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 МАГІСТРА

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

Тема: Автопілот безпілотного літального апарату з використанням інтелектуальних технологій . Стабілізація параметрів у повздовжньому русі (комплексна тема)

Виконавець студент групи АТ-216М Бокоч Ростислав Віталійович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник д.т.н., професор Шевчук Дмитро Олегович
(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: _____ Д. О. Шевчук
(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)
Бокоча Ростислава Віталійовича
(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи Автопілот безпілотного літального апарату з використанням інтелектуальних технологій. Стабілізація параметрів у бічному русі (комплексна тема)

затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. № 1835/ст.

2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: стартова маса, кг - до 17; корисне навантаження, кг - до 4; максимальна швидкість, км/год. - 160; тривалість польоту, год. – до 5; радіус дії, км - до 80; максимальна висота польоту, м - до 3000; спосіб старту/посадки - колісний. Значення параметрів повздовжнього каналу (висота, кут тангажу, швидкість, кут атаки, кутова швидкість і т.д.). Детерміноване збурення вітру: 15 м/с.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; обладнання та структура типового безпілотного літального апарату; метод синтезу автопілоту для стабілізації параметрів у бічному русі; метод синтезу автопілота для стабілізації параметрів у бічному русі; охорона праці; охорона навколишнього середовища; висновки

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: функціонування схема системи керування БПЛА; структурна схема пілотажно-навігаційного комплексу БПЛА; схема руху БПЛА в горизонтальній площині; структурна схема автопілоту; структурна схема адаптивної системи стабілізації БПЛА з еталонною моделлю; Оптимальний перехідний процес стабілізації кута напрямку

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	12.09-14.10.2020	
2.	Обладнання та структура типового безпілотного літального апарату	15.10-20.10.2020	
3.	Метод синтезу автопілоту безпілотного літального апарату на основі інтелектуальних технологій. Стабілізація параметрів у повздовжньому русі	20.10-30.10.2020	
4.	Автопілот на основі інтелектуальних технологій для стабілізації поздовжнього руху безпілотного літального апарату	01.11-13.11.2020	
5.	Розглянути питання охорони праці	14.11.-18.11.2020	
6.	Розглянути питання охорони навколишнього середовища	19.11.-30.11.2020	
7.	Розробити та оформити пакет обов'язкового ілюстративного матеріалу	15.11-20.12.2020	

7. Консультанти з окремих розділів

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

8. Дата видачі завдання: «05» вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи _____ Шевчук Д. О.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Бокоч Р. В.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Автопілот безпілотного літального апарату з використанням інтелектуальних технологій. Стабілізація параметрів у бічному русі (комплексна тема)»: 89 с., 34 рис, 12 табл., 32 використаних джерел.

БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПОВЗДОВЖНІЙ РУХ, АВТОПІЛОТ, ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС, СУПУТНИКОВА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ, СИСТЕМА ТРАЄКТОРНОГО КЕРУВАННЯ, ФУНКЦІЯ НАЛЕЖНОСТІ, НЕЙРОННІ МЕРЕЖИ

Об'єкт дослідження є процес стабілізації параметрів БПЛА у бічному русі в умовах дії зовнішніх збурень.

Предмет дослідження є автопілот стабілізації параметрів БПЛА у бічному у русі в умовах дії зовнішніх збурень.

Мета дипломної роботи є розробка автопілоту стабілізації параметрів у бічному русі безпілотного літального апарату в умовах дії зовнішніх збурень на основі інтелектуальних технологій.

Методи дослідження:

- теорія автоматичного керування – для побудови структурної, функціональної та математичної моделі БПЛА;

- методи штучного інтелекту – для синтезу автопілоту БПЛА на основі інтелектуальних технологій;

- методи математичного моделювання – для отримання перехідних процесів повздовжнього руху БПЛА, та оцінки їх якості.

Матеріали дипломного проекту можуть бути використані для проведення наукових досліджень та в практичній діяльності фахівців з автоматики та автоматизації на транспорті.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7
РОЗДІЛ 1. ОБЛАДНАННЯ ТА СТРУКТУРА ТИПОВОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ……..…….….. 8
1.1. Класифікація БПЛА……..……... 8
1.2. Типова архітектура БПЛА та його обладнання …….……. 15
1.3. Порівняльний аналіз інтелектуальних технологій для забезпечення якості стабілізації польоту БПЛА на заданій траєкторії ……... 20
РОЗДІЛ 2. МЕТОД СИНТЕЗУ АВТОПІЛОТА ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ У БІЧНОМУ РУСІ ……..……..……. 26
2.1. Розробка алгоритму навчання нейро-нечіткого автопілоту комплексні системи для стабілізації БПЛА на заданій траєкторії ……... 26
2.2. Налаштування синаптичних ваг нейронної мережі БПЛА …..... 30
2.3. Навчання нечіткої структури автопілоту БПЛА …….. 32
2.4. Алгоритм синтезу «бази законів керування» автопілоту БПЛА для стабілізації параметрів у бічному русі ……..…. 35
РОЗДІЛ 3. АВТОПІЛОТ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ БІЧНОГО РУХУ БПЛА ……. 49
3.1. Пілотажно-навігаційного комплексу типового БПЛА …… ……. 49
3.2. Структурна схема автопілоту для стабілізації БПЛА у бічному русі……... 57
3.3. Структурна та функціональна схема автопілоту стабілізації парамтерів у бічному русі на основі інтелектуальних технологій ……... 60
3.4. Математичне моделювання інтелектуального автопілоту для стабілізації параметрів у бічному русі ……... 64
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ……..…….. 71
4.1. Перелік небезпечних і шкідливих факторів на підприємстві з виробництва автопілотів БПЛА ……..… 71
4.2. Перелік небезпечних і шкідливих факторів на підприємстві з виробництва автопілотів БПЛА …… 74
4.3. Розрахунок захисного заземлення на підприемстві авіаційного профилю ……..……... 78
4.4. Висновки…….. 80
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА …. 81
5.1. Розрахунок еколого-економічного збитку при виготовленні елементу автопілоту БПЛА ……...… 82
5.2. Принцип побудови крила типового БПЛА та його негативний вплив на навколишнє середовище …….…… 83
5.3. Природоохоронні заходи, пов'язані з утилізацією полімерних композитних панелей БПЛА, що відробили свій ресурс ……..… 85
5.4. Висновки……. 87
ВИСНОВКИ…… 88
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ Й УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БАК – безпілотний авіаційний комплекс

БКВ – безплатформена курсовертикаль

БПЛА – безпілотний літальний апарат

НСК – наземна станція керування

КІО – канал інформаційного обміну

БСК – базова станція керування

ВМ – виконавчий механізм

АП – автопілот;

НМ – нейронна мережа

ННА – нейро-нечіткі автопілот

ДПЛА – дистанційно пілотований літальний апарат

ДПТ – датчик повного тиску

ДПШ – дійсна повітряна швидкість

ДСТ – датчик статичного тиску

ДТ – датчик температури

ЕМ – еталонна модель

ІСК – інтелектуальні системи керування

ККВ – контур керування висотою

КККР – контур керування кутовим рухом

НЛ – нечітка логіка

О СПС – обчислювач системи повітряних сигналів

ОК – об’єкт керування

ПК – перетворювач координат

ПК – поздовжній канал

СКП – система керування польотом

СПС – система повітряних сигналів

ССН – супутникова система навігації

ССН – супутникова система навігації

СТК – система траєкторного керування

ФН – функція належності

ШНМ – штучна нейронна мережа

ВСТУП

Актуальність теми досліджень. Одним з найбільш перспективних напрямів сучасної теорії керування є застосування регуляторів з нечіткою логікою. Це особливо важливо для завдань керування польотом, де застосування нечіткої логіки дозволяє підвищити працездатність системи при виникненні різних непередбачених ситуацій. До таких ситуацій відносяться: відмови датчиків або погіршення їх характеристик, зміна параметрів об'єкту керування, зміна характеристик зовнішніх обурень і т. п. Тому завдання синтезу замкнутих динамічних систем, що використовують нечітку логіку, для керування польотом БПЛА є надзвичайно важливій і актуальній як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

Автопілоти БПЛА повинні задовольняти ряду суперечливих вимог: простоти, надійності, дешевизни, малої ваги і енергоспоживання з одного боку, а також точності керування польотом за наявності зовнішніх стохастичних обурень, перешкод вимірів і невизначеності параметрів моделі БПЛА з іншого боку. Компроміс між цими вимогами досягається за допомогою застосування сучасних методів теорії нечітких систем керування. Для забезпечення надійного виконання польотних завдань за наявності як зовнішніх збурень (турбулентний вітер), так і внутрішніх параметричних збурень, невизначеності параметрів, погіршення характеристик датчиків необхідно розробити системи, що мають високий рівень якості функціонування по відношенню до перелічених вище експлуатаційних чинників при збереженні певних обмежень на склад навігаційних датчиків, а також структури системи керування.

Таким чином, актуальність роботи полягає в створенні методів проектування систем керування польотом БПЛА, що дозволяють підвищити якість і точність стабілізації цих систем за рахунок комбінації нечітких регуляторів, систем керування з використанням механізмів навчання і самонастройки для розширення можливостей застосування БПЛА

.

РОЗДІЛ 1
ОБЛАДНАННЯ ТА СТРУКТУРА ТИПОВОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

1.1. Класифікація БПЛА

Стрімкий розвиток авіаційних систем та комп'ютеризованих технологій наприкінці XX ст. створив передумови до виникнення нових принципів побудови літальних апаратів, що дозволило відмовитись від присутності пілота на борту літального апарату. Цей надзвичайно важливий крок призвів до виникнення та швидкого поширення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) нового покоління. З іншого боку потреби сучасного світу у виконанні складних та небезпечних польотних завдань пришвидшили розвиток безпілотної авіації.

Використання БПЛА є великим кроком сьогодення з революційним потенціалом у військовому застосуванні та нових цивільних завданнях.

Незалежно від завдання БПЛА, їх кількість і використання стрімко зростає. Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – це літальний апарат без присутності людини на борту з метою керування [1].

Основною метою автономності є зменшення залежності БПЛА від людини оператора, але й збереження взаємодії з ним. Тобто, завданням автономності є надання можливості оператору контролювати польотне завдання, а не бути постійно залученим до пілотування БПЛА, тобто його стабілізацію покладено на автопілот (АП).

Виконання польотного завдання БПЛА неможливо забезпечити без використання на його борту елементів та засобів автоматики (системи автоматного керування та навігації).

Керування БПЛА може забезпечуватись автоматично бортовим обладнанням чи за допомогою каналу інформаційного обміну віддалено з наземної станції керування (НСК).

Виділяють три основних типи керування БПЛА [3]:

Дистанційно пілотований БПЛА. Людина оператор виконує безперервне керування БПЛА та приймає необхідні рішення, щодо виконання польотного завдання. Бортові системи БПЛА безперервно фіксують дані про стан навколишнього середовища та поточні характеристики польоту БПЛА, на основі яких оператор приймає рішення та реалізує керування. Сигнали керування транслюються на борт БПЛА за допомогою каналу інформаційного обміну (КІО). Дистанційне пілотування допускає використання часткової автоматизації складових частин системи керування з метою спрощення пілотування, таких як стабілізація кутового положення відносно центру мас БПЛА.

Дистанційно-керований БПЛА. Безперервне керування функціональними системами БПЛА здійснюється з певного пункту керування автоматично. При цьому оператор формує польотне завдання та контролює його виконання у випадку зміни стану навколишнього середовища та різного роду відмов. Програмне забезпечення НСК дистанційно надсилає сигнали керування на борт БПЛА забезпечуючи виконання запланованого завдання польоту. При цьому, датчики, розміщені на борту, формують дані про стан функціональних систем БПЛА та безперервно надсилають поточну інформацію до НСК, яка використовується у якості вхідних параметрів процесу керування.

У безпілотних автоматичних літальних апаратах керування БПЛА може виконуватись автоматично за допомогою бортової системи керування та безплатформної навігаційної системи. Польотне завдання може бути закладене перед вильотом у систему автоматичного керування, у вигляді траєкторії руху та командами керування з часовими обмеженнями. Система автоматичного керування під час польоту забезпечує дотримання запланованої (заданої) траєкторії руху та виконання польотного завдання БПЛА, стабілізація параметрів польоту при цьому здійснюється автоматично.

Автономний БПЛА здатний контролювати та оцінювати свій польотний стан, виконувати автоматичне керування в межах свої функціональних можливостей [3]. Певні варіанти побудови БПЛА передбачають можливість зміни польотного завдання у процесі польоту. Окрім того, БПЛА високого рівня

автономності здатні виконувати групові польоти та скоординовано змінювати польотне завдання у випадку дії непередбачених факторів, таких як відмови функціональних систем та приладів, пошкодження зовнішніх обводів тощо.

БПЛА є основною частиною безпілотної авіаційного комплексу, що забезпечує його функціонування.

Безпілотна авіаційна комплекс (БАК) – це сукупність БПЛА з наземним пунктом дистанційного керування та персоналом, що ним керують і забезпечують його функціонування, та каналами керування і зв’язку зі споживачами результатів функціонування [4]. Компоненти БАК включають в себе командування, управління, зв'язок і персонал, необхідний для керування. Типова БАК містить наступні складові [5]:

- один або декілька керованих БПЛА; пункт наземного керування;
- пункт та канал зв’язку; пункт запуску і посадки; центр зберігання даних;
- пункт налагодження;
- обслуговуючий персонал.

