

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ШУБАЛИЙ Павло Володимирович

Комп'ютерно-інтегрована система пошуку оптимального шляху для безпілотних систем/ Computer-integrated optimal path search system for unmanned systems

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ -41
П.В. Шубалий

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р. Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2022 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ - 2023

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
"____" _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ШУБАЛОМУ Павлу Володимировичу

_____ (прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Комп'ютерно-інтегрована система пошуку оптимального шляху для безпілотних систем / Computer-integrated optimal path search system for unmanned systems.

_____ керівник роботи _____ к.т.н., доцент І.Р. Пітух

затверджені наказом по університету від «08» грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Области застосування безпілотних систем.
2. Способи управління безпілотними літальними апаратами.
3. Планування шляху безпілотних літальних апаратів.
4. Підходи до вирішення проблеми пошуку оптимального шляху.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Дослідження безпілотних систем та проблеми їх навігації.
2. Аналіз системи автоматизованого управління польотом безпілотних систем.
3. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи пошуку оптимального шляху для безпілотних системи.
4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Пітух І.Р.		
2	Пітух І.Р.		
3	Пітух І.Р.		
4	Сапожник Г.В.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження безпілотних систем та проблеми їх навігації	11.2022р. – 12.2022р.	
2	Аналіз системи автоматизованого управління польотом безпілотних систем	01.2023р. – 02.2023р.	
3	Розробка комп'ютерно - інтегрованої системи пошуку оптимального шляху для безпілотних системи	03.2023р. – 04.2023р.	
4	Охорона праці	04.2023р. – 05.2023р.	

Студент _____
(підпис)

Шубалий П.В.

Керівник роботи _____
(підпис)

к.т.н., доцент Пітух І.Р.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 65 сторінках та містить 30 рисунків, 2 таблиці, 4 додатки, 34 джерела за переліком посилань.

Мета роботи. Метою роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи, що дозволяє забезпечити автономне планування маршруту безпілотних систем на основі використання алгоритмів пошуку оптимального шляху.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел, інструментальні засоби моделювання систем, методи аналізу та синтезу складних розподілених систем, методи та технології створення САУ, емпіричні дослідження, аналіз результатів, розробка алгоритмів.

Результати роботи. Запропонована комп'ютерно-інтегрована система польотом для безпілотних систем дозволяє зменшити участь оператора в процесі польоту та забезпечує більш ефективне виконання задачі БЛА. Розроблений алгоритм пошуку оптимального шляху на основі алгоритму Дейкстри, дозволяє знайти найкоротший шлях між стартовою та кінцевою точками, враховуючи різні обмеження.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Запропонована система може бути використана в різних сферах, де може бути застосована безпілотна техніка для планування маршруту, що забезпечить ефективне виконання поставлених завдань.

Можливі напрямки розвитку. Можливе розширення функцій запропонованої системи шляхом додавання ТЗА, використання більш складних алгоритмів пошуку оптимального шляху та можливості керування групою БЛА.

Ключові слова: КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, БЕЗПІЛОТНА СИСТЕМА, ОПТИМАЛЬНИЙ ШЛЯХ, АЛГОРИТМ ПОШУКУ.

ABSTRACT

Work is executed on 65 pages and including 30 illustrations, 2 tables, 4 appendices, 36 sources after the list of references.

Purpose of work. The aim of this work is to develop a computer-integrated system that enables autonomous route planning for unmanned systems based on the use of optimal pathfinding algorithms.

Research methods: analysis of literature sources, modeling tools for systems, methods for analysis and synthesis of complex distributed systems, methods and technologies for creating control systems, empirical research, analysis of results, and algorithm development.

Job performances. The proposed computer-integrated flight system for unmanned systems allows reducing operator involvement in the flight process and ensures more efficient performance of UAV tasks. The developed algorithm for finding the optimal path based on Dijkstra's algorithm allows finding the shortest path between the starting and ending points, taking into account various constraints.

Recommendations after the use of job performances. The proposed system can be used in various fields where unmanned technology can be applied for route planning, which will ensure the efficient execution of tasks..

Possible development directions. Possible expansion of the proposed system's functions includes adding UAVs, using more complex algorithms for optimal pathfinding, and the ability to control a group of UAVs..

Keywords: COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM, UNMANNED SYSTEM, OPTIMAL PATH, SEARCH ALGORITHM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1. ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ НАВІГАЦІЇ.....	10
1.1 Области застосування безпілотних літальних засобів.....	10
1.2 Управління безпілотними літальними апаратами.....	14
1.3 Планування шляху безпілотних літальних апаратів.....	16
2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ.....	19
2.1 Підходи вирішення проблеми пошуку оптимального шляху.....	19
2.1.1 Підходи, що засновані на біологічних принципах.....	19
2.1.2 Підходи на основі відбору.....	21
2.1.3 Підходи на основі графів.....	22
2.2 Обґрунтування вибору алгоритму для пошуку оптимального шляху.....	24
2.3 Аналіз структури системи автоматизованого управління польотом безпілотного літального засобу.....	30
2.4 Дослідження безпілотних систем як об'єкта управління.....	33
3. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМИ.....	35
3.1 Схема управління польотом безпілотних систем.....	35
3.2 Структурна схема системи управління польотом безпілотного літального апарату.....	36
3.3 Реалізація алгоритму пошуку оптимального шляху.....	39
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	44

					ДП.АКІТ.8091591.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Шубалий П.В.			Комп'ютерно-інтегрована система пошуку оптимального шляху для безпілотних систем / Computer-integrated optimal path search system for unmanned systems	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Пітух І.Р.				5	65	
Консульт.		Сапожник Г.В.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

4.1 Умови праці на робочих місцях та їх вплив на функціонування організму людини.....	44
4.2 Оцінка категорії важкості праці робітника.....	49
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТОК А Лістинг коду файлу main.cpp.....	58
ДОДАТОК Б Лістинг коду файлу matrix.h.....	62
ДОДАТОК В Лістинг коду файлу graph.h.....	63
ДОДАТОК Г Лістинг коду файлу graph.cpp.....	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСО - алгоритм оптимізації маршиної колонії;
AD - алгоритм Дейкстри;
СІ - колективний інтелект;
GA - генетичний алгоритм;
PRM - метод ймовірнісної дорожньої карти;
PSO - алгоритм оптимізація рою частинок;
RRT - алгоритм швидкозростаючого випадкового дерева;
АСУ - автоматизована система управління;
БЛА - безпілотні літальні апарати;
БСНУ - бортова система навігації та управління;
ВМ - виконавчі механізми;
ВП - висота польоту;
ВШ - вертикальна швидкість;
ДУ - дистанційне управління;
КО - кут орієнтації;
НПУ - наземний пункт управління;
НС - навігаційна система;
ОШ - оптимальний шлях;
ПАК - програмно-апаратний комплекс;
ПЗ - програмне забезпечення;
СППР - систем підтримки та прийняття рішень;
ТЗА - технічні засоби автоматизації/

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та мікроелектроніки зумовив прогрес у галузі безпілотних літальних апаратів (БЛА). Використання БЛА забезпечує вирішення широкого кола задач з більшою ефективністю та підвищеною безпекою у порівнянні із застосуванням інших засобів та методів. Технологічно розвинуті країни на протязі останніх років активно використовують дрони у сільському господарстві, доставці вантажів, розвідці, картографуванні, технічному обслуговуванні, діагностиці та у інших видах діяльності. Одночасно з'являються нові сфери застосування БЛА та дослідження, які з ними пов'язані.

Зростаюча тенденція до підвищення рівня автономності безпілотних літальних системах призвела до зниження вимог керуванням людиною та до зростання здатностей виконувати більш складні завдання реагуючи на впливи середовища.

БЛА останнім часом активно використовуються у галузі авіації, ставши важливим її елементом. Їм приділене особливе місце у військових й цивільних галузях. Безпілотна авіація дозволяє вирішувати різні завдання, особлива частка яких припадає на спостереження за різними об'єктами або ж подорож до них. При виконанні подібних завдань важливою є проблема знаходження найоптимальнішого шляху подорожі до контрольних точок, який би враховував різні данні, наприклад: кількість пального, кількість заряду акумулятора, наявність сигналу, покриття зони радаром, тощо.

Мета кваліфікаційної роботи полягає дослідженні, розробці та сферах застосування алгоритму пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри.

Для досягнення поставленої мета необхідно вирішити ряд пов'язаних задач:

- дослідити області застосування безпілотних систем;
- провести дослідження способів управління безпілотними літальними апаратами;
- проаналізувати структуру системи автоматизованого управління польотом безпілотного літального засобу;

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- проаналізувати підходи до вирішення проблеми пошуку оптимального шляху;
- провести аналіз безпілотних систем як об'єкта управління;
- розробити комп'ютерно-інтегровану систему управління польотом безпілотного апарату;
- розробити алгоритм пошуку оптимального шляху.

Предметом дослідження є комп'ютерно-інтегрована система управління польотом БЛА.

Об'єктом дослідження застосування різних алгоритмів планування шляхів.

Методи дослідження – При вирішенні поставлених задач використовувалися методи математичного моделювання, дискретної оптимізації, теорії графів, лінійного програмування.

Практичне значення одержаних результатів. Результати кваліфікаційної роботи можуть знайти застосування при розробці програмних систем, призначених для пошуку оптимального шляху з початкової до кінцевої точки для безпілотних літальних систем.

Напрямки подальшого розвитку. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення алгоритмів пошуку оптимального шляху, розроблення нових алгоритмів, які б враховували більше факторів, таких як погодні умови, наявність перешкод, ризики взаємодії з іншими повітряними транспортними засобами тощо.

Публікації.

1. Шубалий П.В. Дослідження управління польотом безпілотних систем та проблем їх навігації. Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2023), Тернопіль, 2023. -с.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ НАВІГАЦІЇ

1.1 Области застосування безпілотних літальних засобів

Безпілотники можна класифікувати за багатьма критеріями [1], наприклад:

- за розміром та цільовим навантаженням;
- за типом конструкції;
- за типом двигуна;
- за типом управління;
- за різними тактико–технічними характеристиками.

Найменші сучасні безпілотники (дрони) мають розмір кількох міліметрів і можуть важити лише кілька грамів. Розміри надважких БЛА вимірюються метрами, а їхня вага становить кілька тонн.

Корисне або цільове навантаження БЛА [2] це все, що не має безпосереднього відношення до БЛА, але що підіймається у повітря та є необхідним для виконання конкретного завдання, наприклад оптико-електронні системи, відеообладнання, спеціалізовані датчики та пристрої вимірювання, світлові пристрої, акустичні системи, вантажі, ємність з добривами та інше.

Найбільш поширені на сьогоднішній день типи конструкції БЛА – це квадрокоптери, мультикоптери, БЛА вертолітного та літакового типу [3].

Основні типи двигунів БЛА – електродвигуни, двигуни внутрішнього згоряння та комбіноване рішення, коли на одному літальному апараті суміщається використання різних двигунів [4].

БЛА може називатися будь-який літаючий пристрій, що не має пілота на борту. Тому радіомоделі літаків і гелікоптерів також є безпілотниками і управляються по радіоканалу. Крім радіоканалу, управління БЛА може здійснюватися за допомогою інших засобів комунікації або «за допомогою пілотного завдання, закладеного в бортовий комп'ютер літального апарату або наземний контрольний комплекс» [1].

Класифікація БЛА представлена рисунку 1.1.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 1.1 – Класифікація БЛА

При реалізації дистанційно-пілотованого способу управління польотом БЛА здійснюється у двох режимах [5]:

- ручне управління, здійснюється за рахунок управління оператором літального апарату в реальному часі;
- автоматичне керування здійснюється автономно та передбачає можливість його коригування. Попередньо вводяться координати для точок маршруту, визначаючи поточне положення літального апарату за допомогою навігації.

При автоматизованому способі, керування реалізується за допомогою автопілоту за наперед заданою траєкторією при визначеній висоті й швидкості та із заздалегідь встановленою стабілізацією кута орієнтації (КО).

БЛА з фіксованим крилом – це засоби, що використовують прямий поштовх фіксованого крила, щоб отримати підйомну силу [1]. Для їх запуску необхідна відносно висока пускова швидкість для того, щоб отримати дану підйомну силу. Тому такі БЛА не застосовуються для роботи у небезпечному чи обмеженому середовищі [2].

БЛА з крилами, що обертаються, також розділять на:

- одnogвинтові – зазвичай використовуються при побудові гвинтокрилів.

«Використовується приводний несучий гвинт, який забезпечує підйомну силу яка

										ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
											11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							

врівноважується хвостовим кермовим гвинтом» [3].

- багатогвинтові (мультикоптери) – апарати, що мають два та більше несучі гвинти для забезпечення управління усіма формами руху.

«Міжнародною асоціацією з безпілотних літальних систем UVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International)» [6] запропонована універсальна класифікація БЛА, наприклад до категорії малих БЛА відносяться Nano БЛА, Micro БЛА та Mini БЛА злітна маса яких складає від 0,025 до 150 кг, дальність польоту від 1 до 30 км, максимальна висота польоту 300м, тривалість польоту від 0,5 до 2 годин. До категорії малих відносяться також легкі БЛА з малою дальністю польоту та середні БЛА масою 25-500 кг, дальністю польоту 10-200 км, на висоті 100-300м та тривалістю польоту 2-10 год.

До категорії тактичних відносяться середні та маловисотні БЛА з великою неперервністю польоту та висотні БЛА. Маса таких апаратів складає від 500 до 5000кг, дальність польоту 500-2000км, висота від 8 до 20 тисяч метрів, максимальна тривалість польоту 18-48 годин.

