

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.П. Захарченко  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

# ДИПЛОМНА РОБОТА

## (ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-  
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Цифрова система автоматичного керування рухом БПЛА у просторі»**

Виконавець студент групи АТ-216М Чередніченко Дмитро Андрійович  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник к.т.н., доцент Єнчев Сергій Васильович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ С.М. Занько  
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона  
навколишнього середовища»: \_\_\_\_\_ В.Ф. Фролов  
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ С.В. Єнчев  
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

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

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Автоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Захарченко

«05» жовтня 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Чередніченка Дмитра Андрійовича

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Цифрова система автоматичного керування рухом БПЛА у просторі» затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. №1835/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020р. по 27.12.2020р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): динамічна модель БПЛА, зовнішні фактори впливу на рух БПЛА.
4. Зміст пояснювальної записки: Класифікація безпілотних апаратів, застосування та проблеми; Математична модель багатороторного БПЛА; Кінематика та Динаміка БПЛА; Розробка системи управління БПЛА; Імітаційне моделювання.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Конфігурація мультироторного БПЛА; Характеристики мультироторного БПЛА; Структурна схема ЦСАК БПЛА; Імітаційна модель ЦСАК у MatLab/Simulink; Комп'ютерна математична модель із імітацією дії АЦП та ЦАП; Результати моделювання ЦСАК БПЛА.

### 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Аналіз та обґрунтування вибору інформаційних джерел	12.09 – 17.09.20	
2.	Збір та аналіз даних інформаційного характеру. Обґрунтування вибору рішення щодо тематики дослідження	18.09 – 30.09.20	

3.	Аналіз існуючих систем управління БПЛА та зовнішніх факторів впливу на рух	01.10 – 14.10.20	
4.	Робота над розділом №1	15.10 – 30.10.20	
5.	Робота над розділом №2	01.11 – 14.11.20	
6.	Робота над розділом №3.	14.11 – 25.11.20	
7.	Розгляд питання охорони праці	Після отримання завдання	
8.	Розгляд питання охорони навколишнього середовища	Після отримання завдання	
9.	Робота над оформленням обов'язкового ілюстрованого матеріалу, оформлення пояснювальної записки	15.11 – 20.12.20	
10.	Перевірка роботи на добросовісність. Підготовка до захисту	Після передзахисту	

#### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Занько С.М.		
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.		

8. Дата видачі завдання: « \_\_\_ » вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

\_\_\_\_\_ Єнчев С.В.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Чередніченко Д.А.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проекту «Цифрова система автоматичного керування рухом БПЛА у просторі»: 102 сторінки, 6 рисунків, 6 використаних джерел.

Ключові слова: БПЛА, СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ, ЦПД-РЕГУЛЯТОР, МЕТОД ЗІГЛЕРА-НІКОЛСА.

Об'єкт: процес керування рухом БПЛА.

Предмет: цифрова система керування рухом БПЛА.

Мета: провести синтез регулятора з використанням методу Зіглера-Ніколса;

Методи дослідження: метод бажаних передавальних функцій, метод Зіглера-Ніколса.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ.....	9
1.1. Загальні відомості .....	9
1.2. Порівняння супутників, літальних апаратів і безпілотних літальних апаратів .....	10
1.3. Класифікація безпілотних літальних апаратів .....	11
1.3.1. На основі аеродинаміки.....	11
1.3.2. На основі виду посадки та зльоту .....	13
1.3.3. На основі маси та діапазону дальності.....	13
1.4. Апаратний дизайн і складові .....	14
1.4.1. Дизайн БПЛА.....	15
1.4.2. Система наземного управління.....	15
1.4.3. Канал зв'язку .....	16
1.4.4. Додаткові аксесуари.....	16
1.5 Використання БПЛА у різних сферах життя .....	17
1.5.1. БПЛА в сільському господарстві.....	18
1.5.2. БПЛА в охоронних системах.....	19
1.5.3. БПЛА в логістиці.....	21
1.5.4. БПЛА в моніторинговій галузі.....	22
1.5.5. БПЛА у військовій галузі.....	24
1.5.6. БПЛА у надзвичайних ситуаціях.....	25
1.6 Проблеми у використанні.....	27
1.6.1. Технологічні неточності.....	27
1.6.2. Питання безпеки і недоторканності приватного життя.....	28
1.6.3. Законодавчі норми і нюанси.....	30

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА.....	32
2.1. Математична модель багатороторного БПЛА .....	32
2.2. Кінематика БПЛА.....	32
2.3 Динаміка БПЛА .....	34
2.4. Вираження сили та крутного моменту .....	35
2.5. Аналіз кута нахилу .....	37
2.6. Синтез цифрової системи автоматичного управління .....	41
2.7. Параметричний синтез ЦСАК.....	43
2.8. Особливість методу бажаних передавальних функцій.....	44
2.9. Синтез ЦСАК на основі вибору бажаної передавальної функції Поліноміальні рівняння синтезу.....	45
РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	52
3.1. Методика параметричного синтезу цифрової системи стабілізації руху мінідрону у вертикальному каналі .....	52
3.2. Виконання методики.....	53
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ.....	67
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68
4.1. Небезпечні і шкідливі фактори з охорони праці для безпілотних літальних апаратів .....	68
4.2. Небезпечні і шкідливі фактори з охорони праці для безпілотних літальних апаратів .....	73
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	89
5.1. Вплив розробки на навколишнє середовище .....	89
5.2. Методи і засоби захисту навколишнього середовища.....	94

## ВСТУП

У наш час у світі активно просувається вперед філософія зменшення об'ємів, складності та тривалості праці людини. Для реалізації всіх ідей використовується автоматизація – створення роботів, які фактично майже замінують людину; різноманітні бортові комп'ютери в усіх видах транспорту; пристрої з категорії «розумний дім» та інші. Перелічені пристрої використовуються у абсолютно різних сферах нашого життєдіяльності і у різному ступені полегшують або навіть допомагають врятувати життя людини – розвідка, стеження або розмінування під час бойових дій, пошук людей після катастроф або моніторинг стану середовища у важкодосяжній або недосяжній для людини території. [3]

Для допомоги у описаних вище ситуаціях створюються та розроблюються безпілотні літальні апарати. В залежності від потреб людства було розроблено достатньо багато видів БПЛА – багатоцільові, експериментальні, оперативні, розвідувальні, планери для боєприпасів, ударні та БПЛА з модульним навантаженням. [3]

Через високу популярність безпілотні літальні апарати використовують у дуже широкому спектрі галузей, зокрема – стеження за контрольованими територіями будь-яких розмірів. Однією з головних причин є відсутність необхідності самостійного патрулю території – оператор може відслідковувати ситуації, без необхідності навіть перебувати на цій території. [3]

Найрозвиненішими у плані слідкування за територією або розвідки під час бойових дій та ситуацій, які виникли внаслідок катастроф, масштабних аварій або катаклізмів в усьому світі отримали БПЛА. Дані пристрої є багатофункціональними починаючи від простого фото- і відеоспостереження у видимому спектрі, закінчуючи тепловізornoю та лазерною зйомкою. [4]

Оператори безпілотників в режимі реального часу отримують найточнішу, високоякісну інформацію про територію, які досліджується без додаткового

ризик. Дослідження може проводитись не зважаючи на погодні та кліматичні умови, відстань, безпеку та середовище, яке необхідно перевірити. БПЛА можуть виявити осередки пожежі, підсумки аварії, кількість терористів, які знаходяться на необхідній території, тощо. Завдяки сучасним системам слідкування дрон може не тільки підрахувати кількість терористів та їх фактичне місцезнаходження, а й ідентифікувати їх обличчя, особливості зовнішнього вигляду та навіть написи, на їх одязі. Якщо розвиток технологій у даній області буде прогресувати з такою ж швидкістю, то у майбутньому всі подібні ситуації будуть вирішуватися з мінімальними або ж нульовими ризиками. [3]

Але все ж існує достатньо багато факторів та проблем, які пов'язані з керуванням безпілотним літальним апаратом. Наприклад, стабільність польоту БПЛА у вертикальному каналі залежить від встановлених регуляторів у системі управління. Необхідність регулювання польоту у даному ключі спостерігається із принципів роботи всієї системи. [3]

Система управління польотом вирішує завдання стабілізації, тобто обробляє команди наведення і забезпечує стійкість руху. Саме тому метою дипломного проекту було обрано розробку відповідного регулятора для покращення стабілізації польоту, що є актуальною, перспективною і важливою науковою задачею. [3]



# РОЗДІЛ 1

## КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ

### 1.1. Загальні відомості

Технічний прогрес значно вплинув на соціальну, економічну сферу та на особисте життя, починаючи від підходів до ведення бізнесу і закінчуючи міжнародними війнами. Ці перетворення можна наочно уявити, скориставшись цими технологічними досягненнями. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), також відомі як літальні апарати з дистанційним управлінням, є найкращим прикладом візуалізації змін. Безпілотні літальні апарати не потребують ніякого пілотування і можуть експлуатуватися автономно або дистанційно. БПЛА є невід'ємною частиною системи безпілотних літальних апаратів, яка включає безпілотні літальні апарати, засоби зв'язку і наземну станцію управління. БПЛА долає обмеження наземної системи з точки зору доступності, швидкості і надійності. БПЛА можуть надавати чітке зображення з високою роздільною здатністю для використання в комерційних цілях, таких як сільське господарство, видобуток корисних копалин і моніторинг. Безпілотний літальний апарат був створений для захисту, розвідувальних і бойових цілей. Можливо, в 1916 році вперше був розроблений напівавтоматичний літак (повітряна торпеда). У 1933 році Королівський флот використовував дрони для стрільби. Пізніше з появою і інтеграцією сучасних навігаційних датчиків безпілотні літальні апарати стали невід'ємною частиною збройних сил. Поява технологій не тільки усунула обмеження на проведення навчань з використанням безпілотних літальних апаратів в збройних силах, а й розширило їх крила в комерційних цілях, пов'язаних із сільським господарством, науковою діяльністю, відпочинком, доставкою товарів, фотограмметрії і багатьма іншими. [1]

## 1.2. Порівняння супутників, літальних апаратів і безпілотних літальних апаратів

Технології, засновані на використанні супутників і літальних апаратів, є традиційними методами дистанційного дослідження, які мають свої переваги і перешкоди у вигляді зони охоплення, спектральних, просторових і тимчасових можливостей з бортовими датчиками. Поряд зі зменшенням частоти повернення супутник страждає від стану хмарного покриву, де інформація під хмарами повністю затінюється. Авіаційні системи можуть витримувати більш високе корисне навантаження та швидкість, однак складність полягає в тому, щоб зависнути на місці і підтримувати високу або низьку швидкість. Різні науковці провели кілька досліджень для зіставлення трьох технологій, таких, як обстеження індексу NDV великих сільськогосподарських угідь, створення карт ґрунтів і посівів, класифікація земель. Безпілотні літальні апарати якимось чином заповнюють прогалину в звичайних технологіях, що стосуються здатності до наведення, підтримки низької і високої швидкості, низьку висоту і, що більш важливо, більш високого просторового і тимчасового дозволу зображень. [1]

Порівняння супутникових, повітряних і безпілотних літальних апаратів показано в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

### Порівняння літальних апаратів

Пристрій	Точність	Ступінь доступності	Вид керування	Вантажопідйомність	Експлуатаційні витрати
БПЛА	від см до м	Високий	Автономний або віддаленого керування	Низька	Низькі
Вертоліт	до 100 м	Середній	Пілотований	Середня	Середні
Літак	до 50 м	Середній	Пілотований	Велика	Високі
Супутник	від 10 м до 1 км	Низький	Автономний	Низька	Дуже високі

З даної таблиці можна зробити висновок, що безпілотні літальні апарати мають найбільшу кількість переваг над іншими пристроями, але все ж, на даний момент, вони не зможуть виконувати всі функції співставлених апаратів, так як дальність їх використання та вантажопідйомність значно нижча, ніж, наприклад, у літака. [1]

### **1.3. Класифікація безпілотних літальних апаратів**

У різноманітті БПЛА можна виділити три основні категорії класифікації: за аеродинамічними властивостями, виду посадки та зльоту, маса та діапазоном дальності.

#### **1.3.1. На основі аеродинаміки**

Було розроблено різні системи безпілотних літальних апаратів, деякі з яких включають в себе БПЛА з фіксованим гвинтом, чопери, багатогвинтові БПЛА, моторні з парашутом і планери, безпілотні літальні апарати з вертикальним зльотом і посадкою, комерційні безпілотні літальні апарати, інші. Всі вони створені для конкретної місії і мають свої мінуси і плюси. Безпілотники з нерухомими крилами дуже прості та легкі в проектуванні і виробництві, завдяки успішному компонуванню знань великих літаків з невеликими модифікаціями і вдосконаленнями. Нерухомі крила є основними елементами, що генерують підйом у відповідь на прискорення вперед. Швидкість і крутий кут повітряного потоку по нерухомим крилам управляють підйомом. Для запуску польоту безпілотні літальні апарати з нерухомими крилами вимагають більш високої початкової швидкості, а відношення тяги до навантаження становить менше 1. Якщо порівнювати нерухоме крило і багатогвинтовий БПЛА з однаковою

кількістю корисного навантаження, то безпілотники з нерухомим крилом більш комфортабельні при менших вимогах до потужності і навантаженні на тягу. Кермо, елерони і гвинти використовуються для кутів похилу, нахилу та переміщення для управління орієнтацією літального апарату. [1]

Дрони з рухомими крилами були спроектовані завдяки комахам та птахам, такими як маленькі колібри або великі бабки. Легкі і гнучкі крила натхненні пір'ям комах і птахів, які демонструють корисність ваги і гнучкості крил в аеродинаміці. Однак ці крила складні через їх важкі показники аеродинаміки. Дрони можуть підтримувати стабільні польоти в вітряних умовах, на відміну від безпілотників з нерухомим крилом. Легкі та гнучкі крила забезпечують рух клапана з механізмом активації були досліджені науковцями з аеродинаміки та біологами, які знаються на будові подібних крил. [1]

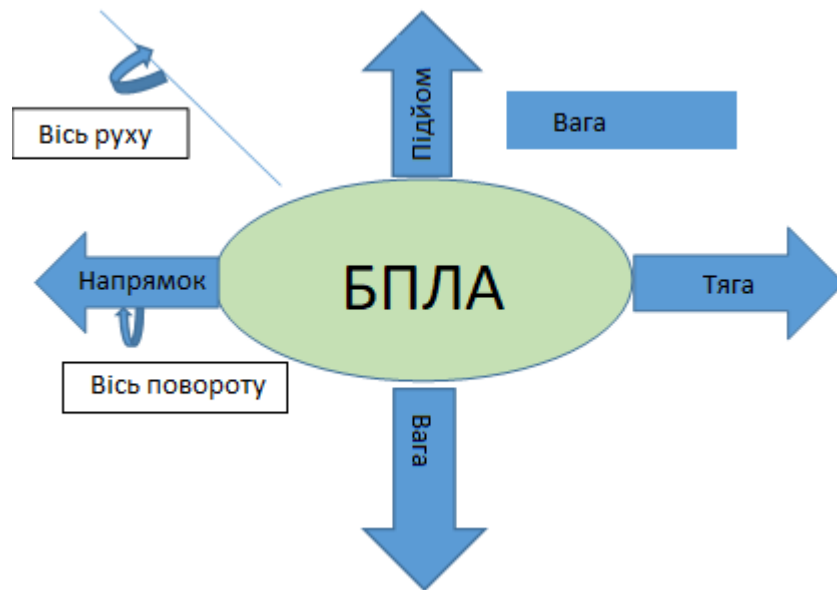


Рис.1.1. Аеродинаміка БПЛА з негнучким гвинтом

Мультикоптер: лопатка головного ротора виробляє тягу, яка використовується як для підйому, так і для руху. Багатороторні безпілотні літальні апарати здатні до вертикального зльоту і посадки і можуть "зависати" в повітрі, на відміну від літаків. Мультикоптер спроектований по кількості і

розташуванню моторів і гвинтів на рамі. Їх здатність коливатися, здатність підтримувати швидкість робить їх ідеальними для цілей спостереження і моніторингу. Єдина проблема з мультикоптерами полягає в тому, що вони потребують більшої споживанні енергії і обмежують їх витривалість. [1]

### 1.3.2. На основі виду посадки та зльоту

Горизонтальний зліт і посадка і вертикальний зліт і посадка: перший варіант може розглядатися в якості БПЛА з негнучким крило. У них висока швидкість зльоту і плавна посадка. Безпілотні літальні апарати вертикального формату є найзручнішими в галузі управління польотом, посадкою і повітряним рухом по вертикалі, однак їх швидкість обмежена через уповільнення руху реактивних гвинтів.

### 1.3.3. На основі маси та діапазону дальності

Найпоширенішим видом класифікації безпілотних літальних апаратів є класифікація за вагою та діапазоном дальності. Діапазон дальності передбачає під собою дистанцію, на якій зберігається можливість керування та польоту БПЛА.

Таблиця 1.2

Класифікація БПЛА за масою та дальністю зв'язку

Тип	Максимальна вага	Максимальна дальність	Категорія
Нано	200 г	5 км	Негнучкі крила, мультикоптер
Мікро	2 кг	25 км	Негнучкі крила, мультикоптер

Міні	20 кг	40 км	Негнучкі крила, мультикоптер
Легкий	50 кг	70 км	Негнучкі крила, мультикоптер
Малий	150 кг	150 км	Негнучкі крила
Тактичний	600 кг	150 км	Негнучкі крила
Середній	1000 кг	250 км	Негнучкі крила
Важкий	2000 кг	1000 км	Негнучкі крила
Супер важкий	2500 кг	1500 км	Негнучкі крила

Кожна з зазначених категорій має своє призначення – від БПЛА, які використовуються у розвідці місцевості або військовій розвідці, до апаратів, які призначені на транспортування вантажів у важкодоступні місця і зовні виглядають, як справжні літаки.

#### **1.4. Апаратний дизайн і складові**

Проектування безпілотних літальних апаратів включає безпілотні літальні апарати і інші підсистеми, які включають зв'язок між безпілотними літальними апаратами і користувачами, наземну станцію управління та такі складові, як карданний стабілізатор, корисне навантаження. Конструкція самого безпілотного літального апарату включає в себе деталі, від каркасу до елементів точного керування безпілотним літальним апаратом. Вибір таких компонентів, як корпус, контролер, двигун, пропелери і джерело живлення, є найважливішим завданням і потребує глибоких знань і повних математичних розрахунків для проектування безпілотників для конкретного призначення. [1]

### **1.4.1. Дизайн БПЛА**

Задачі проектування повітряного судна залежать від виду застосування, що визначає зону охоплення, максимальну висоту, швидкість, швидкість підйому, час польоту або витривалість, а також стабільність. Всі специфікації можуть варіюватися в залежності від видів застосування і впливу на навколишнє середовище. Більша висота означає велику площу покриття і підвищує живучість, хоча максимальна висота обмежена авіаційними правилами. Швидкість підйому також підвищує живучість. Час польоту строго залежить від типу експлуатації і аеродинамічної конструкції літака. [1]

Основними компонентами авіаційних підсистем є інерційний вимірювальний блок, двигуни, гвинти і приймач, процесор і корпус. Найбільш поширеними металевими матеріалами для виробництва літаків є сплави, алюміній і титан, в той час як неметалеві матеріали включають прозорий і армований пластик. Мультикоптер має декілька двигунів з відповідною кількістю пропелерів. Електронний регулятор швидкості змінюючи потужність, що подається на двигун, керований дросельної паличкою регулює швидкість. Вони можуть літати в певному напрямку і змінювати свою висоту, тобто висоту (уздовж осі X, напрямом квадкортера), крен (уздовж осі Y) і маневрування (по осі Z), шляхом використання вхідних даних інерціального вимірювального блоку (ІВМ), що складається з трьохосного акселерометра, гіроскопа, що забезпечує вихідні дані осі і блок GPS. [1]

### **1.4.2. Система наземного управління**

Типова наземна станція складається з бездротового маршрутизатора і комп'ютера для отримання, обробки і відображення даних. Як правило, наземна станція керування повинна відповідати таким вимогам, як архітектура відкритої системи, сумісна з різними платформами, такими як повітряно-десантні, морські

і наземні, виконання даних в режимі реального часу, здатність керувати кількома БПЛА, контроль корисного навантаження і зв'язок з іншими наземними станціями управління. До числа інших функцій забезпечення безпеки і охорони, які можна очікувати від наземної станції управління, відносяться попередження і план надзвичайних дій в разі будь-якого збою, відновлення режиму при відключенні електроенергії.

### **1.4.3. Канал зв'язку**

Канал зв'язку створюється між датчиками безпілотного літального апарату і наземною станцією управління (ПММ). Бездротовий зв'язок IEEE 802.11, використовувана для забезпечення зв'язку між центральним блоком даних БПЛА і наземною станцією управління, з цією метою маршрутизатори, оснащені антенами, які можуть передавати сигнал на 360 градусів по всіх напрямках з високим рівнем посилення, можуть бути використані для мінімізації втрати траєкторії і підвищення передавального відношення сигналу до шуму. Тепер звичайні антени працюють на 2.4GHz і мінімум 12 dBi. Додатковий бездротовий зв'язок, засновані на ортогональній частотній мультиплексації, використовується для онлайн-передачі відео і зображень на наземну станцію. [1]

### **1.4.4. Додаткові аксесуари**

З розвитком безпілотних літальних апаратів, розвивалися і допоміжні аксесуари, які необхідні для виконання таких прикладних задач, як фотограмметрія, зйомка фільмів, створення польових карт, цифрові моделі рельєфу, моніторинг і спостереження. Для цього були створені сумісні з БПЛА камери, такі як багатоспектральна камера, теплова камера (тепловізор), гіперспектральна камера, цифрова камера і прилади для отримання зображень



відео. Найчастіше для зйомки використовуються камери вагою менше 5кг, а, наприклад, для застосування в сільському господарстві потрібно не менше ніж камера 12 мегапікселів, тому що при зменшенні цього параметру якість зображення буде значно знижуватись і використання безпілотного літального апарату буде даремним.