Велике різноманіття принципів побудови БАК та їх функціональних характеристик потребує застосування різних підходів до класифікації. Різні автори [4,5,6] пропонують наступні критерії класифікації БАК, такі як максимальна злітна маса, розмір, умови експлуатації, здатність функціонування та інші характеристики БПЛА.

У залежності від типу польотного завдання та функціональних можливостей БПЛА [6], представимо загальну класифікацію БАК у табл.1.1.

Інший спосіб класифікації БАК, ґрунтується на рівнях автономності БПЛА, відповідно до якого для визначення автономності використовують рівні автономного керування та контролю. Найбільш загальним є поділ на десять рівнів на основі вимог до польотної ситуації, аналізу ситуації, координації, прийняття рішень і функціональних можливостей систем та обладнання БПЛА [6]:

− Рівень 0. БПЛА пілотується дистанційно;

− Рівень 1. БПЛА виконує заплановане завдання;

− Рівень 2. Передбачається зміна польотного завдання;

Таблиця 1.1

Загальна класифікація БАК у залежності від типу польотного завдання та функціональних можливостей БПЛА

Категорія БПЛА	Позначення	Дальність, км	Висота польоту, м	Ресурс, год	Вага, кг
Тактичні БПС					
Нано	Nano	< 1	100	< 1	< 0,025
Мікро	Micro	< 10	250	1	< 5
Міні	Mini	< 10	150-300	< 2	< 20 (150)
Ближня дальність	CR	1030	3000	24	25-150
Мала дальність	SR	3070	3000	36	50-250
Середня дальність	MR	70200	5000	610	150-500
Середня дальність, тривалий політ	MRE	> 500	8000	1018	500-1500
Велика дальність на малій висоті	LADP	> 250	9000	0,51	250-2500
Тривалий політ на малій висоті	LALE	> 500	3000	> 24	150-250
Тривалий середньовисотний політ	MALE	> 500	8000	2448	1000-1500
Стратегічні БПЛА					
Дальність польоту на великій висоті	HALE	> 2000	20000	2448	2500-5000
БПС спеціального використання					
Безпілотні бойові	UCAV	≈1500	12000	≈ 2	>1000
Ударні	LET	300	4000	34	не визначена
Пастки	DEC	0 – 500	5000	< 4	150-500
Стратосферні	STRATO	> 2000	20000-30000	> 48	>2500
Надстратосферні	EXO	не визначена	>30500	не визначений	не визначена

– Рівень 3. Швидкість реакції на зміну навколишнього середовища у режимі реального часу;

– Рівень 4. БПЛА адоптований до змін навколишнього середовища;

– Рівень 5. Координація групових польотів;

– Рівень 6. Кооперація групових польотів;

– Рівень 7. Виявлення динамічної інформації стосовно польотного завдання;

– Рівень 8. Використання динамічної інформації для виконання місії;

– Рівень 9. Оптимальне виконання місії відповідно до динамічних умов;

– Рівень 10. БПЛА повністю автономний.

Необхідно виокремити два основні напрямки впровадження безпілотної авіаційної техніки: військовий і цивільний.

Класифікація БПЛА за функціональним призначенням наведемо на рис. 1.1.

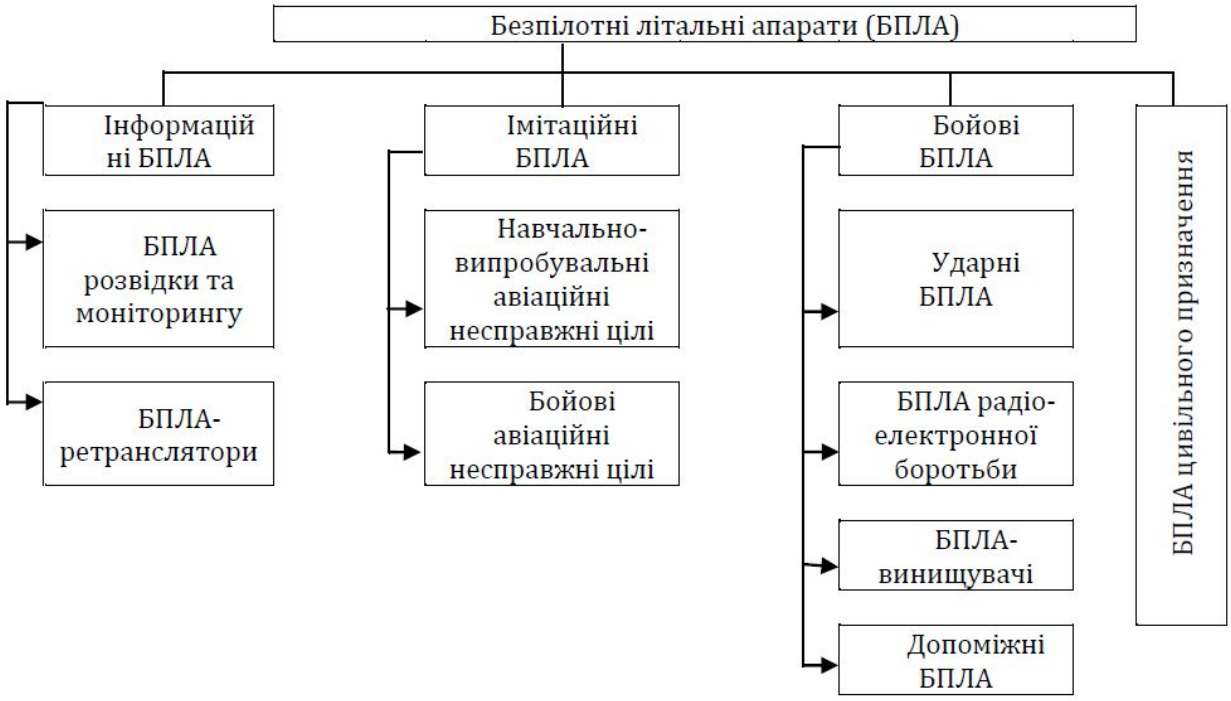


Рис. 1.1. Класифікація БПЛА за функціональним призначенням

Для перспективних БПЛА військового призначення можна окреслити такі основні завдання:

1. Розвідувальні:

– розвідка наземних, повітряних, морських цілей, розвідка місцевості;

– радіаційна, хімічна та біологічна розвідка;

– радіотехнічна розвідка.

2. Забезпечувальні [4]:

– встановлення радіоперешкод;

– управління вогнем і цілевказування наземним, повітряним та морським вогневим засобам;

– оцінка результатів завданих по ворогу ударів;

– ретрансляція повідомлень і даних;

– транспортні завдання.

3. Вогневі (ударні) завдання.

Також, спрощена класифікація БПЛА наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Спрощена класифікація БПЛА

Клас БПЛА	Маса, кг	Висота польоту, км	Час польоту, часів
ТЯЖКИ	над 1.000	до 20	24 та більш
СЕРЕДНІ	до 1.000	до 9 – 10	10 – 12
ЛЕГКІ	до 50	до 3 – 5	3 – 8
НАДЛЕГКІ	до 10	до 1	около 1

Проведений порівняльний аналіз результатів наукових досліджень [1-4] показали, що для вирішення широкого кола завдань найбільш ефективно використовувати «Легкі» і «Надлегкі» БПЛА (табл.1.2.).

У той же час основною проблемою таких БПЛА є їх мала захищеність від засобів РЕБ. Як правило, військові моделі БПЛА мають захищені канали зв'язку, дискредитації яких представляється порівняно складним завданням. Тому дуже часто під удар таких БПЛА потрапляють їхні засоби навігації (GPS, ГЛОНАСС і т.і.).

Наприклад, така кібератака як підміна справжніх координат апарату на помилкові, дозволяє збити БПЛА з призначеного курсу, а іноді і посадити в заздалегідь заданому місці.

На даний час, існує кілька варіантів розв'язання проблеми. Перший, це використання БПЛА які літають вище 9-10 км. У таких БПЛА перехоплення сигналу управління з супутників навігації ставати досить важким завданням, тому що крім того, що треба мати дрон здатний літати вище, потрібно зуміти направити його точно над апаратом жертви і супроводжувати його протягом всього перехоплення, до того ж військові канали GPS мають засоби захисту, для подолання якого так само необхідні часові і обчислювальні ресурси, всі ці фактори роблять перехоплення такого роду неприйнятним по ефективності і ресурсовитратності. Однак БПЛА здатні літати вище 10 км мають велику вартість, їм необхідна злітно-посадкова смуга і отримання інформації з великої висоти буде негативно позначатися на якості одержуваних даних.

Другий спосіб – це відмова від систем супутникової навігації. Більшість БПЛА мають штатні засоби об'єктивного контролю – відео та фото фіксація, а також бортові інерціальні системи навігації (гіроскоп, акселерометр, барометр і т.п.) на основі даних з фотоапаратури орієнтується на місцевості.

В основі третього підходу лежить інерціальна система позиціонування дрона, яка з певною точність виводить апарату на заданий курс і після виконання поставленого завдання, повертає його в задану область розміром кілька десятків кілометрів, де вже локальна система позиціонування у вигляді спеціальних радіомаяків направить БПЛА на відповідне місце посадки. Недоліком цього методу в умовах сучасних умовах обмеженого простору ведення бойових дій є можливість перехоплення або глушіння сигналу локальної системи позиціонування, враховуючи її малопотужність в польових умовах і близько прихильність до умовному противнику (а саме на малих відстанях і використовуються БПЛА останніх двох типів).

Для створення методу позбавленого більшості перерахованих вище недоліків пропонується використовувати інерційну систему позиціонування з використанням спеціального блоку, який за рахунок використання елементів штучного інтелекту буде знижувати похибки позиціонування.

1.2. Типова архітектура БПЛА та його обладнання

Відповідно до складності польотного завдання БАК мають різну структуру побудови. У найпростішому випадку БАК може складатися з базової станції керування (БСК) та БПЛА. Проте типова БАК, орієнтована на виконання більш складних польотних завдань, складається з великої кількості структурних елементів поєднаних між собою складними взаємозв'язками [4]. Узагальнена схема взаємодії структурних основних складових БАК наведено на рис. 1.2.

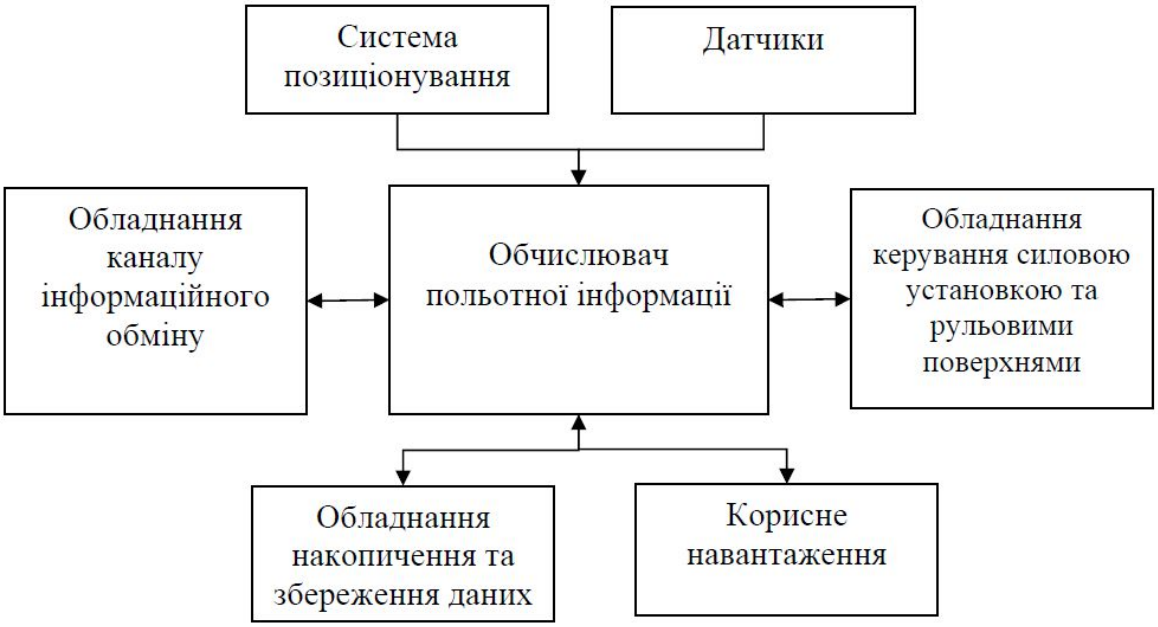


Рис. 1.2. Узагальнена схема взаємодії структурних складових типової БАК

Центральним елементом керування БАК є БСК, що забезпечує функції керування БПЛА та взаємодії з корисним навантаженням для оператора. У залежності від типу та складності польотного завдання, розрізняють різні масогабаритні розміри БСК від малих до великих, що можуть складатися з декількох робочих станцій керування. БСК не завжди розміщуються на земній поверхні, окрім них виділяють бортові морські та авіаційні пункти. До складу БСК зазвичай належать БПЛА та оператор пілотування БПЛА, що забезпечує рух за заданою траєкторією та оператор взаємодії з даними корисного навантаження БПЛА.

Планування польотного завдання не обов’язково відбувається у БСК. Іноді залучається віддалений центр планування, що зв’язується з БСК цифровою мережею передачі даних. План польотного завдання задається оператором у функціональні системи БПЛА за допомогою КІО або безпосередньо перед польотом у внутрішню пам'ять пілотажно-навігаційного комплексу БПЛА. Під час польоту БПЛА передає інформацію про стан підсистем та своє місцезнаходження разом з даними корисного навантаження через КІО. Для ефективного виконання польотного завдання БСК використовує дані від джерел надання інформаційних послуг (метеорологічні дані, сонячна активність та інші). У разі планування складних завдань, БСК можуть об’єднуватись в мережі та діяти скоординовано для гарантування виконання польотного завдання.