Стратегічні БЛА, як правило оснащені бойовою частиною. Їх злітна маса становить 150-1000 кг, висота польоту 50-12000 м, тривалість польоту 300-1500км або 2-4 год. До стратегічних також відносяться БЛА - хибні цілі.

БЛА спеціального призначення це стратосферні та екзостратосферні БЛА з можливістю досягати висоти польоту 3,5 км з тривалістю польоту 48 год.

Розрізняють також різні типи БЛА, які відрізняються за конструкцією та принципом роботи, наприклад їх зльоту чи посадки, та призначенням [7]:

- БЛА літакового типу;
- мультироторні БЛА;
- БЛА аеростатичного типу;
- безпілотні конвертоплани та гібридні моделі.

В силу своїх конструктивних особливостей, квадрокоптери та мультикоптери, як правило, поступаються БЛА гелікоптерного та літакового типу за такими технічними характеристиками як [8]:

- максимальна маса цільового навантаження;
- максимальна швидкість та дальність польоту;

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- максимальна практична границя (висота) польоту;
- максимально можлива тривалість польоту.

Кожен БЛА створюється для конкретного застосування та вирішення певних завдань. Те, що може зробити малий безпілотник, зможе зробити великий та навпаки. Сфери застосування дронів постійно розширюються. БЛА можуть бути використані для забезпечення бездротового покриття. Наприклад, для моніторингу у надзвичайних ситуаціях, спостереження за збитками, що спричинені стихійними лихами, виконувати фіксацію, сканування та аналіз. Вони можуть використовуватися для моніторингу дорожньої ситуації, як в межах міста, району, так і на віддалених ділянках, вести контроль за пожежною ситуацією влісах або за паводками, розливом річкових вод в регіонах та ін. Виконуючи завдання, безпілотники можуть передавати відзнятий відеоматеріал до центрального пінкту, за допомогою якого можна керувати безпілотним засобом. Зазначене сприяє підвищенню безпеки при виконанні певних задач.

БЛА можуть застосовуватись у таких областях, як [2, 3, 9, 10]:

- аерофотозйомка площадних та лінійних об'єктів;
- моніторинг лісових пожеж;
- моніторинг стану гідроелектростанцій;
- контроль стану газо- та нафтопроводів;
- контроль етапів будівництва різноманітних об'єктів;
- забезпечення охорони та безпеки території;
- контроль сільськогосподарських процесів;
- виконання військових завдань (розвідка, враження цілей противника);
- доставка вантажів у важкодоступні райони;
- виконання рятувальних операцій та багато іншого.

Для виконання вищезазначених завдань, у більшості випадків, потрібне високоточне визначення координат БЛА, а також траєкторії його польоту. Тому БЛА оснащують такими засобами як ультразвукові чи радарні датчики, лазерні локатори та відеокамери. На даний час названі технології поки не набули широко застосовуються в Україні для оснащення безпілотних засобів.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Управління безпілотними літальними апаратами

Управління рухом БЛА відбувається дистанційно із пункту, що розташований на землі шляхом використання радіоканалу або за допомогою автоматизованої системи управління (АСУ) [5]. При використанні АСУ до пам'яті бортової системи БЛА вносяться дані маршруту польоту, наприклад, координати кінцевої цілі чи проміжних пунктів на шляху до неї. Одною із основних цілей застосування БЛА є створення автоматичних пристроїв, які можуть замінити людину у небезпечних умовах. Для реалізації цього та забезпечення технологічних процесів необхідно керувати польотом БЛА.

Як правило, управління польотом БЛА здійснюється за допомогою бортової системи навігації та управління (БСНУ), до складу якого входять [4, 11]:

- інтегрована навігаційна система, яка містить також приймач супутникової навігації, що забезпечує прийом навігаційної інформації (наприклад системи GPS);
- система датчиків та сигналів, що забезпечує визначення орієнтації та параметрів руху БЛА, а також вимірювання висоти та повітряної швидкості;
- різні види антен та датчиків, призначених для виконання завдань;
- модуль автопілота, що забезпечує вирішення таких завдань, як:
 - пілотування (включає автоматичний політ, який здійснюється за заданим маршрутом, автоматичний зліт та посадка, підтримання заданої висоти польоту та швидкості, стабілізації КО, вимушена посадка у екстрених ситуаціях);
 - управління (програмне) бортовими системами та цільовим навантаженням;
- система накопичення та передачі інформації.

Таким чином, БСНУ забезпечує:

- політ за наперед заданим маршрутом (завдання маршруту проводиться із зазначенням координат та висоти поворотних пунктів маршруту);
- зміна маршрутного завдання або повернення до точки старту за командою з наземного пункту управління;

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- автосупровід обраної мети;
- функцію стабілізації КО;
- підтримку заданих висот та швидкості польоту;
- збір та передача необхідної інформації та параметрів польоту, а також роботицільового обладнання;
- програмне керування пристроями цільового обладнання.

На рисунку 1.2 зображена загальна схема системи управління БЛА, що є представляється у вигляді сукупності зв'язків для передачі інформації між наземним пунктом управління (НПУ), його програмно-апаратним комплексом (ПАК) та БЛА, за захищеними лініями зв'язку [12]. Вхідні дані, що надходять для аналізу та обробки наземним ПАК є постановкою задачі на виконання.

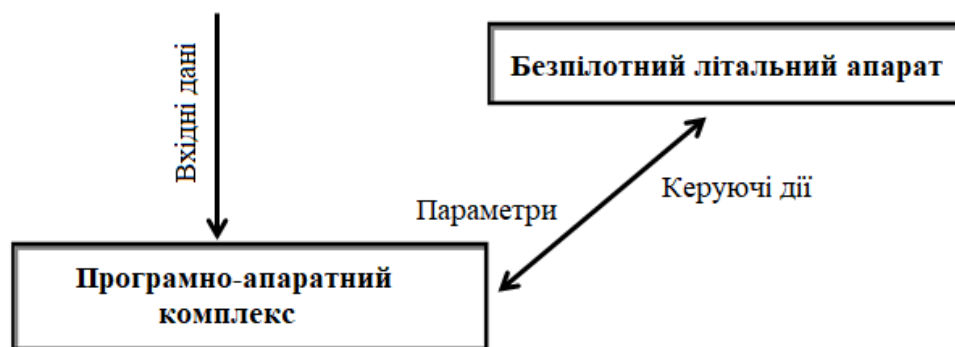


Рисунок 1.2 – Загальна схема управління БЛА

Можливе здійснення передачі інформації та зв'язку між БЛА та НПУ, а й між групою безпілотників, між групою БЛА та наземним ПАК, а також із супутником і пілотованим об'єктом. Таким чином, наведена схема управління може змінюватися і доповнюватися згідно із завданням, що виконується.

На даний час керування польотом зазвичай відбувається у таких режимах:

- напівавтоматичний - шляхом подачі команд оператором із використанням навігації по опорних точках;
- дистанційний - за допомогою пульта керування.

Поряд з цим значне місце посідає програмне керування БЛА з урахуванням інтелектуального автопілоту. Це зумовлено світовими тенденціями збільшення рівня автономності БЛА при вирішенні поставлених цільових задач, таких як

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

планування та автоматичне керування польотом за заданою траєкторією.

На відміну від інших автоматизованих транспортних засобів, які потребують фізичну лінію або маркери руху, наприклад автоматизований керований транспортний засіб, БЛА мають менші обмеження на їхнє операційне середовище через їхню гнучкість у русі. Забезпечення повітряної точки огляду також є важливою особливістю БЛА, що робить їх застосування перспективним і економічно вигідним. Військова та цивільна інженерія є прикладами областей застосування, де розгортання флоту БЛА може забезпечити зниження витрат та підвищення безпеки, у областях, що стосуються їх застосування, при цьому максимально підвищити ефективність роботи операцій.

Однак розгортання БЛА для таких завдань приносить виклик, а саме те, що часто це складно гарантувати безпеку і надійність БЛА під час розгортання, тому що операційні зони для розгортання БЛА часто передбачають перешкоди та загрози, такі як високі будівлі та системи повітряної оборони противника.

Для вирішення цих проблем, протягом останнього часу вивчалася проблема планування шляху [13-17], що визначає шлях для БЛА з однієї точки до іншої зважаючи на потребу орієнтуватись у регіоні безпечно. Різні експлуатаційні обмеження, такі як максимальний рівень заряду БЛА та безпечну відстань від об'єкту, наприклад будівля або інший БЛА, часто накладаються на існуючу проблему.

Таким чином, розробляються та вдосконалюються деякі алгоритми, для того щоб мати змогу вибрати шлях, який потребує менше часу, і який буде мати менші витрати для виконання передбачуваних завдань.

1.3 Планування шляху безпілотних літальних апаратів

Планування шляху, що розглядається як навігаційна проблема [18-19], є також обчислювальною проблемою знаходження послідовності задовільних конфігурацій, що вкажуть на шлях від відправної точки до кінцевої. Планування шляху – це знаходження геометричних координат руху в залежності від поставлених критеріїв до цільового положення.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Дана задача є важливою дослідницькою проблемою у робототехніці. Багато проблем в різних галузях вирішуються за допомогою планування шляху, що було застосовано у навігації робота для досягнення певної мети починаючи з простого планування траєкторії до селекції відповідного порядку дій. Кожне рішення у плануванні шляху обирається відповідно до наявної інформації у поточному стані і таких критеріїв як, наприклад, найкоротші відстані до кінцевої точки використовуючи обчислення Евклідового простору.

На практиці може бути більше ніж один маршрут від початку до кінця шляху. Однак, у деяких випадках буває таке, що можливий шлях до потрібної точки є неможливим. Із позиції оптимізації, ідеальний шлях має мати найкоротшу відстань, без зіткнень з перешкодами, і потребувати якомога менше часу, щоб досягти кінцеву точку.

Іноді виділяють два типи планування шляху [14]. Одним з яких є глобальне планування шляху, це коли оточення є статичним і його параметри є відомими заздалегідь. Іншим типом є локальне планування шляху, при ньому алгоритми отримують інформацію з даного оточення для того, щоб згенерувати новий шлях на основі отриманої інформації, наприклад з сенсорів.

Також виділяють проблему найкоротшого шляху, коли необхідно знайти маршрут між вершинами графу таким способом, щоб сумарне значення ваги/вартості вершин у шляху була мінімізованою [16].

Для пошуку різної інформації у комп'ютерних науках використовують алгоритми спеціально створені для розв'язування задач пошуку – пошукові алгоритми [13]. Вони отримують інформацію, яка знаходиться у певній структурі даних, наприклад списків, таблиць чи масивів.

Класичні пошукові алгоритми оцінюються тим, як швидко вони можуть знайти рішення, і чи знайдене рішення є оптимальним. Хоча ці алгоритми мають бути швидкими, якість розстановки й можливість пропущення кращих рішень й включення гірших є більш важливим.

Зазвичай пошуковий алгоритм перебуває у залежності від структури даних, поміж яких відбувається пошук та можуть бути швидшими або більш ефективнішими використовуючи спеціальні структури даних, наприклад, хеш-

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

таблиці, дерево пошуку чи індекси баз даних.

Одні з задач у вирішенні яких пошукові алгоритми приймають участь в задачі маршрутизації транспортних засобів, планування шляху, тощо.

Пошук шляху (pathfinding) – це планування комп'ютерним застосунком оптимального шляху (ОШ) від початку до кінця, зокрема, самого короткого [15]. Ця сфера досліджень значною мірою базується на алгоритмі Дейкстри для знаходження найбільш короткого шляху зваженого графу – графу, де кожне «ребро» має встановлене значення «ваги».

Пошук шляху має тісний зв'язок із задачею найкоротшого шляху в межах теорії графів, що вивчає, яким чином знайти маршрут від початку до кінцевої точки у мережі, що найкраще відповідає заданим критеріям, наприклад, найбільш короткий, дешевий, швидкий, тощо.

Фактично, метод пошуку шляху обшукує граф почавши з однієї вершини й вивчає сусідні вершини допоки не дійде до заданої вершини, як правило це робиться з метою пошуку ОШ. Незважаючи на те, що методи пошуку за графом, зокрема, пошук у ширину знаходять шлях, якщо буде дано достатньо часу, існують інші методи, що досліджують граф, й зазвичай досягають мети швидше. Аналогією була б людина, яка йде через кімнату, і замість того, щоб заздалегідь вивчати усі можливі маршрути, особа просто піде в загальному напрямку до цілі й буде відхилятися від шляху лиш для того, щоб обійти перешкоду й буде робити відхилення від шляху якомога менше значними.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ

2.1 Підходи вирішення проблеми пошуку оптимального шляху

У цьому розділі розглядається декілька можливих алгоритмів планування шляху в умовах ОШ, ймовірнісної завершеності та часу обчислень разом із їх застосуванням у певних проблемах. Ці властивості важливі в алгоритмі планування шляху, коли алгоритм пошуку має властивість оптимальності, він гарантує, що він знайде найкраще можливе рішення. Коли алгоритм пошуку має властивість ймовірнісної завершеності, це значить, що алгоритм поверне рішення, якщо хоча б одне буде доступним.

Підходи до планування шляху, що розглядатимуться, можна класифікувати за наступними категоріями (рисунок 2.1):

- засновані на біологічних принципах;
- на основі відбору
- на основі графів.