На відміну від багатоспектральних камер, теплові та гіперспектральні камери зробили стрибок у дистанційному дослідженні за допомогою безпілотників. Дрони, оснащені тепловими датчиками, використовуються в гірничодобувній, нафтогазової промисловості. FLIR та Telops - комерційні гіганти, які розробили теплові камери, сумісні з безпілотниками. Гіперспектральні сенсори на основі дистанційного дослідження реєструють довжини хвиль з вузькими спектральними смугами, як правило, 5нм над видимим і діапазоном інфрачервоної області. Гіперспектральні зображення дають набагато більше інформації з надвисокою роздільною здатністю, де вся інформація передається в кожному пікселі на відміну від мультиспектральних сенсорів. [3]

### **1.5. Використання БПЛА у різних сферах життя**

З моменту створення БПЛА панують над звичайними технологіями дистанційного дослідження, а їх переваги полягають в зниженні енергоспоживання, зменшення ризику для життя людини, полегшенні збору даних, Звісно і надвисока просторова роздільна здатність робить їх відмінним вибором для зйомки і створення карт. Так, як і перші БПЛА, дослідження демонструють актуальність і унікальність безпілотників в цивільному, логістичному, сільськогосподарському та оборонному секторах

### 1.5.1. БПЛА в сільському господарстві

Основною метою точного землеробства є використання оптимального обсягу ресурсів у потрібний час та в потрібному місці для виробництва більш якісних продуктів. Найпоширенішою практикою використання дронів у сільському господарстві є збір даних та створення карт змін сільськогосподарських земель, аналіз даних, прийняття рішень по управлінню ресурсами на основі результатів, отриманих в результаті аналізу, та непоширені види застосування, такі як розпилення пестицидів та зручності. Сільське господарство широко використовує методи дистанційного дослідження з використанням традиційних супутникових та повітряних платформ. Потенційний супутник для моніторингу карт рослинності базується на просторовому, тимчасовому та спеціальному вирішенні таких датчиків на борту, як MODIS, OLI та AVHRR. Дослідницька робота, в тому числі зміна урожайності пшениці в результаті зміни клімату, зображення орошених районів з використанням аналізу тимчасових рядів, оцінка урожайності, регулювання стресового навантаження, класифікація та моніторинг лісового покриву вказує на вплив на сільське господарство з точки зору аналізу продуктивності та управління фермерським господарством. Тим не менше, цей метод кілька обмежений грубою роздільною здатністю та хмарами тому була представлена більш дешева та краща альтернатива для отримання зображень з високою точністю. Для цього використали мікродрон MD4-200 з командною АЦП льотної цифрової камери з роздільною здатністю зображення 1200x1024 пікселів для оцінки азотної та підземної біомаси соєвих бобових, люцерних та кукурудзяних посівів. Отримання зображень сільськогосподарських земель з використанням безпілотних літальних апаратів вертолітного базування в тепловому діапазоні з роздільною здатністю 40 нм і спектральним діапазоном 400-800нм та точністю 20 нм з використанням бортової теплової та багатоспектральної камер для визначення біофізичних параметрів. Використання

безпілотного літального апарату разом з багатоспектральними та тепловими датчиками, наприклад, дає можливість для визначення просторової можливості вимірювання рівня води в межах комерційного виноградника, який знаходиться у дощовій зоні. [1]

Використання безпілотних літальних апаратів принесло користь багатьом видам застосування дистанційних досліджень. У більшості випадків це пояснювалося вартістю, необхідністю швидкого реагування або тим фактом, що спостереження повинні проводитися в умовах, які можуть бути шкідливими або небезпечними для екіпажу. Яскравим прикладом є використання в археології ,безпілотних літальних апаратів дистанційного дослідження. Основна мета полягає в фіксації археологічних розкопок і створенні більш широкої картини. Вимоги до точності не надто високі, хоча було показано, що, наприклад, точність висоти з використанням безпілотного літального апарату і споживчих цифрових камер дає результати, зіставні з вимірами наземного лазерного сканера. Успішно здійснюється також моніторинг рослинності з використанням БПЛА. Безпілотні літальні апарати також використовувалися для досліджень на кавовій плантації на Гаваях; інші вивчали пасовища, а в Японії ці системи вважаються невід'ємною частиною сільськогосподарського обладнання. [1]

### **1.5.2. БПЛА в охоронних системах**

На сьогоднішній день використання БПЛА для вирішення завдань з охорони кордонів розширюється. По-перше, це економічно вигідне рішення, а по-друге - найбільш ефективне в порівнянні з застосуванням інших засобів патрулювання, наприклад пілотованої авіації, яку часто запускати нерентабельно через невеликі площі території. БПЛА активно застосовуються в охороні державних кордонів, мають чудові тактико-технічні характеристики, що дозволяють посилити контроль навіть найвіддаленіших і важкодоступних ділянок місцевості. [1]

Безпілотник може патрулювати територію заводу або котеджного селища, патрулювати території закритих і секретних об'єктів. Систему БПЛА можна вбудувати в загальну систему охорони і відеоінформація з мультироторного БПЛА буде передаватися в кімнату охорони, як і з наземних камер. Для безпілотника повинен бути організований злітно-посадковий майданчик аналогічний вертолітному. [1]

Режим польоту і маршрут програмуються заздалегідь на землі, після чого БПЛА починає обліт території і сідає в місці зльоту або в іншому запрограмованому місці. У точці посадки на безпілотник або в ручному або в автоматичному режимі змінюються акумулятори, і апарат продовжує патрулювати територію. [1]

При необхідності, в польоті, оператор БПЛА може змінити маршрут польоту безпілотника і направити його в потрібну йому точку. Наприклад, при такій екстреній ситуації як втрата зв'язку з патрульними, або інший екстреній ситуації, після чого БПЛА моніторинг, може продовжити виконувати своє льотне завдання. [1]

І у випадку виявлення даного його об'єкта направити безпілотник з камерою за об'єктом інтересу і повідомити наземним службам про цей об'єкт, продовжуючи стеження за метою до прибуття наземної групи і затримання об'єкта, а при необхідності супроводжувати погоню за об'єктом, щоб об'єкт не зник. [1]

Якщо наземна група щось помітила, то в цьому випадку буде добре підняти в небо черговий мультироторний БПЛА, який перевірить територію без шкоди для охорони і практично таємно, на висоті 100 метрів апарату майже не видно і не чути. При необхідності безпілотнику можна задати площу пошуку, і він буде з певним перекриттям "прочісувати" обрану ділянку. [1]

На борту може розташовуватися як камера, що знімає у видимому спектрі, так і знімає в тепловому спектрі електромагнітного випромінювання, що набагато

розширить можливості апарату по пошуку і зарубок точок інтересу, особливо в нічний час, вловлюючи тепло виходить від людей, собак, машин і стрільби.

Кожен БПЛА служить ретранслятором зв'язку при встановленні радіозв'язку за допомогою маяків наземними групами із пошуку та виявлення об'єктів і людей. Отримана з борту літака інформація служить наземним групам основою для оцінки та аналізу обстановки.

### **1.5.3. БПЛА в логістиці**

Безпілотні літальні апарати можуть використовуватися для перевезення продуктів харчування, упаковок і інших товарів. В більш розвинених країнах в галузі охорони здоров'я дрони швидкої допомоги можуть доставляти ліки, вакцини та зразки крові в недоступні місця і з них. Вони можуть швидко перевозити медичні інструменти через кілька хвилин після зупинки серця. Вони можуть також вести прямі відеотрансляції, що дозволяють парамедикам дистанційно спостерігати і інструктувати людей на місці події про те, як користуватися медичними інструментами. У липні 2015 Федеральне авіаційне управління США затвердив першу поставку медикаментів з використанням безпілотних літальних апаратів в Уайз, штат Вірджінія. У зв'язку з швидким зникненням паперової пошти і масовим зростанням електронної комерції поштові компанії були змушені вишукувати нові методи, що виходять за рамки їхніх традиційних моделей доставки пошти. Різні поштові компанії провели різні випробування безпілотних літальних апаратів для перевірки їх рентабельності і можливості впровадження. [1]

В системі доставки товарів з використанням БПЛА, безпілотні літальні апарати здатні переміщатися між місцем збору і місцем доставки. Безпілотник оснащений керуючим процесором і модулем GPS. Він отримує пакет транзакцій для операції доставки, який містить координати GPS і ідентифікатор пристрою

кріплення пакета, пов'язаного із замовленням. Після прибуття безпілотної в місце доставки, керуючий процесор перевіряє, чи відповідає ідентифікатор пристрою кріплення пакета з ідентифікатором пристрою в пакеті транзакцій, чи виконує він операцію з передачі пакета, і направляє підтвердження завершення операції упорядника замовлення. Якщо ідентифікатор пристрою кріплення пакета в точці доставки не збігається з ідентифікатором пристрою в пакеті транзакцій, Компоненти БПЛА передають запит через мережу ближнього радіусу дії, таку як Bluetooth або Wi-Fi. Запит може містити ідентифікатор пристрою або мережеву адресу пристрою кріплення пакета. За умови, що пристрій стикування пакета не вийшов за межі діапазону зв'язку з безпілотниками, пристрій стикування пакета з мережевою адресою передає сигнал, який містить адресу нового місця розташування. Потім пристрій для підключення може передавати оновлені координати GPS безпілотнику. БЛА перенаправляється на нову адресу на основі оновленого положення згідно даних GPS. [1]

#### **1.5.4. БПЛА в моніторинговій галузі**

Безпілотні літальні апарати використовуються в якості інструменту для прискорення збору даних географічного спостереження. У міру зростання популярності автономних і підключених до мережі транспортних засобів будуть включатися багато нових сервісів і додатки БПЛА. Розпізнавання рухомих транспортних засобів, які використовують БПЛА, як і раніше є складною проблемою. Методи виявлення рухомих транспортних засобів залежать від точності методів реєстрації зображень, оскільки платформи спостереження БПЛА часто змінюються. Точні методи реєстрації зображень вимагають великої обчислювальної потужності, що дозволяє використовувати ці методи в реальному часі. Також вчені запропонували вирішити проблему виявлення транспортних засобів за допомогою камер безпілотних літальних апаратів. У

своєму запропонованому підході вони використовували згортають нейронні мережі для більш точної ідентифікації транспортних засобів в режимі реального часу. Запропонований підхід складається з трьох етапів виявлення рухомих транспортних засобів: по-перше, зіставляються суміжні об'єкти. Потім пікселі об'єктів класифікуються як фонові або потенційні цілі. Нейронна мережа БПЛА навчається по потенційним цілям, щоб класифікувати їх на транспортні засоби або фон. Під час таких досліджень було досягнути точності виявлення близько 90%. Після таких результатів його автори впровадили систему виявлення і стеження за транспортними засобами на основі зображень, зібраних безпілотним літальним апаратом. Ця система використовує послідовні рамки об'єктів для отримання динамічної інформації про транспортний засіб, наприклад про його місцезнаходження і швидкостях в часі. В рамках цього дослідження було розроблено чотири основних модуля: реєстрація зображень, витяг зображень, форма транспортного засобу і стеження за ним. У цю систему були включені деякі унікальні елементи, що дозволяють налаштовувати транспортний потік і рух транспортних засобів і використовувати їх разом в декількох суміжних зображеннях для підвищення точності виявлення і відстежують транспортні засоби. Представлена схема для підтримки в режимі реального часу і точного збору параметрів транспортного потоку, включаючи швидкість, щільність і обсяг, в двох напрямках руху одночасно. Проблема, з якою стикається ця система, полягає в тому, що її алгоритм іноді визначає вантажівки, автобуси і інші великі транспортні засоби в якості декількох легкових автомобілів. Також є представлена система виявлення і стеження за конкретною ділянкою дороги з використанням низько- і середньовисотних БПЛА. Вони можуть використовуватися для автономного судноплавства, огляду, спостереження за рухом і моніторингу. [1]

Для виявлення доріг використовується алгоритм, який забезпечує ефективну і потужну сегментацію в двомірних кольорових зображеннях. Для спостереження

за дорогами було розроблено методику спостереження, засновану на вирівнюванні гомографії, для коригування однієї площини зображення в іншу, коли рухома камера фотографує пленарну сцену. Вона будується на об'єднанні зібраних відеоданих з безпілотного літального апарату з даними моделювання трафіку, щоб поліпшити моніторинг і контроль руху в реальному часі. Це може бути досягнуто шляхом перетворення зібраних відеоданих в корисні показники трафіку для отримання основних статистичних характеристик трафіку, включаючи такі параметри трафіку, як середня швидкість, щільність, обсяг, коефіцієнт повороту і т.д. Однак основною проблемою такого підходу є обмеження часу польоту для БЛА, які можуть зависати для отримання даних протягом декількох годин без підзарядки. [4]

Подібні дослідження спрямовані на вирішення питань безпеки систем спостереження за дорожнім рухом з використанням БПЛА.

Для подібних досліджень використовують літак вагою в 5 кілограмів для польотів тривалістю до 6 годин з дальністю телеметрії 1,5 км та корисним навантаженням 2 кілограми. Така система складається з п'яти компонентів: приймач сигналу, радіопередавач, модем для польотних даних, ПК для відображення БПЛА на карті та відеозв'язок в режимі реального часу.

### **1.5.5. БПЛА у військовій галузі**

Поява безпілотних літальних апаратів спочатку була направлена на виконання таких військових завдань, як розвідка, шпигунство, і визначення цілей. Пізніше вони були впроваджені в цивільних і матеріально-технічних цілях. США, Великобританія, Росія, Індія та Ізраїль є провідними країнами в розробці і розгортанні військових безпілотників. У 2017 році спостерігалось прискорення поширення військових поряд з цивільними безпілотниками, і було відзначено максимальну кількість ударів безпілотників США і Великобританії. Проривні



дослідження і чудові досягнення в області безпілотних літальних апаратів з реактивним двигуном і мікродронів. [1]

### **1.5.6. БПЛА у надзвичайних ситуаціях**

У наш час у світі стається дуже багато випадків, коли життю людини загрожує небезпека. Такими випадками є пожежі, аварії на виробництвах, урагани, цунамі, тощо. І для того, щоб дослідити територію, яка знаходиться під впливом перелічених вище явищ спеціалісти зараз можуть використовувати БПЛА. Завдяки даному виду техніки зменшується ризик для дослідників отримати травму або опинитись у безвихідному положенні. В кінці серпня 2017 року агентство CNBC розповіло, як дрони допомагають в гасінні пожеж. Протипожежні служби в ряді американських міст відправляють дрони до місця загоряння, використовуючи їх в якості розвідників. Спеціалізовані БПЛА, оснащені газоаналізаторами і камерами з тепловізорами, дозволяють не тільки оцінити масштаби лиха, а й рятувати життя. Важливою перевагою безпілотників є можливість їх швидкого застосування. Раніше в пошуково-рятувальних роботах під час пожеж доводилося задіяти сотні людей, а тепер літаючий по повітрю дрон з тепловізором допомагає дуже швидко знаходити людину. Також за допомогою дронів отримується інфрачервоне-зображення пожежі, яке дозволяє зрозуміти, де полум'я вирує найсильніше, і на гасінні яких ділянок потрібно зосередити зусилля. Крім того, при ліквідації пожеж під час залізничних катастроф спеціалізовані дрони можуть використовуватися для виявлення витоків хімічних речовин. Ще одна перевага міні-дронів - економічність. Безпілотник за пару тисяч доларів здатний як мінімум частково замінити вертолітний службу, залучення якої обходиться в мільйони.

У малонаселених місцевостях дрони можуть виступати заміною або доповненням пошуку з вертольотів і літаків, наприклад, рибалок відірвалися від

берега на крижинах або туристів, які заблукали в гірській місцевості; людей, що загубилися в морі; жертв стихійних лих, наприклад, в зоні затоплення, пожеж, землетрусів і т.п. Особливо безпілотники ефективні при дистанційному підключенні камери пристрою до системи автоматичного встановлення особи по зображенню людини. Ефективний спосіб - це застосування тепловізора для пошуку живих людей в сутінках або вночі. В світлу пору доби цей спосіб неефективний через перешкоди з боку зелених насаджень. Також цей спосіб не придатний для виявлення мертвих людей. [3]

БПЛА дають можливість пошуку, виявлення і ідентифікації об'єктів в режимі реального часу, включаючи визначення їх точних координат і передачу даних на НСУ (наземну станцію управління). Також можна здійснювати пошук об'єктів за рахунок аналізу фотознімків і / або відеозапису. Безпілотник може бути забезпечений різними сенсорами - від мульти-спектральних камер до датчиків радіації, магнітного поля, тепловізорів, металодетекторів тощо. [1]

У більшості країн БПЛА використовуються МНС та їх аналогами достатньо давно і виконують наступні дії:

- безпілотний дистанційний моніторинг лісових масивів, з метою виявлення лісових пожеж;
- моніторинг на передачу даних з приводу радіоактивного та хімічного зараження місцевості та повітряного простору у необхідній зоні;
- інженерна розвідка районів вражених повинню, землетрусом або інших стихійним лихом;
- виявлення та моніторинг льодових заторів чи розливу річок;
- моніторинг стану транспортних магістралей, нафто- та газопроводів, ліній електропередач та інших об'єктів;
- екологічний моніторинг водних акваторій та берегової лінії;

– виявлення точних координат районів надзвичайних ситуацій чи постраждалих об'єктів;

Моніторинг проводиться вдень і вночі, в сприятливих та обмежених метеоумовах. Також БПЛА забезпечують пошук технічних засобів, які потерпіли аварію або зниклих людей. Пошук може проводитись за заздалегідь введеною програмою визначеного маршруту або змінюваному маршруту у реальному часі оператором. [1]

## **1.6. Проблеми у використанні**

### **1.6.1. Технологічні неточності**

Завжди є компроміс між потужністю корисного навантаження і часом польоту в технології безпілотників. Зазвичай для забезпечення електроживлення безпілотних літальних апаратів використовуються легкі іонно-літєві батареї на борту, проте їх резервна потужність не піддається порівнянню з потужністю інших батарей. Зі збільшенням корисного навантаження знижується довговічність і, отже, задача може не бути завершена. Безпілотники з нерухомими крилами ефективні у використанні енергії, але у них є недолік зависання і контролю швидкості. Політ одного безпілотника може також зіткнутися з відмовою польоту за деякими технологічними і кліматичними причинами, так що завжди є необхідність забезпечити підкріплення. Майбутній політ безпілотників може виконати це завдання, де в разі відмови одного безпілотника інші завершать задачу. Ця технологія створює рух роєм, як комахи, мурашки або птахи і використовує для цього штучний інтелект. Безпілотники як і раніше обмежені контролем через операторів-людей, інтеграція штучного інтелекту дозволяє безпілотнику приймати розумні рішення і діяти відповідно до ситуації замість людських контролерів. Безпілотники також страждають від

вітряних умов і несприятливих кліматичних змін. Іншою проблемою є занадто технічне налаштування приймачів, щоб використовувати точну обробку даних за допомогою безпілотників і зробити систему, засновану на використанні безпілотників, повністю автоматичною, від отримання зображень до створення складних статистичних моделей і системи підтримки рішень. GPS, встановлена на безпілотник, з'єднується з чотирма супутниками для точного визначення місця розташування, швидкості і висоти. Оскільки сигнали GPS дуже схильні до шуму і перешкод, існує кінцева можливість втрати контакту. Інерціальна навігаційна система в поєднанні з ДПС забезпечує вирішення цієї проблеми. Для правильної оцінки стану і висоти необхідно розробити і випробувати ефективні алгоритми. Крім проблем, пов'язаних з конструкцією апаратних засобів БПЛА, деякі обмеження накладаються і на камери, що використовуються для точного землеробства. Система збору багатоспектральних зображень вельми схильна до впливу повного опромінення, а також сонячного кута і несприятливих погодних умов, таких, як дощ і сильний вітер. Зіставлення даних, отриманих з безпілотних літальних апаратів, і супутникових даних свідчить про два суттєвих обмеження, пов'язаних з необхідністю зміни вибірки даних для отримання зображень з рівним просторовим дозволом, і, по-друге, якщо є хмарне покриття, то практично неможливо порівнювати зображення, оскільки інформація під землею затінюється. Бортові теплові датчики можуть визначати використання води рослинами на основі температури випромінювання. Коливання температур в рослинах є значними, що ускладнює розмежування інших факторів, які можуть впливати на воду, таких як сонячне опромінення. [1]

### **1.6.2. Питання безпеки і недоторканності приватного життя**

Деякі небезпечні для життя проблеми, пов'язані з швидким використанням безпілотників, розкрили проблеми в плані безпеки. Безпека в першу чергу

обумовлена такими факторами, як льотна придатність, шкідлива практика і втручання в суспільну власність, що ставить під сумнів ефективність використання безпілотників, оскільки сучасні підходи до вирішення цих проблем не відповідають пропонованим вимогам і не забезпечують гарантії безпечного використання безпілотника. Необхідно встановити і контролювати управління повітряним рухом для забезпечення безпеки в повітряному просторі. Питання конфіденційності очевидне. Безпілотники можуть мати камеру і записувати зображення та голос - з місць, недоступних для людини. Варіанти, які використовуються правоохоронними органами, можуть бути пов'язані з системами розпізнавання осіб і забезпечувати тихий моніторинг натовпу, зборів під відкритим небом і пішоходів. Активісти можуть використовувати їх, щоб позначити установи, на які вони хотіли б націлюватися. [1]

При використанні БПЛА поліцією, вони забезпечують новий рівень контролю, а при використанні цивільними особами, вони майже не піддаються контролю з боку поліції. Цивільні дані, швидше за все, будуть зберігатися в хмарі, можливо, з відома або без відома користувачів і з належною безпекою або без неї.

Навіть безпілотники, які використовуються у якості хобі, можуть мати невеликі комп'ютери. Вони можуть бути запрограмовані на виявлення сигналів Wi-Fi. Вони використовувалися дослідниками для перевірки безпеки віддалених найважливіших об'єктів інфраструктури, таких, як електростанції, до яких неможливо отримати прямий доступ через Інтернет. [1]

Вони законно використовуються дослідниками кібербезпеки - які проводять контрольовані імітації атак - в аналогічних обставинах. В ході одного з випробувань дослідницької компанії було запропоновано перевірити кібербезпеку морської нафтової вишки. Це було важко, так як немає фізичного доступу до бурової установки. Отже, була найнято невеликий човен і він був "пришвартований" на деякій відстані від платформи. Потім комп'ютер був

запрограмований, щоб знайти Wi-Fi сигнали, пролітав над нафтовою вишкою, і дослідники змогли прослухати звук бурової установки. [1]

Якщо дослідники роблять це, ви можете бути впевнені, що хакери і, можливо, держави роблять те ж саме. Цілі не обов'язково повинні бути віддаленими, ізольованими об'єктами - аналогічні напади можуть бути спрямовані на будь-яку будівлю в будь-якій точці світу. І в міру того, як популярність дронів росте, один БПЛА, який ви помітите з офісу, ймовірно, не викличе занепокоєння, а в цей час дані вже можуть бути у небезпеці. [1]

### **1.6.3. Законодавчі норми і нюанси**

Довгий час безпілотні літальні апарати використовувалися у військових цілях, проте заборони, неадекватні правила і недоліки завадили загальному визнанню безпілотних літальних апаратів. Розвиток і прискорене використання безпілотних літальних апаратів в комерційних цілях потребують вирішення проблем регулювання з метою забезпечення безпечного, надійного та аутентифікованого використання. Міжнародні регулюючі органи, такі, як Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) та Європейське агентство з безпеки польотів (ЕАСА), пропонують державам і організаціям розробити політику і стандарти для підприємств цивільної авіації. Ряд країн докладають зусиль в цьому напрямку і запропонували відповідні правила. У 2016 році Управління з питань безпеки цивільної авіації Австралії переглянуло положення про безпілотні літальні апарати і включило в них нові правила для безпілотних літальних апаратів. Для дистанційної експлуатації безпілотних літальних апаратів вагою понад 2 кг потрібна ліцензія і сертифікат пілота. Сертифікація охоплює багато аспектів, включаючи інформацію про пілота, технічне обслуговування, відповідальність і аспекти безпеки. Аналогічним чином, німецький закон про повітряне сполучення встановлює правила і вимагає дозволу

від авіаційного відомства на використання безпілотного літального апарату вагою понад 5 кг, що не використовується в рекреаційних цілях. Дозвіл забезпечує конфіденційність, громадську безпеку і захист інформації. Безпілотні літальні апарати вагою понад 25 кілограмів можуть здійснювати політ за межі візуальної видимості. Нещодавно Франція ввела два правила використання цивільних безпілотних літальних апаратів. Відповідно до цих правил безпілотні літальні апарати поділяються на три класи: з точки зору створення, експериментального призначення і конкретних видів діяльності. У правилах йдеться про дозвіл на використання безпілотних літальних апаратів, межі висоти, ваги і продуктивності. Авіаційні закони Франції також обмежують переміщення безпілотних літальних апаратів географічно, наприклад, у військових периферійних районах, історичних пам'ятках, національних парках і природних заповідниках. В Індії департамент цивільної авіації розробляє та регулює політику щодо дистанційно керованого літального апарату. Для управління безпілотними літальними апаратами потрібно єдиний ідентифікаційний номер разом з дозволом на експлуатацію безпілотних літальних апаратів при належному дотриманні таких керівних принципів, як заборона на використання обмежених зон, таких, як екологічно чутливі райони, на відстані понад 500 м в море від берегової лінії і за 25 км до міжнародного кордону. Ізраїльське управління цивільної авіації регулює закони, що стосуються виробництва, підготовки кадрів і операцій, включаючи висоту польоту, регульовані і визнані маршрути і засоби зв'язку в Ізраїлі і забезпечує дотримання цих правил усіма інструкторами, операторами і виробниками. Порушення правил ліцензування тягне за собою ті ж покарання, що і відносно пілотованих повітряних суден. Федеральне авіаційне управління Сполучених Штатів (АВС) включило безпілотні літальні апарати в систему національного повітряного простору з умовою, що вони не будуть ставити під загрозу безпеку, охорону і потенціал. [1]

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА

#### 2.1. Математична модель багатороторного БПЛА

Математична модель описує рух і введення мультиротора за відношенням до вхідних значень моделей та зовнішнього впливу на мультиротор. Математичну модель можна розглянути як функцію, яка відображає вхідні дані на виході. Використовуючи математичну модель, можна передбачити стан і положення роторів, знайдені великі швидкості гвинтів, тобто це дозволяє комп'ютерно моделювати поведження багатороторного БПЛА в різних умовах.