Складність та характер польотного завдання визначають тип БПЛА, що використовується для його виконання. У загальному випадку, БПЛА містить необхідні системи для забезпечення польоту, що включають стабілізацію та керування польотом БПЛА у повітрі, КІО з БСК, джерело електроживлення чи паливо та навігаційні системи [7].

Основною задачею БПЛА є транспортування корисного навантаження за певною траєкторією руху. Отримання даних від корисного навантаження є польотним завданням у більшості випадків, що може бути пов'язане із спостереженням, транспортуванням, зв'язком, зондуванням, розвідкою. Тип та клас БПЛА часто обирається від запланованого набору корисного навантаження у БАК. Розмір і вага корисного навантаження є одним з найважливіших критеріїв при проектуванні БПЛА. Розміщення корисного навантаження на борту залежить від фізичних принципів побудови обладнання спостереження. Зокрема можуть використовуватись електронно-оптичні чи інфрачервоні камери, радіолокаційні станції чи далекомірні системи. Польотне завдання визначає склад корисного навантаження, що може змінюватися від відносно простих підсистеми, що складаються з нестабілізованої відеокамери з фіксованою лінзою; відеосистеми з значною дальністю дії з автоматичним об’єктивом гіростабілізованим на

спеціалізованій платформі до повнофункціональних радіолокаційних станцій високої потужності значної маси.

Більш складні БПЛА використовують комбінацію різних типів давачів, інтегруючи їх дані для підвищення їх точності. Так зображення з оптичного сенсору чи теплової знімальної камери доцільно об'єднувати з далекомірним обладнанням (лазерним, акустичним чи радіолокаційним). Це дозволяє отримувати повну інформацію стосовно об’єкта спостереження.

Пункт запуску є необхідним для БПЛА, що не мають здатності вертикального зльоту та обмежені у доступі до злітно-посадкової смуги необхідної поверхні та довжини. Пункт запуску може використовувати різні фізичні принципи збільшення підйомної сили БПЛА. У найпростішому випадку може використовуватись похила поверхня з рухомою платформою, що прискорюється.

Пункт налагодження обладнання БПЛА як правило, є необхідним у разі використання складного обладнання корисного навантаження та важких БПЛА.

У разі використання легких БПЛА пункт налагодження виконує функції відновлення конструкції БПЛА зіпсованих під час виконання польотного завдання. Пункт зв’язку забезпечує постійний КІО між БПЛА та БСК.

Також, для якісного та ефективного виконання польотного завдання, необхідно, щоб оператор мав високі професійні навички та компетентності.

Бортове електронне обладнання БПЛА забезпечує функціонування та виконання польотного завдання. Склад бортового обладнання в першу чергу залежить залежить від класу БПЛА та його функціонального призначення. Проте, основним завданням бортового обладнання БПЛА є забезпечення виконання польотного завдання, що включає керування БПЛА за заданою траєкторією руху та його автоматичну кутову стабілізацію відносно центру мас. Виконання польотів у середовищі з динамічно змінюваними параметрами зовнішнього середовища потребує ситуаційної обізнаності у режимі реального часу, що забезпечується різноманітними датчиками та сенсорами.

Окрім того, закони керування БПЛА повинні враховувати зміни навколишнього середовища з метою точного виконання польотного завдання. Відповідно до цього, повинно забезпечуватись політ по заданій траєкторії в складних метеорологічних умовах, враховуватись рельєф місцевості та інші перешкоди на траєкторії руху БПЛА, спостереження за навколишніми рухомими об'єктами, що можуть становити загрозу руху. Бортові системи повинні функціонувати у середовищі з наявними радіозавадами.

Бортове обладнання БПЛА, також повинне забезпечувати вирішення певних задач керування відповідно до рівня автономності. Виконання вимог поставлених до сучасного БПЛА забезпечується використанням інформаційних, обчислювальних та інтелектуальних технологій у структурі бортового обладнання.

За своєю архітектурою більшість БПЛА цивільного призначення містять цифровий обчислювач, що за інформацією від джерел даних таких як, система повітряних сигналів, акселерометрів, гіроскопів, GPS системи забезпечує функції керування та навігації. Застосування сучасних цифрових технологій дозволило поступово перейти від системної архітектури до програмної, що дозволило значно зменшити кількість бортового обладнання БПЛА та мінімізувати його габаритні розміри.

Відповідно до класу БПЛА та призначення, різні нормативні документи висувають певні вимоги до складу бортового обладнання, а саме: стандарти STANAG стосуються бортового обладнання БПЛА військового призначення [10], EASA та JARUS – цивільного.

У загальному випадку бортове обладнання БПЛА складається з систем позиціонування, обчислювача польотної інформації, різноманітних датчиків, систем керування рульовими поверхнями та силовою установкою, обладнання корисного навантаження та каналу інформаційного обміну (рис. 1.2).

Система позиціонування призначена для визначення власного місцеположення у певній системі координат в будь-який момент часу.

Координати поточного місцеположення БПЛА відіграють визначальну роль у вирішенні задач переміщення у просторі.

Відповідно до цього, системі позиціонування висуваються жорсткі вимоги до точності визначення координат. Основними системами позиціонування у просторі є глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) та бортова інерціальна навігаційна система. Переважна більшість систем позиціонування, крім координат власного місцеположення, забезпечують розрахунок похідних даних таких як висота польоту, лінійні швидкості польоту, кутова орієнтація та інші [7].

Функціонування БАК забезпечується шляхом вимірювання та контролю параметрів системи. Основним джерелом інформації про стан БПЛА та БАК у цілому є різноманітні датчики, що безперервно контролюють вимірювальні параметри, а саме: гіроскопи, акселерометри, датчики тиску, датчики магнітного поля, пірометричні прилади, температури, кутів атаки та ковзання, напруги живлення [11].

Корисне навантаження БПЛА може включати наступне обладнання, а саме: відеокамери, обладнання денної і нічної розвідки, РЛС, оптико-електронні, метеорологічні, хіміо- біологічні прилади, обладнання зв'язку та навігації, будь-яке обладнання, необхідне для виконання польотних завдань БПЛА. Обчислювач польотної інформації використовується для управління БПЛА.

Канал інформаційного обміну між БПЛА та БСК забезпечується трьома важливими функціями: висхідна лінія зв'язку від наземної станції для передачі керуючих даних до БПЛА; низхідна лінія зв'язку від БПЛА для передачі даних від бортових датчиків і обчислювальної системи на наземну станцію; засоби для забезпечення виміру азимута і дальності від наземної станції до БПЛА для забезпечення зв'язку між ними. Основним завданням обладнання зв’язку є гнучкість, адаптивність та безпека інформаційних потоків даних.

Для забезпечення цілісності систем БПЛА, необхідно проводити постійний моніторинг їх справностей. Це гарантує, що непомічені несправності в системі не

призведуть до катастрофічної відмови систем БПЛА, що можуть зашкодити виконанню польотного завдання.

Система БПЛА повинна мати можливість планувати і перепланувати власну траєкторію польоту з урахуванням зміни стану навколишнього середовища. Операція планування польотів вимагає знання оточення БПЛА; в тому числі повітряного простору, рельєфу, іншого руху, метеорологічних умов, зони обмежень і перешкод.

БПЛА повинен мати записи даних про причини втрати зв'язку. Стратегічне бачення передбачає, що в тому випадку, якщо зв'язок між БСК та БПЛА були повністю розірвані, БПЛА повинен бути попередньо запрограмований спробувати протягом деякого часу відновити зв'язок задля виконання повністю автоматизованої програми повернення до НСК або самостійного у автоматичному режимі, завершити задане польотне завдання.

1.3. Порівняльний аналіз інтелектуальних технологій для забезпечення якості стабілізації польоту БПЛА на заданій траєкторії

Інтелектуальні системи керування (ІСК) – це системи керування, здатні до «розуміння» і навчання щодо об’єкту керування (ОК), збурень, зовнішнього середовища та умов роботи [14].

Основна відмінність ІСК полягає в наявності механізму системного оброблення знань. Головна архітектурна особливість, яка відрізняє ІСК від традиційних – це механізм отримання, зберігання і оброблення знань для реалізації функцій керування в умовах невизначеності.

В основу створення ІСК покладено два узагальнені принципи [15]:

– керування на основі аналізу зовнішніх даних, ситуацій та подій (ситуаційне керування);

– використання сучасних інтелектуальних технологій оброблення знань.

Розрізняють декілька сучасних інтелектуальних технологій, що дозволяють створювати ІСК [15, 16]:

– штучні нейронні мережі (artificial neural networks);

– нечітка логіка (fuzzy logic);

– генетичні алгоритми (genetic algorithms).

Згідно з визначенням, штучна нейронна мережа (ШНМ) – це паралельно розподілений процесор, який має здатність до збереження й репрезентації досвідченого експертного знання

Нейронні мережі почали застосовуватись у системі керування завдяки таким властивостям [14,16]:

– нейронні мережі можуть реалізовувати довільні гладкі функції будь-якої складності;

– виробляти керуючи впливи в умовах внутрішніх і зовнішніх невизначеностей;

– для реалізації ШНМ потрібна мінімальна інформація про ОК;

– під час реалізації ШНМ у вигляді спеціалізованих інтегральних мікросхем можливе паралельне оброблення інформації, що значно збільшує швидкість роботи і підвищує надійність системи.

Згідно з визначенням, штучна нейронна мережа – це паралельно розподілений процесор, який має здатність до збереження й репрезентації досвідченого експертного знання [7].

Модель елементарного нейрона штучної нейронної мережі зображена на рис. 1.3.

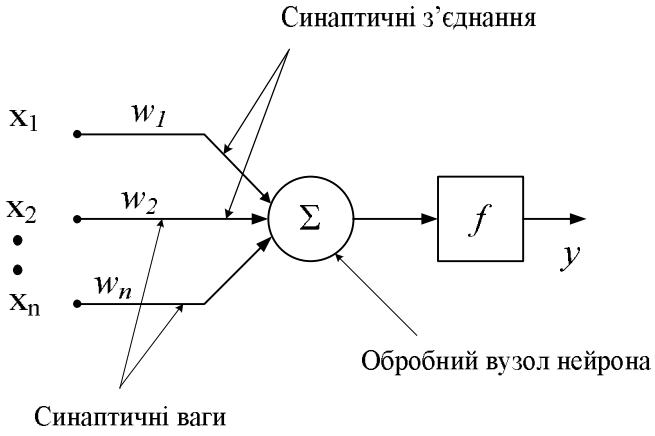


Рис. 1.3. Загальна модель нейрона

Де штучний нейрон складається із трьох основних елементів: множників (синапсів), суматора й нелінійного перетворювача.

Синапси здійснюють зв'язок між нейронами. Кожний синапс характеризується величиною синаптичного зв'язку або його вагою *Wi*, яка по фізичному змісту еквівалентна електропровідності. Кожний з *N* сигналів, що надходять на вхід нейрона, множиться на відповідну йому синаптичну вагу *Wi.* Далі результат підсумовується й результуючий сигнал, зміщений на величину θ, подається на вхід активаційної функції *f*. Позначимо результат підсумовування *net* і запишемо математично у такому вигляді:

$$net = \sum_{i=1}^{N} W_i x_i - \theta_i, \qquad (1.1)$$

де θ_i – величина зсуву; x_i (i = 1, 2,...,N) – вхідні сигнали даного нейрона; W_i – синаптична вага.

Позначимо f (*net*) активаційну функцію. Тоді вихідний сигнал нейрона представимо у вигляді залежності:

$$y = f(net) \qquad (1.2)$$

Характеристика нейрона визначена: множиною сигналів, що надходять на його вхід; його положенням у мережі; видом з'єднань із іншими нейронами; синаптичною вагою; типом функції активації. У результаті з'єднання елементарних обчислювальних елементів, в певних шарах, одержуємо різні види нейронних мереж. Вид перетворення діагностичної інформації нейронна мережа (НМ) обумовлюється не тільки характеристиками вхідних у її структуру нейронів, але й особливостями її архітектури, а саме, топологією міжнейронних зв'язків, напрямком і способами передачі інформації між нейронами, а також способами навчання мережі.

Однією із загальних рис, властивих всім нейронним мережам, є принцип паралельної обробки сигналів, який досягається шляхом об'єднання великої кількості нейронів у шари й з'єднання їх з різних шарів [7].

Проведемо порівняльний аналіз функціонування існуючих видів архітектур нейронних мереж для автопілоту стабілізації повздовжнім русі БПЛА, де характеристикою кожної штучної нейронної мережі є [7]:

– структура мережі (положення нейронів у ній і зв'язки між ними), у зв'язку з чим розрізняємо прямонаправлені й рекурентні, одношарові й багатошарові штучні нейронні мережі;

– метод пересилання (передачі) інформації із входу на вихід;

– метод навчання нейронної мережі – розрізняємо методи навчання мережі з учителем і без учителя.

Проаналізуємо можливість використання прямонаправленої одношарової НМ для автопілоту БПЛА (рис. 1.4).

