) Критерій оптимальності повинен виражатися кількісно
- 2) Критерій оптимальності повинен бути єдиним
- 3) Критерій оптимальності повинен відображати найбільш істотні сторони процесу
- 4) Бажано щоб критерій оптимальності мав ясний фізичний зміст та легко розраховувався

В задачах оптимізації розрізняють прості та складні критерії оптимальності. Критерій оптимальності називається простим, якщо потрібно визначити екстремум цільової функції без задання умов на будь-які інші величини. Критерій оптимальності називається складним, якщо необхідно визначити екстремум функції при деяких умовах, які накладаються на ряд інших величин.

2.1.2. Постановка задачі оптимізації

Так як задача оптимізації прикладна, то використання створеного математичного апарату потребує правильного формулювання бажаної проблеми, тобто постановки задачі оптимізації. При постановці цієї задачі необхідно:

- Наявність об'єкту оптимізації та мети оптимізації. При цьому формулювання повинно потребувати екстремального значення лише однієї величини, тобто одночасно системі не повинно приписуватися два чи більше критеріїв оптимізації, так як практично завжди екстремум одного критерію не відповідає екстремуму другого
- Наявність ресурсів оптимізації, під якими розуміють можливість вибору значень деяких параметрів об'єкта, що оптимізується. Об'єкт повинен володіти певними ступенями свободи – керуючими впливами.

- Можливість кількісної оцінки величини, що оптимізується, оскільки тільки у цьому випадку можна зрівнювати ефекти від вибору тих або інших керуючих впливів.

- Врахування обмежень [11; 3]

Процес формулювання задачі оптимізації трудомісткий, що потребує матеріальних витрат по збору та аналізу необхідної вхідної інформації та чітких знань в предметній області математичного моделювання.

2.1.3. Математичне представлення та класифікація задач оптимізації

Формалізований математичний опис оптимізаційної задачі (математична модель) включає в себе:

- цільову функцію;
- обмеження;
- граничні умови.

Цільова функція являє собою математичний запис критерію оптимальності. При вирішенні оптимізаційної задачі шукається екстремум цільової функції, наприклад мінімальні витрати чи максимальний прибуток. Узагальнена запис цільової функції має наступний вигляд:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (2.1)$$

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

Існує декілька типів класифікації задач оптимізації. Насамперед, задачі розрізняють за типом аргументів на дискретні (елементи вектора x приймають дискретні або цілочислові значення) та на неперервні (елементи вектора x неперервні). Якщо змінна може приймати будь-які значення, така змінна називається неперервною. Прикладом безперервної змінної може служити потужність, що передається по лінії електропередачі. Якщо змінна може приймати тільки значення цілих чисел, така змінна називається цілочисельною. Прикладом цілочисельної змінної може служити кількість станків для виробництва або

кількість виробів, що випускаються промисловим підприємством. Якщо змінна може приймати тільки певні значення, така змінна називається дискретною. Прикладом дискретної змінної може служити шукана потужність трансформатора або шукане перетин лінії електропередачі. Значення таких величин регламентуються ГОСТами. Поширеним завданням з дискретними змінними є завдання вибору варіанта з числа заданих. [12]

Прийнято розрізняти задачі статичної оптимізації для процесів, що протікають в усталених режимах, та задачі динамічної оптимізації при неусталених режимах роботи.

Також задачі класифікують за виглядом цільової функції та розмірністю її аргументу. Задачі без обмежень, в яких вектор x є одномірний, називаються задачами з однією змінною та складають простіший, але разом з цим важливий підклас задач оптимізації. Задачі умовної оптимізації, в яких функції обмежень є лінійними, мають назву задач з лінійними обмеженнями.

Також розрізняють задачі за кількістю екстремумів цільової функції на задачі унімодальної та багатоекстремальної оптимізації. Розмежування оптимізаційних задач на такі класи грає велику роль при розробці методів їх розв'язку[13].

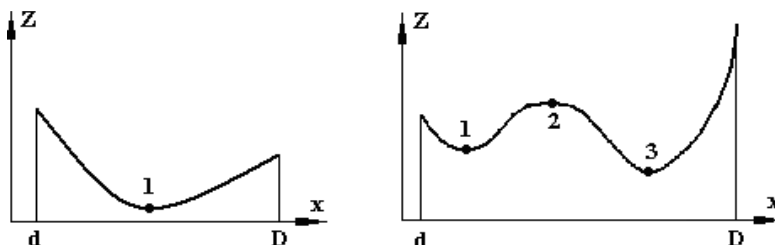


Рис.2.1. Унімодальна та багато екстремальна функції

На рис. 2.1 наведені приклади унімодальної (один мінімум) і багатоекстремальної (два мінімуму і один максимум) функції $Z(x)$ однієї змінної в діапазоні зміни цієї змінної $d < x < D$.

У разі багатоекстремальної функції кожен екстремум називається локальним. У багатоекстремальної функції шукається глобальний екстремум (найменший мінімум або найбільший максимум). Так при знаходженні мінімуму функції, наведеної на рис. 2.1 шукається глобальний мінімум, який відповідає точці 3. [12]

Обмеження представляють собою різні технічні, економічні, екологічні умови, що враховуються при вирішенні задачі. Обмеження представляють собою залежності між змінними x_1, x_2, \dots, x_n , що задаються у формі нерівностей або рівностей:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) < b_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) < b_2 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) < b_m \end{cases} \quad (2.2)$$

Загальна кількість обмежень m . Праві частини обмежень, що представляють собою постійні коефіцієнти $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, називаються вільними членами. Як і в виразі цільової функції (2.1), залежності між змінними в системі обмежень (2.2) можуть бути лінійними і нелінійними. Наявність в системі обмежень (2.2) співвідношень в формі нерівностей створює додаткові труднощі при вирішенні оптимізаційної задачі, оскільки на відміну від строгого рівності нерівності є в деякому роді невизначеність.

2.2. Методи оптимізації

Загальний опис задач оптимізації задає велику різноманітність їх класів. Від класу задачі залежить вибір методу (ефективність її розв'язку). Класифікацію задач визначають: цільова функція і допустима область (задається системою нерівностей і рівностей або більш складним алгоритмом). Класифікація методів оптимізації являє собою досить складну задачу, тому що в основному вони історично розвивалися незалежно один від іншого з використанням різних концепцій, математичних апаратів і так далі.

Методи оптимізації класифікують відповідно до завдань оптимізації:

- Локальні методи: сходяться до якого-небудь локального екстремуму цільової функції. У разі унімодальної цільової функції, цей екстремум єдиний, і буде глобальним максимумом / мінімумом.

- Глобальні методи: мають справу з багатоекстремальними цільовими функціями. При глобальному пошуку основним завданням є виявлення тенденцій глобальної поведінки цільової функції.

Існуючі в даний час методи пошуку можна розбити на три великі групи:

- детерміновані;
- випадкові (стохастичні);
- комбіновані.

За критерієм розмірності допустимої множини, методи оптимізації ділять на методи одновимірної оптимізації та методи багатовимірної оптимізації.

За видом цільової функції і допустимої множини, задачі оптимізації та методи їх вирішення можна розділити на наступні класи:

- 1) задачі оптимізації, в яких цільова функція та обмеження є лінійними функціями, розв'язуються так названими методами лінійного програмування;
- 2) в іншому випадку мають справу з задачею нелінійного програмування та застосовують відповідні методи. В свою чергу з них виділяють дві окремі задачі:
 - а) якщо цільова функція та обмеження – опуклі функції, то така задача має назву задача опуклого програмування;
 - б) якщо допустима множина належить до множини цілих чисел, то мають справу з задачею цілочисельного (дискретного) програмування.

За вимогами до гладкості і наявності у цільової функції часткових похідних, їх також можна розділити на:

- прямі методи, які потребують лише обчислень цільової функції в точках наближень;
- методи першого порядку: вимагають обчислення перших часткових похідних функції;
- методи другого порядку: вимагають обчислення других часткових похідних, тобто гессіан цільової функції.

Крім того, оптимізаційні методи діляться на наступні групи:

- аналітичні методи (наприклад, метод множників Лагранжа і умови Каруша - Куна - Таккера);

- чисельні методи;
- графічні методи.

Залежно від природи множини X задачі математичного програмування класифікуються як:

- задачі дискретного програмування (або комбінаторної оптимізації) - якщо X кінцеве або лічильне;
- задачі цілочислового програмування - якщо X є підмножиною множини цілих чисел;
- задачі нелінійного програмування, якщо обмеження або цільова функція містять нелінійні функції і X є підмножиною кінцевовимірному векторного простору.
- якщо ж всі обмеження і цільова функція містять лише лінійні функції, то це - завдання лінійного програмування.

Крім того, розділами математичного програмування є параметричне програмування, динамічне програмування і стохастичне програмування.

2.3. Дискретне програмування

Завдання дискретної оптимізації отримали активне поширення з кінця XIX - початку XX століття в зв'язку з розвитком дискретної прикладної математики і її складових, таких як теорія графів, теорія ігор, дослідження операцій, математичне целочисельне програмування, теорія розкладів. В результаті розвитку відповідних напрямів науки в XVII -XX ст. в роботах Готфріда Лейбніца, Леонарда Ейлера та інших відомих вчених зародився новий напрямок, іменованій комбінаторикою, в рамках якого вивчаються дискретні об'єкти, їх властивості та відносини між ними. Прикладами комбінаторних об'єктів, що вивчаються в рамках відповідного напрямку, є рахункові множини і мультимножини, графи і гіперграфи, розклади різного виду. Як правило, комбінаторні задачі мають на увазі організацію перебору тієї чи іншої множини рішень з виконанням яких-небудь додаткових дій, наприклад, підрахунку числа рішень або вибору одного з них. У деяких окремих випадках вони допускають аналітичний розв'язок, наприклад, методами теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії систем масового обслуговування і т.д. [14].

Подібні задачі теоретичного плану знаходять застосування при розв'язку ряду практично важливих задач: наприклад, при побудові маршрутів з використанням GPS-навігатора вирішується завдання пошуку найкоротшого шляху в графі великої розмірності; латинські квадрати знаходять застосування в теорії кодування; лінійки Голомба застосовуються при побудові базових станцій CDMA (GSM), а також при проектуванні фазованих антенних решіток і радіотелескопів. При вирішенні заадч безперервної оптимізації часто з успіхом застосовується математичний апарат, заснований на використанні похідних і градієнтів. У завданнях дискретної оптимізації він марний з огляду на те, що поняття похідної для дискретних об'єктів не визначено. Завдяки цьому дані задачі виділяються в окремий клас і вирішуються з використанням ряду спеціалізованих підходів. Серед них можна виділити наступні основні підкласи задач:

- задачі на існування розв'язку;
- задачі на пошук (суб)оптимального рішення;
- задачі на перерахунок об'єктів. [14]

2.3.1. Основні типи задач дискретної оптимізації

Задача дискретної оптимізації – це задача пошуку максимуму або мінімуму функції f , визначено на кінцевій або зліченій множині D :

$$f(x) \rightarrow \text{extr}, \quad x \in D \quad (2.3)$$

Якщо множина допустимих значень задається системою обмежень

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m_1, \quad g_i(x) = 0, \quad i = m_1 + 1, \dots, m_1,$$

$$x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n, \quad x_j \in \Omega_j \subset R, \quad j = 1, \dots, n_1, \quad n_1 \leq n,$$

де кожне Ω_j – кінцева множина, з більш ніж 2 елементів, або злічена множина, то задача (2.3) називається частино дискретного (або дискретного, якщо $n_1 = n$) математичного програмування. Якщо $\Omega_j \subseteq Z$, $j = 1, \dots, n_1$, то задача (2.3) називається задачею частино цілочисельного (або цілочисельного, якщо $n_1 = n$) програмування. [15]

Відокремлюють наступні основні класи задач дискретного програмування: транспортна задача та її варіанти, задачі з неподільностями, екстремальні

комбінаторні задачі, задачі на некласичних областях, задачі з розривною цільовою функцією.

Транспортна задача лінійного програмування при цілочисельних вихідних даних завжди володіє цілочисельним оптимальним планом. Тому для розв'язку дискретних задач, які можна сформулювати як транспортні задачі, що доповнені умовами цілочисельності змінних, можна застосовувати звичайні методи лінійного програмування. Найбільш відомою задачею цього класу – задача про призначення.

Задачі з неподільностями – це математичні моделі прикладних задач, змінні в яких являють собою фізично неподільні величини. Такі задачі описують, наприклад, планування випуску неподільних видів продукції чи використання неподільних виробничих факторів, це задачі розподілу ресурсів та капіталовкладень, сітьового планування та управління, виробничого планування та тому подібне.