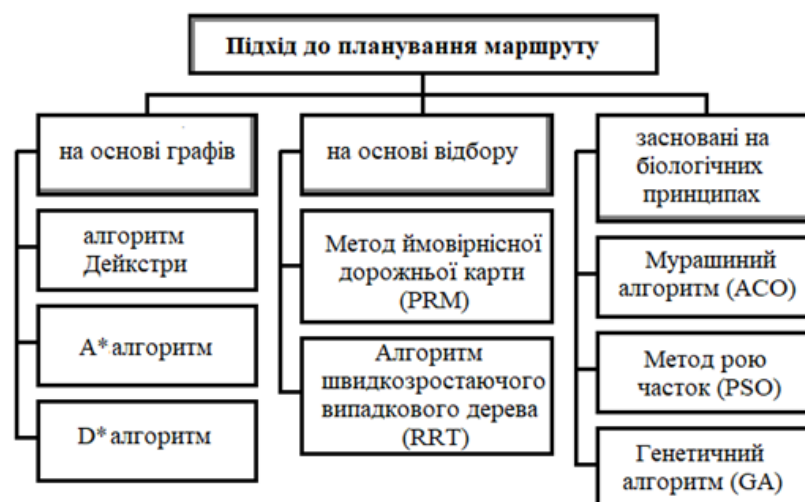


Рисунок 2.1 – Підходи до планування оптимального шляху

2.1.1 Підходи, що засновані на біологічних принципах

Засноване на біологічних принципах планування шляху є одною із основних підмножин природних обчислень. Воно описується як поєднання конекціонізму, соціальної поведінки та зливання. Із застосуванням комп'ютерної техніки цей

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

метод реалізується для моделювання явища життя, і в той же час він намагається покращити використання комп'ютерів для кращого майбутнього. Такі алгоритми планування шляху могут бути класифіковані наступним чином:

- еволюційні;
- колективний інтелект;
- нейродинамічні.

Найбільш поширені є алгоритми двох типів, а саме генетичний алгоритм який використовує еволюційний метод, і також метод рою часток та мурашиний алгоритм, який використовує метод колективного інтелекту.

«Колективний інтелект (CI) – це колективна поведінка децентралізованих, самоорганізованих систем, природних чи штучних. Концепція використовується в роботі над штучним інтелектом. Інколи колективний інтелект ще називають ройовим інтелектом» [13]. Системи CI, зазвичай включає популяції простих боїдів (boids) або агентів, що взаємодіють місцево поміж собою та з їх оточенням. Вони дотримуються досить простих правил, і попри те,що відсутні централізовані структури керування, що диктує, як повинні поводити себе окремі агенти, локальні та якоюсь мірою випадкові, взаємодія між даними агентами призводить до появи «інтелектуальної» глобальної поведінки, невідомої індивідуальним агентам. Приклади інтелекту рою у природній системі включають в себе колонії мурах, бджолині колонії, зграї птахів, випасання тварин, ріст бактерій, стада риб та мікробний інтелект.

Генетичний алгоритм (genetic algorithm, GA) – це еволюційний алгоритм пошуку, заснований на процесі природного відбору, що належить до більшого класу еволюційних алгоритмів [20]. Такі алгоритми, у більшості випадків, використовують для отримання високоякісних рішень оптимізації та проблем пошуку, спираючись на біологічні функції - мутація, відповідність та відбір.

У обчислювальній науці оптимізація рою частинок (particle swarm optimization, (PSO)) – є обчислювальним методом, який дозволяє оптимізувати проблему шляхом ітераційних спроб покращити рішення – кандидат з врахуванням заданого ступеня якості [21]. Він забезпечує можливість розв'язання задачі, маючи певну сукупність рішень-кандидатів, які називаються частинками, і

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

рухаючи ці частинки у просторі пошуку відповідно до простої математичної формули стосовно положення та швидкості.

У комп'ютерних науках та дослідженні операцій алгоритм оптимізації маршиної колонії (ant colony optimization, (ACO)) це імовірнісна техніка для рішення обчислювальних завдань, які зводяться до пошуку ОШ за допомогою графів [14]. Взаємодія біологічних мурашок, яка заснована на феромонах здебільшого є переважаючою парадигмою, що використовується. Комбінації зі штучними мурашками та локальним пошуком використовуються як метод вибору для різного кола задач оптимізації, що включають деякий граф, наприклад Internet-маршрутизація, маршрутизація транспортних засобів.

2.1.2 Підходи на основі відбору

Підходи планування шляху на основі відбору реалізуються протягом усього пошуку в просторі конфігурації, де інформація отримується з детектора зіткнення. Шлях залежить від можливої конфігурації та перевірок зіткнення, щоб обґрунтованість конфігурації могла бути перевіреною та створювала результати, що відповідають цільовій конфігурації. Незважаючи на те, що цей випадковий підхід має переваги у забезпеченні швидких результатів до складних проблем, алгоритму не вистачає інформації про існування об'єкта в просторі конфігурації, оскільки тестування зіткнення проводиться лише при необхідності. У складних та реалістичних умовах алгоритми на основі вибірки є більш перспективними порівняно з алгоритмами на основі графіків, оскільки це простіше в аспектах представлення та обчислення.

У плануванні на основі вибірки є два загальні методи [22, 23]:

- Алгоритм швидкозростаючого випадкового дерева (RRT).
- Метод ймовірнісної дорожньої карти (PRM).

RRT – це алгоритм, розроблений для ефективного пошуку неопуклих просторів високої розмірності шляхом випадкової побудови дерева, яке буде заповнювати простір. Побудова дерева відбувається поетапно із вибірок, вибраних випадковим чином із простору пошуку, і за своєю суттю схильний виростати до великих нерозшукованих областей проблеми. RRT дозволяють

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

легко вирішувати проблеми із перешкодами та обмеженнями, що є диференціальними (неголономними та кінодинамічними) і широко використовуються в автономному робототехнічному плануванні руху.

RRT ефективно використовується для обчислення приблизної політики контролю для керування високорозмірними нелінійними системами з обмеженнями стану та дії.

PRM – є алгоритмом планування руху у робототехнічних системах, що дозволяє вирішувати задачу визначення шляху між конфігураціями: початковою (робота) та цілі, при цьому уникаючи зіткнень.

Основною ідеєю PRM є вибір випадкових вибірок із деякого конфігураційного простору робота, перевірки їх на присутність у вільному просторі та використанні локального планувальника для того, щоб спробувати підключити дані конфігурації до інших, сусідніх, конфігурацій. Початкові та кінцеві конфігурації додаються, і алгоритм пошуку по графу застосовується до результуючого графу, щоб вирахувати шлях між конфігураціями, відповідно початком та кінцем.

2.1.3 Підходи на основі графів

У алгоритмі пошуку ОШ графіків основна ідея зводиться до того, щоб перейти від точки А до точки В у якомусь просторі. Цей простір станів зазвичай описується як решітка, яка показує, де об'єкти розташовані в навколишньому середовищі. Алгоритми на основі графіків, як правило, реалізуються в рідкісному та дискретному середовищі. Частина розвитку автоматизованого транспортного засобу застосовує цей метод у процесі планування шляху.

Існує декілька алгоритмів пошуку на основі графів, таких як [16, 17]:

- алгоритм Дейкстри (AD);
- алгоритм пошуку A* (A star);
- алгоритм пошуку D* (D star).

Алгоритм Дейкстри (AD) – це алгоритм для пошуку найбільш коротких шляхів між вершинами на графі, що, наприклад, представлятиме дорожню мережу. Даний алгоритм існує у багатьох варіаціях. Оригінальним AD був

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

знайдений найбільш короткий шлях між двома заданими вершинами. Проте варіант алгоритму, що має більш широке застосування, дозволяє фіксувати одну вершину як «джерело» та знаходить більш коротуї шляхи від цього джерела до усіх інших вершин у графі, створюючи найкоротший шлях дерево.

Алгоритм пошуку A^* (A star) – це алгоритм пошуку графів та пошуку шляхів, який широко використовується, у різних сферах ІТ завдячуючи своїй повноті, відповідності задачі та оптимальній ефективності. Він є розширенням AD й засвоює метод оптимального пошуку пріоритету. Даний алгоритм дозволяє забезпечити загальний евристичний підхід у процесі пошуку ідеального шляху.

Алгоритм A^* у порівнянні з AD має більш високу ефективність пошуку шляху, але потребує більше часу на обчислення. Проте ці алгоритми мають достатню продуктивність і можуть використовуватися для здійснення планування шляху в реальному часі. Алгоритм пошуку який використовує A^* це «best-first search» (BFS) (пошук за першим кращим збігом). Різниця між пошуком в AD та пошуком A^* за першим кращим збігом зводиться до того, що AD надає перевагу пошуку вершин біля початкової точки, тоді як BFS надає перевагу вершинам, які знаходяться ближче до кінцевої точки.

У порівнянні з AD, алгоритм A^* знаходить лише найкоротший маршрут від зазначеного джерела до зазначеної цілі, а не дерево найкоротшого маршруту від зазначеного джерела до всіх можливих цілей. Це є необхідним компромісом задля використання евристики, спрямованої на конкретну мету. Для AD, оскільки генерується все дерево найкоротшого шляху, кожна верхівка є метою, і існує евристики, спрямованої на конкретну ціль.

Алгоритм D^* це модифікована версія A^* (dynamic A^*), який запрограмований для швидкої переробки рішень коли структура змінюється. При кожному стані у переміщенні, досягається оптимальний шлях до кінця, за умови, що вся відома інформація при кожному кроці є правильною.

Оптимальний алгоритм для планування шляху АСУ БЛА залежить від великої кількості чинників, наприклад розмір простору пошуку, складність обчислень, обмеження на швидкість руху, можливість розрахунку шляху в реальному часі та багато іншого.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зокрема, AD та алгоритм пошуку A^* часто використовуються для пошуку найбільш коротшого шляху в графах з малою кількістю вершин. Якщо простір пошуку великий і складний, то можна розглянути використання генетичних алгоритмів або оптимізації рою частинок. Алгоритм оптимізації мурашиних колоній може бути ефективним для пошуку ОШ в складних середовищах з багатьма обмеженнями.

2.2 Обґрунтування вибору алгоритму для пошуку оптимального шляху

Вибір оптимального алгоритму залежить від певного завдання та вимог. Проведений аналіз підходів до вирішення задачі пошуку ОШ, дозволяє зробити висновок, що AD є ефективним і надійним алгоритмом для пошуку ОШ у графах з необхідними вагами на ребрах, що може використовуватися для планування шляху БЛА.

Суть AD полягає у наступному. Вершина, з якої ми починаємо, називається початковою вершиною. Нехай відстань вузла Y – це відстань від початкового вузла до Y . AD спочатку почне з нескінченних відстаней і намагатиметься їх покращувати крок за кроком.

Всі вершини спочатку позначаються як невідвідані. Створюється набір з усіх невідвіданих вершин, який називається невідвіданим набором. Кожній вершині призначається орієнтовне значення відстані: для початкової вершини воно становить 0 і нескінченність для всіх інших вершин. В процесі виконання алгоритму орієнтовна відстань вершини V є довжиною найкоротшого шляху, виявленого на даний момент між вузлом V і початковою вершиною. Оскільки спочатку жоден зі шляхів є невідомим до якої з вершин, окрім самого джерела (де довжина шляху є нульовою), усі інші орієнтовні відстані спочатку встановлені на нескінченність. Встановлюється початкова вершина як поточна.

Для поточної вершини розглянемо всі її невідвідані сусідів і обчислимо їх орієнтовні відстані через поточну вершину. Порівнюється нещодавно розрахована орієнтовна відстань з тією, що в даний момент призначена сусідній вершині, у висновку призначається менша відстань.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Наприклад, якщо поточна вершина A позначена відстанню b , а шлях, що з'єднує її з сусідом B , рівний 2 , тоді відстань до B через A дорівнюватиме $b+2=8$. Якщо B раніше було позначено відстанню яка більше 8 , то вона змінюється на 8 . В іншому разі поточне значення буде незмінним. Коли завершується розгляд усіх невідвідуваних сусідів поточної вершини, поточний вузол позначається як відвіданий і видаляється з невідвідуваного набору. Відвідана вершина ніколи не буде перевірятися знову (це є правильним і оптимальним у зв'язку з поведінкою на кроці b : наступні вершини, які потрібно відвідати, завжди будуть у порядку «найменшої відстані від початкової вершини спочатку», тому будь-які відвідування після цього будуть мати більшу відстань).

Якщо кінцева вершина яка є призначенням позначено як відвідувану (при плануванні маршруту між 2 певними вершинами) або якщо сама менша орієнтована відстань між вершинами в невідвіданому наборі є нескінченністю (при плануванні повного обходу; відбувається, коли немає з'єднання між початковою вершиною і невідвіданими вершинами, що залишилися), тоді виконується зупинка. Алгоритм закінчився. В іншому випадку обирається невідвідувана вершина, позначена найменшою попередньою відстанню, вона встановлюється як новий поточна вершина і відбувається повернення до кроку 3 . Під час планування маршруту на практиці не треба очікувати, поки вершина призначення «відвідується», як зазначено ранішк: алгоритм може зупинитися, коли вершина призначення має найменшу попередню відстань серед усіх «невідвідуваних» вершин a , отже, може бути обрана як наступна «поточна».