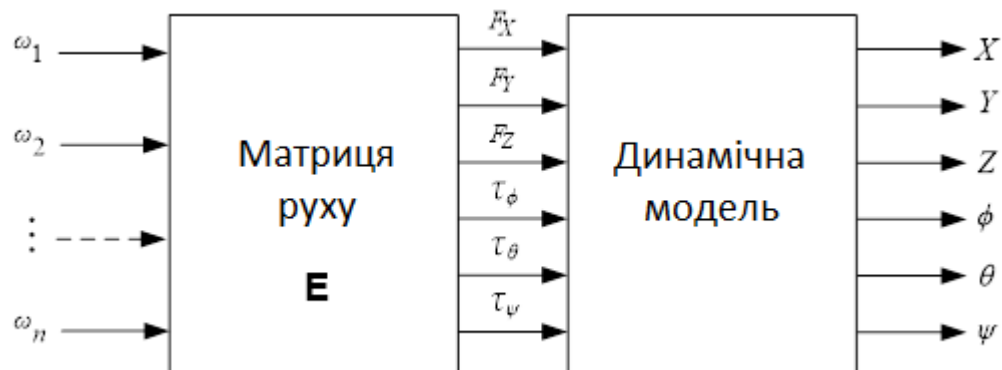


Рис.2.1. Входи та виходи математичної моделі багатороторного БПЛА

#### 2.2. Кінематика БПЛА

Перш за все, необхідно визначити дві системи координат:

- система координат відносно Землі,  $\mathcal{F}^E$ ;
- система координат відносно БПЛА,  $\mathcal{F}^B$ ;

Деякі фізичні властивості мультироторного БПЛА вимірюються в  $\mathcal{F}^E$ , хоча деякі властивості вимірюються в  $\mathcal{F}^B$ .  $\mathcal{F}^E$  – це інерційна система координат, в якій



позитивний напрямок осі  $Z^E$  є нормаллю до земної площі. Позиція мультироторного БПЛА визначається наступним чином -  $\xi = [X \ Y \ Z]^T$ , а положення -  $\eta = [\phi \ \theta \ \psi]^T$ , які визначені у  $\mathcal{F}^E$ . Система координат  $\mathcal{F}^B$  знаходиться на корпусі безпілотного літального апарата. Припустимо, що початок системи координат  $\mathcal{F}^B$ , збігається з центром ваги БПЛА. В такому випадку лінійні швидкості  $v^B$ , кутові швидкості  $\omega^B$ , сили  $f^B$  та крутні моменти  $\tau^B$  теж знаходяться у площині  $\mathcal{F}^B$ . Рівняння руху доцільніше формулювати щодо  $\mathcal{F}^B$  з декількох причин: матриця інерції системи інваріантна щодо часу; рівняння буде скласти простіше, через симетричну форму БПЛА; вимірювання датчиків легко перетворюються у  $\mathcal{F}^B$ ; набагато легше провести спрощення рівнянь контрольних змінних. [2]

Кінематичне рівняння БПЛА матиме наступний вигляд:

$$\dot{\xi} = Jv,$$

де  $\dot{\xi} = [\dot{\xi} \ \dot{\eta}]^T$  це узагальнений вектор швидкості у площині  $\mathcal{F}^E$ ,  $v = [v^B \ \omega^B]^T$  це узагальнений вектор швидкості у площині  $\mathcal{F}^B$ , а  $J$  - узагальнена матриця обертання та перетворення:

$$J = \begin{bmatrix} R & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & T \end{bmatrix},$$

де  $R$  – це матриця обертання, яка відображає вектор лінійної швидкості від однієї системи координат до іншої:

$$R = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix},$$

де  $C_i = \cos(i)$ , а  $S_j = \sin(j)$ .

Через необхідність перетворення вимірних значень з однієї системи координат в іншу було введено матрицю обертання. Матриця  $T$  – це матриця перетворення, яка передає кутові швидкості від  $\mathcal{F}^B$  у  $\mathcal{F}^E$ . Оскільки для виведення динамічної моделі використовується гібридна система координат, матриця  $T$  не

використовується. Натомість вектор швидкості в гібридній системі координат  $\mathcal{F}^H$ , можна виразити як  $\zeta = [\dot{\xi} \ \omega^B]^T$  [2]

### 2.3. Динаміка БПЛА

Динаміка багатороторних БПЛА описується диференціальними рівняннями, отриманими методом Ньютона-Ейлера. Динаміка безпілотного літального апарату з шістьма ступенями свободи, враховує масу  $m$  та інерцію тіла  $I$ . Опираючись на припущення, що рама мультироторного БПЛА має симетричну структуру, тобто головна вісь інерції збігається з координатною віссю  $\mathcal{F}^B$ , матриця інерції стає діагональною матрицею.

$$M_B \dot{v} + C_B(v)v = \lambda,$$

де  $\dot{v}$  – це узагальнений вектор прискорення,  $M_B$  – матриця інерції системи,  $C_B(v)$  – є відцентровою матрицею Кориоліса. Узагальнений вектор сили  $\lambda = [f^B \ \tau^B]^T$ , можна розділити на три складові: гравітаційний вектор  $g_B(\varepsilon)$ , гіроскопічний вектор крутного моменту  $o_B(v)\omega$  та вектор руху  $u_B(\omega)$ .

$$\lambda = g_B(\varepsilon) + o_B(v)\omega + E_B\omega^2,$$

гравітаційний вектор впливає лише на лінійні компоненти моделі, тоді як гіроскопічний вектор крутного моменту впливає лише на кутові компоненти моделі. Вектор руху  $u_B(\omega)$  представляється добутком матриці руху  $E_B$  і вектор квадратних кутових швидкостей гвинтів  $\omega^2$ . [2]

Рівняння руху безпілотного літального апарату з шістьма ступенями свободи у відношенні до системи координат  $\mathcal{F}^B$  можна представити у наступному форматі:

$$\dot{v} = M_B^{-1}[-C_B(v)v + g_B(\varepsilon) + o_B(v)\omega + E_B\omega^2],$$

що, по суті, є матричною формулою другого закону руху Ньютона.

Вигляд рівняння для системи координат  $\mathcal{F}^E$ :

$$\dot{\zeta} = M_H^{-1}[-C_H(\zeta)\zeta + g_H + o_H(\zeta)\omega + E_B\omega^2]$$

## 2.4. Вираження сили та крутного моменту

На основі конфігурації багатороторного БПЛА та геометричного розташування тяги можна отримати матрицю руху. Спочатку необхідно провести кінематичний аналіз зв'язку між спрацьовуванням сили, крутного моменту та конфігурацією тяги.

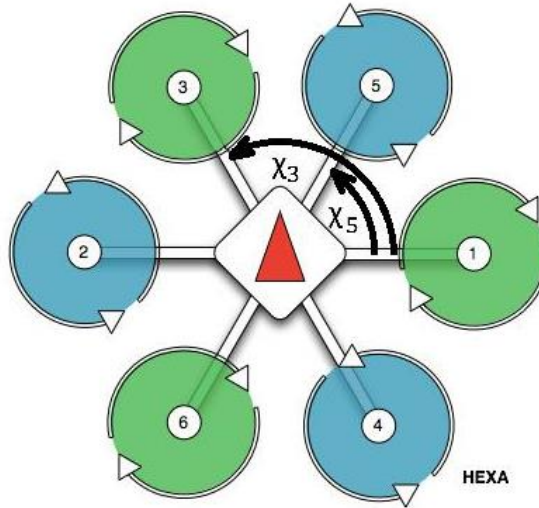


Рис.2.2. Конфігурація мультироторного БПЛА - Неха X

Конфігурація мультиротора складається з довільної кількості рушіїв. Кожен рушій генерує аеродинамічну силу, яка складається із сили тяги та моменту опору. Положення рушія можна знайти наступним шляхом:

$$\xi_{Pi} = \begin{bmatrix} \sin\chi_i \\ -\cos\chi_i \\ 0 \end{bmatrix} \cdot l,$$

де  $\chi_i$  – це  $i$ -та позиція рушія по відношенню до площини  $\mathcal{F}^B$ , а  $l$  – відстань від ротора до центру ваги.

Орієнтацію рушія  $\eta_{Pi}$  можна знайти наступним чином:

$$\eta_{Pi} = CR \cdot \begin{bmatrix} \sin\chi_i \cdot \sin\gamma \\ -\cos\chi_i \cdot \sin\gamma \\ \cos\gamma \end{bmatrix},$$

де  $\gamma$  представляє собою кут нахилу рушії. У випадку, якщо  $\gamma = 0$ , ми маємо загальну «плоску» конфігурацію багатороторного БПЛА, а це означає, що наша система ще недопрацьована. CR – це матриця обертання, і вона описує собою знак кута нахилу відносно осей XY у площині  $\mathcal{F}^B$ , як показано на малюнку 2.3.

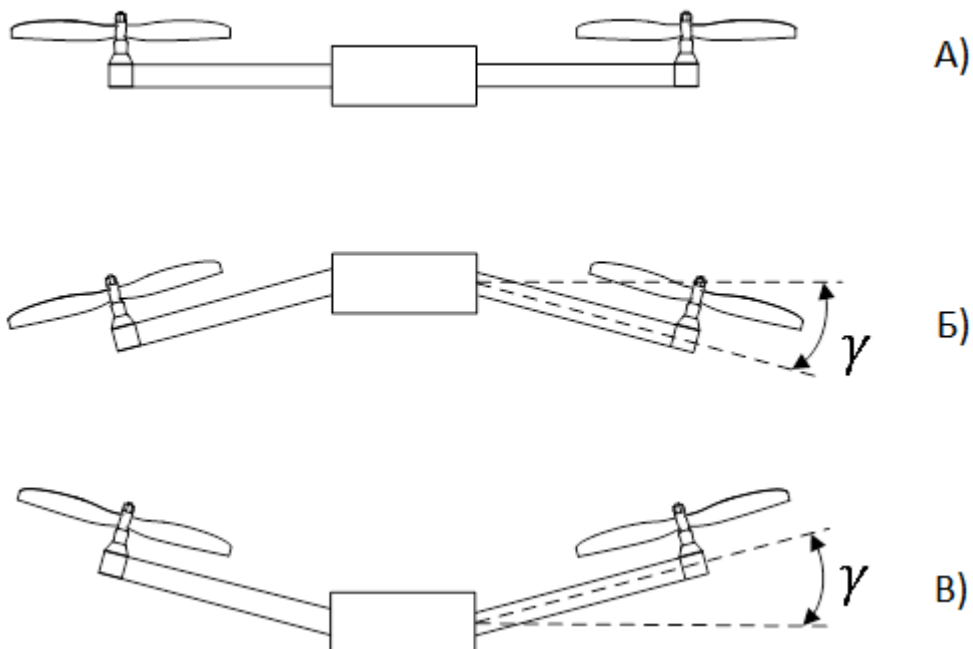


Рис.2.3. Конфігурації обертання мультироторного БПЛА

Малюнок А відображає «плоску» конфігурацію.

На малюнках Б і В показано наступні варіанти матриці відповідно:

$$CR = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } CR = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Після представленого кінематичного аналізу конфігурації мультироторного БПЛА в  $\mathcal{F}^B$  можна провести аналіз динаміки рухової системи. Сили та крутні моменти, що генеруються рушієм, безпосередньо впливають на положення і орієнтацію мультиротора в просторі. Кожне рушій генерує вектор сили, який можна обчислити за наступним рівнянням:

$$f = (\eta_{Pi} \cdot b)\omega_i^2,$$

де  $\omega_i$  – це кутова швидкість  $i$ -ого ротора, а  $b$  – коефіцієнт тяги [ $Ns^2$ ]

Кожна рушій також генерує вектор крутного моменту, який можна обчислити за наступним рівнянням:

$$\tau_i = (\xi_{Pi} \times \eta_{Pi} \cdot b + PR \cdot \eta_{Pi} \cdot d)\omega_i^2,$$

де  $d$  – це коефіцієнт опору [ $Nms^2$ ], а  $PR$  – знак обертання двигуна:

$$PR = \begin{cases} 1 & \text{if } i = CW \\ -1 & \text{if } i = CCW \end{cases}$$

За допомогою перевірки статичної тяги можна отримати константи  $b$  та  $d$ . Вони залежать від радіуса гребного гвинта, тяги та коефіцієнта потужності та щільності повітря. Узагальнений вектор сили  $f^B = [F_X \ F_Y \ F_Z]^T$ , можна знайти наступним чином:  $f^B = \sum_{i=1}^{PN} f_i$ .

Аналогічно і вектор крутного моменту  $\tau^B = [\tau_X \ \tau_Y \ \tau_Z]^T$ , також можна знайти за наступним виразом:  $\tau^B = \sum_{i=1}^{PN} \tau_i$ .

З останніх двох виразів можна отримати матрицю руху. Кут нахилу визначає, яку силу ми можемо прикласти до  $[\tau_X \ \tau_Y \ F_Z]^T$  чи  $[F_X \ F_Y \ \tau_Z]^T$ . Розглядаючи аеродинамічні ефекти, можна зробити висновок, що сили та моменти пропорційні квадратним кутовим швидкостям пропелерів. Вектор руху  $u_B(\omega) = [f^B \ \tau^B]^T$  представляється у вигляді добутку матриці руху  $E_B$  і вектор квадратних кутових швидкостей гвинтів  $\omega^2$ . Як показано на малюнку 1, вектор руху є входом у динамічній моделі безпілотного літального апарату:  $u_B(\omega) = E_B \omega^2$ . Розрахувати кутову швидкість для окремого рушія можна за рівнянням:  $\omega^2 = E_B^{-1} u_B$ . [2]

## 2.5. Аналіз кута нахилу

Проведемо аналіз кута нахилу для гексароторного безпілотного літального апарату з конфігурацією обертання, як показано на рисунку 2.3.В. Кути

нахилу представлені у таблиці 2.1. Кут нахилу вказує, скільки сили ми можемо прикласти до  $[\tau_x \quad \tau_y \quad F_z]^T$  чи  $[F_x \quad F_y \quad \tau_z]^T$

Таблиця 2.1

Кути нахилу

Кут нахилу $\gamma$ [°]				
0	2	4	6	8
10	12	15	18	20

При  $\gamma = 0^\circ$  сили не діють у площині XY відносно системи координат  $\mathcal{F}^B$ , а крутний момент навколо осі Z порівняно невеликий, тому немає можливості безпосередньо керувати  $F_x$  та  $F_y$ . Аналіз кута нахилу особливо важливий для подальшого вивчення швидкості, енергоспоживання, вибору компонентів, розміру платформи, відмови, порушень траєкторії тощо.

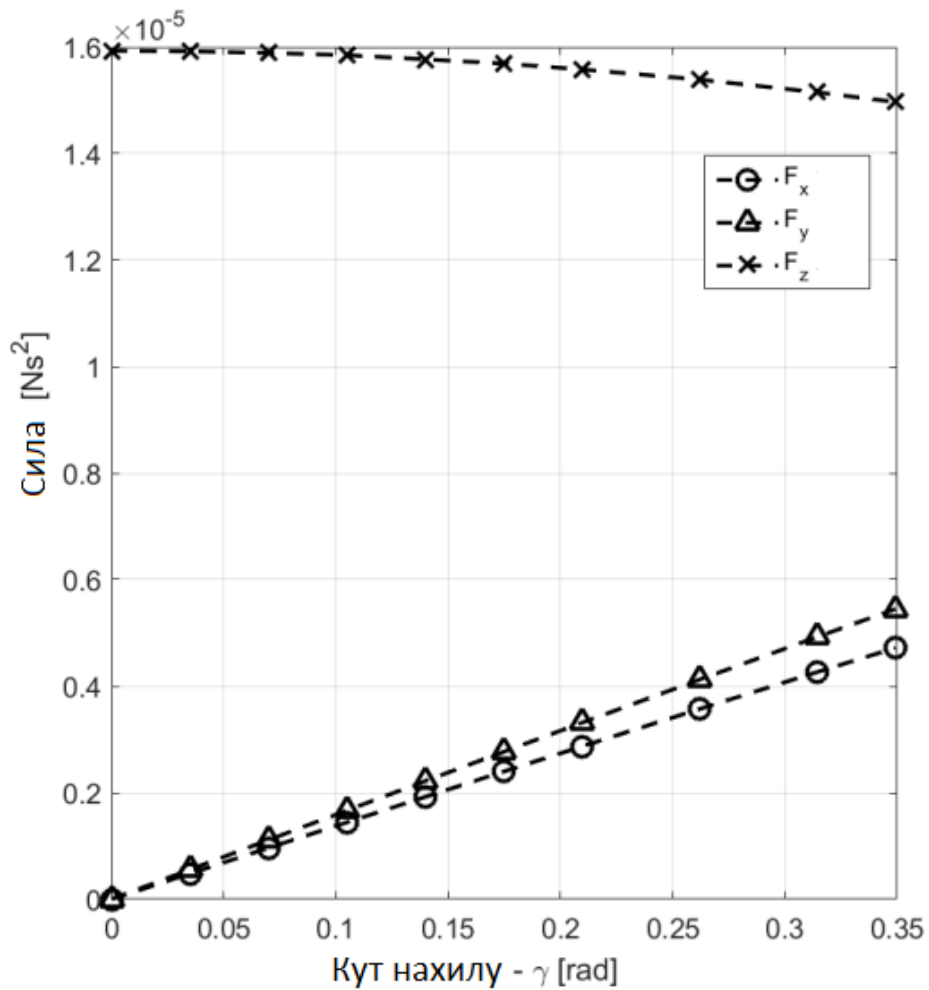


Рис.2.4. Максимально доступні значення сили при різних кутах нахилу

З рис.2.4 видно, що максимально доступні значення сили мультироторного безпілотного літального апарату залежать від кута нахилу. Карти зусиль також залежать від вибраних двигунів та розмірів мультиротора. Зі збільшенням кута нахилу сила вздовж осі Z падає, і необхідно збільшити кутові швидкості руху, щоб утримувати паріння. На відміну від осі Z сила по вздовж осей X і Y зростає. [2]

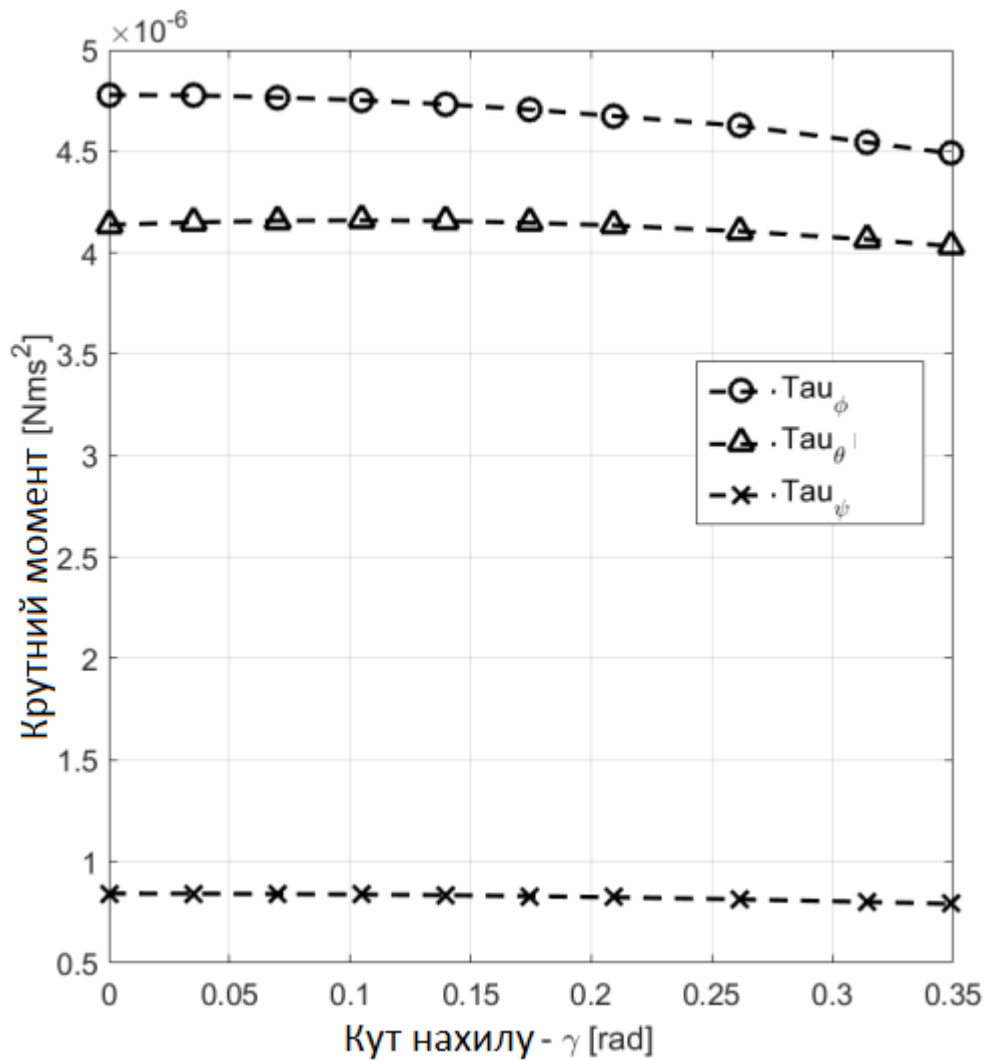


Рис.2.5. Максимально доступні значення крутного моменту при різних кутах нахилу

На рис.2.5 показані максимально доступні значення крутного моменту мультироторного безпілотного літального апарату залежно від кута нахилу. Як можна помітити - зі збільшенням кута нахилу крутні моменти трохи зменшуються.