В комбінаторних задачах оптимізується функція, що задана на кінцевій множині, елементами якої слугують вибірки (перестановки) з n об'єктів. З комбінаторних задач, що мають більше прикладне значення, потрібно відокремити задачу комівояжера та задачі теорії розкладів. При постановці комбінаторних задач у вигляді задач цілочисельного програмування часто вводяться булеві змінні $x_j \in \{0,1\}$, що мають логічний характер: $x_j = 1$, якщо виконується якась умова та $x_j = 0$ в протилежному випадку. Так, наприклад, йде справа, коли розв'язок зводиться к вибору одного з можливих варіантів дій, включно й варіант відмови від яких би не було дій. [15]

Задачі на некласичних областях являють собою задачі пошуку екстремуму лінійної функції на не опуклій чи незв'язній області, що задається, наприклад, з використанням логічних умов вигляду «або-або». В задачах з розірваними цільовими функціями, супротив, допустима множина – опуклий многогранник, але цільова функція не є неперервною. Наприклад, під неоднорідною розірваною лінійною функцією розуміється функція $\sum_{j=1}^n c_j(x_j)$, де $c_j(x_j) = \begin{cases} 0 & \text{при } x_j = 0 \\ c_j x_j + d_j & \text{при } x_j > 0 \end{cases}$. К появи подібних цільових функцій призводить, зокрема, ураховання в моделях постійних витрат, які повинні бути приведені незалежно від

обсягу виробництва. Задачі останніх двох класів можуть бути приведені до задач часткового цілочисельного лінійного програмування введенням додаткових, як правило, булевих змінних. [15]

2.4. Задача про призначення.

Задача поставлена у першому розділі відноситься до класу задач про призначення, так як необхідно оптимально розподілити елементи однієї множини по елементам другої з врахуванням критерію вартості.[16]

Задачу про призначення можна віднести до великого класу задач прийняття управлінських рішень. Вона передбачає пошук розподілів об'єктів однієї з множин по групі об'єктів другої множини та цей розподіл повинен відповідати оптимальності цільової функції. Задача про призначення є частковим випадком загальних класів оптимізаційних задач. Зокрема, однією з актуальних задач, що відноситься до цього класу, є проблема ефективного суміщення різних потоків (ресурсів). В якості прикладу можна привести процеси побудови періодичних розкладів з сумісництвом, задачу оптимального закріплення елементів системи, аналіз та порівняння основних потоків інформації, що циркулюють в будь-якій мережі с інтеграцією служб, транспортну логістику, а також ряд інших. Підходи до розв'язку цих задач досить різноманітні, в більшості випадків потребують адаптації до реальної системи та в загальному випадку не дозволяють знайти оптимальний розв'язок за прийнятний час.[16]

При вирішенні деяких задач управління персоналом доводиться призначати виконавців для виконання деяких однотипних операцій. При цьому в якості виконавців розуміють не тільки людей, а й механізми, верстати, агрегати і т.д., а під призначенням розуміють відповідність між працівниками і роботами. Завдання полягає в розподілі виконавців по роботах таким чином, щоб максимізувати (мінімізувати) сумарний критерій ефективності (неефективності) виконання всіх робіт.[16]

У цьому формулюванні задачу називають «задачею про призначення», яка являє собою окремий випадок транспортної задачі. Тому для її вирішення можна скористатися будь-яким алгоритмом розв'язку задач лінійного програмування. Якщо

число виконавців і число виконуваних робіт збігаються, то задача є збалансованою, в іншому випадку – незбалансованою. У разі збалансованої задачі про призначення виконуються дві умови: кожен виконавець виконує тільки одну роботу, кожна робота виконується тільки одним виконавцем.

2.4.1. Математична постановка задачі про призначення

Сформулюємо математичну постановку збалансованої задачі про призначення. Нехай дана невід’ємна матриця C розмірності $n \times n$, де елемент c_{ij} відповідає вартості виконання j -го виду робіт i -м працівником. Необхідно знайти таку відповідність робіт виконавцям, щоб витрати на оплату праці були найменшими. Якщо мета полягає в знаходженні призначення з найбільшою вартістю, то рішення зводиться до вирішення аналогічної задачі шляхом заміни кожної вартості c_{ij} на різницю між максимальною вартістю і c_{ij} , тобто матриця собівартостей вимагає перетворення за правилом $c_{ij}' = \max\{c_{ij}\} - c_{ij}$. [17]

Введемо змінні x_{ij} наступним чином:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{тий виконавець призначений на } j - \text{тую роботу} \\ 0, & \text{якщо } i - \text{тий виконавець не призначений на } j - \text{тую роботу} \end{cases}$$

Таким чином, значення x_{ij} утворюють матрицю значень X розмірності $n \times n$, що складається з нулів та одиниць.

Запишемо цільову функцію $F(X)$ – сумарну вартість виконання усіх робіт:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2.4)$$

Сформулюємо обмеження розглянутої задачі. Виконання умови виконання працівником тільки однієї роботи значить, що кожний рядок матриці призначень X містить тільки одне значення рівне одиниці, а всі інші дорівнюють нулю:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Виконання умови відповідності кожній роботі тільки одного виконавця значить, що кожний стовпець матриці призначень X містить тільки одне значення рівне одиниці, а всі інші дорівнюють нулю:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Таким чином, отримаємо задачу лінійного програмування. Цільова функція та обмеження складають математичну постановку задачі дискретної оптимізації. [17]

Розглянемо розв'язок незбалансованої задачі про призначення, коли число виконавців n не дорівнює числу робіт m . При цьому можливі два випадки:

- 1) число виконавців n більше кількості робіт m ($n > m$);
- 2) число виконавців n менше кількості робіт m ($n < m$).

В кожному з цих випадків для розв'язку незбалансованої задачі її приводять до виду збалансованої, шляхом введення фіктивних робіт або працівників з нульовими значеннями c_{ij} - ефективності (неефективності) виконання i -тим виконавцем j -тої роботи.

2.4.2. Динамічне програмування.

Для розв'язку збалансованої задачі про призначення можна запропонувати наступний простий алгоритм: на кожному кроці призначення, починаючи з першого виконавця, обрати самого ефективного (неефективного). Таким чином, для пошуку оптимального призначення планувальна операція розділяється на ряд послідовних кроків. Відповідно, й сам процес розподілу робіт між виконавцями стає багатокроковим й розвивається послідовно, від етапу до етапу. Однак такий спосіб розв'язку, як правило, не призводить к отриманню оптимального розв'язку. Якщо на перших кроках обирати найефективніших (найнеефективніших) виконавців, то на останніх кроках алгоритму доводиться виконувати призначення, які можуть привнести негативний вклад до сумарного критерію. Тому доцільно у якості методу розв'язку задачі про призначення застосовувати математичний апарат динамічного програмування, розроблений для розв'язку деякого класу задач шляхом їх розкладу на відносно невеликі, при тому, кожного разу оптимізувати керування тільки на одному кроці.[16]

Стан системи на кожному кроці i характеризується декою змінною – змінною стану x_i , яка залежить від свого значення на попередньому кроці x_{i-1} та від обраного на даному кроці керування u_i :

$$x_i = f(x_{i-1}, u_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Найкращий ефект на цьому етапі разом з вже розглянутими кроками характеризується функцією стану. Принцип динамічного програмування передбачає, що керування на кожному кроці повинно обиратися з врахуванням усіх його наслідків у майбутньому. Однак тільки останній крок може плануватися «без оглядання на майбутнє». Таким чином, визначивши оптимальним чином цей останній крок, можна відтворити попередній і так далі. Тому процес динамічного програмування розгортається від кінця до початку. Принцип пошуку оптимального продовження процесу відносно того стану, що було досягнуто в даний момент, прийнято називати принципом оптимальності Беллмана.

2.4.2. Угорський алгоритм.

Специфічні особливості завдань про призначення послужили приводом до появи ефективного Угорського методу їх вирішення. Цей метод був розроблений і опублікований Гарольдом Куном в 1955 році. Автор дав йому ім'я «Угорський метод» в зв'язку з тим, що алгоритм в значній мірі заснований на більш ранніх роботах двох угорських математиків (Кеніга і Егерварі). [17]

Основна ідея Угорського методу полягає у переході від вихідної квадратної матриці вартостей C до еквівалентної їй матриці C , з невід'ємними елементами та системою n незалежних нулів, з яких ніякі два не належать одному або іншому рядку. Для заданого n існує $n!$ допустимих розв'язків. Якщо в матриці призначень X розмістити n одиниць так, що в кожному рядку та стовпці знаходиться тільки по одній одиниці, розташованих у відповідності з розташованими n незалежними нулями еквівалентної матриці $C_{\text{екв}}$, то отримаємо допустимі розв'язки задачі про призначення. [19]

Алгоритм заснований на двох ідеях:

- 1) якщо зі всіх елементів деякого рядка або деякого стовпця відняти одне й те саме число a , то загальна вартість зменшиться на a , а оптимальний розв'язок не зміниться;
- 2) якщо є розв'язок нульової вартості, то він оптимальний.

Алгоритм шукає значення, які необхідно відняти від усіх елементів кожного рядку та кожного стовпця (різні для різних рядків та стовпців), такі, що усі елементи

матриці залишаються невід'ємні, але з'явиться нульове значення. В матричній інтерпретації алгоритм можна сформулювати у вигляді послідовних однотипних кроків.

Алгоритм Угорського методу:

Крок 1. В кожному рядку матриці вартості необхідно знайти мінімальний елемент та відняти його з усіх елементів рядку.

Крок 2. В кожному стовпці матриці вартостей, що не містять нулів, знайти мінімальний елемент та відняти його з усіх елементів стовпчика. Отримаємо матрицю вартостей, кожний рядок та кожний стовпець, якого містять хоча б один нульовий елемент. Якщо призначення після цього етапу неможливе, то переходимо до наступного кроку.

Крок 3. Провести найменшу кількість ліній (вертикалей та горизонталей), щоб покрити усі нулі. Для цього можна використати будь-який відомий метод.

Крок 4. Знайти найменший з елементів, через які не проходить жодна пряма, та відняти його з усіх елементів, через які не проходять лінії, та додати його до усіх елементів, що знаходяться на перетині прямих. Елементи, через які проходить лише одна пряма, залишити незмінними. В результаті цієї дії в матриці призначень з'явиться як мінімум одне нульове значення. Перевірити, чи можливе призначення. Якщо призначення буде неможливим, необхідно повторити кроки 3 та 4 до тих пір, поки призначення не стане можливим. [20]

2.5. Висновки

У другому розділі я розглянула процес оптимізації, його критерії, основну постановку та математичний вигляд загальної задачі оптимізації, та різні класифікації задач та методів їх розв'язку. Було розглянуто поняття дискретного програмування та основні типи задач дискретного програмування. Задача побудови оптимальних маршрутів групи БПЛА відноситься до задач про призначення. Для розв'язку поставленої задачі було обрано Угорський метод, з огляду на легкість математичного апарату та достатньо велику швидкість розв'язку для невеликої кількості БПЛА та точок призначення.

РОЗДІЛ 3

АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЦІЛЕЙ МІЖ ГРУПОЮ БПЛА

3.1. Постановка оптимізаційної задачі

У пункті 1.4.1 було розглянуто задачу оптимального розподілу цілей між БПЛА системи в сенсі мінімізації критерію вартості. Серед висвітлених критеріїв було обрано фактор вартості. У пункті 1.4.1. було доведено, що при мінімізації цього критерію при прямолінійних маршрутах розв'язується також мінімізація фактору перетинів, а при однаковій витраті ресурсів БПЛА на одиницю відстані, то задачі мінімізації цих двох факторів еквівалентні. Для розрахунку фактора перетинів потрібно перевірити маршрути від кожного БПЛА до кожної мети на перетин з усіма можливими маршрутами, число яких $m \times n$. Загальна складність $(m - 1) n (m - 1) n$, тобто $\Theta (n^4)$. Більш того, кожна перевірка на перетин має велику обчислювальну складність, ніж розрахунок довжини маршруту.

Тому задача мінімізації фактору відстані є найбільш доцільною.

Як було вище вказано, мінімізація фактора відстані є вирішенням транспортної задачі, вхідним параметром якої є матриця вартості, яка має вигляд:

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

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

У другому розділі було встановлено, що вказана задача відноситься до класу транспортних задач лінійного програмування при цілочисельних вихідних даних, а саме до задач про призначення.

Кафедра АКСУ				НАУ 20 07 49 000 ПЗ			
Виконав	Македонська А.Т.			Алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу цілей між групою БПЛА	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Білак Н.В.					47	91
Консульт.					201 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

Ця задача передбачає пошук розподілів об'єктів однієї з множин по групі об'єктів другої множини та цей розподіл повинен відповідати оптимальності цільової функції. Одним з найвідоміших методів розв'язку подібного класу задач є Угорський метод, алгоритм якого був розглянутий у пункті 2.4.3.

Необхідно обумовити початкові умови розв'язувальної задачі. Розглядаються статичні однорідні БПЛА, тобто у точках призначення БПЛА не виконує додаткових переміщень, тобто не рухається, кожен БПЛА може рухатися до кожної цілі, так як виконує однакові функції.

Припустимо, що на одній площині є m різних цілей B_1, B_2, \dots, B_m і n різних БПЛА A_1, A_2, \dots, A_n , кожен з яких може досягати до будь-якої цілі. Потрібно так розподілити БПЛА по цілям, щоб сумарна відстань від їх була мінімальною, а також кожна ціль була досягнута.