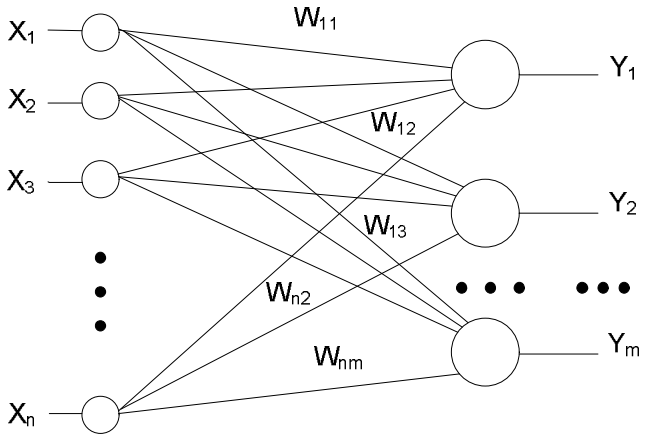


Рис. 1.4. Одношарова прямонаправлена НМ

На вхід НМ подається вхідний вектор, який складається з n нейронів $X=[x_1, x_2,..., x_n]^T$, і вихідний вектор $Y=[y_1,y_2,..., y_m]^T$. Сумарну активацію i-го нейрона представимо у вигляді [8]:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} W_{ij} x_i, \quad i = 1,2,...,m. \tag{1.3}$$

Синаптичні ваги w_{ij}, з'єднані i-м нейроном з виходом j-м, опишемо

матрицею: $W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix}$, кожний елемент якої w_{ij} задає величину i-го синапатичного зв'язку j-го нейрона.

Таким чином, процес стабілізації БПЛА приведемо у матричній формі:

$$Y=f(XW), \quad (1.4)$$

де X і Y – відповідно вхідний і вихідний вектори; $f(S)$ – активаційна функція. В одношаровій прямонаправленій НМ як активаційна функція застосовано функцію одиничного стрибка (1.1).

Головною перевагою цієї мережі є велика швидкість обчислень діагностичної інформації, що часто використовується під час обробки значних об’ємів даних польоту у режимі реального часу.

Попри численні достоїнства, система керування на основі ШНМ мають багато недоліків:

– під час оптимізації ваг ШНМ алгоритм навчання може зупинитись у локальному мінімумі, що зумовлює застосування алгоритмів глобальної оптимізації, які працюють досить повільно;

– немає строгої теорії щодо вибору типу і архітектури ШНМ;

– всю інформацію ШНМ отримує в процесі навчання і ніяку апріорну інформацію ввести в ШНМ неможливо.

Теорія нечіткої логіки (fuzzy logic) була розроблена порівняно недавно. Лотфі Заде (Lotfi A. Zadeh), професор Університету Каліфорнії в Берклі і відомий тепер як засновник нечіткої логіки. Останнім часом нечітка логіка стала однією з найбільш успішних сучасних технологій розроблення досконалих систем керування. Нечітка логіка ідеально підходить для розв’язання таких задач з тієї простої причини, що об’єднує досвід людини у вирішенні проблем із здатністю

обчислюваних засобів подавати їх у вигляді точних розв’язків на основі повної або часткової інформації.

Коротко перелічимо відмітні переваги fuzzy-систем у порівнянні з іншими:

– можливість формувати базу оптимальних законів у вигляді «Якщо (ситуація), то (керуючий вплив);

– можливість виробляти оптимальні керуючи впливи в умовах невизначеності;

– можливість формування «бази знань» керування;

– можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності.

Недоліками нечітких систем є [17]:

– відсутність стандартної методики конструювання нечітких систем;

– застосування нечіткого підходу в порівнянні з імовірнісним не приводить до підвищення точності обчислень.

Але все, ж недоліки нечіткої логіки не можуть переважити її переваги, саме тому перспективи нечіткої логіки, до вирішення прикладних і погано формалізованих задач величезні і затребувані.

Генетичні алгоритми (ГА) базуються на теоретичних досягненнях синтетичної теорії еволюції, що враховує мікробіологічні механізми успадковування ознак у природних і штучних популяціях організмів, а також на нагромадженому людському досвіді у селекції тварин і рослин. Вони використовуються в задача оптимізації керуючих впливів та знаходження діагностичних ознак динамічних систем [15].

В основу концепції інтелектуальності покладено:

– уміння працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);

– властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

РОЗДІЛ 2
МЕТОД СИНТЕЗУ АВТОПІЛОТА ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ У БІЧНОМУ РУСІ

2.1. Розробка алгоритму навчання нейро-нечіткого автопілоту комплексні системи для стабілізації БПЛА на заданій траєкторії

Синтезуймо алгоритм навчання для нейро-нечіткого автопілоту який наведено на рис. 1.4.

Процесу настройки піддається багатошаровий прямонаправлений перцептрон, тобто класична нейронна мережа, що входить до складу нечітко-нейронної системи (рис.1.4.). У цьому випадку значно підвищуються вимоги в порівнянні з традиційними застосуваннями. Це пов'язано, перш за все, з тим, що в процесі навчання вихідні сигнали класичної нейронної мережі порівнюються в даному випадку з виходами, які генеруються в вихідному модулі нечіткої нейронної системи. Ці модулі генерують набори чисел, що належать інтервалу [0,1] (а не безлічі {0,1}, як відбувається в процесі навчання класичної мережі).

Введемо наступне позначення:

– $N = a_1 + a_2 + ... + a_n$ – загальне число всіх входів класичної нейронної мережі,

– $N1$ –кількість елементів в додатковому, прихованому шарі,

– $M = b_1 + b_2 + ... + b_m$ – загальне число всіх виходів цієї мережі,

– P – загальна кількість наборів тренувальних даних, що генеруються вхідними та вихідними модулями в нечіткою структурою, використовуваних в процесі навчання нейронної мережі.

– d_{lp} – бажаний вихідний l сигнал мережі для тренувальних даних p,

– v_{lp} – дійсний відповідь на виході l нейронної мережі для набору p.

– Q_{lp} – є частковою величиною помилки для l виходу мережі,

– Q_p – помилка для всіх виходів мережі, яку розрахуємо наступним чином:

$$Q_l^p = (d_l^p - v_l^p)^2, l = 1,2..., M, p = 1,2,...P,$$

$$Q^p = \sum_{l=1}^{M} Q_l^p = \sum_{l=1}^{M} (d_l^p - v_l^p)^2, p = 1,2,...P \quad (2.1)$$

Глобальний показник якості мережі, тобто загальна помилка, яку необхідно мінімізувати в процесі навчання мережі має вигляд:

$$Q = \frac{1}{PM} \sum_{l=1}^{M} Q^p = \frac{1}{PM} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{M} Q_l^p = \frac{1}{PM} \sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{M} (d_l^p - v_l^p)^2, p = 1,2,...P \quad (2.2)$$

В процесі навчання нейронної мережі з метою мінімізації вищенаведеної проводиться цілеспрямована зміна значень ваг міжшарових синаптичних зв'язків. Цей процес повторюється інтерактивно до моменту, поки мережа не придбає необхідні властивості.

Алгоритм навчання нейронної мережі, можна представити з набору послідовно кроків:

Крок 1. Грунтуючись на досвіді багатьох досліджень, пов'язаних з навчанням багатошарового перцептрона за допомогою методу Зворотного поширення помилок, представлених в роботах [11], в даній роботі пропонується початкові значення синаптичних ваг Wij (0), Wij '(0) задавати випадковим чином як різні маленькі величини, що належать до інтервалу [–1,1]. Крім цього необхідно також визначити початкове значення величин параметрів η і α.

Від параметра η залежить величина змін синаптичних ваг, а параметр α характеризує ступінь достовірності у вигляді вагового коефіцієнта.

В дипломні роботі прийняті наступні обмеження t = 0; I = 0;

Крок 2. Iter: = Iter +1; p: = 0;

Крок 3. p: = p +1; Прямий прохід. Виконуємо розрахунок фактичного виходу:

$$Yj\ 'p = f\ (\ \sum_{i=1}^{N} W\ \text{ij}(t) x_i^p\ ),\ J = 1,2,\ ...\ \text{N};$$

$$Ylp = f\ (\ \sum_{j=0}^{N} W'_{\text{ij}}(t)\ Yj'p),\ l = 1,2,\ ...,\ M \quad (2.3)$$

Після чого виконується зворотний прохід і проводиться адаптація синаптичних ваг і порогів.

Значення для синаптичних ваг вихідного шару розраховуємо відповідно до наступної записи:

$Wij\ '(T + 1) = Wij\ '(t + \eta(Dlp - vlp)\ vlp\ (1\ vlp)\ Yj'p + \alpha\ [Wij\ '(t) - Wij'\ (t-1)],$ (2.4)

де $\eta = 2\eta_0.$

А синаптичні ваги для додаткового, прихованого шару розраховуємо наступним чином:

$$Wij\ (t + 1) = Wij\ (t) + \eta[\sum_{l=1}^{M-1} \square\ (Dlp-vlp)\ vlp\ (1-vlp)\ Wjl\ '(t)]\ Yj'p\ (1-Yj'p)\ xip + \alpha[Wij\ (t) - Wij\ (t-1)],\ t: = t + 1. \quad (2.5)$$

Ці рекурсивні розрахунки виконуються до моменту, поки не будуть проведені всі розрахунки для всіх наборів тренувальних даних характеризують політ літака, тобто поки p <P. В іншому випадку розраховується помилка Q (Iter) згідно з (2.2), яка є основним критерієм оцінки якості процесу навчання нейронної мережі. Можна також розрахувати додаткові оцінки, які є як би допомогу у визначенні відповідної кількості ітерації в алгоритмі навчання мережі і заходом "стійкості" (стабілізації) синаптичних ваг в окремих шарах мережі в процесі її навчання:

$$\Delta W = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_1}\left|\Delta W_{ij}^{p}\right| = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_1}\left|W_{ij}\ (t+1) - W_{ij}(t)\right| \quad (2.6)$$

$$\Delta W' = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{N1}\sum_{l=1}^{M}\left|\Delta W_{ij}^{'p}\ \right| = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{N1}\sum_{l=1}^{M}\left|W_{jl}(t+1) - W_{jl}(t)\right| \quad (2.7)$$

Як відомо, вище наведений алгоритм навчання мережі не гарантує досягнення глобального мінімуму оцінки якості (помилки) [12, 13]. Однак в дослідженнях при вирішенні багатьох практичних завдань, виконуючи розрахунки для різних значень параметрів (η, α найголовніше – кількість нейронів в прихованому шарі – N1), після чого, вибираючи оптимальний варіант,

вдається отримати дуже точну апроксимацію тренувальних даних в процесі навчання. Тому, можна зробити висновок, що при вирішенні багатьох практичних завдань досягнення глобального мінімуму оцінки якості не є необхідним і дуже важливою умовою, щоб отримати задовольняють нас результати.

Показана на рис. 2.1 нечітка нейронна система є багатошаровою структурою, для оптимального підбору параметрів складових елементів якої можна застосувати відомі процедури і методи оптимізації, що використовуються зазвичай для навчання штучних нейронних мереж.

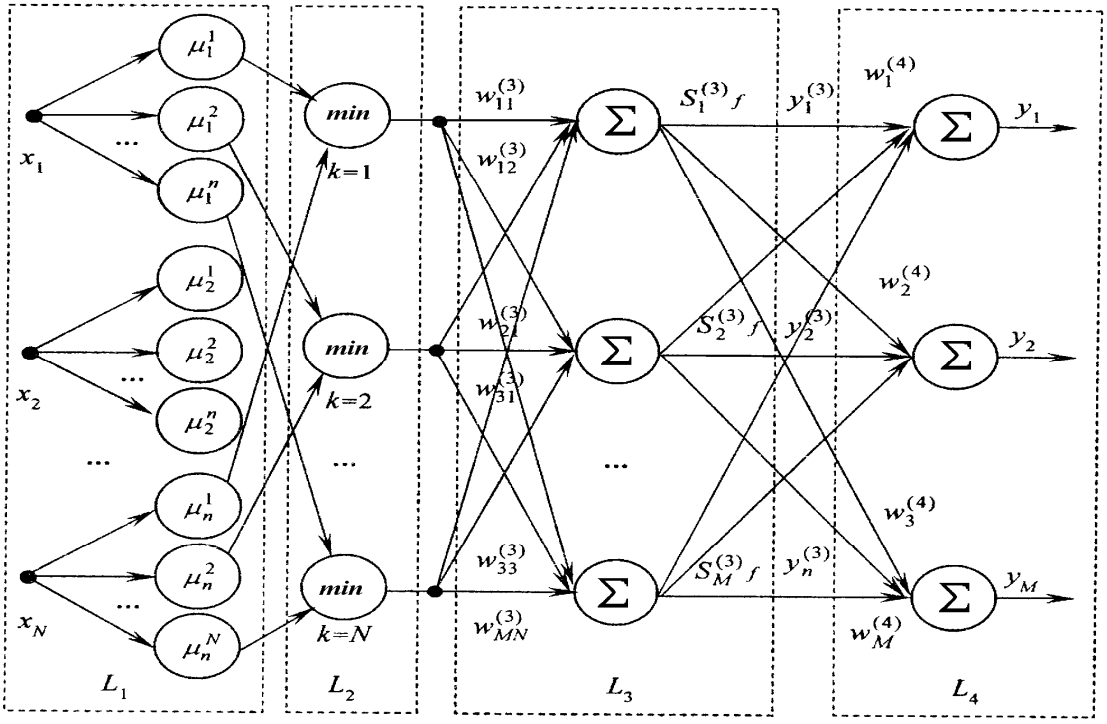


Рис. 2.1 Нейро-нечіткий автопілот типового БПЛА

Розглянемо загальну процедуру навчання нейронних систем нечіткого виводу, засновану на алгоритмі Зворотного Поширення Помилок (анг. Back–propagation). Цей алгоритм, як відомо, використовує для розрахунків помилку, яка визначається різницею між бажаним значенням на виході і дійсним вихідним значенням мережі. Тому спочатку необхідно налаштувати нейронної мережі, тобто починаючи від останніх шарів структури L_4 і L_3, визначити оптимальні значення синаптичних ваг нейронної мережі.