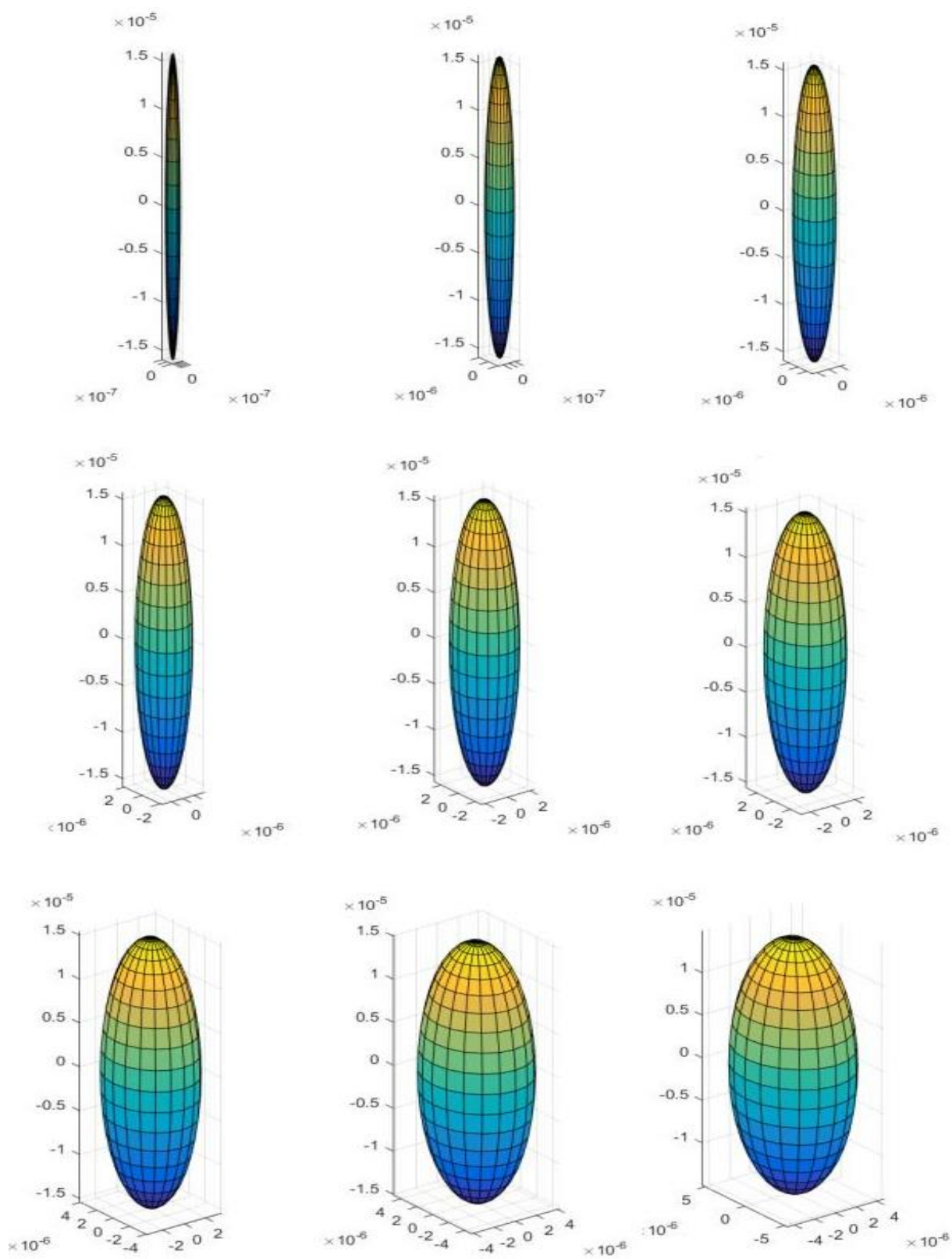


Рис.2.6. Еліпсоїди сили для різних кутів нахилу

На рисунку 2.6 показані еліпсоїди сили, яка залежить від кутів нахилу. Перший еліпсоїд відображає залежність при значенні кута  $\gamma = 2^\circ$ , а останній для  $\gamma = 20^\circ$ . Як видно з малюнку при збільшенні кута нахилу ми отримуємо більший контроль у областях  $F_X$  та  $F_Y$ , і це означає, що система працює коректно. [2]

Як можна помітити виведення математичної моделі мультироторного безпілотного літального апарату – доволі складна задача. Динамічна модель складається з моделі динаміки тіла та матриці руху. Матриця  $E_B$  використовується для відображення кутової швидкості до сили або крутного моменту. Як бачимо, змінюючи кут нахилу, можна досягти повної керованості мультироторного БПЛА з шістьма ступенями свободи. Це означає, що кут нахилу можна відокремити від вісей  $Y$  та  $X$ . Запустивши кілька моделювань з різним кутом нахилу, можна отримати силу та момент еліпсоїдів. Ці еліпсоїди представляють наявну силу в просторі як функцію кута нахилу. Як видно, наявна сила в площині  $XY$  збільшується із збільшенням кута нахилу. [2]

## **2.6. Синтез цифрової системи автоматичного управління із заданою структурою методом параметричної оптимізації алгоритму управління**

Розглянемо ідеалізоване рівняння неперервного ПД-регулятора:

$$e(t) = K_p \cdot y(t) + K_i \cdot \int_0^t y(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{dy(t)}{dt}$$

де:  $K_p$  – коефіцієнт передачі пропорційного сигналу;  $K_i$  - коефіцієнт інтегралу сигналу ( $K_i = \frac{1}{T_i}$ ,  $T_i$  – стала інтегрування);  $K_d$  – коефіцієнт передачі диференціального сигналу ( $K_d = T_d$ ,  $T_d$  - стала диференціювання).

Розглянемо неперервний ПД-регулятор, як прототип «базовий аналог» для побудови дискретного ПД-регулятора. Припустимо, що період квантування за часом  $T_0$  знайдено (зазвичай із використанням теореми Котельнікова). Для

переходу до математичної моделі дії ЦПД-регулятора обчислимо градчасту функцію управляючого сигналу:

$$\begin{cases} t = n \cdot T_0, n = 0, 1, 2, \dots \\ e(n) = K_p \cdot y(n) + K_i \cdot \int_0^{n \cdot T_0} y(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{y(n) - y(n-1)}{T_0}, \text{ де } \frac{dy(t)}{dt} \cong \frac{y(n) - y(n-1)}{T_0}; dt \cong T_0; dy(t) \cong y(n) - y(n-1). \end{cases}$$

Знайдемо z-перетворення від обох частин рівняння:

$$\begin{aligned} E(z) = Z[e(n)] &\leftrightarrow K_p \cdot Z[y(n)] + K_i \cdot Z[\int_0^{n \cdot T_0} y(\tau) d\tau] + \frac{K_d}{T_0} \cdot Z[y(n) - y(n-1)] \\ &\leftrightarrow E(z) = E_p(z) + E_i(z) + E_d(z), \\ E_p(z) &= K_p Y(z); Y(z) = Z[y(n)]; E_p(z) = D_p(z) \cdot Y(z) \end{aligned}$$

де  $D_p(z)$  – передаточна функція цифрового ПД-регулятора за позиційним (пропорційним) сигналом.

Використовуючи теорему z-перетворення про зсув вправо ми можемо проаналізувати та записати:

$$\begin{aligned} E_d(z) &= \frac{K_d}{T_0} \cdot Z[y(n) - y(n-1)] \\ Z[y(n-1)] &= Y(z) \cdot z^{-1} \rightarrow E_d(z) = \frac{K_d}{T_0} \cdot Y(z) \cdot (1 - z^{-1}) = \frac{K_d}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z} Y(z) \\ \frac{K_d}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z} Y(z) &= D_d \cdot Y(z); D_d(z) = \frac{K_d}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z} \quad E_i(z) = D_i(z) \cdot Y(z), \end{aligned}$$

де  $D_i(z)$  – передавальна функція цифрового ПД-регулятора за інтегральним сигналом. Якщо для обчислення передавальної функції за інтегральним сигналом обрати чисельним методом розрахунку – метод трапецій, то ми отримаємо передавальну функцію наступного вигляду:

$$D_i(z) = \frac{E(z)}{Y(z)} = K_i \frac{T_0}{2} \cdot \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}} = \frac{K_i T_0}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}.$$

З отриманих коефіцієнтів отримаємо передавальну функцію ЦПД-регулятора:

$$D(z) = D_p(z) + D_i(z) + D_d(z) = K_p + \frac{K_i T_0}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z} =$$

$$\frac{K_p \cdot 2T_0 \cdot z(z-1) + K_i \cdot T_0^2 \cdot z(z+1) + K_d \cdot 2T_0(z-1)}{2T_0 \cdot z(z-1)}$$

Як бачимо з виразу, якщо в сигналі будь-якого цифрового регулятора присутній інтеграл від вхідного сигналу регулятора, то в передавальній функції один з коренів характеристичного рівняння (яке ми отримуємо шляхом прирівнювання знаменника до нуля) буде дорівнювати одиниці. У випадку використання декількох послідовно включених інтеграторів, корінь  $z = 1$ , буде мати кратність рівну кількості послідовно включених інтеграторів. [3]

## 2.7. Параметричний синтез ЦСАК

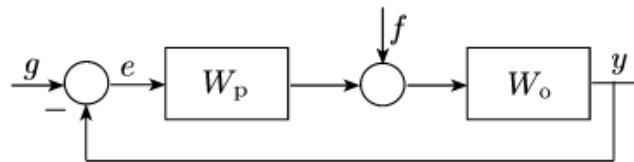
Методика синтезу цифрової системи автоматичного управління полягає у наступних положеннях:

1. Виходячи з фізичного змісту задачі та типу математичної моделі об'єкту управління формується структура ЦСАК;
2. Виходячи з фізичного змісту умов функціонування об'єкту управління обирається еталонна вхідна дія;
3. Обирається модель бажаної зміни в часі сигналів, що діють в ЦСАК;
4. Формуються показники (критерії) якості функціонування ЦСАК;
5. Обирається алгоритм обробки сигналів, які знімаються з математичної моделі бажаної поведінки ЦСАК та з математичної моделі, яка відповідає реальній ЦСАК;
6. Виконується імітаційне моделювання процесу функціонування ЦСАК під дією факторів, які не було враховано під час її параметричної оптимізації. [3]

## 2.8. Особливість методу бажаних передавальних функцій

Теорія автоматичного управління, як і будь-яка теорія, має справу не з реальними інженерними конструкціями, а з їх моделями. Тому питання математичного опису та проектування систем управління для різних об'єктів є актуальними.

Метою виконання дипломної роботи є застосування теоретичних положень теорії управління для синтезу безперервної системи управління методом бажаної передавальної функції.



Метод бажаної передавальної функції полягає в тому, що маючи передавальну функцію об'єкта  $W_o(s)$  і задану бажану передавальну функцію  $W_{ж}(s)$  можна отримати передавальну функцію регулятора  $W_p(s)$  з рівності передавальної функції  $W_{yg}(s)$  замкнутої системи (див. Рис. 2.3.) бажаної передавальної функції:

$$W_{yg}(s) = \frac{W_p(s)W_o(s)}{1 + W_p(s)W_o(s)} = W_{ж}(s);$$

Вирішивши цю рівність щодо передавальної функції регулятора, отримаємо:

$$W_p(s) = \frac{1}{W_o(s)} \frac{W_{ж}(s)}{1 - W_{ж}(s)};$$

або, якщо прийняти  $W_o(s) = P(s)/R(s)$ ,

$$W_p(s) = \frac{R(s)}{P(s)} \frac{W_{ж}(s)}{1 - W_{ж}(s)};$$

При завданні передавальної функції  $W_{ж}(s)$  і визначенні передавальної функції регулятора  $W_p(s)$  необхідно враховувати фізичну здійснимість визначеного регулятора і грубість синтезованої системи:

- Передавальна функція фізично виконується, якщо її відносний порядок, рівний різниці ступеня знаменника і ступеня чисельника, не негативний;
- При використанні методу синтезу системи за бажаною передавальною функцією не можна допускати порушення грубості, тобто компенсації правих полюсів і нулів передавальної функції об'єкта відповідно правим полюсам і нулям передавальної функції регулятора. [3]

Бажана передавальна функція повинна бути визначена виходячи із заданих вимог до якості синтезованої системи.

## 2.9. Синтез ЦСАК на основі вибору бажаної передавальної функції

### Поліноміальні рівняння синтезу

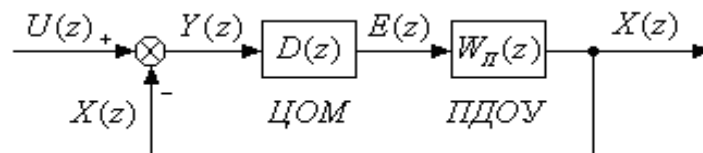


Рис. 2.7. Загальна структура замкненої системи ЦСАК:

$P$  – регулятор, ПДОУ – приведений дискретний ОУ

Передавальна функція ЦСАК обчислюється за виразом:

$$H_x(z) = \frac{D(z) \cdot W_{\Pi}(z)}{1 + D(z) \cdot W_{\Pi}(z)}$$

Припустимо, що передавальна функція замкненої ЦСАК обрана і дорівнює бажаній (еталонній):  $H_x(z) = H_B(z)$ . І при цьому передавальна функція ОУ відома з точністю до номінальних значень параметрів ОУ:

$$W_{\Pi} = W_{\Pi_0}(z) = \frac{P_0(z)}{Q_0(z)} z^{-s_{\Pi}},$$

де  $s_{\Pi}$  - запізнення в ОУ.

Із записаного виразу можливо обчислити передавальну функцію ЦОМ:

$$D(z) = \frac{1}{W_{\Pi_0}(z)} \cdot \frac{H_B(z)}{1 - H_B(z)} = \frac{Q_0(z)}{P_0(z)} \cdot z^{s_{\Pi}} \cdot \frac{H_B(z)}{1 - H_B(z)} = \frac{Q_{0+}(z)}{P_{0+}(z)} \cdot \frac{Q_{0-}(z)}{P_{0-}(z)} \cdot z^{s_{\Pi}} \cdot \frac{H_B(z)}{1 - H_B(z)}.$$

При цьому виконана факторизація поліномів  $Q_0(z)$  і  $P_0(z)$ , тобто їх представлення у вигляді:

$$Q_0(z) = Q_{0+}(z) \cdot Q_{0-}(z), \text{ та } P_0(z) = P_{0+}(z) \cdot P_{0-}(z),$$

де  $Q_{0+}(z), P_{0+}(z), Q_{0-}(z), P_{0-}(z)$  - поліноми, у яких корені розташовані всередині кола одиничного радіусу (індекс „+”) та поліноми, корені яких розташовані на та поза колом одиничного радіусу (індекс „-”).

$$\text{Припустимо, що } H_B(z) = A(z) \cdot \frac{M(z)}{G(z)} e^{-s_B}, \text{ } 1 - H_B(z) = B(z) \cdot \frac{N(z)}{G(z)}.$$

Тоді для обчислення параметрів передавальної функції ЦОМ та бажаної передавальної функції замкненої ЦСАК можливо використовувати наступне поліноміальне рівняння:

$$G(z) \cdot z^{s_B} = A(z) \cdot M(z) + B(z) \cdot N(z) \cdot z^{s_B},$$

де  $s_B$  - бажане запізнення.

Розглянемо умови фізичної реалізуємості  $H_B(z)$ , тобто умови, яким повинна задовольняти бажана передавальна функція для того, щоб була можливість реалізувати передавальну функцію ЦОМ (алгоритм регулятора). [6]

Умови реалізації:

**1.** Виходячи з фізичного змісту запізнення, яке може існувати в реальному ОУ, бажана передавальна функція повинна мати запізнення не менше, ніж в реальному ОУ:  $s_B \geq s_{\Pi}$ .

2. Виходячи із умови фізичної реалізації алгоритму роботи ЦОМ, тобто передавальної функції  $D(z)$  порядок бажаної передавальної функції замкненої системи  $n_B$  повинен бути не меншим, ніж порядок передавальної функції ОУ:  $n_B \geq n_{II}$ .

Порядком передавальної функції називають різницю степенів поліномів знаменника та чисельника передавальної функції. [6]

Розглянемо додаткові умови, яким повинна задовольняти  $H_B(z)$ , для того, щоб ЦСАК набула спеціальних властивостей.

1. „Грубість” ЦСАК – нечуттєвість ЦСАК до відхилення параметрів ОУ від розрахункових значень (тобто незалежність ЦСАК від варіації параметрів ОУ).

ЦСАК називають „грубою”, коли при малих параметричних збуреннях виникають малі зміни величин, які характеризують стан системи (якість процесу управління). [3]

Припустимо, що  $A(z) = P_{0-}(z)$ ;  $B(z) = Q_{0-}(z)$ , це означає, що ми залишаємо в бажаній передавальній функції нулі та полюси, що перебувають на та поза колом одиничного радіусу, тому що їх недокомпенсація призводить до нестійкості системи.

Тоді  $D(z)$  набуває вигляду:

$$D(z) = \frac{Q_{0+}(z)}{P_{0+}(z)} \cdot \frac{M(z)}{N(z)} \cdot e^{-(s_B - s_{II})}$$

Поліноміальне рівняння синтезу набуває вигляду:

$$G(z) \cdot z^{s_B} = P_{0-}(z) \cdot M(z) + Q_{0-}(z) \cdot N(z) \cdot z^{s_B}.$$

Це перше поліноміальне рівняння синтезу алгоритму ЦОМ.

2. „Грубість” та виключення додаткових перехідних процесів в управляючому сигналі на виході ЦОМ. Це означає, що

$$A(z) = P_{0-}(z) \cdot P_{0+}(z) = P_0(z);$$

$$B(z) = Q_{0-}(z);$$



$$D(z) = Q_{0+}(z) \cdot \frac{M(z)}{N(z)} \cdot e^{-(s_B - s_{II})}.$$

Поліноміальне рівняння синтезу набуває вигляду:

$$G(z) \cdot z^{s_B} = P_0(z) \cdot M(z) + Q_{0-}(z) \cdot N(z) \cdot z^{s_B}.$$

і носить назву другого поліноміального рівняння синтезу алгоритму ЦОМ, який задається передавальною функцією  $D(z)$ .

3. „Грубість”, виключення додаткових перехідних процесів на виході ЦОМ та виключення у вихідному сигналі замкненої системи додаткових перехідних процесів, викликаних варіацією параметрів ОУ. Тоді

$$A(z) = P_{0-}(z) \cdot P_{0+}(z) = P_0(z);$$

$$B(z) = Q_{0-}(z) \cdot Q_{0+}(z) = Q_0(z);$$

$$D(z) = \frac{M(z)}{N(z)} \cdot e^{-(s_B - s_{II})}.$$

Поліноміальне рівняння синтезу набуває вигляду:

$$G(z) \cdot z^{s_B} = P_0(z) \cdot M(z) + Q_0(z) \cdot N(z) \cdot z^{s_B}.$$

і називається третім поліноміальним рівнянням синтезу алгоритму ЦОМ, який задається передавальною функцією  $D(z)$ . [6]

4. „Грубість”, виключення додаткових перехідних процесів на виході ЦОМ та у вихідному сигналі замкненої системи, викликаних варіацією параметрів ОУ та виконання вимоги забезпечення нульової вимушеної помилки при поліноміальній вхідній дії.

Припустимо, що  $A(z) = P_0(z)$ ;  $B(z) = Q_0(z) \cdot (z-1)^{s_a}$ ,

де  $s_a$  – степінь астатизму.

Тоді передавальна функція ЦОМ набуває вигляду:

$$D(z) = (z-1)^{-s_a} \cdot \frac{M(z)}{N(z)} \cdot e^{-(s_B - s_{II})}.$$

Поліноміальне рівняння синтезу набуває вигляду:

$$G(z) \cdot z^{s_B} = P_0(z) \cdot M(z) + Q_0(z) \cdot N(z) \cdot (z-1)^{s_a} \cdot z^{s_B}.$$

Це четверте поліноміальне рівняння синтезу алгоритму ЦОМ.

Зазвичай  $G(z)$  задають у вигляді:

$$G(z) = z^k;$$

$$G(z) = (z+a)^k, \quad |a| < 1;$$

$$G(z) = z^{k-1} \cdot (z+a)^k, \quad |a| < 1$$

для забезпечення стійкості та мінімального часу тривалості перехідних процесів в ЦСАК.

5. Якщо  $G(z) = z^k$ , то корінь характеристичного поліному бажаної ЦСАК  $z=0$  має кратність “к”. Це означає, що перехідний процес теоретично буде тривати кінцевий час, і в цьому випадку кажуть, що ЦСУ має імпульсну характеристику із кінцевим часом тривалості.

Наприклад:

$$H_0(z) = \frac{b_0 z + b_1}{a_0 z} = \left( \frac{b_0}{a_0} \right) + \left( \frac{b_1}{a_0} \right) z^{-1}.$$

Тоді

$$X(z) = H(z) \cdot U(z)$$

і при умові, що  $U(z)=1$  (це означає  $U(n) = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$ , тобто на вході системи діє

дискретна імпульсна функція), можливо обчислити імпульсну характеристику

системи за виразом:

$$Z^{-1}[X(z)] = Z^{-1}[H(z) \cdot U(z)] = \left( \frac{b_0}{a_0} \right) \cdot U(n) + \left( \frac{b_1}{a_0} \right) \cdot U(n-1) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow X(n) = \left( \frac{b_0}{a_0} \right) \cdot U(n) + \left( \frac{b_1}{a_0} \right) \cdot U(n-1).$$

Виконаємо обчислення імпульсної характеристики для декількох початкових кроків:

$$1) \begin{cases} X(n) = \left(\frac{b_0}{a_0}\right)U(0) + \left(\frac{b_1}{a_0}\right)U(-1) = \frac{b_0}{a_0}; \\ n=0 \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} X(n) = \left(\frac{b_0}{a_0}\right)U(1) + \left(\frac{b_1}{a_0}\right)U(0) = \frac{b_1}{a_0}; \\ n=1 \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} X(n) = \left(\frac{b_0}{a_0}\right)U(2) + \left(\frac{b_1}{a_0}\right)U(1) = 0; \\ n=2 \end{cases}$$

і так далі при  $n > 2 \Rightarrow X(n) = 0$ .