Звернемо увагу, що кількість цілей та об'єктів не однакова, тобто задача є незбалансованою. У даній роботі пропонується ітераційний підхід, при якому в якості першої БПЛА вибирає мету з найменшою вартістю маршруту. Потім розраховується нова матриця вартості, в якій координатами БПЛА будуть координати зайнятих на останній ітерації цілей. Цілями залишаться тільки вільні мети. Далі відбувається рішення задачі на основі нової матриці вартості. І так до тих пір, поки не залишаться «вільних» цілей. Таким чином, ми розіб'ємо складну задачу на простіші підзадачі.

3.2. Задача оптимального розподілу при конкретних умовах

Для розробки загального алгоритму розв'язку задачі про оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА на першому етапі необхідно розв'язати частину задачі. У пункті 1.4.1. було вказано, що у загальному випадку кількість БПЛА не дорівнює кількості цілей. Необхідно перевірити поведінку Угорського алгоритму при трьох випадках: коли кількість БПЛА більша за кількість цілей, коли кількість БПЛА дорівнює кількості цілей, та коли кількість БПЛА менша за кількість цілей.

Так як у роботі використовується ітераційний підхід, а саме розбі'єння задачі на меншу подібні. Тому доцільніше обрати задачу, коли кількість БПЛА більша за кількість цілей, де буде розглянуто алгоритм при двох варіантах вихідних даних. Для часткової задачі оберемо невелику кількість цілей та БПЛА для зручності обрахунку, але розроблений алгоритм буде для довільних кількостей цілей та об'єктів.

Задамо такі вихідні дані: на координатній площині ОХУ задано 3 БПЛА та 4 цілі, необхідно розрахувати оптимальний розподіл 4 цілей між 3 БПЛА з мінімізацією фактору відстані. Початкові координати БПЛА та цілей вказані у табл. 3.1. та на рис. 3.1.

Так як кількість цілей та БПЛА відрізняється, то задача буде розв'язуватися у 2 кроки: на першому буде досягнуто 3 цілі, на другому остання, тобто задача містить вкладену задачу. Таким чином буде розглядалий алгоритм дій, коли цілей більше ніж БПЛА та навпаки.

Таблиця 3.1. Вихідні дані тестової задачі

Координати БПЛА i			Координати цілей j		
	X	Y		X	Y
A_1	1	2	B_1	4	5
A_2	2	8	B_2	7	3
A_3	10	7	B_3	4	1
			B_4	3	5

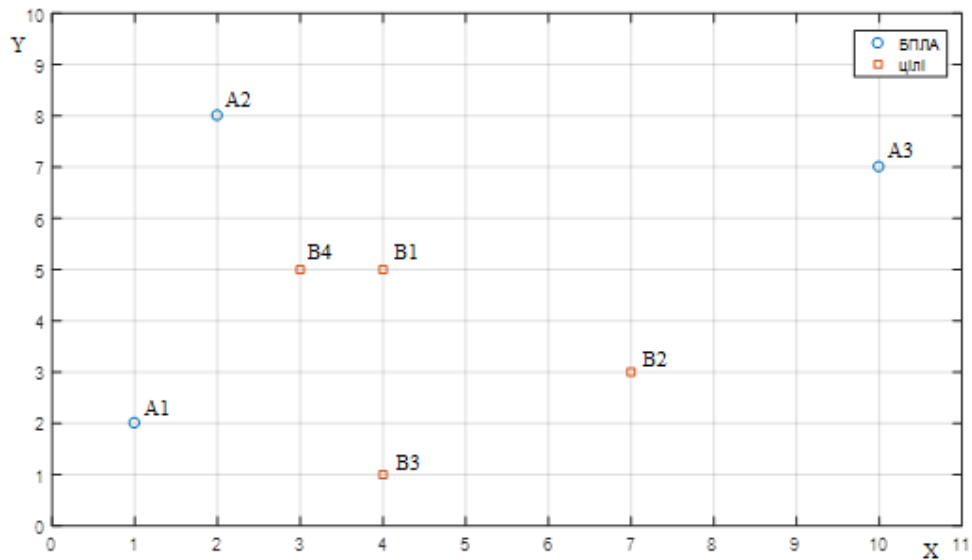


Рис. 3.1. Початкові координати БПЛА та цілей тестової задачі

Для застосування Угорського методу розраховується матриця вартості 3.1. Елементами цієї матриці є вартості маршрутів, з огляду на обраний фактор оптимізації, вартість маршруту є його довжина. Довжина маршруту БПЛА це відстань між точками БПЛА та цілі, до якої БПЛА рухається:

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

де x_i, y_i – координати i -го БПЛА, а x_j, y_j – координати j -ї цілі.

Для зручності, представимо матрицю вартості у вигляді таблиці:

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	4,2	6,1	3,2	3,6
2	3,6	7,1	7,3	3,2
3	6,3	5,0	8,5	7,3

Так як кількість цілей більша за кількість БПЛА, то задача є незбалансованою. Для розв'язку незбалансованої задачі її приводять до виду збалансованої, шляхом введення фіктивних виконавців, в нашому випадку БПЛА, з нульовими значеннями c_{ij} - вартості виконання(досягнення) i -тим виконавцем (БПЛА) j -тої роботи(ціль). Розрахуємо необхідну кількість фіктивних БПЛА: $n = i - j = 4 - 3 = 1$. Тож необхідно додати один фіктивний БПЛА з нульовою вартістю маршрутів:

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	4,2	6,1	3,2	3,6
2	3,6	7,1	7,3	3,2
3	6,3	5,0	8,5	7,3
4	0	0	0	0

Тепер до приведеної задачі можна застосувати Угорський алгоритм.

Ітерація 1

В кожному рядку матриці вартості необхідно знайти мінімальний елемент та відняти його з усіх елементів рядку. Рядок 4 з нульовими вартостями залишити незмінним. Елементи матриці, що містять нулі виділимо для зручності жовтим кольором.

$i \backslash j$	min	1	2	3	4
1	3,2	1,1	2,9	0	0,4
2	3,2	0,4	3,9	4,1	0
3	5,0	1,3	0	3,5	2,3
4	0	0	0	0	0

Отримали матрицю вартостей, кожний рядок та кожний стовпець, якого містять хоча б один нульовий елемент. Необхідно зауважити, що якщо в кожному стовпці та рядку не вистачає нулів, то треба знайти мінімальний елемент в кожному стовпці та відняти від інших елементів стовпця.

Обумовимо умову зупинки методу: коли в кожному рядку не фіктивних БПЛА міститься тільки один елемент, то можна виконати призначення, де кожному БПЛА відповідає ціль, під номером стовпця де знаходиться нуль.

Перевіримо чи можливе призначення. Призначення після цього етапу неможливе, так як у рядку 2 та 4 міститься декілька нулів. Переходимо до наступного кроку. Проведемо найменшу кількість ліній (вертикалей та горизонталей), щоб покрити усі нулі. Вертикалі – синій колір, горизонталі – червоний, перетин – зелений.

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	1,1	2,9	0	0,4
2	0,4	3,9	4,1	0
3	1,3	0	3,5	2,3
4	0	0	0	0

Знайти найменший з елементів, через які не проходить жодна пряма – 0,4.

Відняти його з усіх елементів, через які не проходять лінії, та додати його до усіх елементів, що знаходяться на перетині прямих. Елементи, через які проходить лише одна пряма, залишити незмінними.

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	0,7	2,9	0	0,4
2	0	3,9	4,1	0

3	0,9	0	3,5	2,3
4	0	0,4	0,4	0,4

Перевіряємо, чи можливе призначення – ні, так яку у рядку 2 декілька нулів.
Необхідно повторити кроки 3 та 4 до тих пір, поки призначення не стане можливим.

Ітерація 2

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	0,7	2,9	0	0,4
2	0	3,9	4,1	0
3	0,9	0	3,5	2,3
4	0	0,4	0,4	0,4

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	0,7	2,9	0	0
2	0,4	4,3	4,5	0
3	0,9	0	3,5	1,9
4	0	0,4	0,4	0

Виконати призначення неможливо – повторюємо кроки:

Ітерація 3:

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	0,7	2,9	0	0
2	0,4	4,3	4,5	0
3	0,9	0	3,5	1,9
4	0	0,4	0,4	0

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	1,1	3,3	0	0,4
2	0,4	4,3	4,1	0
3	0,9	0	3,1	1,9
4	0	0,4	0	0

Так як у рядках 1-3 по одному нулю, можна виконати призначення та виконалася умова зупинки Угорського методу:

Порядковий номер БПЛА	Порядковий номер цілі
1	3
2	4
3	2
4	1

Так як 4-й БПЛА – фіктивний, то ціль під номером 1 – залишається на другий крок. Так як БПЛА не повертаються до початкових координат, то початкові координати БПЛА для другого кроку це координати цілей, яких досягли БПЛА на першому кроці. Тобто вихідні дані для другого кроку мають вигляд:

Координати БПЛА i			Координати цілей j		
	X	Y		X	Y
A_1	4	1	B_1	4	5
A_2	3	5			
A_3	7	3			

На цьому етапі розглядається алгоритм розв'язку, для задачі, коли кількість БПЛА більша за кількість цілей. Ця задача розв'язується у один крок: розраховується матриця вартостей. У кожному стовпці знаходиться мінімальний елемент, та відіймається від кожного елемента стовпця. Якщо, в кожному рядку та кожному стовпці немає хоча б одного нуля, то в кожному рядку знаходиться мінімальний елемент та віднімається від кожного елемента рядка. Нулі матриці є призначеннями БПЛА.

Розрахуємо матрицю вартості:

$$C = \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ 3,61 \end{bmatrix}$$

Знаходимо мінімальний елемент – 1.

$$\begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ 3,61 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 2,61 \end{bmatrix}$$

Тож до цілі 1 призначено 2-ий БПЛА.

Загальний розв'язок задачі розподілу 4 цілей між групою БПЛА з 3 апаратів:

БПЛА		Крок 1		Крок 2
A_1	→	B_3	→	-
A_2	→	B_4	→	B_1
A_3	→	B_2	→	-

Розв'язок у вигляді траєкторій польоту групи БПЛА зображений на рис. 3.2.

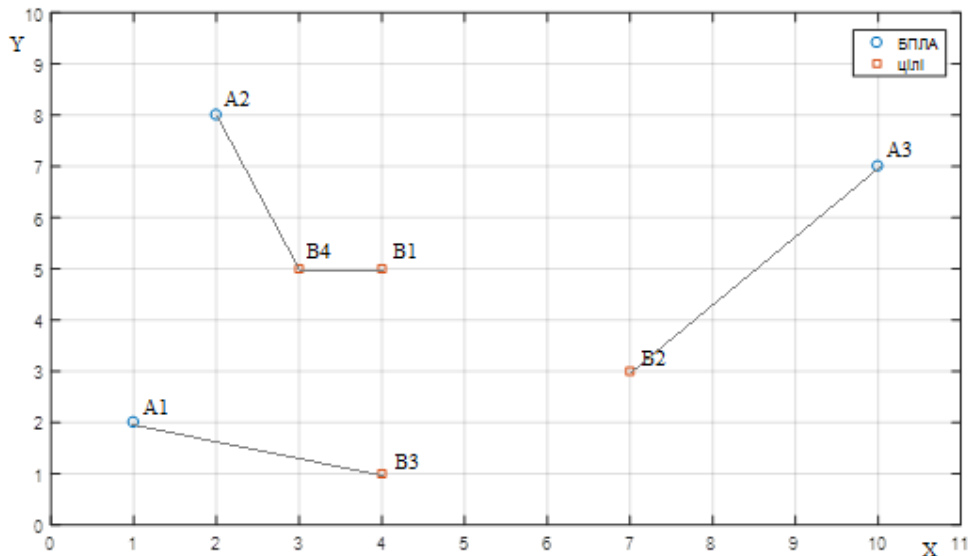


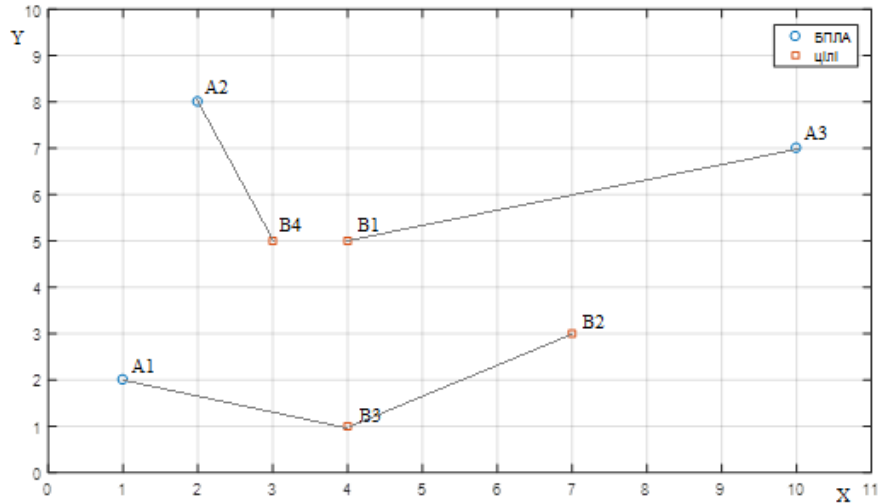
Рис. 3.2. Розв'язок тестової задачі у графічному виді