Ілюстрацію алгоритму наведено на рисунках 2.7 – 2.15, а пояснення полягає у наступному: нехай поточна мінімальна відстань від вершини A до інших вершин рівна V , і на кожному кроці її потрібно пробувати зменшувати. На початку відстань до всіх решти вершин дорівнює нескінченності, до вершини $A = 0$, оскільки з цієї вершини починається відлік. Наприклад: Потрібно знайти всі відстані до інших вершин (рисунок 2.2), які починаються з вершини 1 де: кільця – це вершини; смуги між ними – їхні з'єднання; числа біля них це їхнє значення – довжина. Напис біля вершини відповідає поточній найкоротшій відстані до неї.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

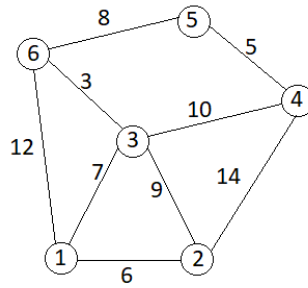


Рисунок 2.2 – Алгоритм Дейкстри

Крок 1. На даному кроці відстань до решти всіх у графі $V = \infty$. Відстань до $A = 0$. Жодна із вершин на данний момент часу не є опрацьованою (рисунок 2.3).

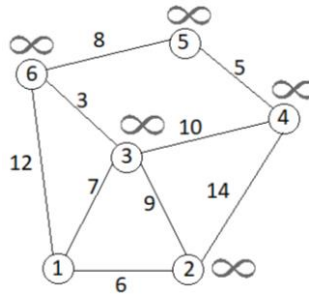


Рисунок 2.3 – Алгоритм Дейкстри: крок 1

Крок 2. На даному кроці потрібно знайти вершину до якої відстань має мінімальне значення. У цьому випадку це вершина 1. Необхідно обійти усі сусідні до неї вершини i , у випадку виявлення, що шлях до сусідньої вершини через вершину 1 є меншим за поточний мінімальний шлях до цієї сусідньої вершини, тоді запам'ятовується цей новий, більш короткий шлях, і визначається таким як поточний самий короткий шлях до сусідньої вершини (рисунок 2.4).

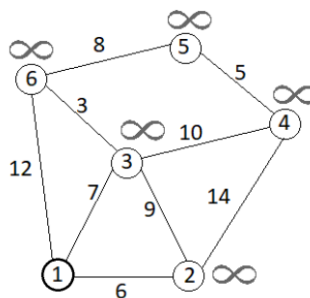


Рисунок 2.5 – Алгоритм Дейкстри: крок 2

Крок 3. Наступною вершиною після вершини 1 є вершина 2. Шлях до неї дорівнює сумі відстаней до вершини 1, що складає 0, та між вершинами 1 і 2, що дорівнює 6. Тобто шлях до вершини 2 складає $0 + 6 = 6$ (рисунок 2.6).

						ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			26

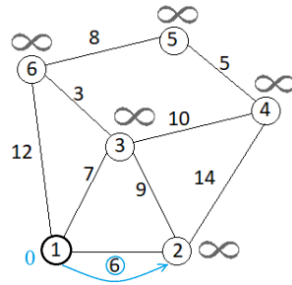


Рисунок 2.6 – Алгоритм Дейкстри: крок 3

Кроки 4 та крок 5. На наступних кроках алгоритму з іншими сусідніми вершинами виконуються аналогічні операції, що наведено на рисунку 2.7.

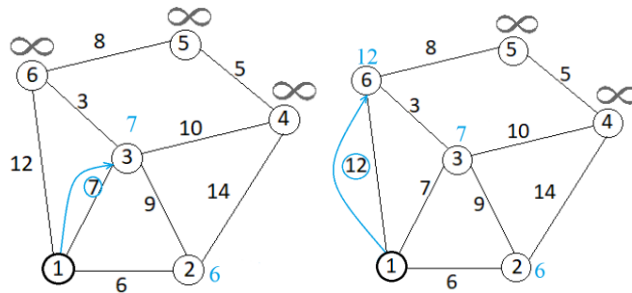


Рисунок 2.7 – Алгоритм Дейкстри: кроки 4-5

Крок 6. Після того як дана вершина була опрацьована, потрібно переміститися до найближчої вершини, у даному випадку це вершина 2. Обчислені вершини позначено кольором (рисунок 2.8).

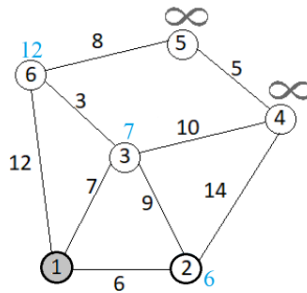


Рисунок 2.8 – Алгоритм Дейкстри: крок 6

Тепер потрібно знову вираховувати відстані до сусідніх вершин, у випадку з вершиною 2 це вершина 1, вершина 3 та вершина 4.

Крок 7. Оскільки вершина 1 вже була оброблена вона буде пропущена. Тому вираховується відстань до наступної вершини, тобто до вершини 3. Відстань до неї складе суму відстані до вершини 2, що рівна 6, та відстань до вершини 3,

що дорівнює – 9. Тобто відстань буде рівна $6 + 9 = 15$. Але це більше ніж вже встановлена раніше відстань, тому вона не змінюється (рисунок 2.9).

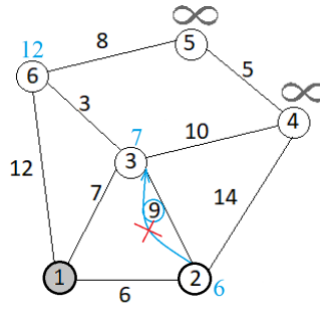


Рисунок. 2.9 – Алгоритм Дейкстри: крок 7

Крок 8. Іншою сусідньою вершиною є вершина 4. Відстань до неї дорівнює сїмі відстані до вершини 2 та відстані від вершини 2 до вершини 4, що складає 14. Тому відстань до вершини 4 буде рівна: $6 + 14 = 20$ (рисунок 2.10).

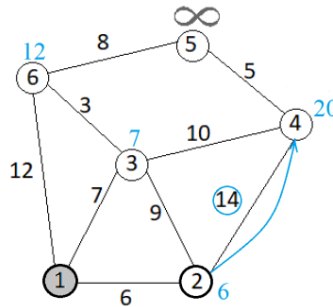


Рисунок 2.10 – Алгоритм Дейкстри: крок 8

Кроки 9. На даному кроці алгоритму вираховувати відстані до сусідніх вершин до вершини 3 це вершина 1, вершина 2, вершина 4 та вершина 6. Виконуються аналогічні дії що виколнувалися з вершиною 2, відповідно до попередніх кроків. Після вираховування сусідніх з вершиною 3 вершин отримуються результати, які наведені на рисунку 2.11.

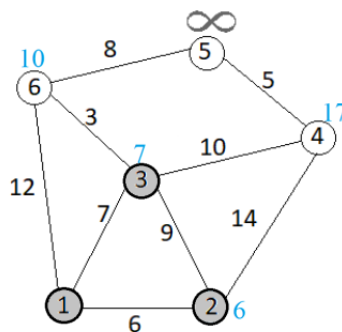


Рисунок 2.11 – Алгоритм Дейкстри: крок 9

На наступних кроках виконуються аналогічні дії з іншими вершинами, що наведено на рисунку 2.12.

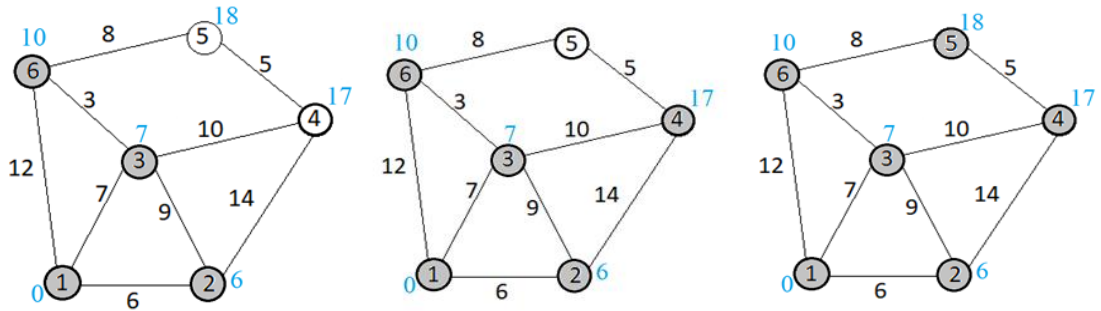


Рисунок 2.12 – Алгоритм Дейкстри: наступні кроки

Робота AD закінчується у тому випадку коли всі вершини було обчислено. В результаті, у розглянутому прикладі, отримано самі короткі шляхи: від вершини 1 до вершини 2, що складає 6, до вершини 3, що дорівнює – 7, до вершини 4, відповідно – 17, до вершини 5 – 18 та до вершини 6 – 10 умовних одиниць.

AD є ефективним алгоритмом для пошуку ОШ в графі з необхідними вагами на ребрах.

Основні переваги AD для пошуку ОШ БЛА включають:

- Гарантія знаходження найкоротшого шляху між двома вершинами у випадку, коли всі ваги ребер є додатними. Це важливо для забезпечення точності маршрутування БЛА.

- Швидкість - часова складність складає

$$O(E + V \log V),$$

де O -асимптотична складність, E - кількість ребер, V - кількість вершин у графі. Це дозволяє швидко знайти найкоротший шлях навіть великих графах.

- Легкість реалізації – алгоритм є досить простим для реалізації і зрозумілий для більшості програмістів.

- Можливість використання в реальному часі - алгоритм може використовуватися для розрахунку найкоротшого шляху в реальному часі, що дозволяє БЛА змінювати свій шлях в залежності від зміни умов у середовищі.

- Не потребує зберігання всього графа в пам'яті, що дозволяє заощаджувати ресурси пам'яті в обчислювальних системах БЛА.

2.3 Аналіз структури системи автоматизованого управління польотом безпілотного літального засобу

На даний час управління БЛА зазвичай здійснюється оператором за допомогою передачі йому видової інформації, отриманої на борту [24]. Він приймає рішення стосовно виявленого об'єкта, який є шуканим та щодо наступних дій. Недоліками технології управління БЛА з безпосередньою участю оператора у процесі дистанційного управління (ДУ) в реальному часі є наступні:

- складні умови роботи, які можуть призвести до підвищення кількості помилок у прийнятті рішень стосовно подальших дій;
- відсутність можливості здійснювати ефективне управління більш ніж одним БЛА в наслідок великого обсягу інформації, що надходить;
- зниження рівня продуктивності пошуків, виявлення, вирішення поставленого завдання у випадку оперативних змін умов моніторингу,
- необхідність отримати відповідну кваліфікацію та значного досвіду з метою оперативного прийняття рішень.

Одним з шляхів, які забезпечують істотне підвищення ефективності вирішення задач навігації БЛА [25, 26] є використання АСУ та систем підтримки та прийняття рішень (СППР) при ДУ БЛА.

В основі функціонування СППР під час ДУ БЛА лежить процедура порівняння поточного зображення із еталонним та подальше формування рекомендацій для оператора щодо управління БЛА використовуючи:

- наявну інформацію, яка була відома до проведення досліджень або вимірювань, про можливі об'єкти (явища або процеси), включаючи тип, кількість, характеристики (геометричні або колірні), атрибути, взаємне положення, параметри у двовимірному просторі (рельєф, оптичний контраст та ін.), яка забезпечує побудову еталонного зображення;
- інформацію, що отримана після проведення досліджень або вимірювань, про об'єкти спостереження під час польоту (умови моніторингу, характеристики та помилки датчиків, та ін.), що є поточним зображенням у визначеному спектральному діапазоні.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

До АСУ польотом БЛА сьогодні висуваються наступні вимоги:

- не висока вартість;
- мінімальні розміри (маса та габаритні характеристики);
- зменшення споживання енергії;
- автоматичне виконання польоту БЛА (стабілізація КО, дотримання заданої траєкторії) на всіх етапах (зліт, набір висоти, зниження, посадка);
- можливість переходу між режимами управління (ручним, автоматизованим) польотом та цільовим навантаженням;
- можливість зміни даних автоматизованого управління під час польоту БЛА персоналом НПУ;
- максимальний розмір пам'яті обчислювальної системи БЛА, з метою збору та обробки вимірювальних даних;
- можливість застосування обладнання, технічних засобів автоматизації (ТЗА) та програмного забезпечення (ПЗ) власного виробництва;

Важливим також є компоновка модулів цільового навантаження за призначенням БЛА, яке повинно забезпечувати можливість виконати поставлене завдання у важких експлуатаційних умовах, наприклад різкій зміні температури; підвищеної стійкості завадам та ін..

Безпілотні технології є невід'ємною складовою технологічного розвитку в промисловості та у галузі автоматизації. Використання дронів без систем автоматизації забезпечує менший ріст ефективності у використовуваних галузях, оскільки ручне управління характеризується помилками, що зв'язані із людським фактором, які можуть призвести до зниження ефективності у поставлених задачах.

Тому при застосуванні БЛА можна провести взаємозв'язок між ефективністю дрону, тобто його значимості та його АСУ. Якщо АСУ якісна, стабільна і точна, це забезпечує більшу ефективність від використання БЛА.

На сьогоднішній день, у світі існує багато різних розробок АСУ БЛА різних типів, як літакового так і мультироторного. АСУ польотом БЛА відіграє ключову роль у забезпеченні його автономного (керованого) польоту за заздалегідь визначеною траєкторією. Дозволяє проводити політ на заданій висоті,

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

витримувати швидкість, виводити апарат у визначений район і виконувати поставлені завдання відповідно до передпольотного плану. Забезпечується можливість вносити до нього зміни безпосередньо під час його реалізації.