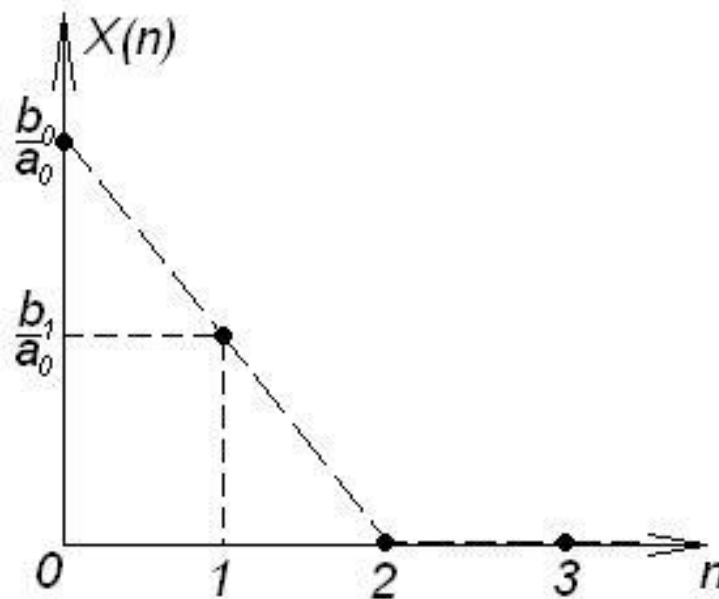


Рис. 2.8. Графічна ілюстрація кінцевого часу тривалості імпульсної характеристики

## **Висновок**

При проектуванні системи управління, її основне завдання полягає в забезпеченні такого режиму роботи, при якому вихідні параметри системи відповідають вхідному сигналу задання. (На вхід системи подається координата, яку необхідно відслідковувати (напрямок руху БПЛА), а на виході необхідно досягти заданий рівень координати з мінімальною помилкою). Традиційним методом забезпечення такого режиму роботи є використання зворотного зв'язку для створення сигналу помилки між вхідним і вихідним сигналами. Обчислений сигнал помилки обробляється регулятором, який на основі цього виробляє керуючий сигнал, що надходить на об'єкт регулювання. Регулятор повинен виробляти керуючий сигнал таким чином, щоб звести сигнал помилки між вхідним і вихідним сигналами помилки до нуля. Таким чином використання методу бажаної передавальної функції дозволяє обрати регулятор таким чином, щоб мінімізувати помилку регулювання.

## РОЗДІЛ 3

### ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

#### **3.1. Методика параметричного синтезу цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі**

1. Згідно фізичного змісту задачі задати структуру цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі.

2. Згідно фізичного змісту задачі задати вхідну дію.

3. Дослідити еталонні процеси на тривалість та величину перегулювання.

4. Обрати математичну модель бажаної зміни в часі вихідного сигналу цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі.

5. Обрати інтегральний показник якості функціонування цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі

6. Виконати первинне налаштування параметрів цифрових регуляторів внутрішнього (ЦПД1) та зовнішнього контурів (ЦПД2) із використанням методу Зіглера-Ніколса.

7. Скористатися методом прямого пошуку (метод Хука-Дживса) для параметричного синтезу цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі

8. Виконати імітаційне моделювання процесу функціонування синтезованої цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі.

9. Висновки.



### 3.2.2. Згідно фізичного змісту задачі задати вхідну дію.

Побудуємо комп'ютерну математичну модель ЦСАК із ступінчатою еталонною вхідною дією (рис.3.2).

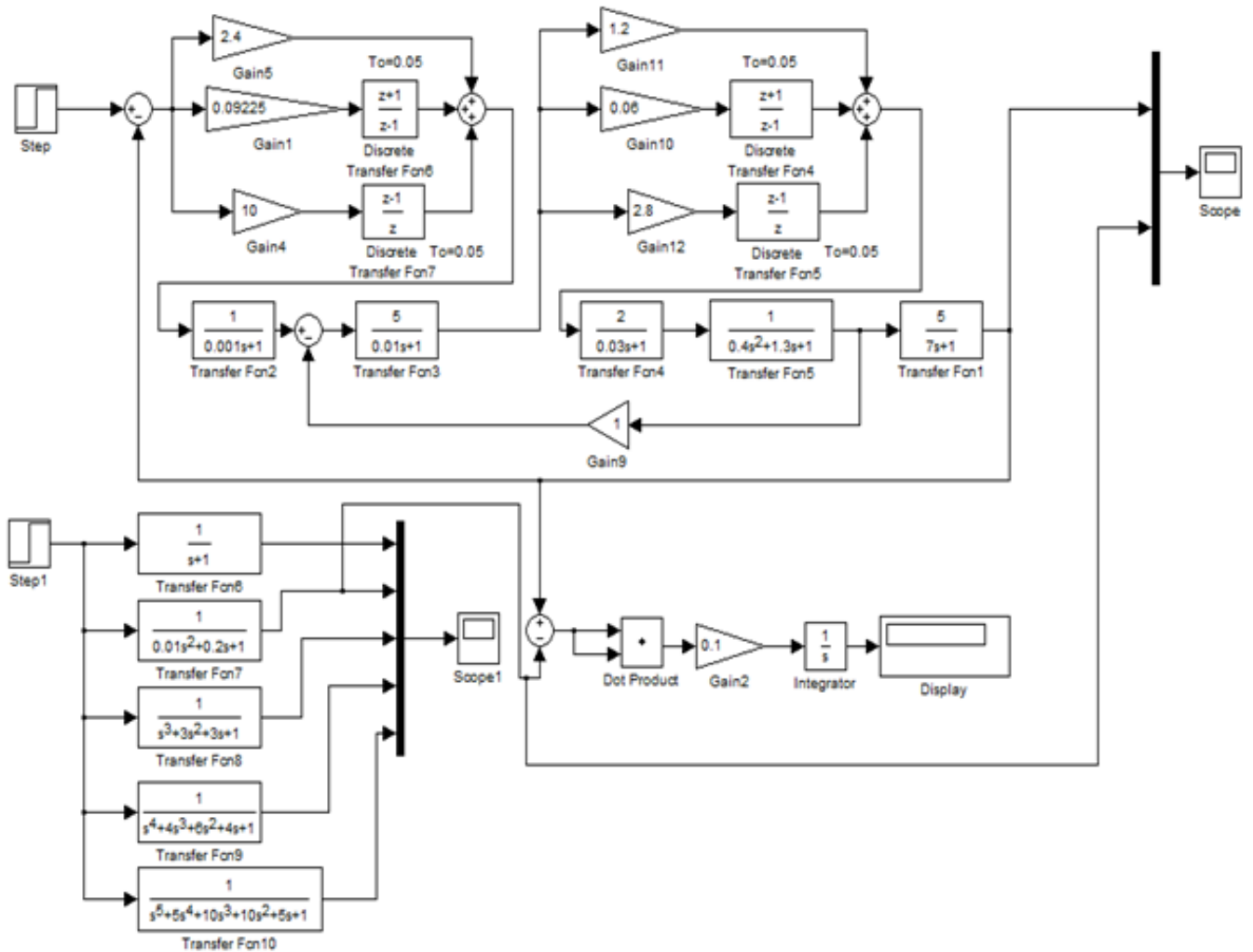


Рис. 3.2. Побудова ЦСАК в Matlab+Simulink

**3.2.3. Дослідити еталонні процеси на тривалість та величину перегулювання. Обираємо математичну модель бажаної зміни в часі вихідного сигналу ЦСАК**

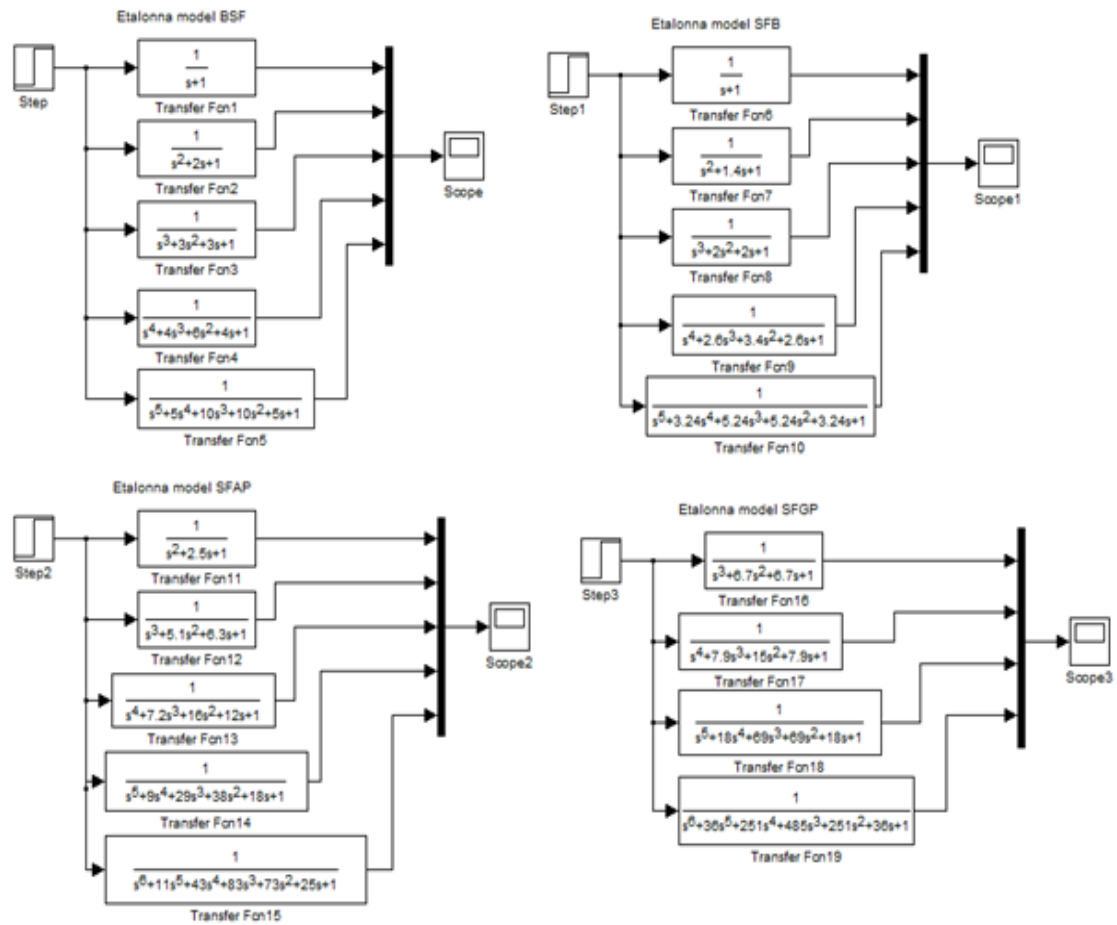
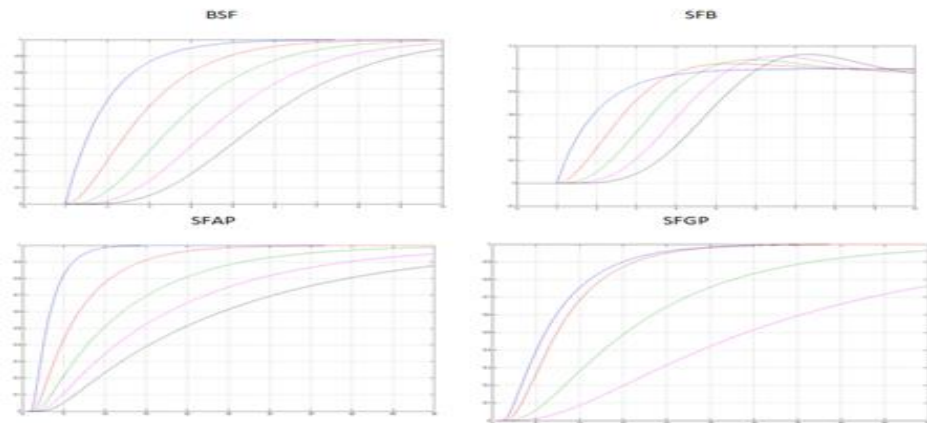


Рис.3.3. Еталонні моделі ЦСАК





### Рис. 3.4. Графіки еталонних моделей

3.2.4. Обираємо математичну модель бажаної зміни в часі вихідного сигналу цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі.

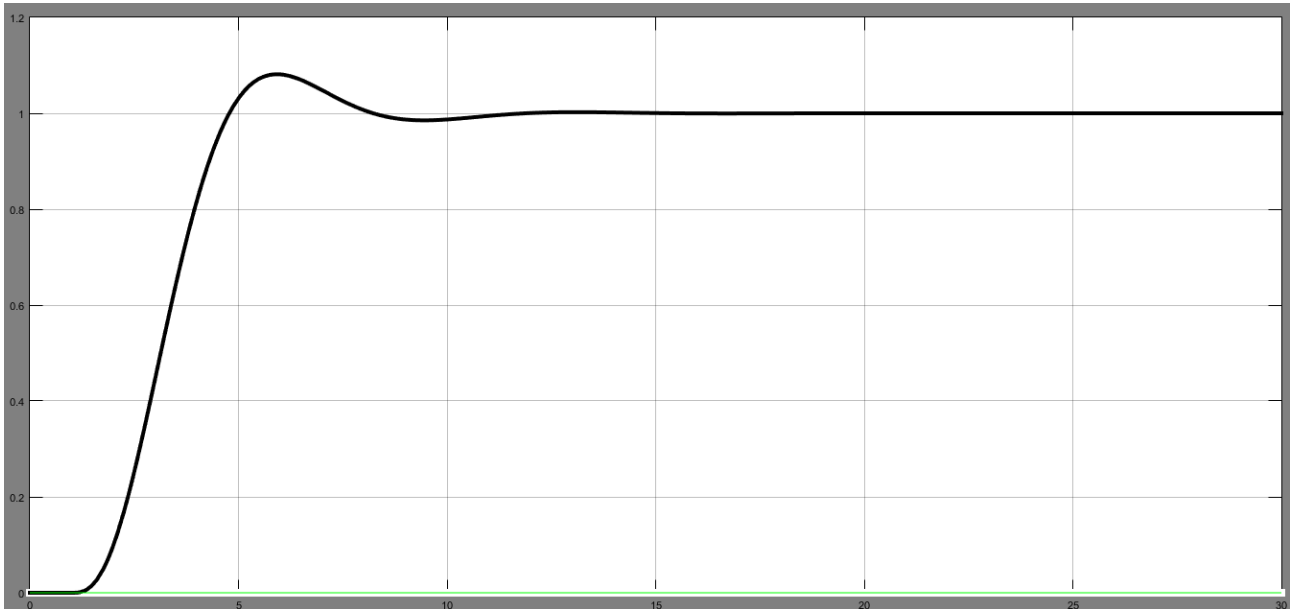


Рис. 3.5. Підібрана бажана модель

**3.2.5. Обираємо інтегральний показник якості функціонування цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі: усереднений в часі інтеграл від квадрату відхилення процесу на виході ЦСАК від еталонного процесу.**

**3.2.6. Виконуємо первинне налаштування параметрів цифрових регуляторів внутрішнього (ЦПД<sub>1</sub>) та зовнішнього контурів (ЦПД<sub>2</sub>) із використанням методу Зіглера-Ніколса.**

**3.2.7. Методика обчислення першого наближення до оптимальних значень параметрів цифрових регуляторів внутрішнього (ЦПД<sub>1</sub>) та зовнішнього контурів (ЦПД<sub>2</sub>) із використанням методу Зіглера-Ніколса.**

1. Побудувати модель внутрішнього контуру цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі і виконати налаштування ЦПД<sub>1</sub> із використанням методу Зіглера-Ніколса.

2. Побудувати модель цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі і виконати налаштування ЦПД<sub>2</sub> із використанням методу Зіглера-Ніколса.

3. Метод Зіглера-Ніколса:

**Етап 1:** Встановити значення коефіцієнтів ЦПД - регулятора  $K_i=0$ ,  $K_d=0$ , а значення коефіцієнта  $K_p$ , починаючи із  $K_p=1$ , змінювати до того значення  $K_0$ , при якому система стане коливальною і можливо виділити приблизно 5-7 точок перетину графіку перехідного процесу зі сталим рівнем.

**Етап 2:** При  $K_p = K_0$  (система стала коливальною і можливо виділити приблизно 5-7 точок перетину графіку перехідного процесу зі сталим рівнем) необхідно виміряти по графіку перехідного процесу період коливань цього процесу. Позначимо цей період  $P_0$ .

**Етап 3:** Обчислити раціональні значення коефіцієнтів ЦПД - регулятора ( $K_i$ ,  $K_d$ ,  $K_p$ ):

1.  $K_p = 0,6 \cdot K_0$

2.  $K_i = 1,2 \cdot (K_0 / P_0) (T_0 / 2)$

3.  $K_d = (0,075 \cdot K_0 \cdot P_0) / T_0$

В результаті отримано наступні значення параметрів: ЦПД<sub>1</sub>-регулятора внутрішнього контуру  $k_{p1}=1.8$ ;  $k_{i1} = 0.1125$ ;  $k_{d1} = 3.6$  та ЦПД<sub>2</sub>-регулятора зовнішнього контуру  $k_{p2}= 0.6$ ;  $k_{i2} = 0.0125$ ;  $k_{d2} = 3.6$ .

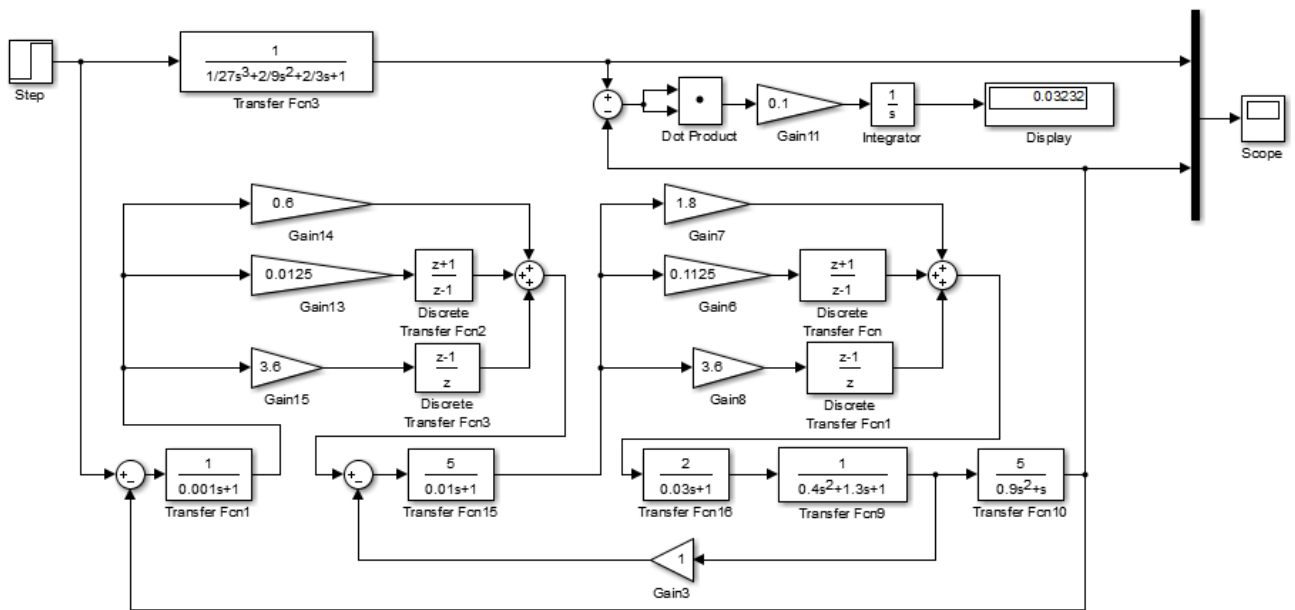


Рис. 3.6. Модель ЦСАК

### 3.2.8. Параметричний синтез виконуємо із використанням моделі

#### Чисельні методи

Чисельні методи відіграють значну роль у прикладних дослідженнях. Це обумовлено рядом причин, серед яких головне місце займає різноманіття функцій  $f(X)$  та  $g_i(X)$ ,  $i = \overline{1, m}$ , а також форм їх завдання. В окремих випадках навіть важко визначити, до якого класу відноситься та чи інша задача, а також чи існує для неї обґрунтований метод розв'язання.

Розроблено багато чисельних методів для задач як безумовної, так й умовної оптимізації. Природним є бажання вибрати для розв'язання конкретної задачі найкращий метод, який дозволяє отримати розв'язок із необхідною точністю з максимальним використанням потужності ЕОМ.

Якість чисельних методів характеризується багатьма факторами: швидкість збіжності, час виконання однієї ітерації, обсяг пам'яті ЕОМ, який є необхідним для реалізації методу, клас задач, що розв'язуються і т. ін. Розв'язувані задачі

також дуже різноманітні: вони можуть мати велику чи малу вимірність, бути унімодальними чи багатоекстремальними тощо. Один і той же метод, що є ефективним для розв'язання задач одного типу, може бути зовсім непридатним для задач іншого типу.

Було запропоновано декілька функцій, які через свої властивості є тестовими для чисельних методів. Прикладом таких функцій є

– функція Розенброка:

$$Z = f(x_1, x_2) = 100(x_2 - x_1^*)^2 + (1 - x_1)^2, \quad X = (1,1) \quad (3.1)$$

– функція Пауелла:

$$Z = f(x) = (x_1 + 10x_2)^2 + 5(x_3 - x_4)^2 + (x_1 - x_4)^4 + 10(x_1 - x_4)^4, \\ X = (0,0,0,0). \quad (3.2)$$

Будь-яка оптимізаційна процедура має ефективно розв'язувати задачі (3.1), (3.2) та інші тестові задачі.

Методи оптимізації поділяють на класи залежно від інформації, що використовується. Якщо на кожній ітерації використовується лише значення функцій, то метод називається методом нульового порядку. Якщо, крім того, буде потрібним обчислення перших похідних функцій, то мають місце методи першого порядку, при необхідності додаткового обчислення других похідних — методи другого порядку.

#### *Методи нульового порядку*

Будемо вести мову про пошук мінімального значення функції  $n$  змінних.

У методах нульового порядку для визначення напрямку спуску не потрібне обчислення похідних цільової функції. Напрямок мінімізації повністю визначається послідовними обчисленнями значень функції. Зазначимо, що при розв'язанні задач безумовної оптимізації методи першого та другого порядку мають, як правило, більш високу швидкість збіжності, ніж методи нульового порядку. Але виникає проблема щодо обчислення перших та других похідних функцій

багатьох змінних. В деяких випадках їх не можна отримати у вигляді аналітичних функцій. Визначення похідних за допомогою різних чисельних методів спричиняє помилки, які можуть обмежити застосування таких методів. Крім того, на практиці зустрічаються задачі, розв'язання яких можливе лише методами нульового порядку, наприклад, задачі мінімізації функцій із розривними першими похідними, Критерій оптимальності може задаватися не в явному вигляді, а системою рівнянь. У цьому випадку аналітичне або чисельне визначення похідних стає надто складним, а іноді й неможливим. Для розв'язання таких практичних задач оптимізації рекомендується застосувати методи нульового порядку.

*Метод прямого пошуку (метод Хука-Дживса)*

Пошук (наприклад мінімуму) складається з послідовності кроків дослідного пошуку навколо базисної точки, за яким у випадку успіху іде пошук за зразком.

Суть методу. Задається деяка початкова точка  $X(0)$ . Змінюючи компоненти вектора  $X(0)$ , обслідується окіл обраної точки, в результаті чого знаходиться напрям, в якому зменшується функція  $Z = f(X)$ . У вибраному напрямі здійснюється спуск доти, поки значення функції зменшується. Після того, як у даному напрямі не знаходиться точка з меншим значенням функції, зменшується величина кроку спуску. Якщо послідовні дроблення кроку не призводять до зменшення функції, від вибраного напрямі спуску відмовляються і здійснюється нове обстеження околу і т. д.

Метод не потребує знання цільової функції в явному вигляді, дозволяє легко враховувати обмеження на окремі змінні, а також складні обмеження на допустиму область пошуку.

Недоліком методу є те, що у випадку сильно витягнутих, зігнутих ліній рівня цільової функції, він може не забезпечити рух до точки мінімуму.

Алгоритм методу прямого пошуку такий:

1. Задаються значення координат  $x_j(0)$ ,  $j = \overline{1, n}$  початкової точки  $X(0)$ , вектором зміщення координат  $DX$  у процесі обстеження околу, найменшим допустимим значенням  $\epsilon$  компонент  $DX$ .