Розрахуємо сумарну відстань руху:

$$L = r_{A_1 B_3} + r_{A_2 B_4} + r_{B_4 B_1} + r_{A_3 B_2} = 3,2 + 3,2 + 5 + 1 = 12,3$$

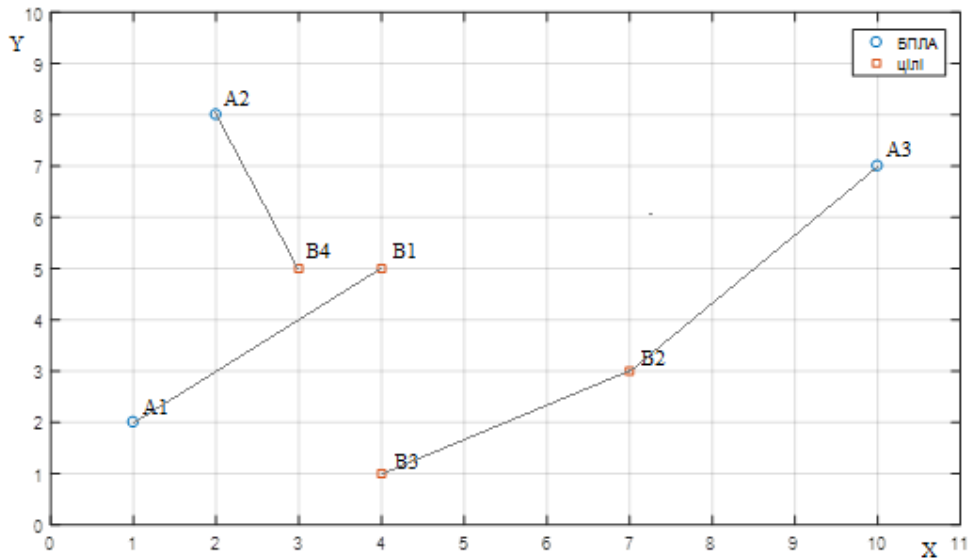
Для доведення оптимальності розподілу розглянемо альтернативні рішення та розрахуємо сумарні відстані:

Розв'язок 1:



$$L_1 = r_{A_1B_3} + r_{A_1B_2} + r_{A_2B_4} + r_{B_3B_1} = 3,2 + 3,2 + 3,2 + 6,3 = 15,8$$

Розв'язок 2:



$$L_2 = r_{A_1B_1} + r_{A_2B_4} + r_{A_3B_2} + r_{A_2B_3} = 4,2 + 3,2 + 5 + 3,2 = 15,5$$

Ці розв'язки хоч і не мають перетинів, але сумарна відстань руху БПЛА більша:

$$L_1 > L_2 > L$$

Тому побудований розв'язок за алгоритмом Угорського методу є оптимальним, що було метою дослідження. Маю зауважити, що при збільшенні кількості цілей та БПЛА побудова альтернативних розв'язків складніше та різниця сумарних відстаней збільшується.

3.3. Розробка алгоритму розв'язку

На основі тестової задачі було розроблено алгоритм (рис. 3.3.) розв'язку задачі про оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА.

При побудові алгоритму було враховано різні вихідні дані: при різній кількості БПЛА та цілей розрахована незбалансована матриця вартостей приводиться до збалансованої шляхом введення фіктивних БПЛА.

Сформований алгоритм є універсальним, та може бути ускладнений шляхом введення третьої координати точок БПЛА та цілей (тобто трьохвимірна система координат), введення додаткових умов: різних швидкостей БПЛА, різних вартостей цілей. Це ускладнить матрицю вартості вихідної задачі, але алгоритм розв'язку буде подібний розробленому.

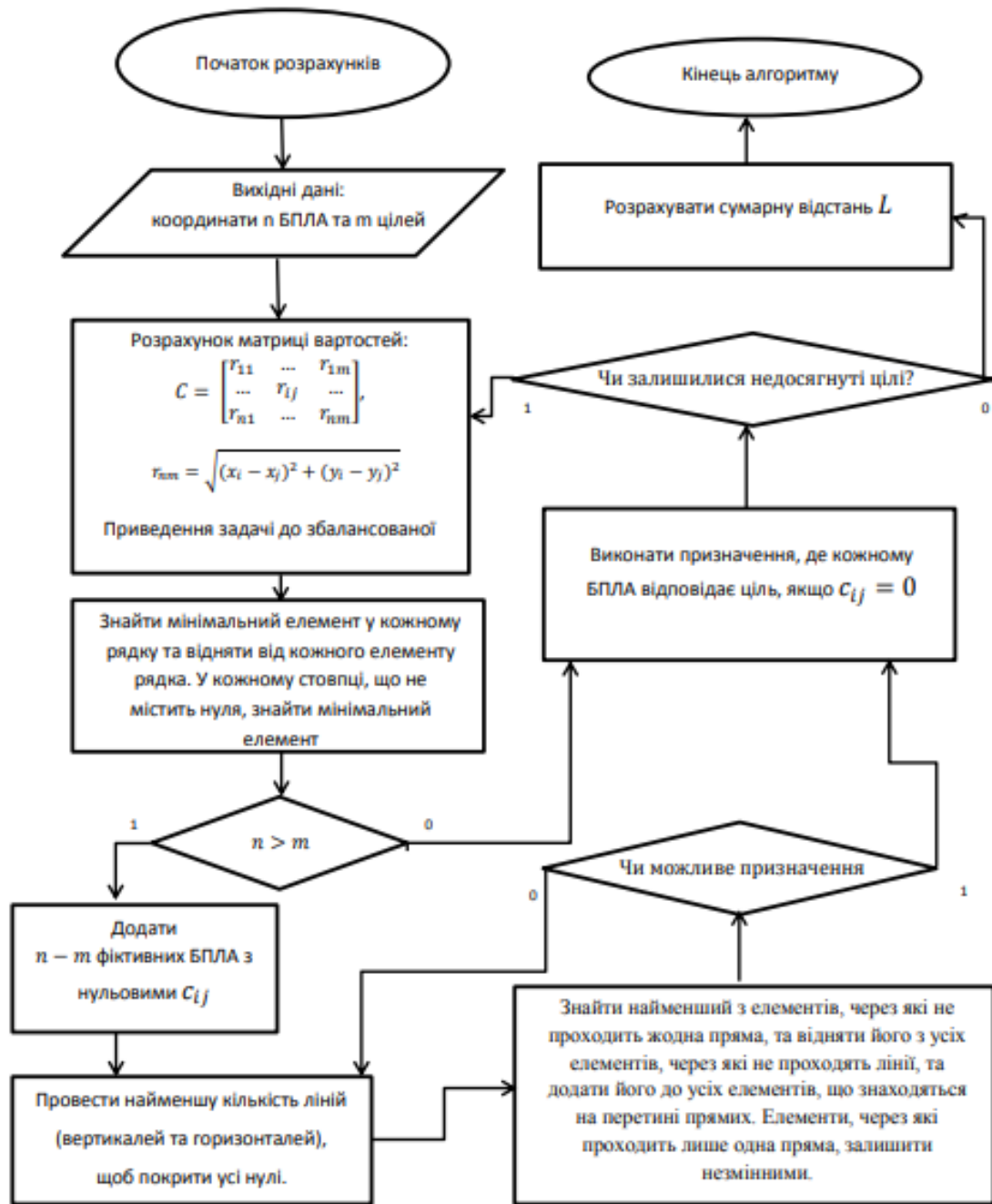


Рис. 3.3. Загальний алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА

3.4. Розробка програмного забезпечення

Розроблений алгоритм (рис. 3.3) було реалізовано на мові програмування Java. Розроблено програму обрахунку та інтерфейс для введення вихідних даних та відображення результату у вигляді графіку траєкторій руху заданих БПЛА до заданих цілей.

У Додатку А наведено лістинг реалізації Угорського алгоритму, вихідні дані якого квадратна матриця вартостей, результатом є матриця порядкових номерів БПЛА та цілей, до яких рухаються об'єкти. Цей алгоритм є універсальним, та може застосовуватися не тільки в обумовлених цілях.

У додатку Б наведено лістинг програми «Матриця вартостей та оптимальний розподіл цілей». Вихідними даними є дві матриці: матриця А з координатами БПЛА, матриця В з координатами цілей (кількість необмежена). У цій програмі реалізовано розрахунок матриці вартостей та приведення задачі до збалансованої, застосування Угорського алгоритму, реалізованому у вище згаданій програмі, та виконання розподілу цілей з виведенням на екран змін координат БПЛА.

Для зручності використання розробленої програми було реалізовано графічний інтерфейс, зображений на рис. 3.4, 3.5, 3.6. Для розрахунку доступно 10 БПЛА та 10 цілей. Результатом є графік траєкторій руху БПЛА у двовимірній системі координат (рис. 3.6).

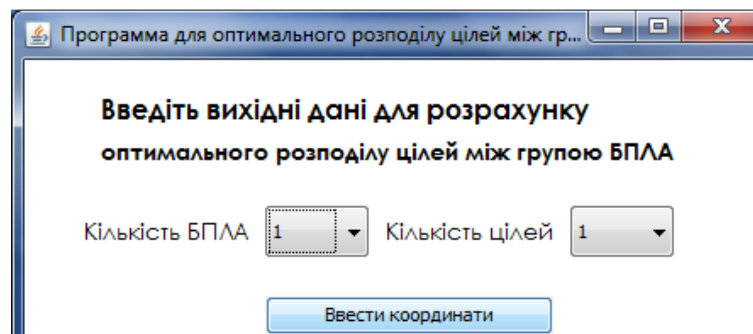


Рис. 3.4. Стартове вікно «Програма для оптимального розподілу цілей між групою БПЛА »

Задати початкові координ...

Введіть початкові координати БПЛА
у форматі [x1,y1:x2,y2]

Введіть початкові координати цілей
у форматі [x1,y1:x2,y2]

Побудувати графік

Рис. 3.5. Вікно для ведення початкових координат БПЛА та цілей

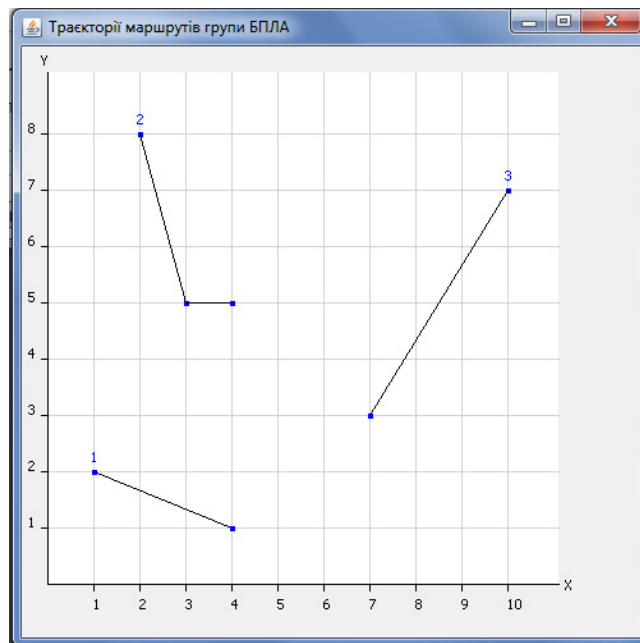


Рис. 3.6. (Тут буде) Вікно з розв'язком задачі у вигляді графіку траєкторій руху БПЛА

3.5. Висновки

У третьому розділі мною була розв'язана задача оптимального розподілу цілей між групою БПЛА за фактором відстані, а саме розроблений загальний алгоритм на основі Угорського методу з мінімізацією сумарної відстані руху БПЛА. Фактор був обраний з огляду одночасного розв'язку мінімізації інших факторів, а саме перетину та ресурсів. Для розробки алгоритму була поставлена задача з конкретними вихідними даними з координат 4 цілей та трьох однорідних БПЛА. Вибір часткової задачі обумовлений одночасним розглядом поведінки Угорського алгоритму при кількості БПЛА меншій за кількість цілей та навпаки. Як результат було отримано сумарну відстань руху БПЛА та графік траєкторій руху БПЛА по цілям. Для доведення оптимальності отриманого розв'язку були розглядані альтернативні розв'язки, побудовані без конкретного алгоритму. Результат показав, що отримані сумарні відстані більші ніж сумарна відстань, отримана при застосуванні розробленого алгоритму. Розроблений алгоритм був мною реалізований на мові програмування Java, у розділі наведено зображення інтерфейсу розробленої програми та вимоги до вихідних даних. Цей алгоритм дозволяє оптимально розподілити довільну кількість цілей між довільною кількістю БПЛА.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз проблеми впливу БПЛА на стан довкілля

Одним з найактивніших джерел забруднення атмосфери є транспорт. Хоча сьогодні авіація істотно (приблизно в 15 разів) поступається автомобільному транспорту за кількістю забруднюючих речовин, що викидаються в повітря, вона щодня впливає на екологію верхньої тропосфери і нижньої стратосфери. На відміну від інших видів транспорту авіація покриває величезні відстані, впливаючи на якість повітря в локальному, регіональному і глобальному відношенні. При цьому вплив авіації на атмосферу можна розділити на акустичний та хімічний.