Одними із основних функцій АСУ є управління польотом й роботою цільового навантаження БЛА та передача отриманої інформації до НПУ. АСУ забезпечує оператору можливість управління польотом БЛА та його цільовим навантаженням:

- зі стандартного пульта ДУ – в ручному режимі;
- за сигналами підсистем АСУ – при автоматичному режимі;
- за командами оператора – у напівавтоматичному режимі.

АСУ БЛА це складна, багаторівнева комплексна система, яка складається з наступних елементів (рисунок 2.13) [27-31]:

- бортового обчислювального комплексу;
- навігаційного комплексу;
- системи управління польотом;
- комунікаційної системи та засобів для обміну інформацією;
- інших складових, які є необхідними для функціонування БЛА.

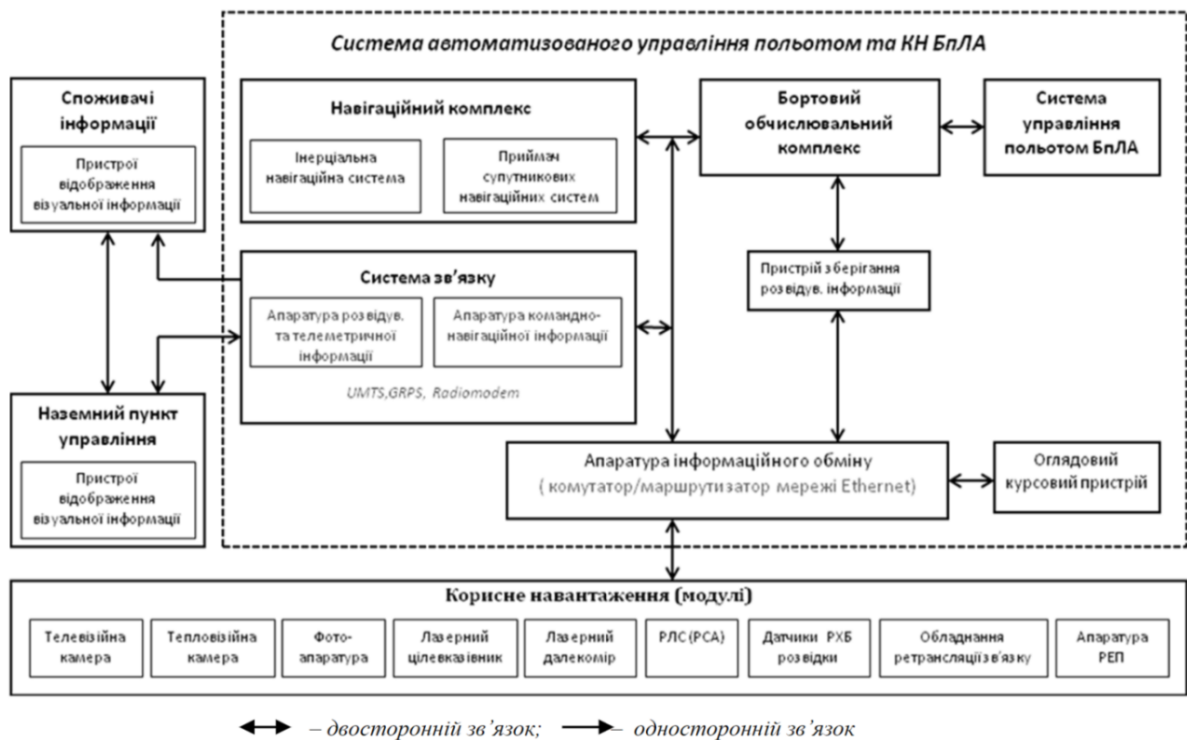


Рисунок 2.13 – Функціональна структура АСУ БЛА

2.4 Аналіз безпілотних систем як об'єкта управління

АСУ БЛА – здебільшого націлені на автоматичний політ по конкретному маршруту та на стабілізацію у просторі. Під стабілізацією у просторі мається на увазі управління положенням безпілотного апарату відносно просторових кутів: крену, тангажу та нишпорення. Ці кути в літературі вони можуть зустрічатися як кути Крилова чи кути Ейлера.

Автоматичний політ за маршрутом передбачає позиціонування або «подолання конкретної точки в просторі з координатами X , Y , Z , або точку з конкретним значенням широти, довготи та висоти» [28].

АСУ БЛА принципово діляться на такі категорії:

- БЛА мультироторного типу – квадрокоптери, октокоптери, трикоптери.
- БЛА з фіксованим крилом – літакового типу.

Як правило, АСУ БЛА в більшості випадків адаптивні, мають кілька внутрішніх перехресних зв'язків і в них покладено принцип регулювання куту, кутової швидкості, а також кутового прискорення.

Метою процесу польоту за заданим маршрутом полягає в чіткому позиціонуванні БЛА в просторі з мінімальним відхиленням від заданої траєкторії, тобто позиціонування щодо просторових координат X , Y , Z . Ці координати керуються за допомогою комбінованої зміни швидкостей окремих двигунів.

Математична модель БЛА як об'єкта управління, що спирається на закони фізики наведена на рисунку 2.14.

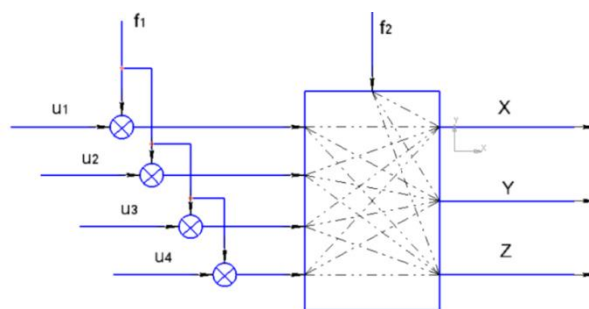


Рисунок 2.14 – Структурна схема об'єкта управління

Для процесу управління польотом БЛА по заданій траєкторії, до керуючих впливів можна віднести зміну швидкості обертання двигунів (зміну тяги

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

двигунів) – $u_1 \dots u_4$. До контрольованих збурень можна віднести вагу БЛА – f_2 . До неконтрольованих збурень можна віднести всі інші входні впливи, крім керуючого впливу та контрольованого збурення – f_1 .

На БЛА діють такі фізичні аспекти як, аеродинаміка, моменти інерції, крутний момент, сила тяжіння, гіроскопічний ефект. На рисунку 2.15 наведено фізичні сили та ефекти, що діють під час польоту БЛА.

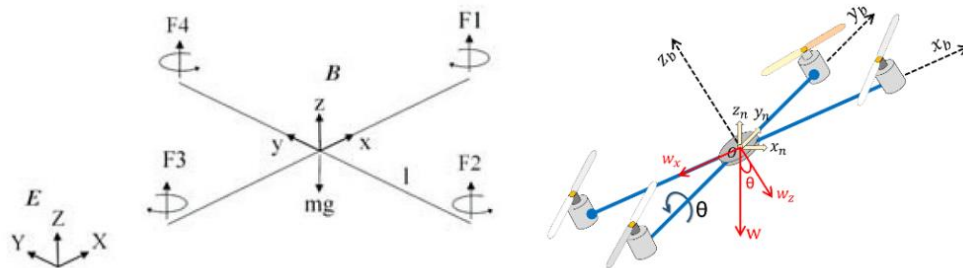


Рисунок 2.15 – Сили, що чинять вплив на БЛА

Обертання твердого тіла в просторі можна параметризувати, використовуючи кілька методів, наприклад кути Ейлера, кути кватерніонами та Тейт-Брайана. БЛА рухається у просторі завдяки результуючому вектору напрямку, що залежить від швидкості обертання кожного із двигунів. Двигуни, у свою чергу, створюють силу тяги і крутного моменту відносно центру маси конструкції БЛА.

На основі законів фізики та матриць повороту, можна вивести математичні залежності та закони управління, які стануть основою математичної моделі. Дана модель включає рівняння руху за просторовими координатами та кутами. Математична модель реалізована в середовищі Matlab Simulink (рисунок 2.16).

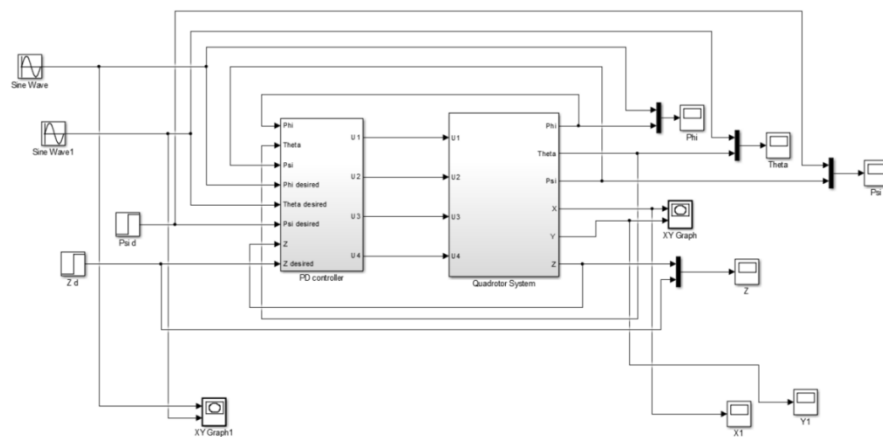


Рисунок 2.16 – Математична модель БЛА

3. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ

3.1 Схема управління польотом безпілотних систем

Проведений аналіз АСУ показав, що ДУ БЛА поєднує позитивні характеристики інших режимів управління та зводиться до передачі за допомогою командної радіолінії команд для виконавчих механізмів (ВМ). Система ДУ дозволяє планувати льотне завдання, формувати команди управління для АСУ у випадку зміни маршруту польоту БЛА пілотом-оператором, налаштовувати параметри АСУ, відобразити телеметричну інформацію, аналізувати дані та здійснювати управління цільовим навантаженням. Роль пілота-оператора в ДУ полягає в тому, щоб уточнити програму польоту на маршруті та надати необхідні команди в районі вирішення поставленої задачі. Формування команд у процесі ДУ вимагає від операторів логічного та аналітичного мислення. Установлення єдиної системи правил для визначення програми та параметрів польоту в умовах невизначеності є складним завданням.

Точність управління польотом БЛА визначається рівнем похибок, які виникають при його стабільному русі за виконання вхідних команд управління та при наявності перешкод.

На рисунку 3.1 наведена загальна схема управління польотом БЛА.

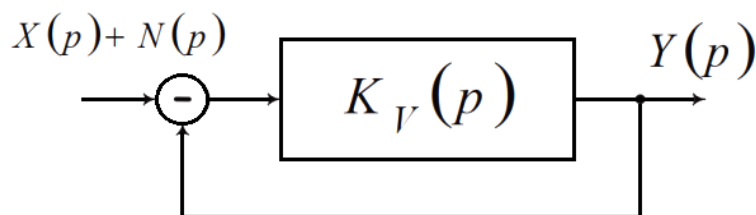


Рисунок 3.1 – Загальна схема управління польотом БЛА

На рисунку 3.1 позначено: $X(p)$ - це передавальна функція вхідного сигналу команд управління, яка визначає, як вхідний сигнал буде реагувати на різні зміни у системі управління, $N(p)$ - це передавальна функція перешкод лінії радіоуправління, яка визначає, як перешкоди впливають на сигнал управління.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

У теорії автоматичного управління [32] відомо, що додаткові нелінійні елементи можуть бути використані для поліпшення перехідних процесів, зокрема, в системах слідкування. Тому, для покращення якості управління повітряним рухом БЛА, основний акцент буде зроблений на стабілізації руху за допомогою аналізу інформації з датчиків обробки даних.

3.2 Структурна схема системи управління польотом безпілотною літальною апарату

Основна мета застосування АСУ полягає в поліпшенні процесу стабілізації заданого руху таким чином, щоб при значних відхиленнях від нього спостерігалася тенденція наближення до заданого руху, і на це спрямовувався ресурс регулятора, а зі зменшенням відхилення ресурс регулятора зміщувався до запобігання перерегулюванню.

В результаті отримано ПД регулятор, у якому функції зменшення відхилення та демпфування процесу зменшення пов'язані та керуються на вищому рівні, а це означає, що регулятор має змінні, які керуються на верхньому рівні параметрами. Структурна схема АСУ БЛА наведена на рисунку 3.2.

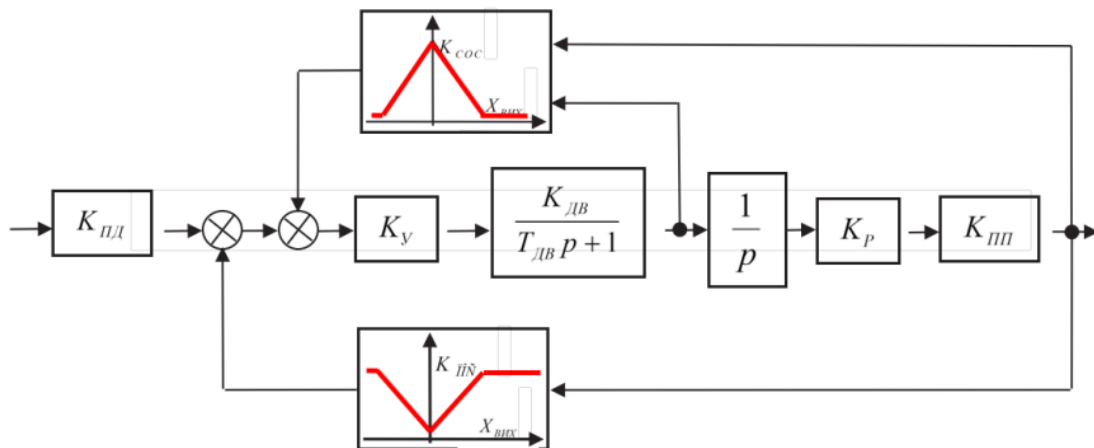


Рисунок 3.2 - Структурна схема АСУ польотом БЛА

Ця схема є стандартною для АСУ повітряним рухом БЛА і включає:

- датчик;
- приймач потенціометра;
- пристрій порівняння вхідного та вихідного сигналів;

- підсилювач;
- електричний двигун з редуктором;
- тахогенератор для вимірювання швидкості обертання вала двигуна.