2.2. Налаштування синаптичних ваг нейронної мережі БПЛА

Процедури розрахунку оптимальних значень синаптичних ваг вибираємо в залежності від того, який алгоритм використовуємо для навчання нечіткої нейронної системи. Якщо використовується алгоритм зворотного поширення помилок, то розрахунок оптимальних значень синаптичних ваг визначаємо згідно з такими правилами.

Так як на вході нейронної мережі маємо рівні активації передумов τ_k, А на виході величина $\bar{y}$, Яка одночасно є виходом всієї системи висновків, то помилку на виході шару L_4 (Дивись рис. 2.1) визначаємо за формулою:

$$e = \frac{1}{2}(\bar{y} - d)^2, \tag{2.8}$$

де $\bar{y}$ для шару L_4 визначаємо як:

$$\bar{y} = f(s^{(4)}), \text{ а } \quad s^{(4)} = \sum_{r=1}^{M} w_r^{(4)} y_r^{(3)} + w_0^{(4)} \tag{2.9}$$

а також для шару L_3 визначаємо аналогічно:

$$y_r^{(3)} = f(S_r^{(3)}), \quad \text{а} \quad S_r^{(3)} = \sum_{k=1}^{N} w_{rk}^{(3)} \tau_r^{(3)} + w_{r0}^{(3)}, \text{ r= 1,2,.., M.} \tag{2.10}$$

Повне виведення всіх процедур і залежностей навчання нейронної мережі добре відомі і можна знайти в особистих публікаціях [11, 13], тому тут подамо лише основні необхідні розрахунки для даної нечітко–нейронної системи. Рекурентні залежності, що визначають оптимальні значення синаптичних ваг в L_4 згідно з алгоритмом Зворотного поширення помилок представляються такими таким чином:

$$w_r^{(4)}(t+1) = w_r^{(4)}(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial w_r^{(4)}(t)}, \tag{2.1}$$

де $\eta \in (0,1)$, r = 1,2, ..., M, а M– кількість нейронів в шарі L_3.

Оскільки помилка визначається за формулою (2.8), можемо визначити похідну таким чином:

$$\frac{\partial e(t)}{\partial w_r^{(4)}(t)} = (\bar{y} - d)\frac{\partial \bar{y}}{\partial w_r^{(4)}(t)} \tag{2.12}$$

З огляду на (2.9) вираз (2.12) можемо записати наступним чином:

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial w_r^{(4)}(t)} = f'(S^{(4)})\frac{\partial (S^{(4)})}{\partial w_r^{(4)}(t)} = f'(S^{(4)}) y_r^{(3)}\Big|_{(t)} \tag{2.13}$$

Підставляючи отриманий вираз (4.25) в (4.24) отримаємо:

$$\frac{\partial e(t)}{\partial w_r^{(4)}(t)} = (\bar{y} - d) f'(S^{(4)}) y_r^{(3)}(t) = \varepsilon^{(4)} y_r^{(3)}(t), \tag{2.14}$$

де $\varepsilon^{(4)}$ розраховується за наступною формулою:

$$\varepsilon^{(4)}(t) = (\bar{y} - d) f'(s^{(4)})\Big|t \tag{2.15}$$

і позначає помилку в L $w_r^{(4)}(t+1) = w_r^{(4)}(t) - \eta\,\varepsilon^{(4)}(t) y_r^{(3)}(t)$ шарі.

Таким чином, оптимальні значення синаптичних ваг нейронів в шарі L_4 визначаються згідно наступних залежностей:

$$w_r^{(4)}(t+1) = w_r^{(4)}(t) - \eta\,\varepsilon^{(4)}(t) y_r^{(3)}(t) \tag{2.16}$$

для r = 1,2, ..., M, $\eta \in (0,1)$, а помилка $\varepsilon^{(4)}$ визначається за формулою (2.15).

Тут нелінійність нейрона – функція f задається сигмоїдальна виду згідно з виразом $f(\text{net}) = \frac{1}{1+e^{-\beta \text{net}}}$, β > 0, тому її похідна розраховується: f '(s) = f (s) [1–f (s)].

Виконуючи аналогічні міркування для шару L_3 $w_{rk}^{(3)}(t+1) = w_{rk}^{(3)}(t) - \eta\,\varepsilon_r^{(3)}(t)\tau_k(t)$, отримаємо рекурентні залежності для параметрів цього шару. Таким чином, оптимальні значення ваг в шарі L_3 розраховуємо згідно з такими рекурентним залежностям:

$$w_{rk}^{(3)}(t+1) = w_{rk}^{(3)}(t) - \eta\,\varepsilon_r^{(3)}(t)\tau_k(t), \tag{2.17}$$

де $\eta \in (0,1)$, а r = 1,2, ..., M, K = 1,2, ..., N, $\varepsilon_{r\,(3)}$ розраховується за наступною формулою:

$$\varepsilon_r^{(3)}(t) = \varepsilon^{(4)}(t) w_r^{(4)}(t)\tau_k(t), \tag{2.18}$$

при цьому $\varepsilon^{(4)}$ розраховується за формулою (2.15). Для визначення оптимального значення wr0 (3), r = 1,2, ..., M по рекурентним формулами (2.17) необхідно прийняти $\tau_0 = 1$.

При цьому слід зауважити, що якби нейронна мережа містила більше шарів, необхідно було б визначати синаптичні ваги у всіх шарах мережі згідно з алгоритмом Back–propagation, використовуючи описані розрахункові формули. Після визначення оптимальних значень синаптичних ваг нейронної мережі (в шарах L_4 і L_3), можна виконати розрахунки для визначення оптимальних значень параметрів функцій приналежності $\mu_{A_i^k}$, I = 1,2, ..., n, k = 1,2, ..., N, які виступають в першому шарі L_1 структури нечітко–нейронної системи. З цією метою необхідно виконати зворотну прогонку алгоритму зворотного поширення помилки від шару L_4 до шару L_1.

2.3. Навчання нечіткої структури автопілоту БПЛА

У вищенаведеної нейронної системі нечіткого виведення вибір відповідного виду функцій приналежності виконується зазвичай на основі рішення експерта. Однак значення параметрів цих функцій можна визначити за допомогою відомих методів оптимізації. Оскільки розглянута система являє собою багатошарову структуру, подібну нейронних мереж, можна використовувати для налаштування значень її параметрів один з відомих оптимізаційних методів, використовуваних для навчання нейронних мереж.

Розглянемо застосування алгоритму Зворотного Поширення помилок для оптимального підбору параметрів нечіткої нейронної системи і таким чином, навчання цієї системи [12]. Припустимо, маємо навчальну множину у вигляді пар $\left(\bar{x}, d\right)$, де $\bar{x} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, ..., \bar{x}_n]^T$ є вхідним вектором, а d – заданий бажане значення. Необхідно так модифікувати параметри функцій приналежності системи, щоб помилка, яка розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\left[\bar{y}(\bar{x}) - d\right]^2 \tag{2.19}$$

була мінімальною. Вважаємо, що число правил відомо і так само N. Значення вихідної змінної $\bar{y}$ визначаємо за формулою $\bar{y} = \dfrac{\sum_{k=1}^{N} \bar{y}^k \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}{\sum_{k=1}^{N} \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}$.

Згідно з алгоритмом Зворотного поширення помилок значення параметра $\bar{y}^m$ функції приналежності $\mu_{B^k}(y)$, Заданої виразом $\mu_{B^{'k}}(x) = \sup_{y \in Y} \left\{ \mu_{A \to B}(x,y)^T * \mu_{B'}(y) \right\}$.

Можна виразити такою рекуррентной залежністю:

$$\bar{y}^m(t+1) = \bar{y}^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \bar{y}^m(t)} \tag{2.20}$$

де t означає крок алгоритму, при цьому t = 0,1,2, ..., η – є коефіцієнтом швидкості навчання, $\eta \in (0,1)$. Задаємо початкове значення $\bar{y}^m$ (0). Вираз (2.20) запишемо в такий спосіб:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^{N} \bar{y}^k \bar{z}^k}{\sum_{k=1}^{N} \bar{z}^k} = \frac{a}{b}, \text{ де } \quad \bar{z}^k = \prod_{i=1}^{n} exp\left[-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right] \tag{2.21}$$

Слід тут зазначити, що значення $\bar{y}$, А в зв'язку з чим і величина помилки залежить від значення $\bar{y}^m$ тільки в чисельнику дробу (тобто величина а).

Відповідно до правила диференціювання складної функції можемо розрахувати похідну за формулою:

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{y}^m} = (\bar{y} - d) \frac{\partial \bar{y}}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial \bar{y}^m} = (\bar{y} - d) \frac{1}{b} \bar{z}^m \tag{2.22}$$

Підставляючи значення похідної (2.22) в вираз (2.20) отримаємо рекуррентную залежність, яка дозволить визначити значення параметрів $\bar{y}^m$, Виконуючи їх коригування:

$$\bar{y}^m(t+1) = \bar{y}^m(t) - \eta \left. \frac{(\bar{y}-d)\prod_{i=1}^{n} exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^m}{\sigma_i^m}\right)^2\right]}{\sum_{k=1}^{N}\prod_{i=1}^{n} exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^m}\right)^2\right]} \right|_{(t)} \qquad (2.23)$$

для t = 1,2, ... ,. Якщо функції приналежності – гаусові, що визначаються за формулою $\mu_{A\to B}(x,y) = [1-\mu_A(x)] \vee \mu_B(y) = max(1-\mu_A(x), \mu_B(y))$, то аналогічно можемо визначити інші параметри функцій приналежності: $\bar{x}_i^m$ і σ_i^m.

При цьому $\bar{x}_i^m$ і σ_i^m розраховуємо згідно наступними залежностями відповідно:

$$\bar{x}_i^m(t+1) = \bar{x}_i^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \bar{x}_i^m(t)} \text{ і } \bar{\sigma}_i^m(t+1) = \bar{\sigma}_i^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \bar{\sigma}_i^m(t)} \qquad (2.24)$$

Відповідно до правила диференціювання складної функції можемо розрахувати похідну за формулою:

$$\frac{\partial e(t)}{\partial \bar{x}_i^m(t)} = (\bar{y}-d)\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{z}^m}\frac{\partial \bar{z}^m}{\partial \bar{x}^m} = (\bar{y}^m - \bar{y})\frac{\bar{y}-d}{b}\bar{z}^m\frac{2(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)}{\left(\sigma_i^m\right)^2} \qquad (2.25)$$

Повне виведення даної процедури можна знайти в роботах [10]. Підставляючи значення похідної (2.23) в вираз (2.25), отримаємо алгоритм настройки значень параметра $\bar{x}_i^m$:

$$\bar{x}_i^m(t+1) = \bar{x}_i^m(t) - \eta \left. \frac{\bar{y}-d}{b}(\bar{y}^m - \bar{y})\bar{z}^m\frac{2(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)}{\left(\sigma_i^m\right)^2} \right|_{(t)} \qquad (2.26)$$

Підставами в вираз (2.26) значення величин b і $\bar{z}^m$, Які визначені формулами

(2.26), в результаті отримаємо наступні залежності для навчання параметра $\bar{x}_i^m$:

$$\bar{x}_i^m(t+1)=\bar{x}_i^m(t)-2\eta\frac{(\bar{x}_i-\bar{x}_i^m)(\bar{y}^m-\bar{y})}{(\sigma_i^m)^2}(\bar{y}-d)\left.\frac{\prod_{p=1}^{n}exp.-\left[\left(\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_p^m}{\sigma_p^m}\right)^2\right]}{\sum_{k=1}^{N}\prod_{p=1}^{n}exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_p^k}{\sigma_p^m}\right)^2\right]}\right|_{(t)} \quad (2.27)$$

Виконуючи аналогічні міркування і розрахунки, зможемо записати процедуру навчання параметра σ_i^m у вигляді залежностей:

$$\bar{\sigma}_i^m(t+1)=\bar{\sigma}_i^m(t)-2\eta\frac{(\bar{x}_i-\bar{x}_i^m)^2(\bar{y}^m-\bar{y})(\bar{y}-d)}{(\sigma_i^m)^3}\left.\frac{\prod_{p=1}^{n}exp.-\left[\left(\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_p^m}{\sigma_p^m}\right)^2\right]}{\sum_{k=1}^{N}\prod_{p=1}^{n}exp.-\left[\left(\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_p^k}{\sigma_p^k}\right)^2\right]}\right|_{(t)} \quad (2.28)$$

Таким чином, отримані залежності визначають спосіб оптимальної настройки параметрів нейронної системи нечіткого виведення, використовуючи алгоритм Зворотного поширення помилок.

2.4. Алгоритм синтезу «бази законів керування» автопілоту БПЛА для стабілізації параметрів у бічному русі

Розглянемо БПЛА з m_n входами у бучному русі це ω_x - кутова швидкість кута крену, ω_y - кутова швидкість кута рискання, ψ,γ,β - кути курсу, крену, ковзання та керуючим виходом δ_e - відхилення елеронів :

$$p=f(m_1,m_2,...m_n), \quad (2.29)$$

де f – вихідна функція, що представляє залежність між входами та виходом БПЛА у бічному русі; $m_1, m_2, ... m_n$ – вхідні змінні (кути курсу, крену, ковзання, кутова швидкість кута рискання, кутова швидкість кута крену) та p положенні елеронів .