Використання дронів при проведенні льотних перевірок настройки систем посадки і навігації дозволяє скоротити вплив на екологію, тому як безпілотники працюють на електричних батареях. Пілотований літак, який традиційно використовується для перевірки обладнання, витрачає близько 270 кг палива за один льотну годину. Замінюючи літак безпілотником, ми економимо паливо, скорочуємо викиди вуглецю в атмосферу і, відповідно, мінімізуємо шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Актуальність застосування безпілотних авіаційних комплексів в рамках оперативного і щоденного моніторингу за станом природних ресурсів пов'язана з використанням контрольно-вимірювального обладнання для спостереження за показниками компонентів навколишнього природного середовища. Ефективність безпілотної авіації з дистанційним управлінням визначається такими параметрами як мобільність авіаційних засобів, мінімальний проміжок часу необхідний для підготовки і запуску повітряного судна, а також можливість використання БВС

Кафедра АКСУ				НАУ 20 07 49 000 ПЗ			
Виконав	Македонська А.Т.			Охорона навколишнього середовища	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Білак Н.В.					62	95
Консульт.	Фролов В.Ф.				201 151		
Н. контр.	Дивнич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

в складних метеоумовах. Подібні особливості дозволять своєчасно забезпечити вирішення завдання щодо виконання контрольних функцій у сфері раціонального природокористування та охорони природних ресурсів, а саме:

- Вивчення радіаційної обстановки і контроль виробничої безпеки;
- Контроль концентрації забруднюючих речовин в компонентах навколишнього природного середовища;
- Контроль за станом земель лісового фонду і особливо охоронюваних природних територій;
- Пошук і виявлення несанкціонованого розміщення відходів виробництва та споживання;
- Моніторинг лісових пожеж і надзвичайних ситуацій на землях лісового фонду і ООПТ;
- Антикризове управління в період паводку і оцінка збитку, заподіяного майну третіх осіб;
- Моніторинг і контроль об'єктів тваринного світу, ідентифікація та облік особин;
- Боротьба з несанкціонованим видобутком водних біоресурсів та об'єктів тваринного світу. [21]

Використання БПЛА має економічну вигоду в порівнянні з пілотованими літальними апаратами на тлі постійного росту цін на авіаційне паливо та надання послуг на виконання авіаційних робіт і їхнє обслуговування.

Використання систем екологічного моніторингу дозволяє забезпечити отримання даних про стан навколишнього середовища на основі комплексного спостереження з можливістю оцінювання всіх процесів, що протікають і явище з можливістю здійснення прогнозу змін [22]. Одним з перспективних напрямків вдосконалення систем екологічного моніторингу є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що дозволяє забезпечити оперативно отримання даних про стан навколишнього середовища і своєчасно реагувати на що відбуваються

відхилення параметрів [23]. Інтенсивний розвиток безпілотної авіації визначило, що на сьогоднішній день пріоритетним напрямком досліджень є групове застосування та управління БПЛА при проведенні екологічного моніторингу [24]. Дослідження показали, що обмежені можливості використання групового застосування БПЛА пов'язані з одночасним керуванням великої їх кількості [23, 24]. При цьому необхідно враховувати, що сучасні системи управління БПЛА можуть привести до відмов, а також до втрати спостережливості і керованості групи БПЛА [24, 25]. Застосування групового польоту БПЛА дозволяє розширити коло вирішуваних завдань зі спостереження і підвищити ефективність їх вирішення при менших витратах. В доповіді розглядаються шляхи та особливості побудови системи екологічного моніторингу з використанням БПЛА для своєчасного доставляння інформації про екологічний стан території.

Безпілотні літальні апарати можуть виявити ерозію, відстежити зміни в стані рослинного покриву, виконати пошук несправностей в інфраструктурі гірничодобувних підприємств, які можуть становити загрозу для навколишнього середовища, причому вони зможуть зробити це набагато простіше і виразно швидше, ніж людина без допомоги будь-яких технічних засобів або пілотований летальний апарат. У деяких країнах дрони використовуються для здійснення екологічного контролю (нагляду). В рамках боротьби з забрудненням атмосфери влада Китаю почала використовувати дрони, які відстежують нелегальні викиди на кар'єрах в нічний час.[24]

Сьогодні пропонується застосовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) для екологічного моніторингу поводження з небезпечними об'єктами. Активний розвиток БПЛА для вирішення завдань екології та природокористування обумовлено рядом їх важливих переваг. Це перш за все, відносно невелика вартість безпілотних літальних апаратів, малі витрати на їх експлуатацію, великі тривалість і економічність польоту і інші переваги в порівнянні з пілотованою авіацією, мобільними та стаціонарними наземними екологічними комплексами. Використання БПЛА виводить екологічний моніторинг на новий рівень. Вимірювання обсягів з

використанням БПЛА дозволяє абсолютно безпечно з геодезичної точністю отримувати всі вимірювання. Своєчасний моніторинг з локальним реагуванням дозволить уникнути загоряння складів. [26]

Завдання, які стоять перед БПЛА (дронами), досить різноманітні, і з усіма вони успішно справляються. Еко-дрони буквально стали «очима» і «вухами» влади, захисників навколишнього середовища, ентузіастів і вчених-екологів. Наприклад, в Китаї дрони допомагають боротися із забрудненнями навколишнього середовища, контролюючи промислові райони. Стрімке погіршення екологічної ситуації в країні, пов'язане з модернізацією економіки, бурхливим зростанням кількості промислових підприємств, заводів і фабрик - одна з найгостріших проблем. Китай буквально задихається - забруднення повітря, особливо в мегаполісах, досягає катастрофічної позначки. Коптери, оснащені тепловізорами, патрулюють промислові території в нічний час для своєчасного виявлення незаконних хімічних викидів. В результаті даної акції вже були виявлені десятки підприємств, що порушують правила утилізації промислових відходів.[23]

В ОАЕ квадрокоптери уважно стежать за екологічним порядком: проводять аерофотозйомку в пустелі, місцях відпочинку і на вулицях міст, фотографуючи порушників, що викидають сміття в недозволених місцях. В Африці дрони допомагають рейнджерам і волонтерам захищати диких тварин від браконьєрів. Проект «Повітряний пастух» продемонстрував небувалу ефективність - в окремих районах кількість злочинів вдалося знизити на 97%, причому без залучення сотень співробітників і добровольців.

У лісовому господарстві квадрокоптери допомагають проводити класифікацію та інвентаризацію лісових насаджень, оцінювати ступінь ерозії ґрунтів, виявляти існуючі проблеми, наприклад, захворювання дерев і нашествия шкідників, і, найголовніше, вчасно повідомляти про випадки загорянь. Лісові пожежі, щорічно призводять до загибелі багатьох тисяч гектарів лісу - одна з найсерйозніших сучасних проблем. За допомогою безпілотних літальних апаратів, що передають інформацію в режимі реального часу, можна своєчасно виявляти навіть дрібні

вогнища загорання, швидко ліквідувати їх, зберігаючи «легені планети». Безпілотники також допомагають точно оцінювати ступінь пошкодження лісових насаджень завдяки фото та відео високої роздільної здатності, зроблених з висоти пташиного польоту.

У нафтогазовій галузі безпілотники допомагають контролювати і оцінювати стан навколишнього середовища в районах видобутку і транспортування, повідомляти про пошкодження трубопроводів, виникненні витоків і розливів нафти.

Дрони добираються навіть туди, куди людині шлях категорично заборонений, наприклад, в Чорнобиль. З недавнього часу українські безпілотні літальні апарати допомагають вченим проводити екологічний моніторинг, оцінювати біорізноманіття та отримувати оперативну інформацію про ситуацію в зоні відчуження.

4.2. Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та її оточення

Головна перевага БЛА - відсутність на борту людини, завдяки чому незалежно від складності та небезпеки виконуваної БЛА завдання, життя службовців не загрожує небезпека. БЛА здатний діяти в зонах радіаційного та хімічного зараження. Йому не потрібні складні системи життєзабезпечення екіпажу. У кризовій ситуації БЛА в будь-яку хвилину можна пожертвувати, особливо тоді, коли їх виробництво поставлено на потік. [27]

Аналітики вважають, що в міру зростання використання дронів в бізнес-цілях буде збільшуватися і виходить від них небезпеку. Хакери можуть використовувати безпілотники для проведення терактів.

Комерціалізація дронів може привести до підвищення загрози безпеці населення Землі. З такою думкою виступили аналітики дослідницької компанії IOActive. Вони наполягають на тому, що розширення практики використання безпілотників бізнесом пов'язано з рядом невидимих ризиків.

Експерти IOActive ґрунтуються на прогнозі компанії Technavio, яка ще в 2018 р передбачила зростання ринку комерційних безпілотників на 36% (\$ 11,61 млрд у

числовому вираженні) в період між 2018 і 2022 роками. На думку IOActive, зростання популярності і доступності дронів не відповідає поліпшенню з безпекової характеристик. Серед іншого, експерти вважають імовірними випадки перепрограмування пристроїв на польоти за певними координатами GPS і для запуску кібератак в мережах Wi-Fi (або інших типах бездротових мереж). Крім того, вважається високою потенційна небезпека проведення атак «людина посередині», поширення шкідливих програм, нападів на транспортні розв'язки або порушення конфіденційності окремих географічних локацій з метою проведення промислового шпигунства. [28]

Можливе психологічний вплив БПЛА на людей - питання, яке викликає стурбованість як у МКЧХ, так і інших гуманітарних організацій. Який рівень стресу, що викликається БПЛА? Як їх постійна присутність в небі над місцевістю відбивається на душевному здоров'ї людей, які там проживають? На жаль, інформація з перших рук не завжди доступна, особливо коли БПЛА застосовуються в районах, де обмеження, пов'язані із забезпеченням безпеки, ускладнюють проведення детального незалежного дослідження наслідків використання БПЛА. Проте, експерти докладають зусиль до того, щоб оцінити наслідки їх застосування та визначити, чи є воно порушенням міжнародного гуманітарного права, - так само, як у випадку застосування будь-якого іншого виду техніки. У тих місцях, де можна збирати інформацію, вони намагаються в двосторонньому порядку обговорювати це питання - поряд з іншими питаннями, що викликають стурбованість з гуманітарною точки зору, - з представниками відповідних органів влади.

Європейське агентство з безпеки польотів докладає зусиль, щоб врегулювати використання безпілотників в спільному європейському просторі. Більш того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів для БПЛА, включаючи безпечну інтеграцію малих і великих БПЛА в повітряний простір і аеропорти. Хоча Україна і не є членом цієї організації, вона, як частина міжнародного повітряного простору, зобов'язана забезпечувати безпечні умови для

цивільної авіації. Більш того, як майбутній член спільного європейського неба, Україна повинна ввести нове законодавство відповідно до європейських стандартів.

4.3. Рекомендації щодо зниження негативних чинників.

У 2018 році Державіаслужба України ввела Тимчасовий порядок використання повітряного простору України. Були введені такі обмеження для всіх безпілотників вагою до 2 кг:

- польоти можуть виконуватися тільки вдень;
- польоти не виконуються над дорогами державного значення (міжнародні, національні, регіональні, територіальні), центральними вулицями міст, селищ міського типу і сіл, залізницями державного і регіонального значення, над і вздовж ліній електропередачі, продуктопроводів. Але їх перетин дозволено.
- заборонені польоти над промисловими зонами, електростанціями, залізничними станціями, морськими портами, сховищами палива, нафти, газу, інших небезпечних речовин і рідин і т.д .; місцями (районами) аварій і катастроф, установами виконання покарань та слідчими ізоляторами, крім випадків виконання польотів в інтересах адміністрацій зазначених установ та ізоляторів;
- польоти не виконуються в зонах поліцейських / спеціальних операцій, зонах, визначених для забезпечення безпеки осіб, щодо яких здійснюється державна охорона;
- польоти виконуються в межах прямої видимості, але не далі 500 м від пілота;
- максимальна висота польоту не вище 50 м над рівнем земної (водної) поверхні;
- не ближче 30 м від іншої особи, не ближче 50 м від груп людей до 12 чоловік, і не ближче 150 м від груп людей кількістю понад 12 чоловік.

Використання квадрокоптера для доставки невеликих вантажів виявилось значно вигідніше з точки зору скорочення викидів парникових газів в атмосферу - їх «вуглецевий слід» виявився значно менше, ніж у звичайних вантажівок при тій же сумарній масі вантажу. Однак для великих дронів і великих обсягах завантаження екологічність доставки залежить від джерел електроенергії в даному регіоні.

Щоб вивчити, наскільки екологічно нешкідливою буде доставка вантажів на невеликі відстані з використанням різних Мультикоптер, вчені під керівництвом Джошуа Столароффа (Joshuah Stolaroff) з Ліверморської національної лабораторії провели розрахунок енергетичних витрат, необхідних дронам для доставки вантажу, оцінили обсяг викидів парникових газів і порівняли ці показники з аналогічними величинами для традиційних наземних способів доставки. В рамках дослідження автори вивчили дві найбільш поширені конфігурації дронів: невеликі квадрокоптера, які використовуються для доставки вантажів масою більше 500 грамів, і досить масивні октокоптери для доставки важких вантажів масою до 8 кілограмів.