На рисунку 3.3 наведено перехідний процес без корегуючої ланки.

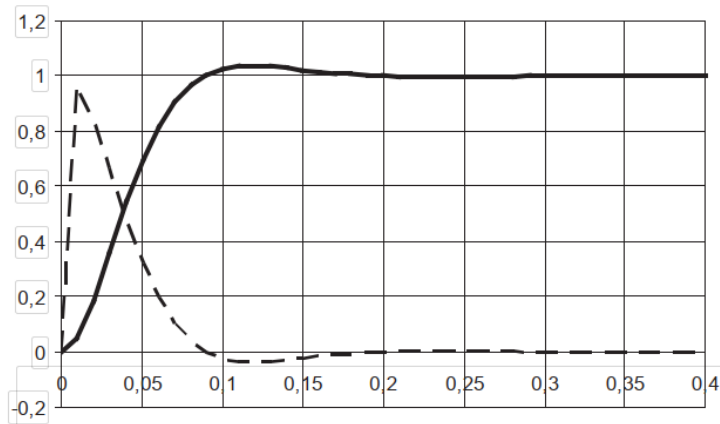


Рисунок 3.3 – Перехідний процес без корегуючої ланки

Підсилювач отримує сигнал, який є різницею між положеннями потенціометрів двигунів та сигналом з виходу тахогенератора, який має знак "мінус". Ці сигнали проходять через додаткові нелінійні коригуючі елементи та результат відображено на рисунку 3.4.

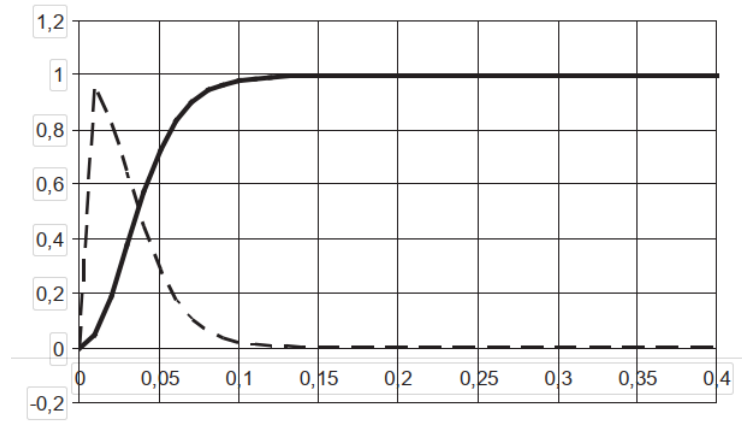


Рисунок 3.4 – Перехідний процес з корегуючою ланкою

Оперативна гнучкість та здатність передавати інформацію у режимі реального часу на вищий рівень управління, а також своєчасний отримання необхідних даних на будь-якому етапі польоту для аналізу та прийняття рішень, створюють підґрунтя для ефективного використання ДУ.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Створення АСУ БЛА дозволяє визначати динамічну еталонну модель для формування тимчасового відгуку на регульовані виходи. Проте, «існуюча технологія управління польотом не є адекватною для роботи зі значними невизначеностями, невідомими відмовами компонентів та аномаліями, незважаючи на значний прогрес, досягнутий в системах адаптивного управління» [27].

На рисунку 3.5 показана структурна схема контролера АСУ.

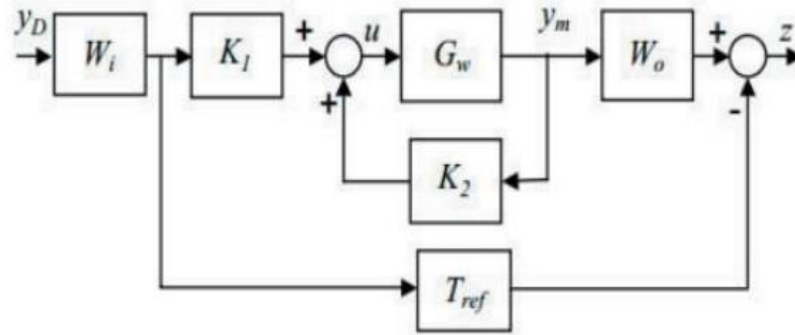


Рисунок 3.5 – Структурна схема АСУ

Цей контролер є робастним, але не забезпечує гарантоване виконання заданих параметрів системи в умовах невідомих збурень. Система містить два контури:

- зовнішній контур K_2 , який забезпечує стабільність;
- внутрішній контур K_1 , який відповідає за точність відтворення вихідних параметрів.

Продуктивність АСУ визначається за допомогою спеціальних сингулярних чисел моделі системи G з використанням ваг W_1 і W_2 .

Між контролером K і моделлю G в лівій частині площини не можна виявити жодної області видалення нульових значень сигналу. Це обумовлено тим, що контролер K може бути представлений у вигляді точного спостерігача зі зворотним зв'язком за станом. Мінімізація цільової функції гарантує стійкість системи, а такий підхід не потребує ітерацій.

ДУ це складна задача із багатьма критеріями, яка пов'язана зі суперечливістю вимог до результатів, неоднозначністю оцінки ситуації та помилками у виборі пріоритетів, що ускладнює процес управління та не дозволяє

ефективно обробляти інформацію для оперативного прийняття обґрунтованих рішень.

Оператор, що здійснює ДУ БЛА, має вирішувати складні задачі, які вимагають оперативних рішень на основі фото і відеоінформації, до яких відносять:

- аналізувати результати подій та можливості БЛА для прийняття рішення щодо пошуку об'єктів;
- виявити, розпізнати та визначити координати обраних об'єктів;
- використовувати принцип пріоритетності при виборі об'єктів;
- приймати, обробляти та аналізувати достовірність інформації, отриманої по радіоканалу;
- реалізувати стале управління БЛА за маршрутом, що передбачає присутність оператора об'єктів;
- використовувати технічні можливості бортових систем і пристроїв БЛА;
- реалізувати управління цільовим навантаженням, включаючи керування камерою, створення міток на карті, зміну масштабу та фокусування.

У сучасних умовах оператор БЛА виконує різноманітні завдання, включаючи навігацію, аналітичний аналіз та розшифрування фото та відеоінформації, а також прийняття обґрунтованих рішень. Ці дії оператора повинні бути злагодженими та продуманими, оскільки вони залежать від досвіду та знань управління БЛА та дешифрування фото та відеоінформації.

3.3 Реалізація алгоритму пошуку оптимального шляху

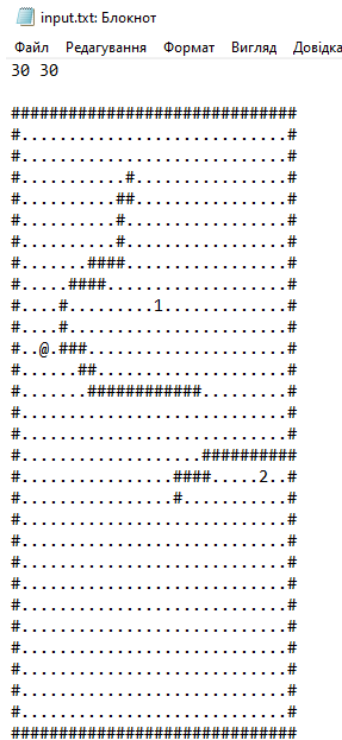
Алгоритм пошуку ОШ програмно реалізований на мові C++. Програма складається з 4 файлів:

- main.cpp – який є основним файлом з якого надходять інструкції (додаток А);
- matrix.h – який є класом matrix та має в собі тип Coordinates (додаток Б);
- graph.h – який файлом визначення, який містить в собі реалізацію алгоритму Дейкстри (додаток В).

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- graph.css – який є файлом реалізації класу graph, який містить в собі реалізацію алгоритму Дейкстри (додаток Г).

Суть реалізації полягає в тому, що відбувається зчитування мапи розмірністю $N \times N$ з вхідного текстового файлу «input.txt» (рисунок 3.6).



```
input.txt: Блокнот
Файл  Редагування  Формат  Вигляд  Довідка
30 30

#####
#.....#
#.....#
#.....#.....#
#.....##.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....###.....#
#.....###.....#
#...#.....1.....#
#...#.....#
#..@.###.....#
#.....##.....#
#.....#####.....#
#.....#.....#
#.....#####.....#
#.....###.....2..#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#.....#.....#
#####
```

Рисунок 3.6 – Вхідний файл

За зчитування вхідного файлу відповідає метод `read_map_from_file()`. У цьому методі відбувається зчитування мапи з файлу, визначається її розмірність й визначається тип вершин:

```
for (size_t y = 0; y < map.get_height(); ++y) {
    for (size_t x = 0; x < map.get_width(); ++x) {
        file >> tile_symbol;
        std::cout << tile_symbol;
        if (tile_symbol == '#') {
            map.at(x, y) = Tile{ TileType::Impassable, 0 };
        } else if (tile_symbol == '.') {
            map.at(x, y) = Tile{ TileType::Passable, 0 };
        } else if (tile_symbol == '@') {
            map.at(x, y) = Tile{ TileType::Start, 0 };
        } else if (isdigit(tile_symbol)) {
            map.at(x, y) = Tile{ TileType::Waypoint, static_cast<int>(tile_symbol - '0') };
        } else {
            throw std::runtime_error{ «Unexpected symbol in map.» };
        }
    }
}
```

Всього у програмі визначено 4 типи вершин:

- Impassable (#) – перешкоди;

- Passable (.) – прохідні;
- Start (@) – початкова;
- Waypoint (1,2...) – мета.

Після цього програма будує сам граф по якому буде проходити алгоритм Дейкстри, це відбувається у методі `build_graph_for_map()`. У цьому методі на основі отриманих раніше даних про типи вершин на певних координатах відбувається додавання вершин до мапи, якщо їхній тип прохідний.

Далі програма знаходить на мапі стартову вершину, це відбувається за допомогою методу `find_start_coord()`, вона перебирає кожен вершину на мапі, і якщо її тип відповідає Start, то вона повертає координати цієї вершини.

Після цього за допомогою методу `find_waypoints()` відбувається знаходження точок призначення на мапі аналогічно попередньому методу.

Далі програма знаходить шлях від однієї точки до іншої за допомогою алгоритму Дейкстри, за це відповідає метод `find_path()`. Його дію можна розділити на три кроки:

- У першому кроці відбувається встановлення поточної вершини. Далі цій вершині призначається значення відстані 0 і позначення вершини відвіданою.
- У другому кроці виконується проходження наступних сусідніх вершин, пройдені вершини позначаються як відвідані, при наступному проходженні циклу ці вершини будуть пропущені. Призначається вага вершинам. Цей крок повторюється до того часу поки кінцева вершина не буде позначена відвіданою.
- У третьому кроці відбувається створення шляху завдяки визначенню й передачею вершин з найменшою вагою.

У кінці метод повертає шлях. При наявності додаткових точок маршруту, цей метод буде виконано ще раз для пошуку шляху, для наступної точки маршруту. В кінці при наявності додаткових точок маршруту їхні шляхи будуть об'єдані в один для виведення в термінал.

Останній метод `print_map_with_path()` отримує в якості аргументу мапу, яку було отримано при виконанні `read_map_from_file()` та повний шлях. Він проходиться по кожній вершині й змінює її відображення відповідно до типу

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вершини, і позначає шлях.

Програма по закінченню роботу виводить в термінал вхідні дані, які були прочитані з текстового файлу, координати початкової вершини та координати точки маршруту (рисунок 3.7).

```
Map width: 30
Map height: 30
#####
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
#.....1.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
Start at: (3, 11)
Waypoints at:
- (15, 9)
- (26, 17)
```

Рисунок 3.7 – Виведення даних з вхідного файлу та координати початкової та кінцевих точок

Та координати вершин, які складають собою шлях та виводить мапу з позначеним шляхом (рисунок 3.8).

```
Found path: (3, 10) -> (3, 9) -> (3, 8) -> (3, 7) -> (3, 6) -> (3, 5) -> (3, 4) -> (3, 3) -> (3, 2) -> (4, 2) -> (5, 2) -> (6, 2) -> (7, 2) -> (8, 2) -> (9, 2) -> (10, 2) -> (11, 2) -> (12, 2) -> (13, 2) -> (14, 2) -> (15, 2) -> (15, 3) -> (15, 4) -> (15, 5) -> (15, 6) -> (15, 7) -> (15, 8) -> (15, 9) -> (16, 9) -> (17, 9) -> (18, 9) -> (19, 9) -> (20, 9) -> (20, 10) -> (20, 11) -> (20, 12) -> (20, 13) -> (20, 14) -> (19, 14) -> (18, 14) -> (17, 14) -> (16, 14) -> (16, 15) -> (16, 16) -> (16, 17) -> (16, 18) -> (16, 19) -> (17, 19) -> (18, 19) -> (18, 18) -> (19, 18) -> (20, 18) -> (21, 18) -> (21, 17) -> (22, 17) -> (23, 17) -> (24, 17) -> (25, 17) -> (26, 17)

Map with path marked with '*':
#####
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
#.....#
#.....1.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#.....#
#####
Press <RETURN> to close this window...
```

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вплив умов праці робочих місць організм людини

Під поняттям "умови праці" розуміють різні чинники, які чинять вплив на працездатність і здоров'я людини під час виконання нею певної роботи. Умови праці, зокрема ступінь важкості та напруженості, є головними аспектами, які визначають характер трудового процесу. «Важкість праці відображає навантаження на опорно-руховий апарат та функціональні системи організму, тоді як напруженість праці відображає навантаження на центральну нервову систему, органи чуття та емоційну сферу працівника» [33]. Виробниче середовище включає різні чинники, які можуть безпосередньо впливати на організм людини, зокрема фізичного, хімічного, біологічного та психофізіологічного характеру. Усі вони класифікуються відповідно до категорій шкідливих виробничих факторів (ШВФ) або небезпечних виробничих факторів (НВФ).