2. Покладаючи, що  $X(0)$  є базисною точкою  $X^b$ , обчислюють  $f(X^b)$ .

3. Циклічно змінюють кожен координату  $x_j^b$ ,  $j = \overline{1, n}$ , базисної точки  $X^b$  на величину  $Dx_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ , тобто  $x_j(0) = x_j^b + Dx_j$ ,  $x_j(0) = x_j^b - Dx_j$ . При цьому обчислюються значення  $f(X(k))$  і порівнюються з  $f(X^b)$ . Якщо  $f(X(k)) < f(X^b)$ , то відповідна координата  $x_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  приймає нове значення, яке обчислюється за одним із наведених вище виразів. Такий крок вважають успішним. В протилежному випадку значення цієї координати залишається незмінним. Якщо після змінення останньої  $n$ -ї координати  $f(X(k)) < f(X^b)$ , то переходять до п.4. В протилежному випадку – до п.7.

4. Покладають, що  $X(k)$  є новою базисною точкою  $X^b$ , обчислюють  $f(X^b)$  і здійснюють пошук за зразком.

5. При пошуку за зразком використовується інформація. Отримана в процесі дослідження, і мінімізація функції завершується пошуком у напрямі, який задається зразком. Ця процедура здійснюється так: здійснюється спуск із точкою  $X(k)$ ,  $x_j(k+1) = 2x_j(k) - x_j^b$ ,  $j = \overline{1, n}$ , де  $x_j^b$  – координати попередньої базисної точки, обчислюється значення  $f(X(k+1))$ .

6. Як і в п.3, циклічно змінюють кожен координату точки  $X(k+1)$ , здійснюючи порівняння відповідних значень функції  $f(X)$  із значенням  $f(X(k+1))$ , яке отримано в п.5. Після змінення координати порівнюють

відповідне значення функції  $f(X(k+1))$  із значенням  $f(X^b)$ , отримано в п.4.

Якщо  $f(X(k+1)) < f(X^b)$ , то переходять до п.4, в протилежному випадку – до п.7.

7. Порівнюють значення  $DX$  та  $e$ . Якщо  $DX < e$ , то обчислення припиняють. Вважаючи  $X(k+1)$  – розв’язком. У протилежному випадку зменшують значення  $DX$  на  $DX / 2$  і переходять до п.3.

На практиці задовільним є зменшення кроку (кроків) у десять разів від початкової довжини.

В результаті отримано наступні значення параметрів ЦПД-регуляторів відповідно внутрішнього та зовнішнього контурів:  $k_{p1} = 0,35$ ;  $k_{i1} = 0,000125$ ;

$k_{d1} = 2$  та  $k_{p2} = 2$ ;  $k_{i2} = 0,1125$ ;  $k_{d2} = 6$ .

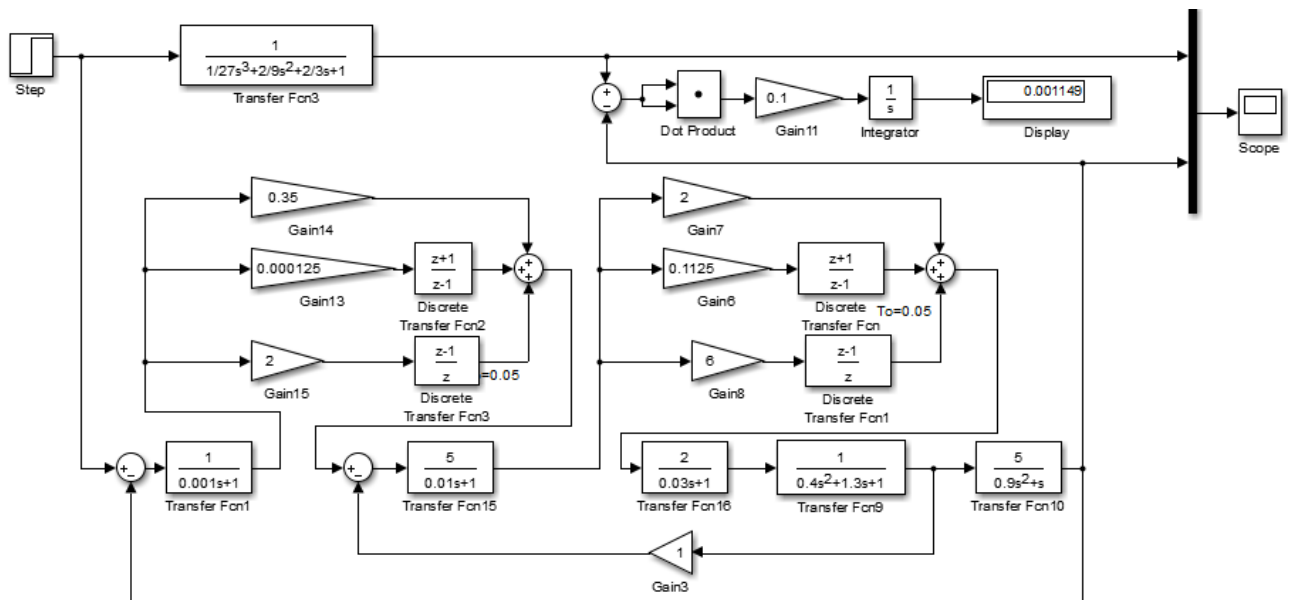
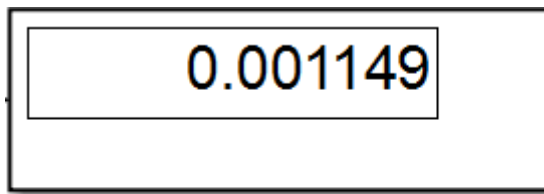


Рис. 3.7. Схема програми з бажаною моделлю



Display

Рис. 3.8. Результат оптимізації

### 3.3. Імітаційне моделювання процесу ЦСАК під дією факторів, які не було враховано при параметричному синтезі ЦСАК.

Будуємо імітаційну математичну модель двоконтурної цифрової системи стабілізації руху БПЛА у вертикальному каналі із врахуванням дії АЦП та ЦАП (рис. 3.9 та 3.10).

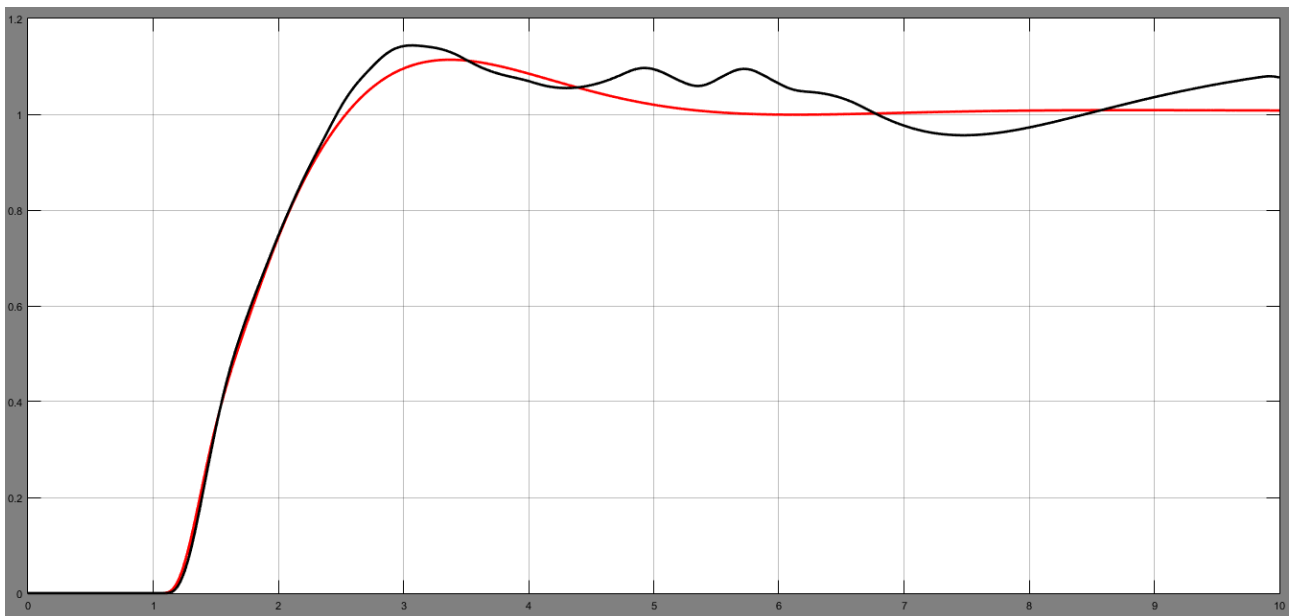


Рис. 3.9. Вихідний сигнал ЦСАК та еталонний сигнал BSF2



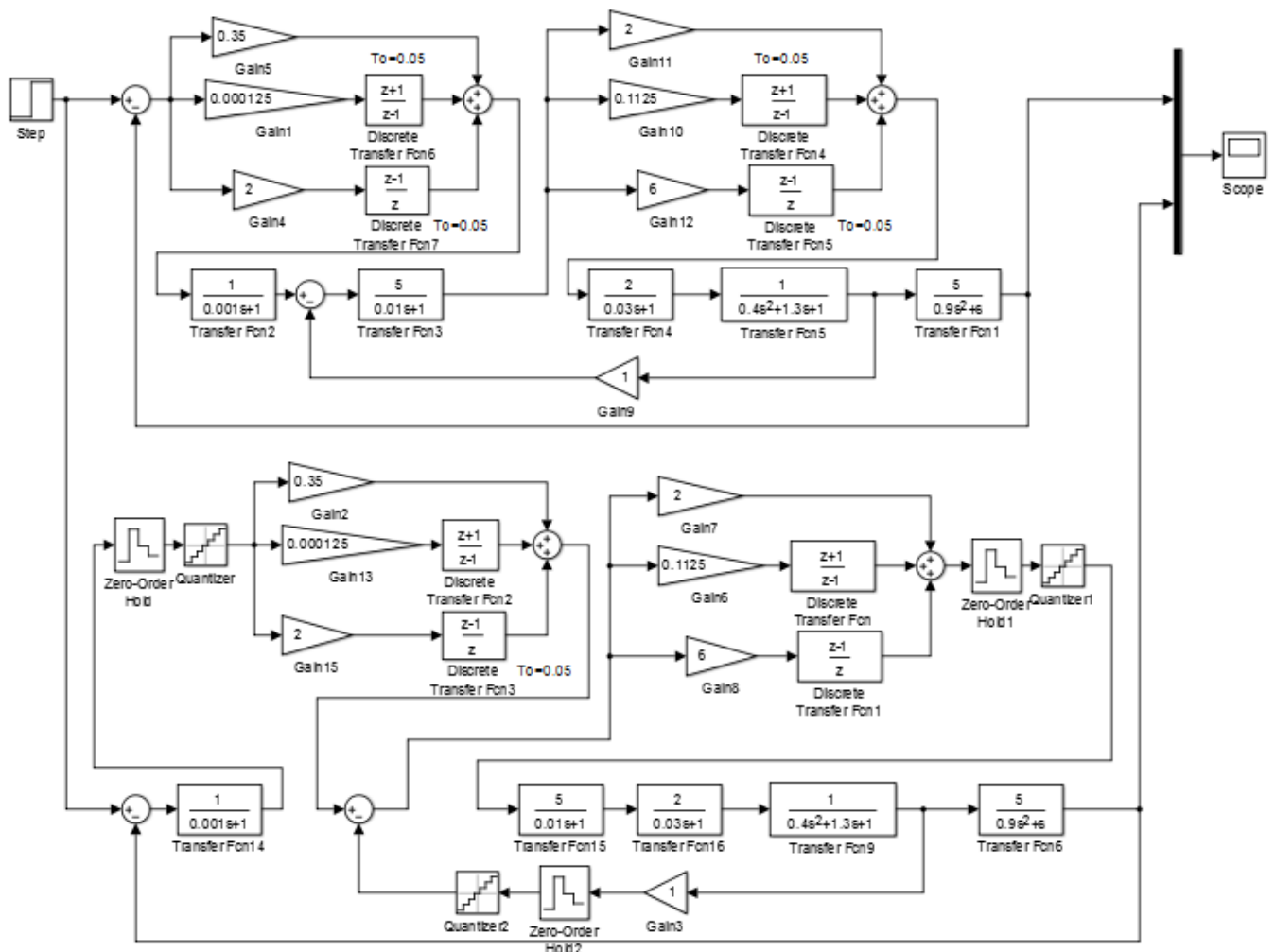


Рис. 3.10. Комп'ютерна математична модель із імітацією дії АЦП та ЦАП

Моделюємо дію АЦП та ЦАП і підбираємо крок квантування за рівнем для цих перетворювачів серед наступних значень: 0,1; 0,01; 0,3( рис. 3.11 та 3.12).

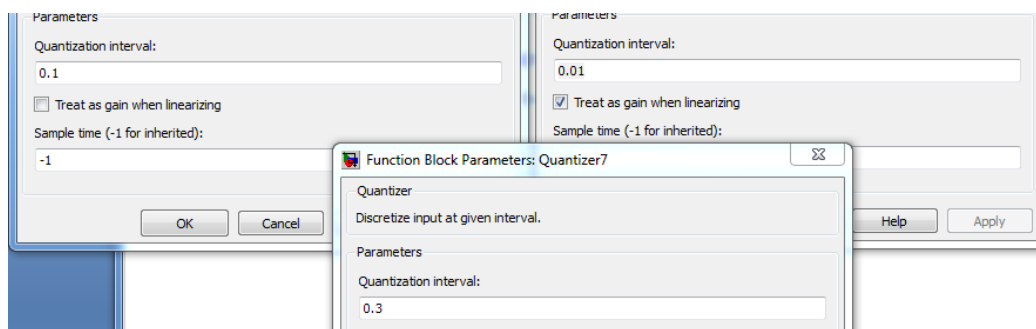


Рис. 3.11. Значення кроку квантування за рівнем

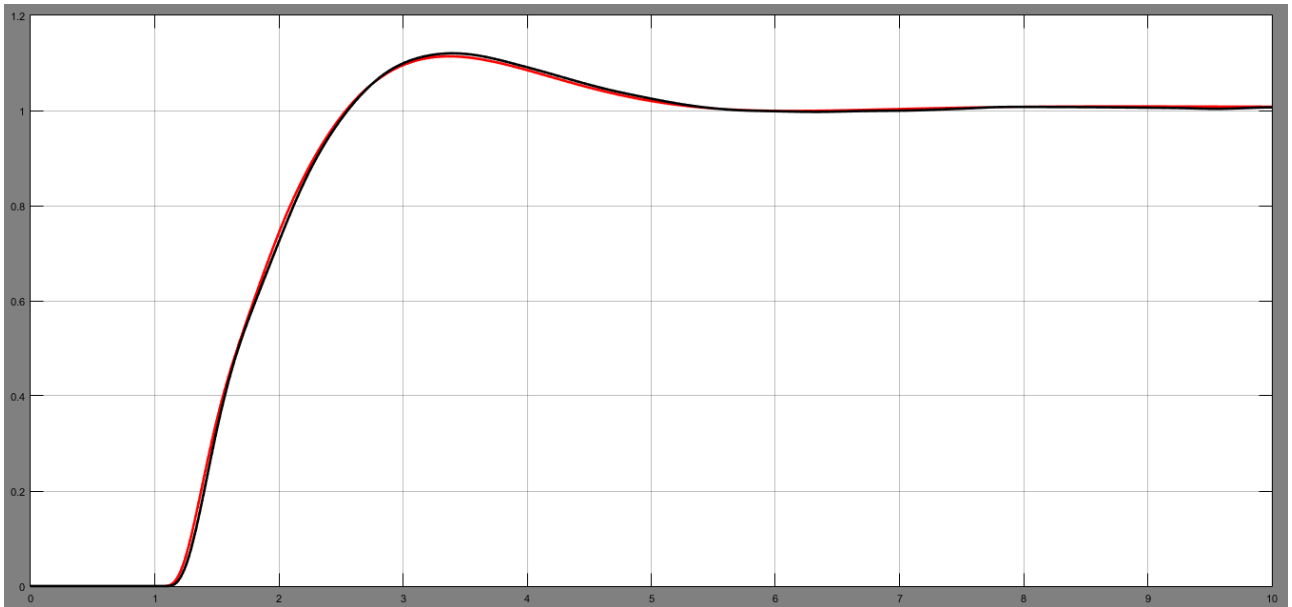


Рис. 3.12. Моделювання дії АЦП та ЦАП:  
найкращий крок квантування дорівнює 0,01

### **Висновок**

Для виконання імітаційного моделювання було використано систему комп'ютерної математики Matlab plus Simulink: бібліотека неперервних та дискретних систем.

В ході комп'ютерного експерименту було обрано крок квантування за часом із використанням умови теореми про квантування де верхня границя частоти сигналу який поступає на вхід АЦП було обрано із використанням логарифмічно амплітудно-частотної характеристики аналогової САУ прототипу.

В ході імітаційного експерименту було обрано крок квантування за рівнем для АЦП та ЦАП при якому майже не відбувається спотворення розрахункового перехідного процесу.

В якості бажаного перехідного процесу було використано перехідний процес на виході моделі BSF2 із використанням параметру що дозволив зменшити час тривалості бажаного процесу у 10 разів.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сінгхал Г. Класифікація безпілотних літальних апаратів, їх застосування та складності використання. / Сінгхал Г., Бенсод Б., Метью Л. – «Препринтс», 2018. – 19 с.
2. Котарські Д. Міжнародний журнал теоретичної та прикладної механіки. / Котарські Д., Пілжек П., Кржнар М., – Карловацький університет прикладних наук, 2016 – 6 с.
3. Чередніченко Д.А. «Цифрова система стабілізації руху мінідрону»: дипломний проект на здобуття освітнього ступеню «Бакалавр» зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 2019. – 34 с.
4. Зінченко О.М. Безпілотні літальні апарати: застосування в цілях аерофотозйомки для картографування (частина 1) / Зінченко О.М. // Ракурс. – 2011. – С. 1-12
5. Федоров С.М. Автоматичні системи з цифровими обчислювальними машинами / С.М. Федоров. -М.: Енергія, 1965. – 308 с.
6. Водоп'ян С.В. Поліноміальний синтез алгоритмів управління на основі оцінювання для замкнених автоматичних систем / С.В. Водоп'ян, Ю.О. Пушкар'єв, Д.В. П'ясковський // Проблеми створення, випробування та експлуатації складних інформаційних систем космічного та наземного базування. – Житомир: ЖВІРЕ, 1999. –№ 2. – С.68-74.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **4.1. Небезпечні і шкідливі фактори з охорони праці для безпілотних літальних апаратів**

У дипломній роботі розглядається процес створення цифрової системи автоматичного керування безпілотного літального апарату. Безпілотний літальний апарат – літальний апарат, який літає та сідає без фізичної присутності пілота на його борту. Саме тому система автоматичного керування повинна бути створена таким чином, щоб людина майже не контактувала з БПЛА.

Система автоматичного керування БПЛА, яка розглянута в дипломній роботі, забезпечує правильність та плавність переміщення БПЛА в залежності від керування ним за допомогою електричного пульта. Аби забезпечити безперебійну роботу електричного устаткування цієї системи, персонал повинен дотримуватися усіх інструкцій з експлуатації електрообладнання та безпеки.

Для уникнення травматизму, порушення правильності роботи, надзвичайних ситуацій, професійних захворювань та виходу обладнання з ладу, людина яка займається налаштуванням, інтегруванням та ремонтом, повинна дотримуватись чітких інструкцій. До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають медичних протипоказань, пройшли спеціальне навчання, атестацію та мають відповідне посвідчення, пройшли вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані мати відповідну групу з електробезпеки. Знати і уміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується.

Під час налаштування, випробування та налагодження електричного обладнання необхідно чітко дотримуватись Правил експлуатації електроустаткування, Правил техніки безпеки під час експлуатації

електроустаткування споживачів та технологічними процесами.

Під час роботи з електрообладнанням є безліч небезпечних і шкідливих факторів для персоналу, який його обслуговує. Деякі з них:

- ураження електричним струмом;
- падіння під час виконання робіт на висоті;
- підвищена рухливість повітря;
- підвищений рівень статичної напруги;
- опіки під час виконання робіт з ремонту силових кабелів (розігрів кабельної маси);
- травмування обертовими частинами електроприводів, деталей машин і механізмів;
- опіки електричної дугою під час коротких замикань;
- напруженість електричного поля більше 5 кВ/м;
- крокова та наведена напруга;
- підвищення, або зниження температури навколишнього середовища;
- рух транспорту в робочій зоні, під час розташування підстанцій і ПЛ поряд з дорогами та іншими транспортними магістралями;
- недостатність освітлення робочої зони;
- дія хімічних речовин (ацетон);
- недостатня освітленість робочої зони.

Частини інструментів, які ізолювані і використовуються для обслуговування електроустаткування, повинні бути виконані з струмопровідних матеріалів.

Під час роботи в вибухонебезпечній зоні використання матеріалів або інструментів, які можуть визвати іскріння заборонено.

Для роботи у темний період часу, для місцевого освітлення ділянки, на якій проводяться роботи, використовують акумуляторні ліхтарі напругою до 12 В у вибухозахищеному вигляді в зонах з підвищеною небезпекою вибуху.

Під час використання абсолютно будь-якого електроустаткування дуже важливим є дотримання правил техніки безпеки. Не можна нехтувати будь-якими несправностями, виявленими в електрообладнанні, таке недбале ставлення, насамперед до самого себе, призводить до травм різного ступеня тяжкості, а іноді й до смертельного результату.

На безпеку роботи великий вплив має навколишнє середовище, в якому експлуатують електроустановки. Агресивні гази, пари руйнують ізоляцію електроустановок, знижують її опір, створюють загрозу переходу напруги на металоконструкції. Цьому сприяють висока температура і вологість повітря, струмопровідна пил.

В свою чергу приміщення, у яких експлуатують електроустаткування поділяють на три основних категорії:

- приміщення з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні приміщення;
- приміщення без підвищеної небезпеки.

Приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом характеризуються наявністю однієї з наступних умов:

- вологості (приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %);

- струмопровідного пилу (технологічна або інший пил осідає на проводах, може проникнути всередину машини і апаратів);

- струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних, цегляних);

- підвищеної температури повітря (довгостроково понад +35°C, короткочасно +40°C);

- можливості дотику людини до металевих корпусів електрообладнання з одного боку і до з'єднаних з землею металоконструкцій будівель, технологічного устаткування, механізмів з іншого.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку: дуже високої відносної вологості повітря (близько 100 %), хімічно активного середовища; або одночасною наявністю двох чи більше умов, що створюють підвищену небезпеку.

Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють підвищену або особливу небезпеку (сухі адміністративні приміщення тощо).

Під час аналізу електротравматизму виділяють чотири основні причини електричних травм, а саме: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні й психофізіологічні. Основні причини електротравматизму в Україні – організаційні та технічні.

Основні організаційні причини це:

- неефективний нагляд – відомчий і громадський контроль за дотриманням вимог безпеки;
- відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці;
- відсутність або несвоєчасність проведення медичного контролю стану здоров'я електроперсоналу;
- порушення вимог стандартів, норм щодо експлуатації електроустановок;
- невиконання заходів щодо охорони праці;
- порушення технологічних регламентів;
- порушення регламентних, планових і ремонтних робіт;
- недостатній технічний нагляд за проведенням небезпечних робіт

До технічних причин відносять:

- розходження з загальними вимогами безпеки;
- несправність електроустановки;
- конструктивні недоліки устаткування;
- відсутність засобів індивідуального захисту;
- відсутність засобів сигналізації.