Оцінка екологічності мультикоптера для доставки вантажів проводилася за методом розрахунку вуглецевого сліду - кількості вуглекислого газу, який утворюється при виробництві витрачається безпілотниками електроенергії на всіх стадіях транспортування та необхідних для забезпечення його роботи. Автори роботи відзначають, що при такому розрахунку слід враховувати тип джерел енергії, які використовуються в даному регіоні. Якщо енергія надходить з поновлюваних джерел (зокрема, з сонячних або вітрових електростанцій), то кількість вироблюваного при цьому вуглекислого газу значно нижче, ніж якщо енергію отримують, наприклад, за допомогою спалювання вугілля.[29]

Виявилось, що доставка легких посилок на невеликих квадрокоптерах в будь-якому випадку екологічно ефективніше, ніж традиційна наземна доставка, наприклад, за допомогою вантажівок. Однак при цьому дослідники відзначають, що доступні на даний момент батареї для квадрокоптера можуть забезпечити доставку вантажу на відстань не більше 4 кілометрів. Тому для створення нормально

працюючої транспортної мережі необхідно створити цілу систему станцій і складів, енергетичні витрати на роботу яких теж необхідно враховувати при розрахунках.

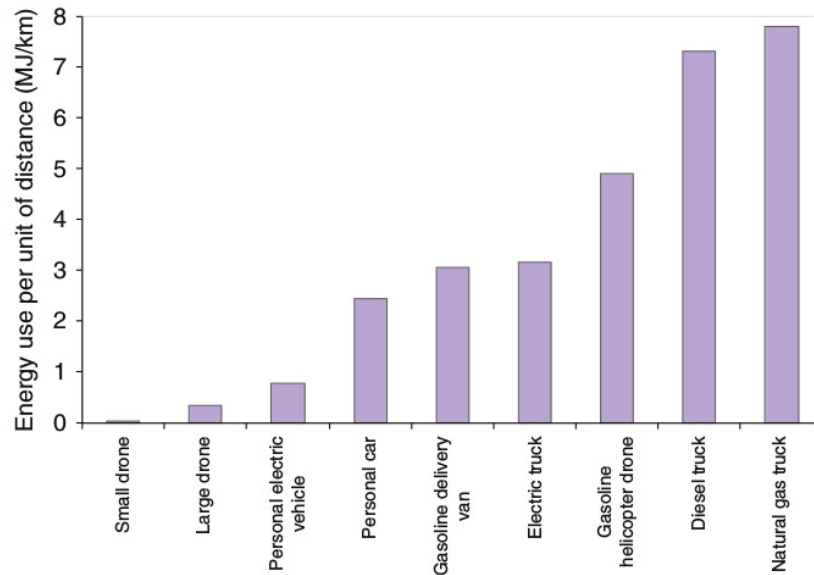


Рис. 4.1. Енергія, яку витрачають для доставки окремого вантажу різні транспортні засоби (в перерахунку на кілометр шляху)

Для більш потужних октокоптерів і більш масивних вантажів вигрaш в обсязі викидів зовсім не такий очевидний. Так, якщо дрон-постачальник працює в регіонах, для яких основним джерелом електроенергії служать копaлини ресурси, то при доставці вантажу однаковою маси на однакову відстань дрон буде виробляти на 50 відсотків більше вуглекислого газу, ніж вантажівка. Якщо ж для отримання електроенергії використовуються поновлювані джерела, то в вигрaшному становищі вже буде мультикоптер, але різниця складе лише 9 відсотків.

Автори дослідження відзначають, що поки люди в більшості відносяться з певною недовірою до використання дронів для доставки вантажів. Тому оцінка енергетичної ефективності і безпеки для навколишнього середовища таких способів транспортування необхідна. Результати дослідження показують, що при правильному підході доставка за допомогою мультикоптер може виявитися значно вигіднішою і менш шкідливою в порівнянні з традиційними способами. При цьому найбільш прямий шлях додатково збільшити ефективність і екологічність доставки

вантажів за допомогою безпілотників - оптимізація мережі складських приміщень і станцій, а також переважне використання невеликих дронів.

За допомогою дронів доставляти в потрібне місце можна не тільки їжу або покупки. Іноді використання мультикоптер може допомогти збільшити шанс на порятунок життя. Наприклад, шведські дослідники показали, що використання дронів швидкої допомоги для доставки автоматичних дефібриляторів до пацієнта з зупинкою серця дозволяє скоротити час прибуття потрібного пристрою з 22 хвилин до 5 з половиною.

На даний момент експерти виділяють кілька негативних сторін застосування БПЛА. Викликає питання безпеку автономних безпілотних апаратів, а точніше можливість несправності, при якій дрон впаде на землю. Для цього розглядають можливість створення інтелектуальної системи організації повітряного руху, яка допомогла б уникнути подібних ситуацій, а в разі неполадки - забезпечила посадку апарату перед тим, як його двигун відмовить. Такий системі було б досить просто діагностувати некоректну роботу двигуна безпілотника і направити його на посадковий майданчик подалі від житлових кварталів. Не можна виключати і людський фактор. Відомі випадки, коли людина збив сусідський дрон, що залетів на територію його володіння. Цей інцидент змушує задуматися не тільки про поняття меж приватної власності в умовах розвитку безпілотної авіації, але і про те, яку небезпеку можуть представляти падаючі уламки.

4.4. Висновки

Попит на використання БПЛА зростає з кожним роком. Двома головними перевагами є відсутність людини на борту, що виключає загрозу життю, а також екологічність в порівнянні з літаками. Одним із сучасних напрямків розвитку є розробка БПЛА працюють на сонячних батареях. Мета досліджень - зменшити викид вуглецю, як розглянуто в пункті 4.3. Сьогодні пропонується застосовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) для екологічного моніторингу поводження з небезпечними об'єктами. Активний розвиток БПЛА для вирішення завдань екології та природокористування обумовлено рядом їх важливих переваг. Це перш за все, відносно невелика вартість безпілотних літальних апаратів, малі витрати на їх експлуатацію, великі тривалість і економічність польоту і інші переваги в порівнянні з пілотованої авіацією, мобільними та стаціонарними наземними екологічними комплексами.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Вступ

Сучасний розвиток технічного та технологічного стану виробництва передбачає постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. Реальне виробництво характеризується наявністю технічних або інших шкідливих, небезпечних виробничих факторів. Поліпшення стану охорони праці на виробництві завжди вимагає значних матеріальних витрат та запровадження на практиці результатів науково-дослідних робіт у галузі охорони праці.

В дипломному проекті проводиться оптимальний розподіл цілей між групою БПЛА за умови мінімізації критерію вартості маршруту.

Робочим місцем оператора (зовнішнього пілота) з управління безпілотними літальними апаратами є командний пункт БПЛА (пункт дистанційного пілотування), що складається з системи комп'ютерів.

5.2. Аналіз умов праці

Аналіз умов праці на обраному робочому місці (в виробничому приміщенні) включає такі аспекти:

5.2.1. Організація робочого місця оператора

Робочі місця операторів за дисплеями слід розміщувати в спеціально відведеному приміщенні, яке відповідає гігієнічним вимогам щодо площі, умов природного освітлення та вентиляції. Для роботи за дисплеєм більше підходить приміщення з північною, північно-східною або північно-західною орієнтацією

Кафедра АКСУ				НАУ 20 07 49 000 ПЗ			
Виконав	Македонська А.Т.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Білак Н.В.					73	95
Консульт.	Козлітін О.О.				201 151		
Н. контр.	Дивич М.П.						
Зав. каф.	Тачиніна О.М.						

вікон. Площа приміщення повинна відповідати вимогам санітарних норм: 4,5 кв.м на одну людину. Об'єм виробничого приміщення на одного оператора повинен бути не меншим 15 куб.м.

Робоче місце складається з стола з розміщеним на ньому екраном, клавіатурою і підставкою під документи, крісла, підставки для ніг. Розміри стола залежать від розмірів екрану, орієнтовні розміри: довжина 160 см, ширина 90 см, загальна площа 1,44 кв.м. Висота стола повинна регулюватись у відповідності з антропометричними даними людини в межах 68-84 см. Доцільне розміщення клавіатури окремо від екрана. Це забезпечує вибір оптимального положення, висоти та нахилу всіх складових обладнання робочого місця.

Екран повинен знаходитись нижче рівня очей прямо, або з нахилом на оператора. Кут зору, при якому забезпечується оптимальне розміщення символів на екрані в межах 0,5. Екран повинен розміщуватись на відстані 40-90 см від очей оператора. Оптимальна відстань при висоті символів 2,5 мм - 50 см; при висоті символів 3-4 мм її можна збільшити до 80 см.

Робоче крісло повинно бути рухоме. Короткі підлокітники крісла повинні забезпечувати положення рук трохи вище стола. Підставка для ніг рекомендується розмірами 40x30x15 см з кутом нахилу 30, без переміщення по підлозі.

5.2.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

Шкідливі фізичні чинники про роботі оператора БПЛА:

- Підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло працюючого;
- Підвищений рівень рентгенівського, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань;
- Можливість ураження статичною електрикою;
- Запиленість повітря робочого приміщення;

- Підвищений вміст важких (+) аероіонів;
- Нерівномірний розподіл яскравості в полі зору;
- Підвищений рівень пульсації світлового потоку.

Шкідливі хімічні чинники про роботі оператора БПЛА:

- Підвищений вміст у повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду та ін. при роботі серед комп'ютерів.

Шкідливі чинники трудового процесу про роботі оператора БПЛА:

- напруга зору, пам'яті, уваги;
- тривале статичне напруження;
- відносно великий обсяг інформації, що обробляється в одиницю часу;
- монотонність праці в окремих випадках;
- нерациональна організація робочого місця.

5.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці оператора БПЛА

Цей аналіз проводиться для тих шкідливих та небезпечних чинників, які наведені в вище наведеному переліку:

5.3.1. Мікроклімат робочої зони оператора БПЛА.

У теплий період року температура повітря має бути у межах 22-25 °С, швидкість руху повітря — до 0,1 м/с, відносна вологість повітря — 40-60%. У холодний період року температура повітря може коливатися у межах 21-24 °С, швидкість руху повітря — до 0,1 м с, вологість повітря — 40-60%.

Як правило, температура повітря перевищує нормативні значення протягом року через постійне нагрівання деталей ПК, знижену вологість. Саме температура та вологість повітря впливають на загальне самопочуття, стан слизових оболонок очей, верхніх дихальних шляхів та шкіри персоналу офісів.

Низька вологість збільшує час «зависання» пилу в повітрі приміщення. До характеристик повітря робочої зони користувачів ПК віднесені такі, як вміст позитивних та негативних іонів у повітрі. Як правило, у приміщеннях з розвиненою системою припливно-витяжної вентиляції та/або з кондиціонерами виявляються порушення норм аероіонного складу повітря, при цьому концентрація корисних для організму негативно заряджених аероіонів може бути в 10-50 разів нижче норми, а концентрація шкідливих позитивних аероіонів значно перевищувати норму.

Ось чому необхідно, щоб до робочого місця з комп'ютером надходило свіже повітря. Рекомендується робити вологе прибирання не рідше одного разу на день. Обов'язково слід протирати поверхню столу серветкою з антистатиком, оскільки позитивні іони мають властивість з'єднуватися з частинкам пилу. У сучасних офісних спорудах з центральною вентиляцією і відсутністю можливості провітрювання приміщень забезпечення відповідної аероіонізації є досить проблематичним.

5.3.2. Неіонізуючі електромагнітні поля і випромінювання.

Як правило, роботу працівників з ПК пов'язують зі шкідливим впливом електромагнітних полів. Це мало місце під час використання моніторів з електронно-променевою трубкою. У сучасних комп'ютерах використовуються рідкокристалічні монітори, тому вплив електромагнітного поля від монітора практично відсутній. Найвним залишається електростатичне поле на поверхні монітора та поверхні клавіатури.

Нормативне значення напруженості електростатичного поля становить 150 В/см. Напруженість електростатичного поля, визначена на поверхні монітора та поверхні клавіатури, як правило, не перевищує нормативного значення. Рівень напруженості електростатичного поля залежить від вологості повітря, регулярного прибирання робочого місця (усунення запиленості).

5.3.3. Виробничий шум, ультразвук, інфразвук.

Нормативним значенням еквівалентного рівня звуку для програмістів є 50 дБА, для операторів у залах оброблення інформації — 65 дБА, для операторів у приміщеннях, де розташовані гучні агрегати — 75 дБА. За результатами проведених гігієнічних досліджень, еквівалентні рівні шуму на робочих місцях працівників офісних приміщень знаходяться у межах 48-59 дБАекв. Як правило, перевищення рівня шуму на робочих місцях офісних працівників є наслідком телефонних розмов співробітників (у приміщеннях з великою кількістю робочих місць).

5.4. Розробка заходів з охорони праці

Основне завдання освітлення зводиться до створення найкращих умов для огляду об'єкта. Це завдання можна вирішити освітлювальною системою, яка відповідає таким вимогам:

1) освітленість має відповідати зоровій роботі, яка визначається наступними параметрами: освітленість робочих місць повинна бути в межах від 300 до 500 як в зоні розміщення документів і клавіатури. В робочій зоні відношення яскравості поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а між робочою поверхнею столу та навколишніми поверхнями (стіл, обладнання і т.п.) 10:1.