До НВФ відносяться такі, що чинять вплив на працівників та можуть призвести до травм, раптового погіршення самопочуття чи здоров'я або навіть до смерті. До ШВФ відносяться ті дії яких призводить до захворювань та зниження продуктивності праці.

Фізичні НВФ та ШВФ охоплюють [34]:

- елементи робочого обладнання, що містять рухомі механізми та машини з рухомими частинами.;
- підвищений рівень запиленості та загазованості повітря робочої зони;
- занадто висока або низька температура, наприклад повітря робочої зони, поверхні обладнання, матеріалів та ін.;
- високий рівень шуму, вібрації, ультразвукових чи інфра звукових коливань;
- занадто висока або низький тиск або ж різкі перепади;
- занадто висока або низька відносна вологість та іонізація повітря або недостатня його циркуляція;

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- високий ступінь іонізуючого випромінювання, напруги електромереж, статичної електрики, електромагнітного випромінювання, напруги електричного чи магнітного поля;
- недостатній рівень природного освітлення або його повна відсутність, зниження контрастності, блиски прямі та відбиті, висока пульсація світлових потоків;
- високий рівень ультра-фіолетової або інфра-червоної радіації;
- нерівності та дефекти на поверхні, інструментів, обладнання чи заготовок, наприклад гострі краї, шершавість та задирки.;
- розміщення місця роботи на значній висоті чи в невагомості

Серед хімічних речовин виділяють токсичні, подразнюючі, сенсабілізуючі, канцерогенні та мутагенні. Вони є небезпечними та ШВФ, які можуть впливати на репродуктивну функцію людини. Вказані речовини потрапляють до організму людини за допомогою дихальних шляхів, шлунково-кишкового тракту, через шкіру або слизові оболонки.

Патогенні мікроорганізми, наприклад, бактерія, вірус, рикетсія, спірохета, грибок та найпростіші, продукти їх життєдіяльності та макроорганізми, такі як рослини та тварини, визначаються як біологічно небезпечні та ШВФ.

Фізичні фактори, які включають статичні та динамічні навантаження, разом з нервово-психічними перевантаженнями, такими як розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці та емоційні перевантаження. Дані фактори відносяться до ШВН та НВФ психофізіологічного характеру.

Оцінка умов і характеру праці на робочому місці відбувається за допомогою гігієнічної класифікації праці, яка враховує ШВФ та НВФ середовища, важкість та напруженість процесу праці. Ця класифікація ґрунтується на принципі розподілу умов праці в залежності від фактичного рівня вказаних факторів порівняно зі санітарними нормами та гігієнічними нормами, із врахуванням можливого шкідливого впливу на здоров'я працівника.

На практиці виділяють кілька класів умов праці та принципів гігієнічної класифікації [34].

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

До першого класу відносяться оптимальні умови. Вони не тільки забезпечують здоров'я працівників, але й стимулюють високий рівень працездатності. Існують нормативи, які регулюють оптимальний мікроклімат та фактори трудового процесу на робочих місцях, а також інші нормативи, які визначають безпечні рівні для інших виробничих факторів. Оптимальні умови праці передбачають відсутність небезпечних чинників у виробничому середовищі, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини.

Другий клас умов праці відображає такий рівень ШВФ та трудового процесу, які не перевищують гігієнічних нормативів, а будь-які можливі зміни у функціональному стані організму відновлюються протягом регламентованого періоду відпочинку або до початку наступної зміни, не впливають негативно на здоров'я працівників та їх нащадків як у найближчій, так і віддаленій перспективі.

До третього класу умов праці належать ті, що характеризуються таким рівнем ШВФ, який перевищує встановлені гігієнічні нормативи та може викликати негативні наслідки для здоров'я працівника та/або його нащадків.

«Четвертий ступінь — умови праці характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, які здатні призводити до значного зростання хронічної патології та рівнів захворюваності з тимчасовою втратою працездатності, а також важких форм професійних захворювань (з утратою загальної працездатності)» [34].

Умови праці четвертого класу вважаються небезпечними або екстремальними через те, що вони характеризуються дуже високим рівнем шкідливих факторів виробничого середовища та трудового процесу. Ці умови створюють загрозу для здоров'я та життя працівників під час робочої зміни або її частини, а також високий ризик виникнення важких форм професійних уражень.

Умови праці третього класу розподіляються на чотири ступені залежно від «ступеня перевищення гігієнічних нормативів та вираженості можливих змін в організмі працівників» [34].

- «Перший ступінь шкідливих умов праці характеризує такий рівень шкідливих факторів у виробничому середовищі, що зазвичай призводить до функціональних змін, перевищуючи фізіологічні коливання (які відновлюються

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

після тривалої перерви в контактів з цими факторами) та підвищують ризик погіршення здоров'я» [34].

- «Другий ступінь шкідливих умов праці характеризується рівнем шкідливих факторів виробничого середовища та процесу, що можуть спричинювати стійкі функціональні порушення та збільшують ризик професійних захворювань, з'явлення окремих ознак або легких форм професійної патології (зазвичай без втрати професійної працездатності), що розвиваються після тривалої експозиції (10 років і більше)» [34].

- «Третій ступінь шкідливих умов праці характеризується рівнями шкідливих факторів виробничого середовища та процесу, що призводять до збільшення виробничо-зумовленої захворюваності та розвитку професійних захворювань легкого і середнього ступенів важкості (з утратою професійної працездатності протягом трудової діяльності)» [34].

- «Четвертий ступінь шкідливих умов праці характеризується рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, які здатні призводити до значного зростання хронічної патології та рівнів захворюваності з тимчасовою втратою працездатності, а також важких форм професійних захворювань (з утратою загальної працездатності)» [34].

Працівник може бути схильний до небажаних наслідків через вплив умов праці, такими як втома, захворювання, травми та навіть смерть. Втома є фізіологічним станом організму, який виникає в результаті надмірної або тривалої діяльності та може призвести до тимчасового зниження фізичних та психологічних можливостей організму людини. Існує кілька видів втоми, таких як фізична, розумова та емоційна.

Фізична втома виникає, коли м'язи не можуть більше витримувати інтенсивну або тривалу фізичну діяльність, що призводить до зниження сили, точності, узгодженості рухів та їх ритмічності.

Розумова втома, з іншого боку, з'являється, коли розумова діяльність є інтенсивною, що призводить до зниження продуктивності, уваги, сповільнення мислення, зниження показників розумової активності та інтересу до роботи.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Емоційна втома може проявлятися значним зниженням емоційних реакцій в результаті високого навантаження чи монотонних подразників (стресів). Високе робоче навантаження на протязі довгого часу або недостатня тривалість відпочинку можуть привести до перевтоми або хронічної втоми, які можуть мати серйозний вплив на здоров'я працівника та його працездатність. Сучасний ритм життя та роботи зумовлює все більше випадків синдрому хронічної втоми у працівників.

Негативним наслідком праці є різні форми захворювань, які можуть проявлятися як короткочасні нездужання або хронічні захворювання, що змушують людину періодично відпочивати або постійно лікуватися. Якщо причиною захворювання є умови праці, то його можна вважати виробничо-зумовленим.

Під впливом конкретних факторів виробничого середовища можуть виникати захворювання, які називають професійними. Ці захворювання спричинені негативними умовами праці на конкретних робочих місцях та в певних професіях. Крім цього, іншим шкідливим наслідком роботи можуть бути травми, які виникають при впливі зовнішніх факторів та призводять до порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій. В залежності від типу фактору, який спричинив травму, її можна класифікувати як:

- механічну;
- електричну;
- світлову;
- теплову (холодову);
- радіаційну.

Причинами травм можуть бути різноманітні зовнішні фактори, такі як «падіння, удари, забиття, укуси, порізи, проколи, переломи, роздроблення, опіки, обмороження, електричні удари, теплові удари, електрошоки, електроопіки, осліплення» [33] та інші. Травми, які завершуються летальним результатом, називаються смертельними травмами. Травми, які не мають серйозних наслідків і характеризуються лише незначними ушкодженнями, часто називають мікротравмами.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2 Оцінка категорії важкості праці робітника

Для робітників у виробничих умовах зазвичай характерний вплив на їх організм одночасно декількох негативних факторів. «Щоб здійснювати комплексну оцінку впливу виробничих умов на людину, використовують інтегральну оцінку важкості праці та коефіцієнт умов праці» [33].

Категорія важкості праці відображає вплив умов праці на стан організму людини [34]. Категорія важкості вказує на стан організму людини, який формується під впливом умов праці.

У цьому розділі буде проведено оцінку категорії важкості для оператора, що працює на робочому місці з певними елементами умов праці, які формують її важкість:

X_1 – шум 58 децибел;

X_2 – рівень освітлення 240 люкс;

X_3 – тривалість операцій, які повторюються 25 секунд.

Фактори діють протягом 8 годин.

Для надання об'єктивної оцінки важкості праці, всі матеріально-виробничі складові умов праці класифікуються за шести категоріями відповідно до зростання ступеня небезпеки та шкідливості (таблиця 4.1) [33]:

- робота з оптимальними умовами;
- робота в умовах, що відповідають гранично допустимим концентраціям та рівням (ГДК та ГДР) санітарно-гігієнічних складових, а також допустимим значенням психофізіологічних складових;
- робота з умовами праці, що відхиляються від ГДК та ГДР та допустимих значень психофізіологічних складових;
- робота з несприятливими умовами;
- робота з екстремальними умовами;
- робота з критичними умовами праці.

Відповідно з таблицею 4.1, кожен елемент умов праці X_1 може отримати оцінку від 1 до 6 балів, якщо він впливає на працівника протягом всієї робочої зміни. Якщо елемент впливає на працівника не на повний робочий день, а лише

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

частково, то оцінка елементу визначається за діаграмами [33] з урахуванням тривалості його впливу.

Таблиця 4.1 - Бальна оцінка елементів умов праці

Оцінка факторів умов праці, бали	Параметри мікроклімату в теплий період року		
	Температура, °С	Швидкість руху повітря, м/с	Відносна вологість повітря, %
1	18 - 20	<0,2	40...54
2	21 - 22	0,2 - 0,5	55 - 60
3	23 - 28	0,6 - 0,7	61 - 75
4	29 - 32	0,8 - 1,2	76 - 85
5	33 - 35	1,3 - 1,7	Понад 85
6	>35	>1,7	-

продовження таблиці 4.1

Оцінка факторів умов праці, бали	Шум, дБ А	Освітленість, лк	Тривалість зосередженого
1	Нижче 33	Понад 300	Нижче 25
2	33 - 50	240 - 300	25 - 50
3	51 - 54	160 - 230	51 - 75
4	55 - 63	100 - 150	76 - 85
5	64 - 74	60 - 90	86 - 90
6	Понад 75	30 - 50	Понад 90

продовження таблиці 4.1

Оцінка факторів умов праці, бали	Число важливих об'єктів спостереження	Точність зорових робіт	Тривалість повторюваних операцій, с
1	Нижче 5	Груба	Понад 100
2	5 - 10	Мала	31 - 100
3	11 - 25	Середня	20 - 30
4	Понад 25	Висока	10 - 19
5	-	Дуже висока	5 - 9
6	-	Найвища	1 - 4

Оцінку важкості праці, в інтегральній формі, I_v на певному робочому місці можна обчислити згідно до виразу.

$$I_v = 10 \left(X_{op} + X \frac{6 - X_{op}}{6} \right),$$

де X_{op} - елемент умов праці, що отримав максимальну оцінку; X - середній бал всіх елементів умов праці окрім X_{op} .

Середній бал всіх елементів умов праці обчислюється згідно з виразом:

$$\underline{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n - 1},$$

де $\sum_{i=1}^n X_i$ - сума всіх елементів умов праці крім визначаючого X_{op} n - кількість врахованих елементів умов праці.

Формула визначення інтегральної оцінки важкості праці використовується, якщо оцінка умов праці здійснюється за балами 1 та 2 наступна:

$$I_v = 19,7\underline{X} - 1,6\underline{X}^2,$$

де \underline{X} - середній бал всіх елементів умов праці, що дорівнює:

$$\underline{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Згідно з умовами роботи оператора та таблиці 4.1 відповідні елементи умов праці будуть оцінюватися: $X_1=4; X_2=2; X_3=3$. Елемент умов праці, що отримав максимальну оцінку, у даному випадку є шум: $X_{op} = 4$. Середнє значення у балах усіх елементів умов праці окрім визначаючого X_{op} складе

$$\underline{X} = \frac{2 + 3}{3 - 1} = 2,5.$$

За допомогою інтегральної бальної оцінки важкості праці можна визначити категорію умов праці згідно з таблицею 4.2 [34].