До санітарно-гігієнічних причин відносять:

- підвищений вміст шкідливих речовин;
- недостатнє або нераціональне освітлення;
- підвищений рівень шуму;
- незадовільні мікрокліматичні умови;
- наявність випромінення.

До психофізичних причин відносять:

- помилкові дії працівників внаслідок втоми;
- невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника виконуваній роботі.

Аналіз виробничих травм показує, що небезпечний фактор для персоналу, що обслуговує електрообладнання, – це ураження електричним струмом. А основними причинами електротравматизму є поява напруги у тих місцях де її не має бути. Причиною цього є порушення ізоляції кабелів, дротів та обмоток. Можливість доторкнутись до неізольованих частин, які проводять струм. Це відбувається коли клеми і шини розташовують не на висоті. Утворення електричної дуги між струмопровідною частиною та людиною.

Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі зі смертельними наслідками, стається під час експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що зумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Аналіз нещасних випадків, які зв'язані з дією електричного струму дозволяє



розділити основні причини у групи:

- випадковий дотик до струмоведучих частин;
- напруга на металевих частинах устаткування;
- помилкове підключення устаткування під напругу під час проведення на ньому ремонтно-профілактичних робіт;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі, на якій знаходиться людина.

Кожна з представлених груп включає в себе конкретні небезпечні фактори, а саме:

- порушення правил влаштування, технічної експлуатації та техніки безпеки електроустановок;
- відсутність надійних засобів захисту;
- недосконалість конструкції електроустановки;
- виконання електромонтажних та ремонтних робіт під напругою;
- несправність ізоляції струмопровідних частин системи;
- помилкове підключення устаткування під напругу під час проведення регламентно-ремонтних робіт;
- інструктажі низької кваліфікації зі сторони робітників, які використовують ручні електричні машини;
- застосування кабелів та проводів, які не відповідають умовам виробництва.

#### **4.2. Технологічні заходи з організації зниження впливу шкідливих виробничих факторів**

Розробка заходів зниження небезпечних факторів означає організацію управління охороною праці. Це дозволяє знизити ризики травматизму нещасних та смертельних випадків, професійних захворювань та виникнення надзвичайних ситуацій.

Забезпечення безпеки досягається завдяки розробці й впровадженню виробничих процесів, які розробляються відповідно до вимог Наказу Міністерства соціальної політики України 28.12.2017 № 2072 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками», а також вимог державних і галузевих стандартів безпеки праці за видами технологічних процесів і робіт, норм і правил органів державного нагляду.

Принципи забезпечення безпеки діяльності можливо характеризувати за групами заходів, які виконуються:

Технічні заходи — технічні засоби, які дозволяють забезпечити безпечні і нешкідливі умови виконання поставленої роботи, впровадження нового обладнання, пристроїв і приладів. Технічні заходи можливо розділити на 2 великі групи:

- засоби під час проведення робіт зі зняттям напруги на діючих електроустановках;
- засоби під час проведення робіт на струмопровідних частинах.

До засобів першої групи відносять:

- вимкнення установки чи частини від джерела живлення електроенергії;
- механічне блокування приводів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання;
- встановлення заземлення (ввимкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень).

До засобів другої групи відносять:

- виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників.

До нормативно-методичних заходів відносять:

- розробка посібників і рекомендацій;
- розробка нормативної бази;
- розробка навчальної методики;
- розробка розділів охорони праці в посадових інструкціях.

До організаційних заходів відносять:

- контроль за технічним станом обладнання;
- контроль за дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці;
- забезпечення відповідними знаками безпеки;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту.

До санітарно-гігієнічних заходів відносять:

- забезпечення санітарно-побутових умов згідно з діючими нормами;
- контроль за впливом виробничих факторів на здоров'я працівників;
- планування заходів щодо поліпшення санітарно-гігієнічних умов;
- паспортизація санітарно-технічного стану умов праці.

До соціально-економічних заходів відносять:

- соціальне страхування працівників роботодавцем;
- фінансування заходів з охорони праці;
- відшкодування роботодавцем працівнику збитків у разі каліцтва.

До лікувально-профілактичних заходів відносять:

- дотримання охорони праці жінок, неповнолітніх та інвалідів;
- контроль за здоров'ям працюючих протягом їхньої трудової діяльності;
- надання медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків на виробництві;

- проведення медичних оглядів працівників (попередніх та періодичних).

До наукових заходів відносять:

- плани локалізації і ліквідації аварії;
- оцінка ефективності управління охороною праці;
- моделювання аварійних ситуацій і розробка заходів щодо їх відвернення.

Основними нормативними документами щодо електробезпеки в Україні є:

Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Дія ПУЭ розповсюджується на електроустановки, що споруджуються чи реконструюються, напругою до 500кВ. ПУЭ встановлюють загальні вимоги до будови електроустановок, до каналізації (передачі) електроенергії, до захисту і автоматики, до розподільчих пристроїв і підстанцій, до електросилових установок, до електричного освітлення та до електрообладнання спеціальних установок.

ДНАОП 0.00-1.32–01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Цей документ затверджений Мінпраці України і включає деякі питання електричного освітлення та обладнання спеціальних установок зі змінами і доповненнями відповідно до чинних в Україні і міжнародних нормативних актів, а саме:

- «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» галузевий (енергетика) нормативний документ, дія якого розповсюджується на електроустановки напругою до 500 кВ, встановлює вимоги до контролю стану і технічного обслуговування електроустановок енергетичної галузі.
- «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» — міжгалузевий нормативний акт, дія якого розповсюджується на електроустановки напругою до 220 кВ, встановлює вимоги до контролю стану та технічного обслуговування електроустановок, ведення відповідної документації.

- ДНАОП 1.1.10-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок—галузевий нормативний документ (енергетика). Дія його розповсюджується на електроустановки енергетичної галузі напругою до 500 кВ. Він встановлює вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок.
- ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів — міжгалузевий НА, що визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок, дія його розповсюджується на електроустановки напругою до 220 кВ.
- ДНАОП 1.1.10-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів — НА, що встановлює вимоги до необхідного переліку електрозахисних засобів залежно від конкретних умов, до зберігання, випробування, перевірки стану та користування електрозахисними засобами.
- галузеві нормативні акти з електробезпеки. Міжгалузеві нормативні акти з електробезпеки не заперечують проти розробки галузевих НА за доцільності цього. Галузеві НА, при цьому, не повинні перечити міжгалузевим і зменшувати рівень безпеки.
- нормативні акти підприємств з питань електробезпеки. В основному, це інструкції з безпечного обслуговування електроустановок та виконання робіт в електроустановках, опрацьовані і затверджені відповідно до чинних вимог.

Відповідно до державних стандартів з електробезпеки і Правил устрою електроустановок, номенклатура видів захисту від ураження електричним струмом включає у собі такі засоби і способи.

Можна виділити три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних заходів і засобів;
- система електрозахисних засобів;

- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки:

- ізоляція струмовивідних частин;
- захисне розділення електричних мереж;
- вирівнювання потенціалів;
- компенсація ємкісних струмів замикання на землю;
- недоступність струмовідних частин.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину під час доторкання до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією.

ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. У вимогах до захисних заходів від ураження електричним струмом» виділяють ізоляцію:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну — складається з робочої і додаткової;
- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

Захисне розділення електричних мереж. Загальний опір ізоляції проводів електричної мережі відносно землі і ємкісна складова струму замикання на землю залежать від довжини мережі і її розгалуженості. Зі збільшенням розладженості мережі, збільшується ємність та зменшується опір. Розділення такої протяжної мережі на окремі, електрично незв'язані між собою, частини за допомогою трансформаторів з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці,

сприяє підвищенню опору ізоляції і зменшенню ємкості і, як результат, приводить до підвищення рівня безпеки.

Вирівнювання потенціалів. Застосовується з метою зниження можливих напруги дотику ( $U_{\text{дот}}$ , В) і ( $U_{\text{кр}}$ , В) кроку під час експлуатації електроустановок або попаданні людини під ці напруги за інших обставин. Під час підвищення потенціалу опорної поверхні, на якій може знаходитись людина, до рівня потенціалу струмовідних частин, яких може торкнутись відбувається вирівнювання потенціалів.

Компенсація ємкісної складової струму замикання на землю.

Струм під час однофазних замиканнях, струм який проходить через людину, оцінюється активною і ємкісною складовими. Так, ємкість кожного проводу повітряної мережі 6...35 кВ складає приблизно 5000...6000 пФ/км, а ємкісний струм на 1кВ лінійної напруги і на 1 км довжини мережі — 2,7...3,3 мА для мереж на дерев'яних опорах. В мережах на металевих опорах цей струм на 15% відсотків більше. В протяжних розгалужених мережах ємкісна складова струму через людину може перевищувати активну і бути визначальною в тяжкості ураження людини електричним струмом.

Забезпечення недоступності струмовідних частин. Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язана з дотиком до струмовідних частин електроустановок (біля 56 %). Якщо в установках до 1000 Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії тощо), розміщення неізольованих струмовідних частин на недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями висоті, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення тощо.

Система електрозахисних засобів:

ДНАОП 1.1.10-1.07-01 “Правила експлуатації електрозахисних засобів” (в подальшому Правила) — чинний нормативний документ, в якому наведено

перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції тощо.

Електрозахисті засоби поділяються на ізолювальні (ізолювальні штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожувальні (огороження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

Система організаційно-технічних заходів і засобів:

Основні організаційно-технічні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, за якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на власника.

За законодавством повинен:

- основні організаційно-технічні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”, якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на власника.;
- створити і укомплектувати відповідно до потреб електротехнічну службу;
- створити на підприємстві такі умови, щоб працівники, на яких покладено обов’язки з обслуговування електроустановок, відповідно до чинних вимог своєчасно здійснювали їх огляд та випробування;
- розробити і затвердити посадові інструкції працівників електротехнічної служби та інструкції з безпечного виконання робіт в електроустановках з урахуванням їх особливостей.



#### 4.2.1. Розрахунок контурного захисного заземлення для електроустановки

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Мета захисного заземлення - понизити струм, який протікає через людину (Іл) під час дотику до заземленого корпусу пристрою діагностики, коли там виникне  $U_{\text{дот}}$  (напруга дотику) у результаті пошкодження або пробією ізоляції струмо-провідних частин.

Розрахунок контуру у лабораторії зводиться до визначення числа вертикальних заземлювачів та довжини сполучної смуги.

Заземлення зроблено з трубчатих вертикальних заземлювачів і з'єднується металевою смугою. Опір захисного заземлення повинен задовольняти вимогу  $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$  (для установок з малим струмом замикання на землю і напругою до 1000 В).

Визначимо опір заземлюючого контуру

1. У сприятливих умовах опір одиночного заземлювача визначимо по формулі:

$$R_{\text{ст}} = 0.366 \frac{\rho}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H+l}{4H-l} \right), \quad (1)$$

де в якості заземлювача виберемо стержень.

Довжина:  $l = 1,5 \text{ (м)}$

Діаметр:  $d = 0,016 \text{ (м)}$

Відстань поверхні до половини довжини стержня :  $H = 0,85 \text{ (м)}$

Питомий опір гранту:  $\rho = 10^2 \text{ Ом*м}$

Підставивши дані у формулу 1, отримаємо наступні значення:

$$R_{\text{ст}} = 0.366 \frac{10^2}{1,5} \left( \lg \frac{2 \cdot 1,5}{0,016} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 0,85 + 1,5}{4 \cdot 0,85 - 1,5} \right) = 60 \text{ Ом} \quad (2)$$

Кількість одиночних заземлювачів  $n$  розрахуємо за формулою:

$$n = \frac{R_{ст}}{r_{к.з} * \eta_{ст}}, \quad (3)$$

де:  $r_{к.з}$  - значення контурного заземлення, що нормує, згідно ПУЕ-86

$$r_{к.з} = 4 \text{ Ом};$$

$\eta_{ст}$  - коефіцієнт використання одиночного заземлювача для стержнів;

$$\eta_{ст} = 0,66.$$

За наступними даними отримуємо:

$$n = \frac{R_{ст}}{r_{к.з} * \eta_{ст}} = \frac{60}{4 * 0,66} = 22 \text{ шт} \quad (4)$$

Опір сполучної смуги, що з'єднує одиночні заземлювачі:

$$R_{пол} = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2 * l^2}{b * H}, \quad (5)$$

де:  $l$  - довжина смуги;

$$l = a * n = 79.2 \text{ м};$$

$a$  - відстань між стержнями;

$$a = 3,6 \text{ м};$$

$H$  - глибина закладення смуги;

$$H = 0,1 \text{ м}.$$

$$R_{пол} = 0.366 \frac{10^2}{79,2} \lg \frac{2 * 79,2^2}{0,04 * 0,1} = 3 \text{ Ом} \quad (6)$$

Опір штучного контурного заземлення визначаємо за формулою:

$$R_{к.з.} = \frac{R_{ст} * R_{пол}}{R_{ст} * \eta_{пол} + n * R_{пол} * \eta_{ст}}, \quad (7)$$

де:  $\eta_{пол}$  - коефіцієнт використання з'єднуючої полоси в контурі із вертикальних електродів;

$$\eta_{пол} = 0,4.$$

$$R_{к.з.} = \frac{60 * 3}{60 * 0,4 + 22 * 3 * 0,66} = 2,66 \text{ Ом} \quad (8)$$

Розраховане значення (опору заземлюючого контуру не перевищую 4 Ом, тому задовольняє вимогам електробезпеки.

#### **4.3. Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації електроустаткування.**

Пожежна безпека на підприємстві – це ряд дій, під час виконання яких на об'єктах замовника чи власних з установленою імовірністю виключається можливість виникнення пожежі та дії небезпечних факторів пожежі на людей.

Пожежна безпека забезпечується за рахунок проведення різних організаційних, технічних заходів, які направлені на запобігання пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих матеріальних збитків та створення умов для термінового виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж. Пожежний захист забезпечується за рахунок застосування різних засобів, а саме:

- засобів пожежогасіння та пожежної техніки;
- автоматичних установок пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- будівельних конструкцій об'єктів з регламентованими межами вогнестійкості.

Організаційно-технічні заходи забезпечення пожежної безпеки можливо поділити:

- розробка комплексних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки;
- правильним вибором ступеня захисту електрообладнання;
- виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- заземленням електроприймачів;
- організація навчання для співробітників правилам пожежної безпеки;
- здійснення заходів щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж;

- здійснення заходів щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж;
- вибором перерізу провідників по безпечному нагріванню, а також дотриманням протипожежних вимог під час роботи з електроенергією;
- розроблення інструкцій;

Одним з первинних засобів гасіння пожежі елементів електроустаткування це вогнегасник. Для електрообладнання рекомендується використовувати порошкові вогнегасники.

Переносні порошкові вогнегасники ВПС-6, ВПС-10, ВП-2, ВП-2Б, ВП-8Б, ВП-5, ВП-10, які призначені для гасіння загорянь електричних установок під напругою. Вогнегасник ВП-6 (рис. 1) призначений для гасіння твердих, рідких і газоподібних речовин різних класів, в залежності від типу порошку, який застосовується у вогнегаснику. Не рекомендується для гасіння обладнання, яке може вийти з ладу під час попаданні порошку, наприклад комп'ютерна техніка тощо.



Рис. 4.1. Порошковий вогнегасник ВП-6

Вогнегасник складається з корпусу, заряду (порошок), сифонної трубки, балону з газом, газової трубки з аератором, манометром, ручки для транспортування, пускового важелю, шлангу та запобіжника.

Технічні характеристики вогнегасника порошкового ВП-5 (ОП-5) наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

### Технічні характеристики ВП-5(з)

Вага вогнегасного порошку, кг	6 ± 0,3
Вага вогнегасника повна, кг	8,9
Вогнегасна здатність по гасінню модельного вогнища, клас пожежі	3А/89В
Тривалість подачі вогнегасної речовини, с	12
Габаритні розміри (висота / діаметр корпусу), мм	580/160
Призначений термін служби, років	10 років
Періодичність перезарядки	1 раз на 1 рік

#### 4.4. Інструкція з техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування

1. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.
2. За цією інструкцією персонал повинен пройти інструктаж перед початком роботи (первинний інструктаж), а потім — через кожні 3 місяці (повторний інструктаж).
3. Власник повинен застрахувати персонал від нещасних випадків та професійних захворювань.
4. За невиконання цієї інструкції персонал несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.
5. До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають медичних протипоказань, пройшли спеціальне навчання, атестацію та мають відповідне посвідчення, пройшли вступний інструктаж з охорони

- праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.
6. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані мати відповідну групу з електробезпеки.
  7. Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.
  8. Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати із собою посвідчення про перевірку знань. За відсутності посвідчення або за наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки знань працівник до роботи не допускається.
  9. Посвідчення про перевірку знань підлягає заміні у випадку зміни посади або за відсутності місця для записів.

Вимоги безпеки перед виконанням робіт:

1. Перевірити та одягти засоби індивідуального захисту (спецодяг, спецвзуття і ін.). Спецодяг електрика повинен бути добре підігнаний і застібнутий, оскільки поли, рукава можуть бути захоплені рухомими частинами механізмів, машин. На голові необхідно мати головний убір.
2. Оглянути робоче місце та перевірити на справність роботи систем вентиляції, відсутності порушень в роботі електротехнічного устаткування, яке підлягає обслуговуванню, наявності і справності засобів пожежогасіння, засобів колективного захисту, наявності необхідного для роботи інструменту.
3. Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб, звільнити робоче місце від зайвих предметів і матеріалів, обгородити робочу зону і установити знаки безпеки.
4. Перед виконанням робіт з підвищеною небезпекою, які проводяться за розпорядженням або нарядом-допуском, переконатися в належному оформленні документації, пройти цільовий інструктаж та виконувати заходи передбачені нарядом-допуском, розпорядженням, вимогами

правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Вимоги безпеки під час виконання робіт:

1. Забороняється самостійно відчиняти електрошкафи, обладнання, проводити будь-який ремонт електроспоживаючого обладнання, відкривати (знімати) блокуючі та захисні пристрої.
2. Під час необхідності, якщо цього вимагають інструкції, використовувати електрозахисні засоби. Захисні засоби повинні бути випробувані та мати спеціальний штамп про проведення випробування.
3. Електротехнічний персонал, який виконує роботу поблизу струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, повинен розміщуватися так, щоб ці струмопровідні частини були перед ним тільки з однієї бічної сторони. Забороняється проводити роботу, якщо струмопровідні частини, що знаходяться під напругою, розташовані позаду чи з двох боків від працюючого.
4. Затверджені переліки робіт із зняттям та без зняття напруги, які виконуються електротехнічним персоналом на закріпленій ділянці протягом однієї зміни у порядку поточної експлуатації та по розпорядженням на електроустановці до 1000 В, а також затверджені переліки робіт, які виконуються по наряді.
5. Під час виконання робіт в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги необхідно постійно заземлювати.
6. Не допускається знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються, під час роботи електродвигуна.

Вимоги безпеки після виконання робіт :

1. Вимкнути з мережі електроустановки і прилади, які використовувалися під час роботи.
2. Зібрати деталі, матеріали, інструмент, пристрої, привести їх у належний

стан (почистити, протерти), інструмент і пристрої прибрати у відведене місце.

3. Прибрати місце проведення робіт, відходи зібрати у ящик для сміття та винести з приміщення у відведене місце.
4. Зняти та прибрати у відведене для цього місце спецодяг і інші засоби індивідуального захисту, що використовувалися в процесі роботи.

#### Висновки:

1. Основними законодавчими актами з охорони праці є Закони України: «Про охорону праці», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення, Кодекс Законів про працю (КЗпП) та державні міжгалузеві й галузеві нормативні акти, які є обов'язковими для виконання усіма державними та недержавними установами по всій території України.

2. За великою кількістю зібраної статистичної інформації однією з головних причин електротравматизму є ураження струмом, тому важливим аспектом є приділення достатньої уваги для укладання та дотримання правил охорони праці при роботі зі струмом. Увагу було приділено розрахунку контурного заземлення для ділянки, на якій знаходиться електроустаткування.

3. Розглянуті основні групи заходів профілактики уникнення травматизму. Виділено засоби і заходи захисту від ураження струмом, травматизму та нещасних випадків. Було розглянуто основні технічні та організаційні заходи для уникнення пожежі. Розглянута структура вогнегасника, як первинного засобу пожежогасіння.

4. Описано базові інструкції щодо роботи з різними видами електроустаткування, враховані особливості підготовки нормативної бази.



## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 5.1. Вплив розробки на навколишнє середовище

Навколишнє середовище, за визначенням В.І. Вернадського, є біосферою. Біосферою називається біогеоценотична оболонка Землі, екосфера, склад, енергетика й організація котрої визначаються взаємодією її біотичного та абіотичного компонентів. Біосфера включає близько трьох мільйонів видів організмів, зони атмосфери, гідросфери та літосфери.

Таким чином, навколишнє середовище є сукупністю всіх матеріальних тіл, сил і явищ природи, її впливу на людину та її господарську діяльність. В.І. Вернадський зауважував, що людина має мислити й діяти в новому аспекті не окремої особистості, а планетарно. Саме він уперше поставив закони функціонування складних систем біосфери об'єктом наукових досліджень, а якісно новий етап єдності суспільства і природного середовища запропонував характеризувати поняттям «ноосфери», тобто сфери розуму.

Взаємовідносини людини з природою складаються таким чином, що, з одного боку, людина відчуває на собі дію чинників навколишнього середовища, а з іншого, сама впливає на біосферу своєю господарською діяльністю.

Унаслідок науково-технічної революції відбувається постійна зміна фізико-хімічних властивостей навколишнього середовища. Нова техніка відкриває величезні можливості для створення комфортабельних умов життя людини, і одночасно в навколишнє середовище надходить безперервний потік різноманітних речовин, відходів, що забруднюють його і виявляють дедалі негативніший біологічний вплив. Забруднення навколишнього середовища, зокрема повітря, води, ґрунту, нині досягло критичних рівнів, а тому потребує спеціального аналізу. Охорона навколишнього середовища являє собою важку комплексну проблему, яка має відношення до всього суспільства в цілому і до кожного окремого громадянина.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» був прийнятий 26.06.91 р. і протягом останніх сімнадцятих років систематично доповнювався й удосконалювався. Крім загальних норм і правил використання природного середовища, даний закон передбачає економічні заходи, які спрямовані на організацію раціонального природокористування і захист навколишнього природного середовища. У Законі також обговорені питання екологічної безпеки визначені природні об'єкти, що підлягають особливій охороні.

В існуючому законодавстві багато уваги приділяється питанням охорони навколишнього середовища. Жорсткість вимог до виробництва і матеріалів, а також розробка нових виробничих і утилізаційних технологій дозволять зменшити антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

За даними звіту Європейського агентства з охорони навколишнього середовища (ЕЕА), забруднюючі викиди від транспортних засобів продовжують впливати на здоров'я людей та стримують процес досягнення цілей Кіотського протоколу. Звіт «Транспорт та екологія 2005: Вирішення дилеми» вже вийшов у світ та показав, що останнім часом кількість пасажирських та непасажирських перевезень на території всієї Європи і України, зокрема, постійно збільшується. В той час, як викиди в інших секторах зменшилися, у транспортному секторі європейських країн вони зросли на більш ніж 22% у період 1990 - 2012. Повітряні пасажирські перевезення зросли у більшому обсязі (96% за період 1990 - 2012), у той час як частка залізничного та автомобільного транспорту залишилась незмінною.