2) забезпечення рівномірного розподілу яскравості робочої поверхні, та в межах навколишнього простору;

3) на робочій поверхні повинні бути відсутні забруднювачі;

4) у полі зору немає бути прямої або відбитої підвищеної яскравості;

5) величина освітленості має бути постійна в часі. Це досягається використанням стабілізуючих пристроїв;

6) обрати оптимальне направлення світлового потоку;

7) елементи освітлювальних установок, що знижують трансформатори, повинні бути довговічними, електро-, вибухо-і пожежобезпечними.

5.5. Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю унеможливаються виникнення і розвиток пожежі та вплив на людей її небезпечних чинників, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону “Про пожежну безпеку”. Відповідно до положень Закону України "Про пожежну безпеку" (статті 4 - 7) Правила пожежної безпеки в Україні є обов'язковими для виконання всіма центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями (незалежно від виду їх діяльності та форм власності), посадовими особами та громадянами.

Робоче приміщення оператора БПЛА відноситься до категорії Д (**знижено пожежонебезпечна**) за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Для захисту обираються первинні установки пожежогасіння та автоматичні, комбіновані та диференційні пожежні сповіщувачі.

Автоматичні пожежні сповіщувачі перетворюють признак пожежі, що контролюється, на електричний сигнал, який передається по лінії зв'язку на технічні засоби оповіщення. Автоматичні пожежні сповіщувачі по виду та признаку пожежі бувають тепловими, димовими, світловими, комбінованими. Існує три групи автоматично пожежних сповіщувачів: максимальні, максимально-диференційні та диференційні. Максимальні спрацьовують при досягненні контрольованим параметром /димом, температурою, випромінюванням/ визначеної величини; диференційні реагують на швидкість зміни параметра, що контролюється; максимально-диференційні реагують на досягненні параметром, що контролюється, заданої величини та на швидкість її зміни.

Основи захисту від пожеж визначені ГОСТом "Пожежна безпека" та "Вибухобезпека". Цими стандартами допускається така частота виникнення пожеж та вибухів, що ймовірність їх виникнення $<10^{-6}$. Заходи з пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні та експлуатаційні.

5.6. Розрахунок мінімальної відстані до джерела електромагнітного випромінювання

Дистанційне управління БПЛА виконується 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 радіочастотного випромінювання до оператора. Частота мережі 50 Гц і напруга 220 В, частота радіочастотної хвилі становить 300 кГц. Напруженість електричного поля на відстані $r_1 = 0,3$ м складає $E_1 = 50$ 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.

Розмір ближньої зони випромінювача, гбл.з., визначається за формулою:

$$r_{\text{бл.з.}} \ll \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \quad (5.2)$$

Тоді для межі ближньої зони (приблизно 10%) отримаємо:

$$r_{\text{бл.з.}} \approx \frac{0,1 \cdot \lambda}{2 \cdot \pi} = \frac{0,1 \cdot 1000}{2 \cdot 3,14} = 15,9 \text{ м} \quad (5.3)$$

Ближня зона випромінювання значно більше протяжності робочої зони біля комп'ютера. Отже, робоча зона знаходиться в ближній зоні випромінювання комп'ютера.

У ближній зоні випромінювання електрична складова електромагнітного поля визначається за формулою:

$$E = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r^3}, \quad (5.4)$$

де I – струм в провіднику;

L – довжина провідника;

ε - діелектрична проникність середовища;

ω - кругова частота електромагнітного поля;

r – відстань від провідника.

Формулу (5.4) для значень напруженості поля, E_1 , виміряних на відстані $r_{\text{доп}} = 0,3$ м від комп'ютера і для допустимого значення напруженості поля, $E_{\text{доп}}$, яке відповідає відстані від комп'ютера - $r_{\text{доп}}$:

$$E_1 = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r_1^3} \quad (5.5)$$

$$E_{\text{доп}} = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r_{\text{доп}}^3} \quad (5.6)$$

Отримаємо відношення напруженості з (5.5) та (5.6) :

$$\frac{E_1}{E_{\text{доп}}} = \frac{r_{\text{доп}}^3}{r_1^3} \quad (5.7)$$

Звідки отримуємо формулу для визначення $r_{\text{доп}}$:

$$r_{\text{доп}} = r_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{\text{доп}}}} \quad (5.8)$$

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) $E_{\text{доп}} = 25$ 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

Підставимо значення у формулу:

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

Отже, мінімальна відстань для роботи з комп'ютером в лабораторії має складати 38 см.

5.7. Висновки

Самопочуття і працездатність людини залежать від умов виробничого середовища, в якому вона знаходиться і виконує трудові обов'язки. Оператору БПЛА необхідно працювати в комфортних умовах праці, з мінімальним впливом на його здоров'я, тому було розраховано оптимальну відстань від джерела електромагнітного радіочастотного випромінювання до оператора – 38 сантиметрів. Отже, можна зробити висновок, що суб'єкт дипломної роботи задовольняє вимогам з техніки безпеки та відповідає вимогам нормативних документів з охорони праці.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи був розроблений алгоритм оптимального розподілу цілей між групою БПЛА за фактором відстані.

Застосування декількох незалежних БПЛА підвищує ефективність виконання різних завдань, але при цьому виникають додаткові проблеми, пов'язані з координацією дій при виконанні єдиного завдання. У зв'язку з цим виникає задача групового керування БПЛА. Задача ускладнюється, коли відрізняються кількості БПЛА та цілей. Одним із завдань, що виникають при розробці таких систем БАСУ, є розподіл цілей між БПЛА. Задача полягає в тому, щоб оптимально розподілити цілі між БПЛА системи в сенсі мінімізації критерію вартості.

У першому розділі було досліджено поняття БПЛА, основні характеристики, та ідею ройової системи БПЛА як багатооб'єктної системи управління. Була сформульована задача розподілу, як у другому розділі була класифікована як транспортна задача дискретного цілочисельного програмування. У другому розділі було досліджено класифікацію задач оптимізації та матричний Угорський метод для розв'язку подібних задач. У третьому розділі було обрано критерій оптимальності (фактор відстані), з огляду одночасного розв'язку мінімізації інших факторів, а саме перетину та ресурсів, розв'язано часткову задачу розподілу, вихідні умови якої обумовлені одночасним розглядом поведінки обраного математичного методу при різних вихідних даних, а саме коли кількість БПЛА відрізняється від кількості цілей, та побудовано загальний алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу цілей між групою БПЛА при довільній кількості цілей та об'єктів шляхом мінімізації сумарної відстані руху.

Розрахунки розв'язку задачі при конкретно заданих вихідних даних, що наведені у третьому розділі, були виконані за допомогою мови програмування Java.

Отриманий розв'язок було порівняно з альтернативними маршрутами, та було доведено його оптимальність, що означає, що представлений метод розподілу є коректний.

Розроблений алгоритм було реалізовано на мові програмування Java, шляхом окремої реалізації Угорського методу, що є універсальним і може бути застосований в різних подібних задачах, та реалізації приведення незбалансованої задачі до збалансованої. Для зручності використання, було розроблено графічний інтерфейс програми, що відображає результат обрахунку та оптимального розподілу у вигляді графіку траєкторій руху заданих БПЛА до заданих цілей з мінімізацією сумарної відстані.

Лістинг програми «Угорський метод»

```

package service;

import java.util.ArrayList;

public class HungarianMethod {

    private int numRows;
    private int numCols;
    private boolean[][] primes;
    private boolean[][] stars;
    private boolean[] rowsCovered;
    private boolean[] colsCovered;
    private double[][] costMatrix;

    public HungarianMethod(double costMatrix[][]) {
        this.costMatrix = costMatrix;
        numRows = costMatrix.length;
        numCols = costMatrix[0].length;

        primes = new boolean[numRows][numCols];
        stars = new boolean[numRows][numCols];

        // Инициализация массивов с покрытием строк/столбцов
        rowsCovered = new boolean[numRows];
        colsCovered = new boolean[numCols];
        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            rowsCovered[i] = false;
        }
        for (int j = 0; j < numCols; j++) {
            colsCovered[j] = false;
        }
        // Инициализация матриц
        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            for (int j = 0; j < numCols; j++) {
                primes[i][j] = false;
                stars[i][j] = false;
            }
        }
    }

    public int[][] execute() {
        subtractRowColMins();

        this.findStars(); // O(n^2)
        this.resetCovered(); // O(n);
        this.coverStarredZeroCols(); // O(n^2)

        while (!allColsCovered()) {
            int[] primedLocation = this.primeUncoveredZero(); // O(n^2)

            // It's possible that we couldn't find a zero to prime, so we have to induce some
            // zeros so we can find one to prime
            if (primedLocation[0] == -1) {
                this.minUncoveredRowsCols(); // O(n^2)
                primedLocation = this.primeUncoveredZero(); // O(n^2)
            }

            // is there a starred 0 in the primed zeros row?
            int primedRow = primedLocation[0];
            int starCol = this.findStarColInRow(primedRow);
            if (starCol != -1) {
                // cover the row of the primedLocation and uncover the star column
                rowsCovered[primedRow] = true;
                colsCovered[starCol] = false;
            } else { // otherwise we need to find an augmenting path and start over.
                this.augmentPathStartingAtPrime(primedLocation);
            }
        }
    }
}

```

```

        this.resetCovered();
        this.resetPrimes();
        this.coverStarredZeroCols();
    }

    return this.starsToAssignments(); // O(n^2)
}

/*
 * the starred 0's in each column are the assignments.
 * O(n^2)
 */
public int[][] starsToAssignments() {
    int[][] toRet = new int[numCols][];
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        toRet[j] = new int[] {
            this.findStarRowInCol(j), j
        }; // O(n)
    }
    return toRet;
}

/*
 * resets prime information
 */
public void resetPrimes() {
    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
        for (int j = 0; j < numCols; j++) {
            primes[i][j] = false;
        }
    }
}

/*
 * resets covered information, O(n)
 */
public void resetCovered() {
    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
        rowsCovered[i] = false;
    }
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        colsCovered[j] = false;
    }
}

/*
 * get the first zero in each column, star it if there isn't already a star in that row
 * cover the row and column of the star made, and continue to the next column
 * O(n^2)
 */
public void findStars() {
    boolean[] rowStars = new boolean[numRows];
    boolean[] colStars = new boolean[numCols];

    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
        rowStars[i] = false;
    }
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        colStars[j] = false;
    }

    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            if (costMatrix[i][j] == 0 && !rowStars[i] && !colStars[j]) {

```

```

        stars[i][j] = true;
        rowStars[i] = true;
        colStars[j] = true;
        break;
    }}}
}

/*
 * Finds the minimum uncovered value, and adds it to all the covered rows then
 * subtracts it from all the uncovered columns. This results in a cost matrix with
 * at least one more zero.
 */
private void minUncoveredRowsCols() {
    // find min uncovered value
    double minUncovered = Float.MAX_VALUE;
    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
        if (!rowsCovered[i]) {
            for (int j = 0; j < numCols; j++) {
                if (!colsCovered[j]) {
                    if (costMatrix[i][j] < minUncovered) {
                        minUncovered = costMatrix[i][j];
                    }
                }
            }
        }

        // add that value to all the COVERED rows.
        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            if (rowsCovered[i]) {
                for (int j = 0; j < numCols; j++) {
                    costMatrix[i][j] = costMatrix[i][j] + minUncovered;
                }
            }

            // subtract that value from all the UNcovered columns
            for (int j = 0; j < numCols; j++) {
                if (!colsCovered[j]) {
                    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
                        costMatrix[i][j] = costMatrix[i][j] - minUncovered;
                    }
                }
            }
        }
    }

    /*
     * Finds an uncovered zero, primes it, and returns an array
     * describing the row and column of the newly primed zero.
     * If no uncovered zero could be found, returns -1 in the indices.
     * O(n^2)
     */
    private int[] primeUncoveredZero() {
        int[] location = new int[2];

        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            if (!rowsCovered[i]) {
                for (int j = 0; j < numCols; j++) {
                    if (!colsCovered[j]) {
                        if (costMatrix[i][j] == 0) {
                            primes[i][j] = true;
                            location[0] = i;
                            location[1] = j;
                            return location;
                        }
                    }
                }
            }
        }

        location[0] = -1;
        location[1] = -1;
        return location;
    }

    /*
     * Starting at a given primed location[0=row,1=col], we find an augmenting path
     * consisting of a primed , starred , primed , ..., primed. (note that it begins and ends