Змінні $m_1, m_2, ... m_n$ і p мають кількісні значення:

$$M_i = [m_{i\min}, m_{i\max}], i = \overline{1,n}; \tag{2.30}$$

$$P = [p_{\min}, p_{\max}], \tag{2.31}$$

де $m_{i\min}(m_{i\max})$ – мінімальне (максимальне) значення вектору стану m_i, що описують бічний рух БПЛА, $i = \overline{1,n}$; $p_{\min}(p_{\max})$ – мінімальне (максимальне) значення елеронів p.

Задача синтезу «база законів» автопілоту БПЛА для стабілізації кута напряму полягає у наступному. Для вектору $M^* = [m_1^*, m_2^*, ..., m_n^*]$ фіксованих значень вектору стану бічного каналу керування $m_i^* \in M_i, i = \overline{1,n}$ визначити необхідні керуючі дії автопілоту $p^* \in P$, тобто визначити значення сигналу керування елеронами БПЛА.

Для оцінки лінгвістичних змінних кута напряму m_i, $i = \overline{1,n}$ і та положення елеронів БПЛА p використаємо нечіткі множини: $S_i = [s_i^1, s_i^2, ..., s_i^{l_i}]$ – нечітка множина змінних бічного руху БПЛА $m_i, i = \overline{1,n}$; $V = [v_1, v_2, ..., v_r]$– нечітка множина змінної p (елерони), де s_i^q – q-е нечітка множина лінгвістичної змінної $m_i, q = \overline{1,l_i}, i = \overline{1,n}$; v_j – j-е нечітка множина лінгвістичної змінної p; r – число законів керування в автопілоті БПЛА керування бічним рухом. У загальному випадку $l_1 \neq l_2 \neq ... \neq l_n$.

Назви окремих термів, що описують параметри бічного руху БПЛА $s_i^1, s_i^2, ..., s_i^{l_i}$ можуть також відрізнятися кількістю та діапазоном один від одного для різних вхідних лінгвістичних змінних, що входять до вектору стану m_i, $i = \overline{1,n}$. Лінгвістичні множини $s_i^q \in S_i$ і $v_j \in V$, $q = \overline{1,l_i}$, $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,r}$ розглядатимемо як нечіткі множини, що задані на універсальних множинах M_i і P, співвідношення (2.30) (2.31).

Сформовану таблицю назвемо матрицею законів керування у бічному русі БПЛА, яка наведена табл. 2.1.

Наявні експертні дані, представлені у вигляді матриці «законів керування» встановлюють зв'язок між набором вхідних параметрів бічного руху БПЛА $m_1 - m_n$ якій відповідає цьому набору станів керувальних впливів на елерони v_j, $j = \overline{1,r}$.

Таблиця 2.1

Матриця «законів керування» автопілоту бічного каналу керування

Номер закону керування	**Вхідні змінні бічного руху БПЛА**				Вихідна змінна (елерони)
	m_1	m_2	...	m_n	p
11	s_1^{11}	s_2^{11}	s_i^{11}	s_n^{11}	v_1
12	s_1^{12}	s_2^{12}	s_i^{12}	s_n^{12}	
…	…	…	…	…	
$1\,k_1$	$s_1^{1k_1}$	$s_2^{1k_1}$	$s_i^{1k_1}$	$s_n^{1k_1}$	
…					
$j\,2$	s_1^{j2}	s_2^{j2}	s_i^{j2}	s_n^{j2}	
…	…	…	…	…	
jk_j	$s_1^{jk_j}$	$s_2^{jk_j}$	...	$s_n^{jk_j}$	
…					
$r\,1$	s_1^{r1}	s_2^{r1}	s_i^{r1}	s_n^{r1}	v_r
$r\,2$	s_1^{r2}	s_2^{r2}	s_i^{r2}	s_n^{r2}	
…	…	…	…	…	
$r\,k_r$	$s_1^{rk_r}$	$s_2^{rk_r}$	$s_i^{rk_r}$	$s_n^{rk_r}$	

Дана база «законів керування» бічного руху БПЛА, представлено у вигляді «Якщо (стан БПЛА у бічному русі), то (необхідний керуючий вплив на елерони)» .

Зв'язок між цими функціями належності визначається базою «законів керування» яку представимо у вигляді:

$$\begin{aligned}
\mu^{v_1}(m_1,m_2,...,m_n) &= \mu^{s_1^{11}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{11}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{11}}(m_n)\vee \\
&\vee\mu^{s_1^{12}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{12}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{12}}(m_n)\vee... \\
&...\vee\mu^{s_1^{1k_1}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{1k_1}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{1k_1}}(m_n), \\
\mu^{v_2}(m_1,m_2,...,m_n) &= \mu^{s_1^{21}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{21}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{21}}(m_n)\vee \\
&\vee\mu^{s_1^{22}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{22}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{22}}(m_n)\vee... \\
&...\vee\mu^{s_1^{2k_2}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{2k_2}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{2k_2}}(m_n), \\
\mu^{v_r}(m_1,m_2,...,m_n) &= \mu^{s_1^{r1}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{r1}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{r1}}(m_n)\vee \\
&\vee\mu^{s_1^{r2}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{r2}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{r2}}(m_n)\vee... \\
&...\vee\mu^{s_1^{rk_r}}(m_1)\wedge\mu^{s_2^{rk_r}}(m_2)\wedge...\wedge\mu^{s_n^{rk_r}}(m_n),
\end{aligned} \tag{2.32}$$

де $\vee$ - логічне АБО, $\wedge$ - логічне І.

Нечіткі логічні рівняння (2.32) отримані з нечіткої бази «законів керування» бічним рухом БПЛА шляхом заміни лінгвістичних термів s_i^{jq} і v_j на відповідні функції належності, а операції $\bigcup$ і $\bigcap$ на операції $\vee$ і$\wedge$. Систему законів керування бічним рухом БПЛА (2.32) наведено у наступному вигляді:

$$\mu^{v_j}(m_1,m_2,...,m_n) = \bigvee_{q=1}^{k_j}[\bigwedge_{i=1}^{n}\mu^{s_i^{jq}}(m_i)], j=\overline{1,r} \ . \tag{2.33}$$

Також, з використанням операцій $\bigcup$ (або), $\bigcap$ (і) зв’язок між вектором стану бічного руху БПЛА та вектором керування представимо у наступному вигляді [22]:

$$\bigcup_{q=1}^{k_j}\left[\bigcap_{i=1}^{n}(m_i = s_i^{jq})\right] \to p = v_j, j=\overline{1,r}\,. \tag{2.34}$$

Таким чином, співвідношення (2.29), що встановлює зв'язок між вектором стану бічного руху (кутова швидкість кута крену, кутова швидкість кута рискання, кути курсу, крену, ковзання відхилення елеронів) m_i і необхідним керуючим впливом p (відхилення елеронів) у вигляді на базі «законів керування»: Якщо (зміна значень вхідного вектор бічного руху), то (керуючий вплив).

2.5. Побудова структурної схеми моделі системи орієнтації БПЛА

Традиційно для вимірювання параметрів кутового положення використовують наступний набір датчиків: магнітний компас, вимірювачі крену і диференту (маятники, інклінометри, акселерометри) і датчики кутових швидкостей (ДКШ). Використання подібного складу датчиків не гарантує високої якості вимірювання і управління кутовим рухом БПЛА внаслідок впливу лінійних і доцентрових прискорень апарату на показання позиційних вимірників (компас, маятники).

Попередня фільтрація сигналів датчиків призводить до появи в контурах системи управління динамічних запізнень і вимагає зменшення загального коефіцієнта посилення системи, що негативно позначається на помилках системи, її динамічні властивості і реакції на зовнішні обурення.

Для вирішення зазначених проблем розроблена безплатформена система орієнтації (БСО), в основу якої покладено принцип спільної обробки даних (комплексування) різнорідних датчиків. БСО працює наступним чином. За отриманими даними з трьох ДКШ, з використанням рівнянь Ейлера, визначаються кутові швидкості БПЛА за курсом, крену, тангажу, які потім комплексуються з даними позиційних датчиків (акселерометри, магнітометри). Алгоритми комплексування оцінюють власний дрейф ДКШ і фільтрують флуктуації, присутні в сигналах позиційних датчиків.

В результаті на виходах алгоритмів комплексування отримуємо дані про гіромагнітного курсі, крен, тангажу БПЛА, вільні від доглядів і слабо схильні до впливу шумів і прискорень БПЛА. В цьому випадку динамічні запізнювання

системи визначаються похибками масштабних коефіцієнтів датчиків і істотно менше в порівнянні з варіантом безпосередній фільтрації показань позиційних вимірників. Додатково, за кутом курсу можлива робота БСО в режимі гіроазимута. У цьому режимі дані про магнітне курсі в алгоритмах комплексування не використовуються, а догляд системи за курсом визначається похибками оцінки власних дрейфів ДКШ і їх випадковими змінами щодо раніше оцінених значень. Запропонована алгоритмічна схема використовується в БСО БПЛА (рис. 2.2).

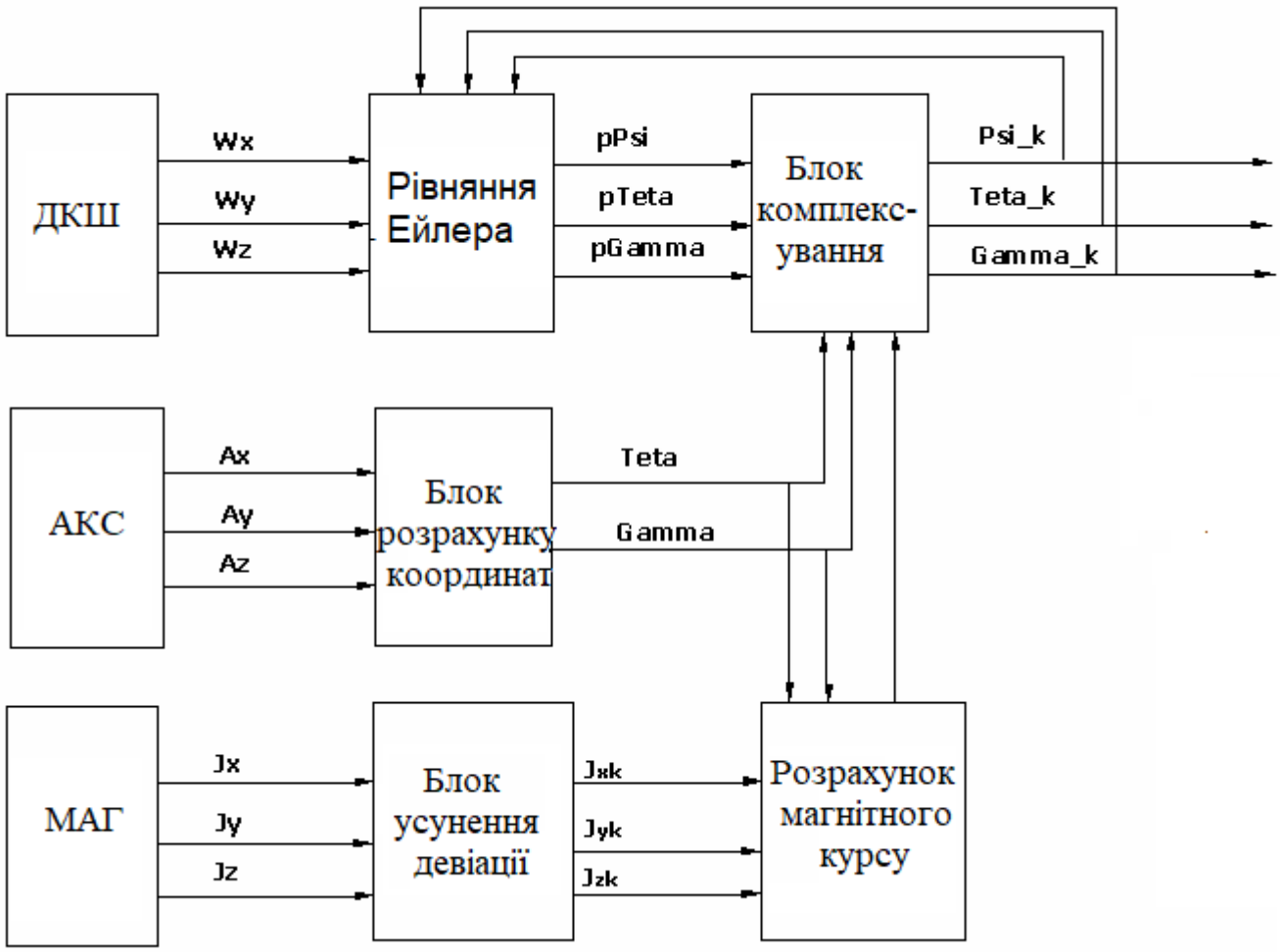


Рис. 2.2. Структурна схема БСО БПЛА

Можливий варіант побудови БСО для БПЛА на базі інерційних курсовертикаль, що володіють малими статичними і динамічними помилками. Такі системи за складом датчиків і алгоритмів обробки, по суті, являють собою ІНС. З огляду на жорсткі вимоги по габаритам, а також фактори вартості і надійності, до складу такої БСО повинні входити три ДКШ з випадковим

дрейфом нуля до 0,1 ... 0,01 град. / Год, три лінійних акселерометра з випадковим дрейфом нуля до 10–3 g , магнітний компас, модуль сполучення, бортовий обчислювач (мікроЕОМ).