Таблиця 4.2 - Залежність категорії важкості праці від величини інтегральної бальної оцінки

Категорія важкості праці	Діапазон інтегральної бальної оцінки
I	До 18
II	19 ... 33
III	34 ... 45
IV	45,7 ... 53,9
V	54 ... 59
VI	Понад 59,1

Інтегральна оцінка важкості праці буде визначатися згідно з виразом

$$I_v = 10 \left(4 + 2,5 \frac{6 - 4}{6} \right) = 48.$$

В результаті отримуємо 48 балів інтегральної оцінки важкості праці, що відповідає, згідно з таблицею 4.2, категорії важкості праці – IV. до четвертої категорії умов праці належать роботи, виконання яких може призвести до виникнення професійних захворювань та інших негативних наслідків через вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Крім того, за таких умов праці передбачено додаткову доплату у розмірі 20% до тарифної ставки.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано комп'ютерно-інтегровану систему пошуку оптимального шляху для безпілотних систем, що дозволяє автоматизувати процес польоту та підвищити точність і ефективність виконання поставлених завдань.

Проведені дослідження застосування безпілотних систем показали, що БЛА широко використовуються для збору інформації, моніторингу, картографії, в сфері безпеки та аграрному секторі. Класифіковано БЛА за різними критеріями, що дозволило визначити, для яких завдань краще застосовувати певні типи БЛА. Виявлено, що у більшості випадків, потрібне високоточне визначення координат БЛА, а також траєкторії його польоту.

Досліджено способи та засоби для управління рухом БЛА, що дозволило визначити їх переваги та недоліки. Розглянуто проблеми навігації та планування шляху безпілотних систем, що є важливим етапом в управлінні БЛА.

Проведений аналіз алгоритмів планування шляху, зокрема алгоритми, що засновані на біологічних принципах, на основі відбору та на графів. За результатами аналізу було визначено, що алгоритм Дейкстри є найбільше відповідає задачі планування оптимального шляху БЛА.

Проаналізовано структуру АСУ польотом БЛА, що дозволило визначити недоліки безпосередньої участі оператора в процесі дистанційного управління БЛА в реальному часі та підтвердити ефективність застосування алгоритму Дейкстри в комп'ютерно-інтегрованій системі пошуку оптимального шляху для безпілотних систем. Визначено вимоги до АСУ БЛА та проаналізовано їх основні функції.

Проведений аналіз безпілотних систем як об'єкт управління, побудовано структурну схему та математичну модель БЛА.

Розроблено систему автоматизованого управління польотом безпілотного літального засобу, що містить систему управління вертикальною швидкістю та систему управління стабілізацією кута. Розроблено та програмно реалізований алгоритм пошуку оптимального шляху.

Розглянуто питання охорони праці зокрема, розглянуто критерії оцінки

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

умов праці на робочих місцях та результат їх впливу на функціонування організму людини. Проведено оцінка категорії важкості праці робітника, дозволяє встановити відповідний рівень навантаження на організм працівника та необхідні перерви для відновлення сил.

					ДП.АКТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anandi S., Baumann Z., Raghuram A. Classification of UAVs for Civilian Applications: A Review. International Journal of Computer Applications, 128(8), 2015.- 22-28.
2. Безпілотні літальні апарати та їх застосування: монографія / О.С. Ганжа, В.М. Ляхов, Ю.В. Жданов [та ін.]. - К.: НАУ, 2016. - 264 с.
3. Гусаренко Є.І. Системи безпілотних літальних апаратів (БЛА). - К.: Вид-во НАУ, 2014. - 440 с.
4. Павлов О.В. Основи проектування та виготовлення безпілотних літальних апаратів: навчальний посібник / О.В. Павлов, А.І. Шевченко, А.В. Козак. - К.: НАУ, 2014. - 144 с.
5. Koriva I., Vlacic L., Pribanic T. Autonomous Control of Multiple UAVs: a Review. International Journal of Advanced Robotic Systems, 15(1), 2018.- 1-14. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881417747675>
6. Міжнародна асоціація з безпілотних літальних систем (Association for Unmanned Vehicle Systems International, AUVSI) [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.auvsi.org>.
7. Гаврилів М.С., Миклашевич О.В. Безпілотні літальні апарати: підручник. - К.: Центр учбової літератури, 2015. - 296 с.
8. Franklyn J., McDonald J., Kayl T. Introduction to UAV Systems. - John Wiley & Sons, 2012.- 416 p.
9. George Vachtsevanos, Ben Ludington, Johan Reimann, Panos Antsaklis, Kimon Valavanis. Modeling and Control of Unmanned Aerial Vehicles, 2014.- 352p.
10. UAVs - Redefining Geoint. [Електронний ресурс].- Режим доступу: Geospatial world. URL: <http://geospatialworld.net/magazine/MArticleView.aspx?aid=23671>
11. Безпілотні літальні апарати: технології, системи, інформаційні технології: монографія / А.І. Шевченко, А.В. Козак, О.В. Павлов [та ін.]. - К.: НАУ, 2017. - 400 с.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

12. Скрипник В.М. Теорія та практика створення та використання безпілотних літальних апаратів: навчальний посібник / В. М. Скрипник, О. В. Христенко, В. В. Вакуленко [та ін.]. - К.: НАУ, 2018. - 296 с.

13. Gath, O., Mishne, G. An Online Multi-Objective Path Planning Algorithm for Small Unmanned Aerial Vehicles. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2017.-14(1), 1-12.

14. Larkin, J., Levis, A. A Survey of Algorithms for Unmanned Aerial Vehicle Path Planning. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 81(2), 2016.- 167-199.

15. Краснопір, Є.О., Колесніков, В.І. Пошук оптимального маршруту для БПЛА з врахуванням динаміки політного апарату. Науково-технічний збірник Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, 1(73), 2019.- 17-26.

16. Олійник, А.В., Сілантьєва, Є.В. Пошук оптимального шляху для БПЛА за допомогою модифікованого алгоритму Дейкстри. Вісник НТУУ «КПІ»: Системні технології, 1(23), 2020.- 40-49.

17. Li J., Liu Z., Wu Y., Sheng Z. Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle Based on Improved A* Algorithm. In Proceedings of the 2019 International Conference on Computer Science, Electronic Engineering, and Education Technology (CEEE 2019), 2019.-pp. 22-26).

18. Lee J., Kim M., Sastry S. Navigation and Control of Autonomous UAVs. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, 1, 2017.-311-336.

19. Боровик Ю.М., Мельник І.В. Авіаційна техніка: підручник для студ. вищ. навч. закладів. — К.: ВПЦ «Київ. ун-т», 2008. — 720 с.

20. Zhang Q., Li H. MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 11(6), 2010.- 712-731.

21. Al-Turjman F. Swarm Intelligence Techniques for UAV Communications. In Swarm Intelligence for Optimal Problem Solving. Springer, 2019.- pp. 275-292.

22. Mukherjee A., Saha S. (2015). Path planning of UAVs using Rapidly-exploring Random Trees (RRT) algorithm. 2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), 584-

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

588. DOI: 10.1109/ICCICCT.2015.7475083

23. Yang S., Li Q., Liu Y., Li R., Li Y. (2016). Probabilistic roadmap method (PRM)-based path planning algorithm for unmanned aerial vehicle (UAV) flight in urban environment. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 83(2), 307-324. DOI: 10.1007/s10846-015-0268-8

24. Савін О.М. Теорія та практика навчання операторів БПЛА: монографія / Савін О.М., Євтушенко В.А. - К.: Академперіодика, 2019. - 208 с.

25. Миклашевич О.В., Гаврилів М.С., Кондратенко Ю.В. та ін. Політ з багатьма дронами: підручник. - К.: Центр учбової літератури, 2019. - 304 с.

26. Ткачук С.М. Методи та засоби визначення параметрів безпілотного літального апарата: монографія / С.М. Ткачук, І.О. Сафронов, В.М. Хомутов. - К.: ВПЦ "Київський університет", 2016. - 222 с.

27. Гузь О.В. Системи автоматизованого управління польотом літальних апаратів: навчальний посібник / О.В. Гузь, А.А. Коробко, І.І. Борисюк, В.С. Кургузов. - Київ: ВПЦ "Київський університет", 2012. - 448 с.

28. Шпак С. В. Автоматизовані системи управління БПЛА : підручник / С. В. Шпак, А. А. Коробко, І. І. Борисюк та ін. - Київ: ВПЦ «Київський університет», 2018. - 504 с.

29. Коваленко О.Є. Системи автоматизованого управління БПЛА. - Київ: Національний авіаційний університет, 2015. - 279 с.

30. Кравчук І.І. та ін. Системи автоматизованого управління літальними апаратами. - К.: Вид-во "НУБіП України", 2015. - 168 с.

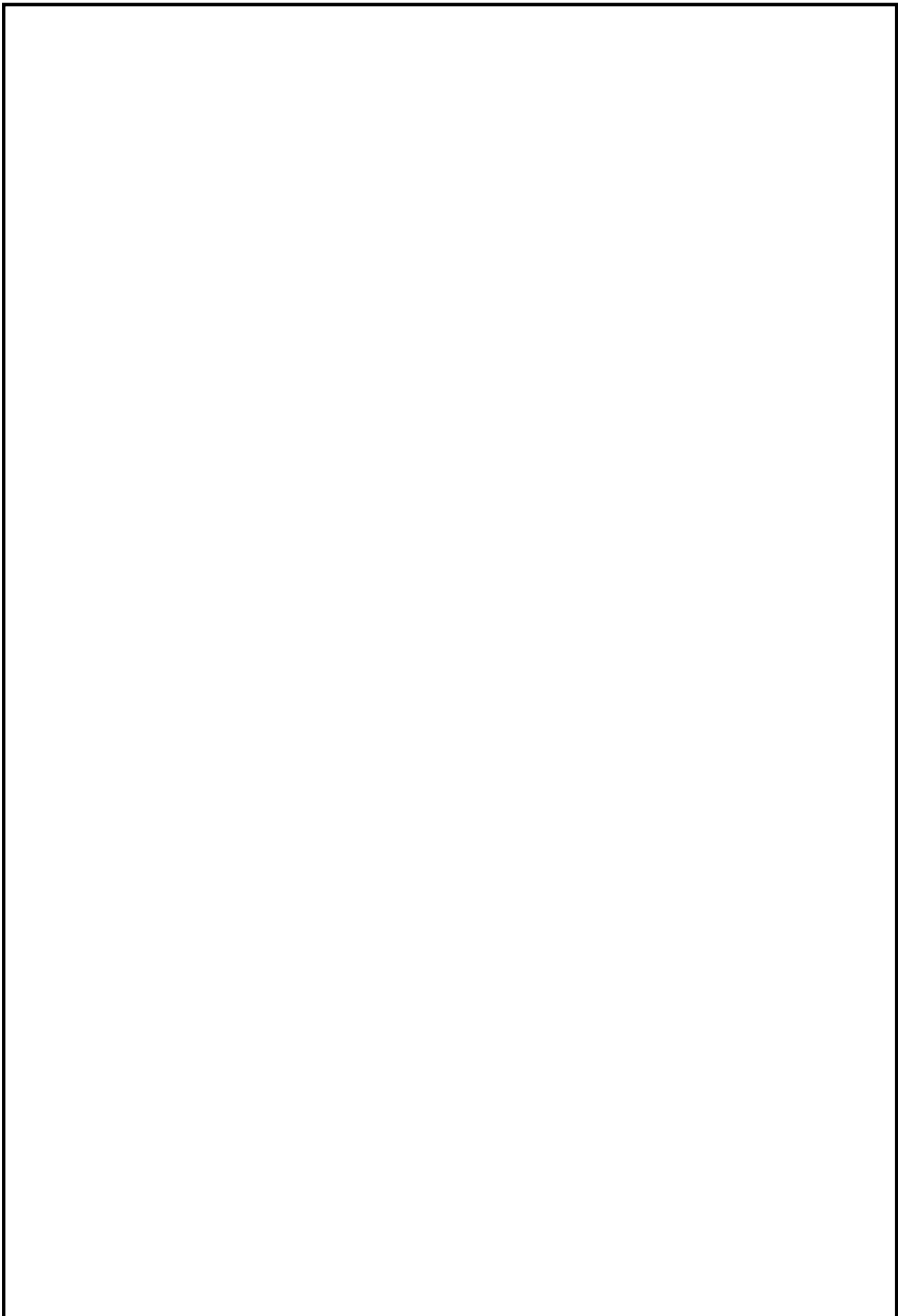
31. Міцкевич І.В. та ін. Теорія і методика управління польотом літальних апаратів. - К.: Видавець Полянничко О.Л., 2015. - 400 с.

32. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. - 2-ге вид., перероб. і доп. - К.: Либідь, 2007.

33. Кравченко В.О. Охорона праці: навч. посіб. / В.О. Кравченко. - К.: КНЕУ, 2007. - 456 с.

34. Охорона праці та техніка безпеки: навч. посіб. / Л.О. Парфенюк, В.І. Жарко, В.М. Звягінцев та ін.; за ред. Л.О. Парфенюка. - К.: Центр учбової літератури, 2015. - 468 с.

					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



					ДП.АКІТ. 8091591.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58