```

```

with a prime)
 * We do this by starting at the location, going to a starred zero in the same column,
then going to a primed zero in
 * the same row, etc, until we get to a prime with no star in the column.
 * O(n^2)
 */
private void augmentPathStartingAtPrime(int[] location) {
    // Make the arraylists sufficiently large to begin with
    ArrayList< int[] > primeLocations = new ArrayList < int[] > (numRows + numCols);
    ArrayList < int[] > starLocations = new ArrayList < int[] > (numRows + numCols);
    primeLocations.add(location);

    int currentRow = location[0];
    int currentCol = location[1];
    while (true) { // add stars and primes in pairs
        int starRow = findStarRowInCol(currentCol);
        // at some point we won't be able to find a star. if this is the case, break.
        if (starRow == -1) {
            break;
        }
        int[] starLocation = new int[] {
            starRow, currentCol
        };
        starLocations.add(starLocation);
        currentRow = starRow;

        int primeCol = findPrimeColInRow(currentRow);
        int[] primeLocation = new int[] {
            currentRow, primeCol
        };
        primeLocations.add(primeLocation);
        currentCol = primeCol;
    }

    unStarLocations(starLocations);
    starLocations(primeLocations);
}

/*
 * Given an arraylist of locations, star them
 */
private void starLocations(ArrayList < int[] > locations) {
    for (int k = 0; k < locations.size(); k++) {
        int[] location = locations.get(k);
        int row = location[0];
        int col = location[1];
        stars[row][col] = true;
    }
}

/*
 * Given an arraylist of starred locations, unstar them
 */
private void unStarLocations(ArrayList< int[] > starLocations) {
    for (int k = 0; k < starLocations.size(); k++) {
        int[] starLocation = starLocations.get(k);
        int row = starLocation[0];
        int col = starLocation[1];
        stars[row][col] = false;
    }
}

/*
 * Given a row index, finds a column with a prime. returns -1 if this isn't possible.
 */

```

```

private int findPrimeColInRow(int theRow) {
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        if (primes[theRow][j]) {
            return j;
        }
    }
    return -1;
}

/*
 * Given a column index, finds a row with a star. returns -1 if this isn't possible.
 */
public int findStarRowInCol(int theCol) {
    for (int i = 0; i < numRows; i++) {
        if (stars[i][theCol]) {
            return i;
        }
    }
    return -1;
}

public int findStarColInRow(int theRow) {
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        if (stars[theRow][j]) {
            return j;
        }
    }
    return -1;
}

// looks at the colsCovered array, and returns true if all entries are true, false
otherwise
private boolean allColsCovered() {
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        if (!colsCovered[j]) {
            return false;
        }
    }
    return true;
}

/*
 * sets the columns covered if they contain starred zeros
 * O(n^2)
 */
private void coverStarredZeroCols() {
    for (int j = 0; j < numCols; j++) {
        colsCovered[j] = false;
        for (int i = 0; i < numRows; i++) {
            if (stars[i][j]) {
                colsCovered[j] = true;
                break; // break inner loop to save a bit of time
            }
        }
    }
}
}

```


Лістинг програми «Матриця вартостей та оптимальний розподіл цілей»

```
package service;

import model.Coordinates;

import java.awt.*;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Arrays;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;

public class CostMatrixService {
    Coordinates coordinates;
    Map<Integer, Integer>[] steps;

    public CostMatrixService (Coordinates coordinates){
        this.coordinates = coordinates;
    }

    public double[][] calculateCostMatrix(){
        double scale = Math.pow(10, 3);
        double[][] result = new double[coordinates.getA().length][coordinates.getB().length];

        for (int i = 0; i < coordinates.getA().length; i++) {
            for (int j = 0; j < coordinates.getB().length; j++) {
                result[i][j] = Math.sqrt(Math.pow(coordinates.getA()[i][0] -
coordinates.getB()[j][0], 2) + Math.pow(coordinates.getA()[i][1] - coordinates.getB()[j][1],
2));
                result[i][j] = Math.round(result[i][j] * scale) / scale;
            }
        }

        return result;
    }

    public static boolean isCostMatrixSquare(double[][] costMatrix){
        int rows = costMatrix.length;
        int columns = costMatrix[0].length;
        return rows == columns;
    }

    public static double[][] makeCostMatrixSquare(double[][] costMatrix){
        int rows = costMatrix.length;
        int columns = costMatrix[0].length;
        if (rows == columns) {
            return costMatrix;
        } else if (rows < columns) {
            return increaseRows(costMatrix, rows, columns);
        } else
            return increaseColumns(costMatrix, rows, columns);
    }

    private static double[][] increaseRows(double[][] costMatrix, int rows, int columns){
        double[][] result = new double[columns][columns];
        for (int i = 0; i < result.length; i++) {
            for (int j = 0; j < result[i].length; j++) {
                if (i < rows) {
                    result[i][j] = costMatrix[i][j];
                } else {
                    result[i][j] = 0;
                }
            }
        }
        return result;
    }
}
```

```

private static double[][] increaseColumns(double[][] costMatrix, int rows, int columns){
    double[][] result = new double[rows][rows];
    for (int i = 0; i < result.length; i++) {
        for (int j = 0; j < result[i].length; j++) {
            if (j < columns) {
                result[i][j] = costMatrix[i][j];
            } else {
                result[i][j] = 0;
            }
        }
    }
    return result;
}

public Coordinates useHungarianMethod(Graphics graphics2D, double XScale, double YScale ){
    double[][] costMatrix = calculateCostMatrix();
    print(coordinates);
    while (coordinates.a.length < coordinates.b.length) {
        double[][] sqCostMatrix = makeCostMatrixSquare(costMatrix);
        int[][] result = new HungarianMethod(sqCostMatrix).execute();
        System.out.println("Run");
        printHug(result);
        Coordinates newCoordinates = new Coordinates();
        newCoordinates.a = new double[coordinates.a.length][];
        newCoordinates.b = new double[(coordinates.b.length - coordinates.a.length)][];
        int k = 0;
        for (int[] ints : result) {
            if (ints[0] < coordinates.a.length) {
                graphics2D.drawLine((int) (coordinates.getA()[ints[0]][0]*XScale), (int)
(coordinates.getA()[ints[0]][1]*YScale), (int) (coordinates.getB()[ints[1]][0]*XScale), (int)
(coordinates.getB()[ints[1]][1]*YScale) );
                newCoordinates.a[ints[0]] = new double[]{coordinates.b[ints[1]][0],
coordinates.b[ints[1]][1]};
            } else if (!isCostMatrixSquare(costMatrix)) {
                newCoordinates.b[k] = new double[]{coordinates.b[ints[1]][0],
coordinates.b[ints[1]][1]};
                k++;
            }
        }

        coordinates = newCoordinates;
        print(coordinates);
        costMatrix = calculateCostMatrix();
    }
    double[][] sqCostMatrix = makeCostMatrixSquare(costMatrix);
    int[][] finalResult = new HungarianMethod(sqCostMatrix).execute();
    System.out.println("Run");
    printHug(finalResult);
    Coordinates finalCoordinates = new Coordinates();
    finalCoordinates.a = coordinates.a;
    finalCoordinates.b = new double[][]{{0}};
    for (int[] ints : finalResult) {
        if (ints[1] < coordinates.b.length) {
            finalCoordinates.a[ints[0]][0] = coordinates.b[ints[1]][0];
            finalCoordinates.a[ints[0]][1] = coordinates.b[ints[1]][1];
            graphics2D.drawLine((int) (coordinates.getA()[ints[0]][0]*XScale+20), (int)
(coordinates.getA()[ints[0]][1]*YScale+20), (int) (coordinates.getB()[ints[1]][0]*XScale+20),
(int) (coordinates.getB()[ints[1]][1]*YScale+20) );
        }
    }
    coordinates = finalCoordinates;
    print(coordinates);
    return finalCoordinates;
}

```

```
public static void print(Coordinates coordinates){
    double[][] result = coordinates.getA();
    System.out.println("A:");

    printHug(coordinates.getA());

    double[][] result1 = coordinates.getB();
    System.out.println("B:");

    printHug(coordinates.getB());
}

public static void printHug(double[][] result){
    for (int i = 0; i < result.length; i++) {
        System.out.println(Arrays.toString(result[i]));
    }
}

public static void printHug(int[][] result){
    for (int i = 0; i < result.length; i++) {
        System.out.println(Arrays.toString(result[i]));
    }
}
}
```

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Повітряний кодекс України: Закон України від 19 травня 2011 року // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 48-49. – Ст. 536
2. Ширяев Н. А. Развитие беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Н. А. Ширяев, Ю. В. Водолажская // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. - № 1, т. 2. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bespilotnyhletatelnyh-apparatov> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
3. Вытовтов А.В. Современные беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс] / А.В. Вытовтов, А.В. Калач, С.Ю. Разиньков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. - № 1, т. 2. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-bespilotnye-letatelnye-apparaty> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
4. Каршов Р. С. Классификация беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Р.С. Каршов // Проблемы современной науки и образования. – 2016. - № 1, т. 2. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
5. Аллилуева Н. Перспективы развития беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Наталья Аллилуева // Технологии защиты. – 2015. – № 6. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=1348&uid2=1474&uid3=1479> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
6. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние [Электронный ресурс] // Арсенал-Инфо : Техника. Оружие. – Электрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://arsenalinfo.ru/b/book/3398882726/> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.
7. Лупандін В.А. Основні тенденції створення та застосування груп безпілотних літальних апаратів [Електронний ресурс] / В.А. Лупандін , Г.В.

Мегельбей , О.Й. Мацько , Т.Л. Куртсеітов , П.О. Міроненко // Наука і техніка Повітряних Сил України. – 2019. – № 2. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/nitps/2019/2> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

8. Дымков С.М. Задачи управления многообъектными системами беспилотных летательных аппаратов и пути их решения [Электронный ресурс] / С.М. Дымков, А.В. Марков, В.И. Симаньков // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2018. – № 4. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-upravleniya-mnogoobektnymi-sistemami-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-i-puti-ih-resheniya> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

9. Дымков С.М. Решение транспортной задачи для многообъектной системы беспилотных аппаратов [Электронный ресурс] / С.М. Дымков, А.В. Марков, В.И. Симаньков // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2017. – № 7. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-transportnoy-zadachi-dlya-mnogoobektnoy-sistemy-bespilotnyh-apparatov> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

10. Хорошеїв А.Н. Введення в керування проектуванням механічних систем: Навчальний посібник / А.Н. Хорошеїв; Білгород, 1999. – 372 с.

11. Рейзлін, В.І. Чисельні методи оптимізації: навчальний посібник / В.І. Рейзлін; Томський політехнічний університет. – Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2011. – 105 с.

12. Сухарев, А.Г. Чисельні методи оптимізації: підручник та практикум для академічного бакалавріату / А. Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров; Москва: Видавництво Юрайт, 2016. – 367 с.

13. Гончаров, В.А. Методи оптимізації: навчальний посібник / В.А. Гончаров; Москва: Вище освіта, 2009. – 191 с.

14. Ватутин, Э.И. Основы дискретной комбинаторной оптимизации / Э.И. Ватутин, В.С. Титов, С.Г. Емельянов; АРГАМАК-МЕДИА, 2016. - 270 с.

15. Тюхтина, А.А. Методы дискретной оптимизации: Часть 1: Учебнометодическое пособие. / А.А. Тюхтина; Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 62 с.

16. Бебишев М.А. Модифицированный венгерский метод [Электронный ресурс] / М.А. Бебишев, О.В. Корчевская , А.С. Борисов , Р.С. Акинфеев , М.Н. Воронов // Проблемы экономики и менеджмента. – 2012. – № 5-6. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/modifitsirovannyu-vengerskiy-metod> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

17. 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 доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-podhody-k-resheniyu-zadachi-o-naznacheniyah> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

18. Беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс] // Википедия : Свободная энциклопедия. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат (дата звернення 18.01.2019). – Назва з екрана.

19. Венгерский алгоритм [Электронный ресурс] // Википедия : Свободная энциклопедия. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Венгерский_алгоритм#Матричная_интерпретация (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

20. Венгерский алгоритм, или о том, как математика помогает в распределении назначений [Электронный ресурс] // Хабр. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/422009/> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

21. Экология и природо-пользование [Электронный ресурс] // SuperCam. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа : <https://supercam.aero/uses/eco> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

22. Гребенников А.Г. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов / А.Г. Гребенников, А.К. Мялица, В.В. Парфенюк и др. – Х.: НАУ "ХАІ", 2008. – 377 с.

23. Беспилотные летательные аппараты [Текст] /В.М. Ильюшко, М.М Митрахович., А.В. Самков. и др.– К.:ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2009. – 302 с.

24. 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.

25. Харченко О.В. Розвідувальні безпілотні авіаційні комплекси у єдиній системі повітряного спостереження в Україні / О.В. Харченко, С.О. Богославець // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2013. – Вип. 16. – С. 6-12.

26. Жежера І.В. Прикладне використання гексакоптера aibot в задачах екологічного моніторингу / І.В. Жежера // Матеріали науково-практичної конференції III екологічного Форуму «Екологія промислового регіону» – Слов'янськ: ФОП Бутко В. І, 2018. – 376 с.

27. Сборник докладов и статей по материалам II научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами» / Коломна: 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. – 337 с

28. В коммерциализации дронов усмотрели террористическую угрозу [Электронный ресурс] // С-News. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа [https://www.cnews.ru/news/top/2019-07-](https://www.cnews.ru/news/top/2019-07-02_v_kommertsializatsii_dronov_usmotreli_terroristicheskuyu)

02_v_kommertsializatsii_dronov_usmotreli_terroristicheskuyu (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.

29. Квадрокоптеры оказались экологичнее октокоптеров и грузовиков [Электронный ресурс] // N+1. – Электрон. текст. дані. – Режим доступа <https://nplus1.ru/news/2018/02/16/ecodrones> (дата звернення 10.12.2020). – Назва з екрана.