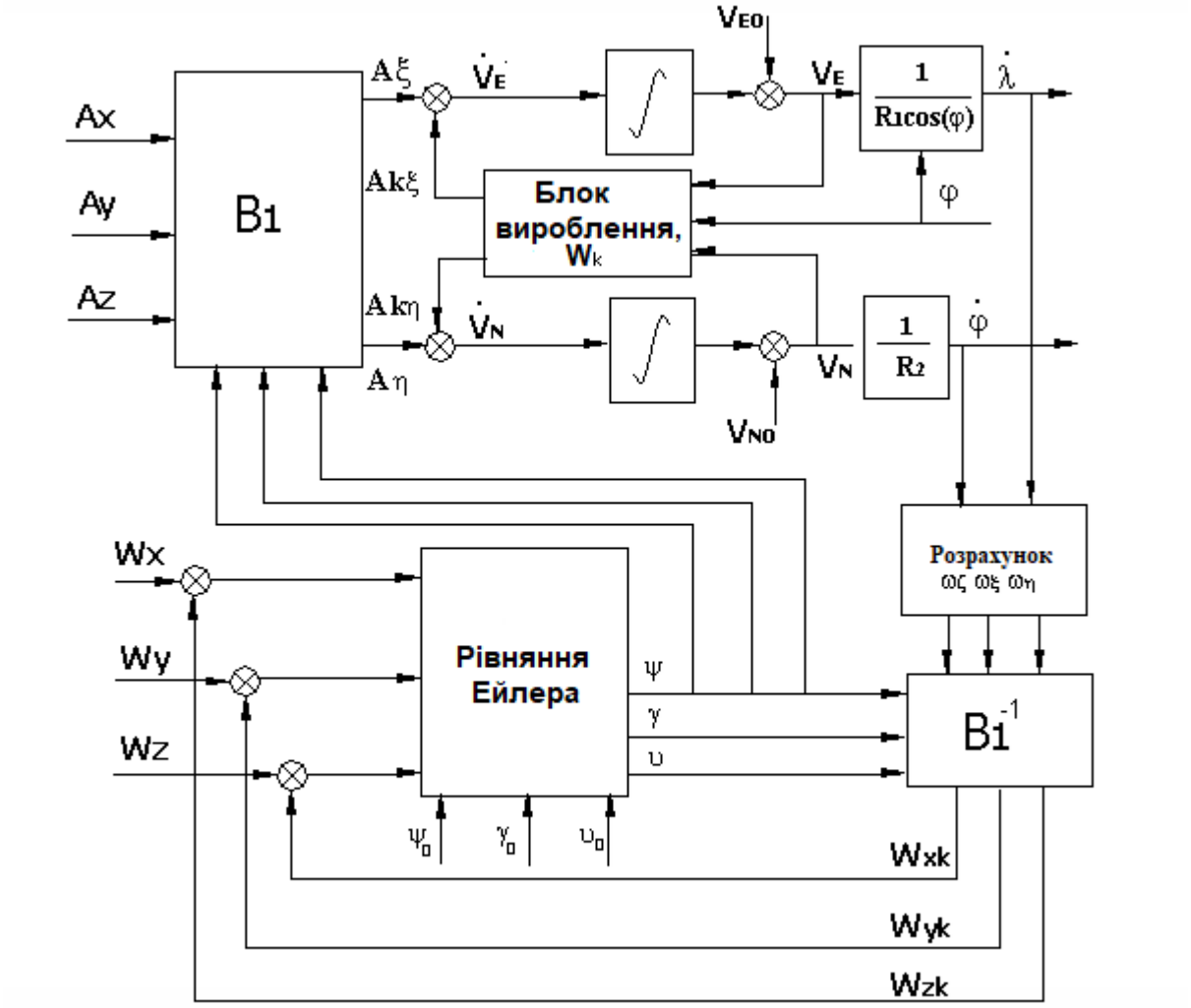


Рис. 2.3. Структурна схема алгоритму

Система має кілька режимів роботи: початкової виставки, гіронапівкомпаса і магнітної корекції. Основним режимом роботи БСО є режим гіронапівкомпаса. В цьому режимі шляхом інтегрування показань ДКШ визначаються кути орієнтації БПЛА щодо вертикалі місця і магнітного меридіана (кути курсу, тангажу, крену).

Завдання безперервного визначення положення вертикалі місця вирішується в БСО шляхом побудови так званої "необуреним вертикалі", завдяки чому вимірювання кутів крену і тангажу не схильні до впливу лінійних і вираженість прискорень БПЛА. Для цього за показаннями акселерометрів (Ax, Ay, Az) визначається північна і східна складова швидкості руху БПЛА (VN, VE), за якими

знаходяться кутові швидкості повороту вертикалі в північному і східному напрямках ($\varpi\zeta, \varpi\xi, \varpi\eta$). Перехід від системи координат, пов'язаної з апаратом, до місцевої географічної здійснюється за допомогою матриці B_1 (Рис. 2.3).

2.6. Модель похибок комплексної системи орієнтації та навігації БПЛА

Розглянемо задачу розробки автопілоту для БПЛА, призначеної для визначення поточних координат об'єкту і його повної кутовий орієнтації в заданій системі координат. При цьому досліджуємо можливості побудови такої системи на основі мінімально необхідного набору навігаційних засобів, включаючи прилади, присутність яких вважається обов'язковим на борту БПЛА.

Найбільшу точність визначення координат об'єкту забезпечують глобальні супутникова навігаційна система (СНС), що забезпечують точність визначення місця розташування на рівні десятків метрів в звичайному режимі, на рівні метрів в диференціальному режимі і сантиметрову точність при використанні фазових вимірювань. При цьому апаратура споживача СНС має малі масу і габарити, невисоку вартість при безоплатному користуванні СНС.

Недоліком СНС є слабка перешкодозахищеність, тому для надійного вирішення навігаційних завдань необхідно використовувати і автономну НС, яку можна розглядати як допоміжну, і, отже, не пред'являти до неї високих вимог по точності. В якості автономної навігаційної системи (НС) виберемо безплатформну навігаційну систему (БІНС), яка дає не тільки інформацію про поточні координати рухомого об'єкта, як і СНС, але і дозволяє визначати кутову орієнтацію об'єкта.

З метою зниження вартості НС і зменшення її масогабаритних характеристик пропонується використовувати не повноцінну БІНС, а тільки її інерційно-вимірювальний модуль, поклавши все навігаційні обчислення на єдиний обчислювач КНС.

З цією ж метою пропонується використовувати приймач СНС в бескорпусном виконанні, без пристроїв управління і індикації. Зазначених двох навігаційних систем (СНС і БІНС) досить для вирішення задачі високоточного і надійного визначення координат і кутової орієнтації БПЛА. Таким чином, в якості базового набору навігаційних засобів для розроблюваної КНС приймемо БІНС і СНС, інтегрування перерахованих навігаційних засобів в єдиний навігаційний комплекс КНС виконаємо на основі алгоритму оптимального фільтра Калмана.

В основу алгоритму роботи КНС покладемо завдання оптимального оцінювання помилок складових систем – БІНС і приймача СНС з метою їх компенсації. Виводимо моделі помилок систем, що входять до складу КНС.

В якості основної навігаційної системи приймемо БІНС, що дозволяє автономно і безперервно мати на борту об'єкта всю навігаційну інформацію про координати і просторової орієнтації об'єкта. Для розробки алгоритму КНС необхідно отримати модель помилок БІНС у визначенні навігаційних параметрів (НП).

БІНС визначає географічну широтуφ, довготу λ, Висоту h, північну, східну і вертикальну складові VN, VE, VB лінійної швидкості руху об'єкта відносно Землі об'єкта з помилками Δφ, Δλ, Δh, ΔVN , ΔVE , ΔVB:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{БІНС}} &= \varphi + \Delta\varphi; \\ \lambda_{\text{БІНС}} &= \lambda + \Delta\lambda; \\ H_{\text{БІНС}} &= h + \Delta h; \\ VN_{\text{БІНС}} &= VN + \Delta VN; \\ VE_{\text{БІНС}} &= VE + \Delta VE; \\ VB_{\text{БІНС}} &= V_{\text{ст}} + \Delta VB . \end{aligned} \qquad (2.35)$$

Виведемо лінеаризовану модель помилок БІНС.

Датчики кутових швидкостей (ДКШ) вимірюють проекції вектору абсолютної кутовий швидкості обертання об'єкта $\vec{\omega} = (\omega_{xo}, \omega_{yo}, \omega_{zo})^{T}$ з похибками $\Delta\omega_{xo}$, $\Delta\omega_{yo}$, $\Delta\omega_{zo}$, тобто на виході блоку ДКШ маємо "приладові" значення проекцій кутової швидкості:

$$\begin{aligned}\omega_{x_0}^n &= \omega_{x_0} + \Delta\omega_{x_0};\\ \omega_{y_0}^n &= \omega_{y_0} + \Delta\omega_{y_0};\\ \omega_{z_0}^n &= \omega_{z_0} + \Delta\omega_{z_0}.\end{aligned} \tag{2.36}$$

Врахуємо мультиплікативні і адитивні похибки ДКШ: похибки масштабних коефіцієнтів $\Delta k_{\omega i}$; дрейф $m_{\omega i}^{\partial p}$ і шуми вимірювання $\eta_{\cdot\,\omega i}$, де I = 1 ... 3:

$$\begin{aligned}\Delta\omega_{x_0} &= \Delta k_{\omega 1}\,\omega_{x_0} + m_{\omega 1}^{\partial p} + \eta_{\omega 1} = m_{\omega 1} + \eta_{\omega 1};\\ \Delta\omega_{y_0} &= \Delta k_{\omega 2}\,\omega_{y_0} + m_{\omega 2}^{\partial p} + \eta_{\omega 2} = m_{\omega 2} + \eta_{\omega 2};\\ \Delta\omega_{z_0} &= \Delta k_{\omega 3}\,\omega_{z_0} + m_{\omega 3}^{\partial p} + \eta_{\omega 3} = m_{\omega 3} + \eta_{\omega 3},\end{aligned} \tag{2.37}$$

де $m_{\omega i} = \Delta k_{\omega i}\omega_{i_0} + m_{\omega i}^{\partial p}$ (I = 1 ... 3) – еквівалентні дрейф ДКШ.

Проваріюєм рівняння Пуассона [9]:

$$\Delta\dot{C} = \Delta C\,\Omega_{Xo} + C\,\Delta\Omega_{Xo} - \Delta\Omega_X C - \Omega_X \Delta C. \tag{2.38}$$

отримаємо:

$$\Delta\Omega_{Xo} = \begin{bmatrix} 0 & -\Delta\omega_{z_0} & \Delta\omega_{y_0} \\ \Delta\omega_{z_0} & 0 & -\Delta\omega_{x_0} \\ -\Delta\omega_{y_0} & \Delta\omega_{x_0} & 0 \end{bmatrix};$$

$$\Delta\Omega_X = \begin{bmatrix} 0 & -\Delta\omega_z & \Delta\omega_y \\ \Delta\omega_z & 0 & -\Delta\omega_x \\ -\Delta\omega_y & \Delta\omega_x & 0 \end{bmatrix}, \tag{2.39}$$

де $\Delta\omega_x = \Delta\dot{\varphi}$;

$\Delta\omega_y = \Delta\dot{\lambda}\cos\varphi - (\dot{\lambda} + U)\Delta\varphi\sin\varphi;$

$\Delta\omega_z = \Delta\dot{\lambda}\sin\varphi + (\dot{\lambda} + U)\Delta\varphi\cos\varphi.$

Рівняння (2.39) описує поведінку помилок визначення в БІНС кутовий орієнтації об'єкта щодо географічної системи координат $Oxyz$, Записаних через матрицю напрямних косинусів. Матриця • C є різниця між обчисленою в БІНС

матрицею напрямних косинусів Сс і дійсної С: $\Delta C = C_c - C$.Введемо заміну змінних

$$\Delta C = \delta C \cdot C, \tag{2.40}$$

тоді з рівності Сс – С = $\delta C \cdot C$ отримаємо

$$C_з = [I + \delta C]\, C, \tag{2.41}$$

де I – одинична матриця.

Співвідношення (2.41) можна розглядати як завдання матриці [I + δC] Переходу від істинної географічної системи координат $Oxyz$ до "приладової" $Ox_cy_cz_c$, Обчисленої в БІНС. Задамо взаємне положення цих систем координат малими кутами $\Delta\varphi_x$, $\Delta\varphi_y$, $\Delta\varphi_z$, Як показано на рис. 2.4 кути $\Delta\varphi_x$, $\Delta\varphi_y$ являють собою помилки аналітичного побудови вертикалі в БІНС, а кут $\Delta\varphi_z$ – похибку визначення напряму меридіана.