Транспорт – не єдиний чинник забруднення повітря. Однак, викиди газів на вулицях можуть погано вплинути на загальний стан здоров'я суспільства. Більш того, дорожній рух – це джерело викидів тонко-дисперсних та надто тонко-дисперсних часток у містах. Ряд наукових досліджень свідчить, що ці частки серйозно впливають на здоров'я людей та навколишнє середовище.

Вплив на навколишнє середовище літальних апаратів – проявляється у вигляді шуму літальних апаратів й емісії шкідливих речовин з випускними газами двигунів. Найбільший шум на місцевості літальні апарати роблять поблизу

аеропортів при виконанні злітно-посадочних операцій. Значний шум на місцевості може створювати допоміжна силова установка літального апарата при її роботі в наземних умовах. Частка авіації в загальному забрудненні атмосфери мала, однак, наприклад, у зоні аеропорту, вона може бути значною. Забруднюючими речовинами є гази, що відробили, двигунів, що містять у невеликих концентраціях оксиди вуглецю, сірки й азоту, незгорілі вуглеводні, сажу й ін. Зниження емісії шкідливих речовин досягається вдосконалюванням камери згоряння й інших вузлів двигуна. Зменшення забруднення повітря забезпечується також поліпшенням методів експлуатації літальних апаратів.

Так, лише один сучасний реактивний пасажирський літак протягом восьмигодинного польоту з Європи в Америку «з'їдає» від 50 до 75 т кисню, викидаючи натомість в атмосферу десятки тонн вуглекислого газу, оксидів азоту та інших шкідливих сполук.

Негативно впливають на озоновий шар атмосфери висотні польоти літаків, запуски космічних кораблів і військових балістичних ракет. Підраховано, що в результаті 100 запусків поспіль космічного корабля «Спейс Шаттл» майже вщент зруйнувався б захисний озоновий шар Землі.

У результаті авіатранспортних перевезень відбувається забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосфери, а сама специфіка впливу повітряного транспорту на довкілля виявлена в значній шумовій дії та значних викидах різноманітних забруднюючих речовин (рис. 5.1).

Крім шуму авіація призводить до електромагнітного забруднення середовища. Його викликає радіолокаційна та радіонавігаційна техніка аеропорту та літаків. Радіолокаційні засоби можуть створювати електромагнітні поля великої напруги, які представляють реальну загрозу для людей.

Дія електромагнітних хвиль на живі організми складна і недостатньо вивчена. Взаємодіючи з організмами, електромагнітні хвилі частково відбиваються, а частково поглинаються і розповсюджуються в них. Ступінь впливу залежить від величини поглинання енергії тканинами організму, частоти хвиль та розмірів біооб'єкта.

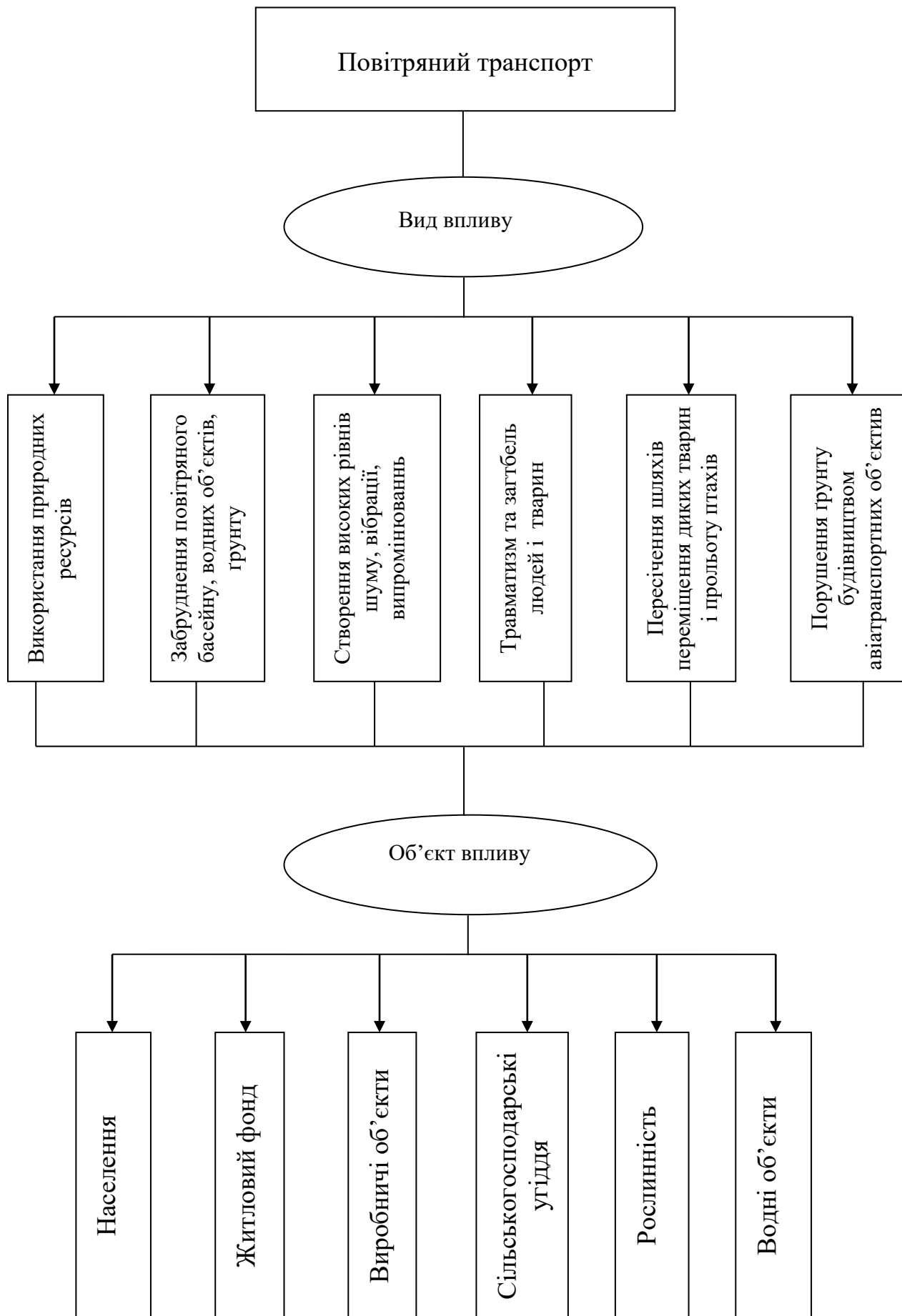


Рис.5.1. Вплив повітряного транспорту на довкілля

Викиди з авіадвигунів та стаціонарних джерел являють собою ще один аспект впливу повітряного транспорту на екологічну ситуацію, але авіація має ряд відмінностей порівняно з іншими видами транспорту:

- використання, здебільшого, газотурбінних двигунів зумовлює інший характер протікання процесів та структуру викидів відпрацьованих газів;
- використання в якості палива гасу призводить до зміни компонентів забруднюючих речовин;
- польоти літаків на великій висоті та з великою швидкістю спричиняють розсіювання продуктів згорання у верхніх шарах атмосфери і на великих територіях, що знижує ступінь їх впливу на живі організми.

Повітряні кораблі забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами авіадвигунів поблизу аеропортів та верхні шари атмосфери на висотах крейсерського польоту. Відпрацьовані гази авіаційних двигунів складають 87 % всіх викидів цивільної авіації, які включають також атмосферні викиди спецавтотранспорту та стаціонарних джерел.

Хімічний склад викидів залежить від виду і якості палива, технології виробництва, способу спалювання в двигуні і його технічному стані. Найбільш несприятливими режимами роботи є малі швидкості і «холостий хід» двигуна, коли в атмосферу викидаються забруднюючі речовини в кількостях, що значно перевищують викид на навантажувальних режимах. Технічний стан двигуна безпосередньо впливає на екологічні показники викидів.

Підраховано викиди шкідливих речовин в зоні аеропорту за такий злітно-посадочний цикл для літаків різних типів (табл. 5.1).

У 2000 році, за розрахунково-експертними оцінками, абсолютні показники валових викидів шкідливих речовин склали 152 тис. т. У цілому по Україні об'єм викидів шкідливих речовин літаками цивільної авіації в приземному шарі атмосфери ( до висоти 900 м) склали 50 тис. т. (33 % загального об'єму викидів), із них 29 тис. т оксиду вуглецю, 11 тис. т вуглеводнів, що не згоріли, 8 тис. т оксидів азоту та 2 тис. т оксидів сірки. На висотах більше 900 м викиди шкідливих речовин оцінені в 103 тис. т (67 % загального об'єму викидів), в тому

числі 38 тис. т оксиду вуглецю, 7 тис. т вуглеводнів, що не згоріли, 46 тис. т оксидів азоту та 12 тис. т оксидів сірки.

Таблиця 5.1

**Емісія з авіаційних двигунів за злітно-посадочний цикл для літаків різних типів**

Тип літака	Викиди шкідливих речовин, кг/год				
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Попіл
Ту-154	48,8	45,5	68,3	0,6	2,0
Як-42	7,8	1,5	12,7	0,2	0,7
Ту-154М	53,2	9,3	15,6	0,5	1,8
Як-40	22,5	4,5	4,7	0,1	0,5

**5.2. Методи і засоби захисту навколишнього середовища від шкідливих впливів**

Шкідливий вплив авіації на довкілля має глобальний і локальний характер. Глобальним є вплив авіації на озоновий шар атмосфери та пов'язані з цим наслідки, основні локальні - проблеми авіаційного шуму, забруднення викидами та скидами шкідливих речовин в атмосферне повітря, підземних вод та ґрунту у районі розташування аеропортів.

Для розв'язання екологічних проблем цивільної авіації насамперед слід розробити:

- принципи та методи захисту повітря від забруднення двигунами повітряних суден;
- принципи та методи захисту від електромагнітних полів радіочастот аеропортів;
- технології захисту ґрунтів та води від забруднення стоками аеропортів;

– оптимізаційні схеми керування повітряним рухом на трасі, в зоні аеропортів з урахуванням екологічного стану довкілля; методи кількісної інтегральної оцінки екологічного стану підприємств авіаційного транспорту.

Екологічна криза в Україні продовжує розростатися й поглиблюватися, охоплюючи дедалі більші території. Як і раніше, бракує асигнувань на серйозні природоохоронні заходи в усіх сферах виробництва, фактично відсутній контроль за діяльністю, що завдає шкоди природі, через застарілість обладнання й технологій на виробництвах зростають кількість і сила техногенних аварій, ефективність очисних споруд дуже низька або їх узагалі немає, не створено ефективної системи державного контролю за станом довкілля й управління всією природоохоронною діяльністю, а також банку еколого-територіальних даних. Рівень екологічної освіти населення вкрай низький.

Проте є й позитивні фактори:

- нагромаджено багато об'єктивних даних про екологічний стан геосистем України;
- визначено основні причини й динаміку розвитку екологічної кризи;
- на основі цих знань розроблено програму заходів для розв'язання екологічних проблем.

Ці заходи спрямовані передусім на стабілізацію, а в подальшому — на зменшення масштабів забруднення довкілля, на припинення процесів, що ведуть до деградації ландшафтів та екосистем, на відновлення порушених природних комплексів, на раціональне використання й охорону природних ресурсів.

Останніми роками (1999—2003) активізувався процес переходу до еколого-збалансованого розвитку держави. Попередні роки можна схарактеризувати лише як етап підготовки до цього переходу, для якого нині є значний національний потенціал;

- наша країна має висококласних спеціалістів і достатні можливості для розвитку освіти (зокрема екологічної) населення для сприйняття ідей і принципів збалансованого розвитку. Необхідно лише організувати широке інформування загалу й навчання управлінського персоналу за спеціальними програмами зі стійкого розвитку;

– Україна продемонструвала можливості економічного зростання попри застарілі основні фонди виробництва;

– в Україні вже накопичилася «критична маса» для здійснення реформ, аби забезпечити незворотність вибраного курсу подальшого розвитку й утвердження держави.

На сьогодні головне завдання керівництва держави, суспільства полягає в переорієнтації національної політики й стратегії на ідеї та принципи гармонійного розвитку й забезпеченні (законодавчому, інституційному, освітньому, фінансовому) їх реалізації.

Стосовно найбільш розповсюдженого в сучасній цивільній авіації типу авіаційного двигуна, який і розглядається в даній дипломній роботі, – турбореактивного двоконтурного (ТРДД) можна виділити п'ять основних режимів (табл.5.2), тривалість яких відповідає максимальній тривалості режимів, що складають середнє значення тривалості цих режимів для найкрупніших та найбільш завантажених аеропортів світу.

*Таблиця 5.2*

#### **Режими роботи авіаційного двигуна в зоні аеропорту**

Номер режиму	Найменування режиму	Тривалість режиму, хв.
1	Холостий хід і руління перед зльотом (режим малого газу)	17
2	Зліт	0,7
3	Набір висоти	2,2
4	Захід на посадку	4
5	Руління після посадки (режим малого газу)	9

Номінальний режим роботи двигуна, як один з найбільш економічних, є і одним з найбільш екологічно чистих (табл. 5.3).



**Маса шкідливих викидів при роботі двигуна на номінальному режимі за годину**

Тип літака	Викиди шкідливих речовин, кг/год				
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Попіл
Ту-154	30,6	12,3	228	3,6	14,7
Як-42	0,6	1,2	177	1,2	4,9
Ту-154М	22,5	6,9	183	0,5	13,5
Як-40	21,8	0,6	13,5	0,5	1,8

Аналізуючи дані цих таблиць, а також – порівнюючи дані, наведені в таблиці 3 з даними, наведеними в таблиці 1, можна зробити висновок що потрібно забезпечувати максимально довгу можливу роботу двигуна в номінальному режимі.

### **5.3. Опис основних напрямків удосконалення авіаційної техніки для зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище**

У теперішній час міжнародною організацією цивільної авіації (ІСАО) пред'являються вимоги до повітряних суден у галузі охорони навколишнього середовища. До нормативних документів, що регламентують авіаційний шум та емісію авіаційних двигунів, відносяться: додаток 16 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію «Охорона навколишнього середовища»; авіаційні правила «АПВ36. Сертифікація повітряних суден по шуму на місцевості»; документ ІСАО DOC 8168. «Правила – Здійснення польотів повітряних суден», том I, частина 5, додаток до глави 3 «Інструктивний матеріал, що стосується зниження шуму при наборі висоти під час вильоту». Охорона навколишнього середовища досить актуальна проблема і 8 червня 2010 р. у рамках берлінського авіасалону ІІА пройшла друга міжнародна конференція Greener Skies Ahead 2010, присвячена питанням зменшення впливу на навколишнє середовище майбутнього авіаційного транспорту. У рамках конференції розглядалися питання поліпшення екоефективності авіатранспорту, досягнення екологічно нейтрального розвитку

повітряного транспорту, скорочення шкідливих викидів та дотримання обмежень шкідливого впливу на навколишнє середовище зі збереженням техніко-економічних показників ПС. Провідні світові виробники авіаційної техніки постійно ведуть роботи зі зменшення впливу на навколишнє середовище по наступних основних напрямках: зниження витрат палива двигунів; зменшення викиду шкідливих газів (вуглекислого газу, окису азоту); зниження рівня шуму для пасажирів, екіпажа та населених пунктів; зменшення використання шкідливих матеріалів.

Так літак Airbus A380 споживає на 20% менше палива, ніж найбільші сучасні літаки. При цьому відбувається викид в атмосферу менше 75 грам вуглекислого газу з розрахунку на одного пасажирів, що майже вдвічі менше, ніж аналогічний показник для європейських автомобілів у 2008 році. Компанія Boeing на літаку 787B8 Dreamliner зменшила викиди вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на 20%, шум двигунів на 60 %.

На сучасних літаках встановлюється бортовий комплекс радіоелектронного обладнання (БРЕО). У складі БРЕО використовується високоінтелектуальна система керування польотом (FMS), високоточні датчики визначення місця знаходження літака, супутникова навігаційна система, що працює в системах ГЛОНАСС і GPS, інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів, також застосовується інтегрована комплексна система електронної індикації та сигналізації. Аналіз функціональних можливостей комплексу бортового радіоелектронного обладнання сучасного літака дозволяє визначити основні шляхи впливу авіоніки на підвищення екологічної ефективності літаків. При цьому передбачається, що система керування силовою установкою сертифікована та відповідає нормативним вимогам.

Можна виділити декілька основних напрямків вдосконалення літаків з метою зменшення їх шкідливого впливу.

Перший напрямок – автоматизація процесу зльоту та набору висоти ПС. При цьому можна реалізувати два типи процедур зменшення шуму.

1. Метод зменшення впливу шуму на населенні пункти, котрі розташовані поруч з аеродромом, здійснюється за рахунок набору достатньо великої висоти

польоту літака на короткій відстані від злітно-посадкової смуги. Таким чином зменшується вплив на прилеглі райони. Вказаний метод пілотування потребує дотримуватися безпечної швидкості зльоту літака  $V_{2+20}$  км/год з випущеними закрилками до визначеної (заданої) висоти. На заданій висоті чи вище здійснюється прискорення та прибирання закрилків і зменшується режим роботи двигунів до мінімального (режим МП).

2. Метод зменшення впливу шуму на віддаленні від аеродрому райони здійснюється за рахунок зменшення градієнту набору висоти на перших відрізках зльоту і можливості зменшення режиму роботи двигунів до мінімального (режим МП) на заданій висоті. Таким чином зменшується вплив шуму на населені райони. Вказаний метод пілотування потребує при досягненні мінімально допустимої для даного ПС висоти ( $\approx 240$  м над рівнем аеродрому) збільшити швидкість польоту літака за рахунок зміни кута тангажу. При цьому закрилки повинні прибиратися за графіком, при збереженні позитивної швидкості набору висоти. Зменшення тяги здійснюється з початком першого етапу прибирання закрилків і до досягнення заданої висоти. На заданій висоті завершується перехід до виконання звичайних схем набору висоти при польоті по маршруту. Автоматизація процесу зльоту зазначених вище схем набору висоти здійснюється за допомогою навігаційної обчислювальної системи FMS і багатофункціонального пульта управління (БФПУ). Зменшення потрібної тяги двигуна здійснюється за рахунок оптимальної програми керування механізацією крила.

Другий напрямок – забезпечення високоточної навігації ПС. Наявність у FMS декількох режимів зчислення та корекції поточних координат місця знаходження літака, застосування комплексної обробки інформації дозволяє здійснювати літаководіння методом зональної навігації RNAV і виконувати польоти по прямолінійних маршрутах, скорочуючи відстань і час перебування літака у повітрі. Сучасні FMS забезпечують високу точність літаководіння у горизонтальній площині, що дозволяє виконувати польоти у повітряному просторі RBRNAV з навігаційною точністю 1,0 морська миля на маршруті та 0,3 морської милі у зоні аеродрому. Забезпечується також маневрування у районах аеродромів по стандартних схемах SID і STAR, оптимізованим за критерієм зниження шуму

на місцевості. Крім того, інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів дозволяє виконувати польоти у повітряному просторі з вимогами скорочених мінімумів вертикального ешелонування RVSM на оптимальних режимах польоту.

Третій напрямок – оптимізація режимів польоту літака за критерієм економічної швидкості. За цим критерієм загальна вартість рейсу складається з вартості палива і вартості експлуатаційних витрат, що залежать від часу польоту. Вартість палива залежить від вибору швидкості польоту. Існує швидкість, при якій буде витрата палива мінімальна. Вартість експлуатаційних витрат зменшується зі зменшенням тривалості польоту, а отже зі збільшенням швидкості. Швидкість, при якій загальна вартість рейсу мінімальна, являється економічною швидкістю польоту  $V_{ек}$ .

Четвертий напрямок – зниження енергоспоживання бортового обладнання. Застосування на борту літака цифрової апаратури нового покоління дозволяє знизити енергоспоживання апаратури у 2 рази, що у свою чергу, знижує витрати палива літаком. При цьому бортове обладнання не вимагає примусового охолодження, отже не потрібен додатковий відбір повітря від силової установки літака.

П'ятий напрямок – застосування інформаційно-розважальної системи. Розвиток функціональних можливостей інформаційно розважальної системи дозволяє надавати пасажиром програми розважальних каналів, цифрові журнали й каталоги магазинів, що дозволяє заощадити паперові носії інформації на борту літака.

Розглянемо більш детально методи очищення газових викидів в атмосферу.

Абсорбційний спосіб очищення газів, що здійснюється в установках-абсорберах, найбільш простий і з високим ступенем очищення, однак вимагає громіздкого обладнання та очищення поглинає рідини. Заснований на хімічних реакціях між газом, наприклад, сірчистим ангідридом, і поглинаючою суспензією (лужний розчин: вапняк, аміак, вапно). При цьому способом на поверхню твердого пористого тіла (адсорбенту) осідають газоподібні шкідливі домішки. Останні можуть бути вилучені з допомогою десорбції при нагріванні водяною парою.

Спосіб окислення горючих вуглецевих шкідливих речовин у повітрі полягає у спалюванні в полум'ї  $\text{CO}_2$  і води, спосіб термічного окислення - в підігріві пального. Каталітичне окислення з використанням твердих каталізаторів полягає в тому, що сірчистий ангідрид проходить через каталізатор у вигляді марганцевих складів або сірчаної кислоти.

Для очищення газів методом каталізу з використанням реакцій відновлення і розкладання застосовують відновники (водень, аміак, вуглеводні, монооксид вуглецю). Нейтралізація оксидів азоту  $\text{NO}_x$  досягається застосуванням метану з подальшим використанням оксиду алюмінію.

У великих містах для зниження шкідливого впливу забруднення повітря на людину застосовують спеціальні містобудівні заходи: зональну забудову житлових масивів, коли близько до дороги мають низькі будівлі, потім - високі і під їх захистом - дитячі і лікувальні установи; транспортні розв'язки без перетинів, озеленення.

## **Висновки**

Підсумовуючи усі розглянуті у розділі методи захисту навколишнього середовища від шкідливих впливів авіаційної техніки, а саме – авіаційного двигуна, можна зробити наступні висновки.

Використання авіоніки для підвищення екологічної ефективності літаків може здійснюватися у наступних основних напрямках: автоматизація процесу зльоту та набору висоти ПС, забезпечення високоточної навігації, оптимізація режимів польоту літака, зниження енергоспоживання бортового обладнання, застосування інформаційно-розважальної системи.

Охорона природи – задача нашого століття, проблема, що стала соціальною. Знову і знову ми чуємо про небезпеку, що загрожує навколишньому середовищу. Об'єм впливу людини на навколишнє середовище прийняв загрозливі масштаби. Тому на мою думку, потрібно впроваджувати інновації які допоможуть захистити його вже зараз.

В даній дипломній роботі одним з розглянутих етапів модернізації процесу запуску авіаційного ТРД є автоматизація процесу зльоту, що здійснюється за допомогою багатофункціонального пульта управління (БФПУ).

Це дозволить розраховувати найбільш оптимальний час роботи двигуна у певних режимах, а також оптимізувати режими польоту літака за критерієм економічної швидкості, за допомогою автоматичного вибору швидкості при котрій буде мінімальна витрата палива.