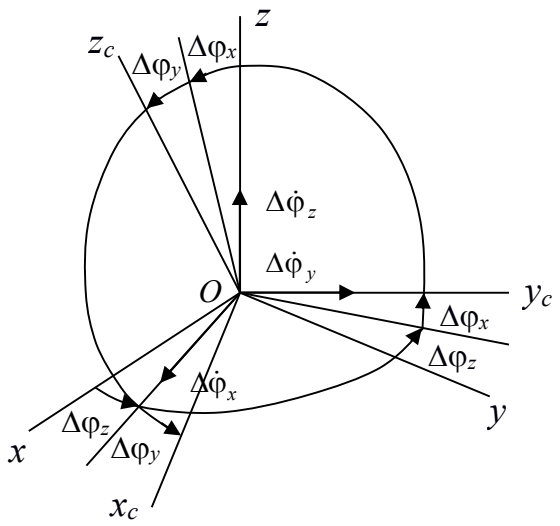


Рис. 2.4. Взаємне положення обчисленого і істинного географічних тригранників

Відповідно до співвідношенням (2.41) і рис. 2.4 отримаємо таке значення матриці напрямних косинусів [$I + \delta C$]:

$$[I+\delta C]=\begin{bmatrix} 1 & -\Delta\varphi_z & \Delta\varphi_y \\ \Delta\varphi_z & 1 & -\Delta\varphi_x \\ -\Delta\varphi_y & \Delta\varphi_x & 1 \end{bmatrix},$$

звідки

$$\delta C=\begin{bmatrix} 0 & -\Delta\varphi_z & \Delta\varphi_y \\ \Delta\varphi_z & 0 & -\Delta\varphi_x \\ -\Delta\varphi_y & \Delta\varphi_x & 0 \end{bmatrix}. \qquad (2.42)$$

Підставами вираз (2.41) в рівняння (2.38). Після нескладних перетворень з урахуванням відомого співвідношення для матриць напрямних косинусів С–1 = У розділі ст отримаємо:

$$\delta\dot{C}=\delta C\,\Omega_X + C\,\Delta\Omega_{Xo}C^{\mathrm{T}} - \Delta\Omega_X - \Omega_X\delta C. \qquad (2.43)$$

Перейшовши від рівнянь (2.43) в кососиметричних матрицях Ω_{Xo}, Ω_X (2.39), δC (2.42) до векторної формі рівнянь, отримуємо

$$\delta\dot{\vec{C}}=C\,\Delta\vec{\Omega}_{Xo}-\Delta\vec{\Omega}_X-\Omega_X\delta\vec{C}. \qquad (2.44)$$

де позначено:

$$\delta\vec{C}=\begin{bmatrix}\Delta\varphi_x\\ \Delta\varphi_y\\ \Delta\varphi_z\end{bmatrix};\ \Delta\vec{\Omega}_{Xo}=\begin{bmatrix}\Delta\omega_{x_0}\\ \Delta\omega_{y_0}\\ \Delta\omega_{z_0}\end{bmatrix};$$

$$\Delta\vec{\Omega}_X=\begin{bmatrix}-\Delta\dot{\varphi}\\ \Delta\dot{\lambda}\cos\varphi-(\dot{\lambda}+U)\Delta\varphi\sin\varphi\\ \Delta\dot{\lambda}\sin\varphi+(\dot{\lambda}+U)\Delta\varphi\cos\varphi\end{bmatrix}. \qquad (2.45)$$

Диференціальне рівняння для помилки БІНС по швидкості [8]

$$\Delta\dot{\vec{V}}=\Delta C\,\vec{a}+C\,\Delta\vec{a}. \qquad (2.46)$$

При виведенні рівняння (2.46) знехтували помилками компенсації Коріолісова прискорення $\Delta\dot{\vec{V}} = \Delta C\,\vec{a} + C\,\Delta\vec{a}$ в алгоритмі БІНС. Оскільки саме кориолісово прискорення є малим, то помилки компенсації цього прискорення на основі інформації, що виробляється в БІНС, є складовою частиною другого порядку малості.

вектор $\Delta\vec{a}$ = (Δax_{o} , Δay_{o} , Δaz_{o}.) Т в рівнянні (2.46) являє собою похибки акселерометрів в вимірі проекцій уявного прискорення $\vec{a}$ = (Δax_{o}, Δay_{o}, Δaz_{o}.) Т на осі об'єкта $Ox_0y_0z_0$. "Приладові" значення проекцій уявного прискорення дорівнюватимуть

$$\begin{aligned} a^n_{xo} &= a_{xo} + \Delta a_{xo};\\ a^n_{yo} &= a_{yo} + \Delta a_{yo};\\ a^n_{zo} &= a_{zo} + \Delta a_{zo}. \end{aligned} \qquad (2.47)$$

Врахуємо мультиплікативні і адитивні похибки акселерометрів: похибки масштабних коефіцієнтів Δkai; зміщення нулів m^*_{ai} і шуми вимірювання η_{ai}, Де і = 1 ... 3:

$$\begin{aligned} \Delta a_{x_0} &= \Delta k_{a1}\, a_{x_0} + m^*_{a1} + \eta_{a1} = m_{a1} + \eta_{a1};\\ \Delta a_{y_0} &= \Delta k_{a2}\, a_{y_0} + m^*_{a2} + \eta_{a2} = m_{a2} + \eta_{a2};\\ \Delta a_{z_0} &= \Delta k_{a3}\, a_{z_0} + m^*_{a3} + \eta_{a3} = m_{a3} + \eta_{a3}, \end{aligned} \qquad (2.48)$$

де $m_{ai} = \Delta k_{ai} a_{i_0} + m^*_{ai}$ (I = 1 ... 3) – еквівалентні зміщення нулів акселерометрів.

Диференціальні рівняння для визначення помилок БІНС у визначенні координат об'єкту:

$$\begin{aligned} \Delta\dot{\varphi} &= \frac{\Delta V_N}{R};\\ \Delta\dot{\lambda} &= \frac{\Delta V_E}{R\cos\varphi} + \frac{V_E \sin\varphi}{R\cos^2\varphi}\Delta\varphi\\ \Delta\dot{h} &= \Delta V_B. \end{aligned} \qquad (2.49)$$

З метою спрощення в рівняннях (2.49) замінені радіуси кривизни RM, R1 земного референс–еліпсоїда на радіус R сферичної Землі.

Доповнимо отримані рівняння помилок БІНС (2.40), (2.44), (2.46), (2.49) моделями похибок ДКШ $\Delta\omega_{xo}$, $\Delta\omega_{yo}$, $\Delta\omega_{zo}$ (2.37) і акселерометрів Δa_{xo}, Δa_{yo}, Δa_{zo} (2.48). Ці похибки можна розділити на три групи:

1. Похибки, практично не змінюються в процесі експлуатації БІНС.
2. Похибки, які мають помітний розкид значень від пуску до пуску, але стабільні в конкретному пуску.
3. Похибки, що змінюються під час роботи БІНС.

Похибки першої групи визначаються на етапі виготовлення та заводського регулювання БІНС. Похибки другої групи ідентифікуються при початковій виставці і калібрування БІНС в кожному пуску. Похибки третьої групи підлягають поточному оцінювання під час роботи БІНС.

РОЗДІЛ 3
АВТОПІЛОТ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ БІЧНОГО РУХУ БПЛА

3.1. Пілотажно-навігаційного комплексу типового БПЛА

У дипломній роботі розглядається малий БПС М-10 «Око 2», який відноситься до міні-класу. Тому застосування БПЛА економічно виправдане тільки в тому випадку, якщо вартість льотної години не перевищує 20–25 доларів США.

БПС М-10 «Око 2» представляє собою одномоторний вільнонесучий середньоплан з «V»-подібним хвостовим опереннням. Основні технічні характеристики М-10 «Око 2»: максимальна злітна вага – до 4,95 кг; маса цільового навантаження – до 0,8 кг; тривалість польоту - до 120 хв.; довжина маршруту – до 150 км; максимальна швидкість польоту - 150 км/год.; максимальна висота польоту – до 2000 м; дальність передачі відео в режимі он-лайн – 22 км; канали передачі даних цифрові, захищені; тип системи керування - напівавтоматична/автоматична. Мобільний безпілотний авіаційний комплекс М-10 «Око 2» призначений для виконання наступних завдань: дистанційного спостереження з повітря за об’єктами (окремі споруди, дороги, мости, транспортні засоби, нафто- та газопроводи, ЛЕП та інші); проведення моніторингу з повітря наземної обстановки під час надзвичайних ситуацій (пожежі, землетруси, повені, техногенні аварії); проведення пошуково-рятувальних робіт; передачі даних телеметрії та відео в режимі «он-лайн».

Запуск БПЛА здійснюється за допомогою пускової установки (Катапульта). Після запуску літак виводиться на траєкторію польоту по маршруту в зону безпосереднього вирішення цільової завдання. політ виконується за програмою, що включає кілька проміжних пунктів маршруту. Залежно від тактичної обстановки політ БПЛА на різних етапах маршруту може проходити на різній висоті. є можливість коригування траєкторії польоту людиною-оператором, який

знаходиться в наземному пункті управління (НПУ). Оператор може зробити корекцію траєкторії польоту БПЛА, змінити маршрут або характер цільової завдання. для обміну інформацією між бортом літака і НПУ використовується спеціальний радіоканал.

Після виходу літака на задану траєкторію основним завданням управління БПЛА стає завдання стабілізації БПЛА, тому що при веденні розвідки небажані, а іноді і неприпустимі занадто великі відхилення БПЛА в площинах крену, тангажу і рискання. При вході БПЛА в зону виконання цільової завдання включається бортова апаратура, призначена для вирішення цього завдання. Інформація від цих систем передається на НПУ оператору, обробляється і документується наземними обчислювальними системами.

Після рішення цільової завдання БПЛА перекладається на траєкторію зворотного маршруту. Кінцевим пунктом маршруту є задана точка в районі посадки. Функціонування БПЛА і його систем на зворотному маршруті аналогічні його функціонуванню при польоті в район виконання цільової завдання. При входженні БПЛА в зону посадки спрацьовує система забезпечення посадки. Посадка здійснюється за допомогою парашута. парашутна посадка може виконуватися як автоматично, при входженні БПЛА в зону посадки, так і по команді з НПУ. Система парашутної посадки може включатися також при наявності на борту аварійної ситуації.

Таким чином, функціонування БПЛА на всіх етапах застосування є складним процесом, що вимагає цілого комплексу спеціальних технічних засобів і систем. Основу цього комплексу складає навігаційно-пілотажна система БПЛА (НПС). Незважаючи на різноманітність засобів і систем, що входять в НПС і забезпечують управління БПЛА на різних етапах польоту, саму НПС можна розбити на функціонально незалежні блоки: навігаційну систему (НС), та автопілот, або пілотажної систему, або автопілот. НС здійснює вимір і оцінювання параметрів навігації і орієнтації, а САУ, враховуючи отримані оцінки і вимірювання, формує сигнали управління. для спостереження стану БПЛА використовуються різні інформаційні датчики. Сигнали від цих датчиків

передаються як на НС, яка виробляє оцінку і контроль навігаційних параметрів і параметрів орієнтації, так і в пілотажної систему, яка управляє кутовими рухами і рухом центру мас БПЛА по заданій траєкторії. Ці функції НС виконує автоматично без втручання оператора. Управління відбувається або автоматично, або безпосередньо оператором, або спільно. В останньому випадку реалізується можливість втручання оператора в роботу систем управління з метою коригування процесу її функціонування. Функціонування системи управління БПЛА пояснюється на рис. 3.1.

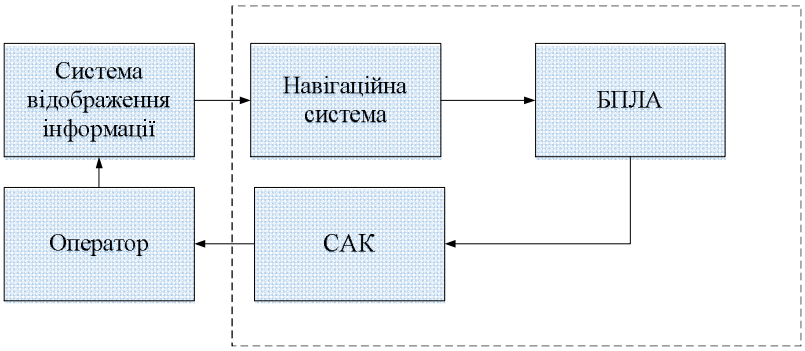


Рис. 3.1.Функціонування системи управління БПЛА пояснюється

Для забезпечення надійного виконання польотних завдань при виникненні як зовнішніх детермінованих та стохастичних збурень, так і внутрішніх параметричних збурень, погіршення експлуатаційних характеристик датчиків необхідно розробити автопілоти, що забезпечать високій рівень адаптивності до перерахованих вище несприятливих експлуатаційних факторів при виконані заданих обмежень на склад навігаційних датчиків і складність структури системи керування та стабілізації.

Тобто задача автоматизованого синтезу автопілоту для малих БПЛА повинна задовольняти суперечним критеріям: з одного боку забезпечувати точність стабілізації, а з іншого – простоту реалізацію алгоритмів, малі габарити та мінімальну вартість. Автопілот повинен ефективно відслідковувати випадкові збурення атмосфери та виробляти необхідні керуючі впливи на виконавчі механізми БПЛА.

Таким чином використання інтелектуальних технологій для синтезу автопілоту малого БПЛА дозволить заощадити на дорогих трьохступеневих та двохступеневих гіроскопах без втрати точності його стабілізації на заданій траєкторії польоту.

Також, даний БПЛА оснащено дешевими датчиками (барометричний висотомір з комплексуванням інформації з приймачем GPS, гірополукомпас) і спрощеною системою рульових органів керування. Ця система включає тільки руль висоти в поздовжньому каналі.

Структурна та функціональна схема пілотажно-навігаційного комплексу БПС М-10 «Око 2» представлено на рис. 3.2.

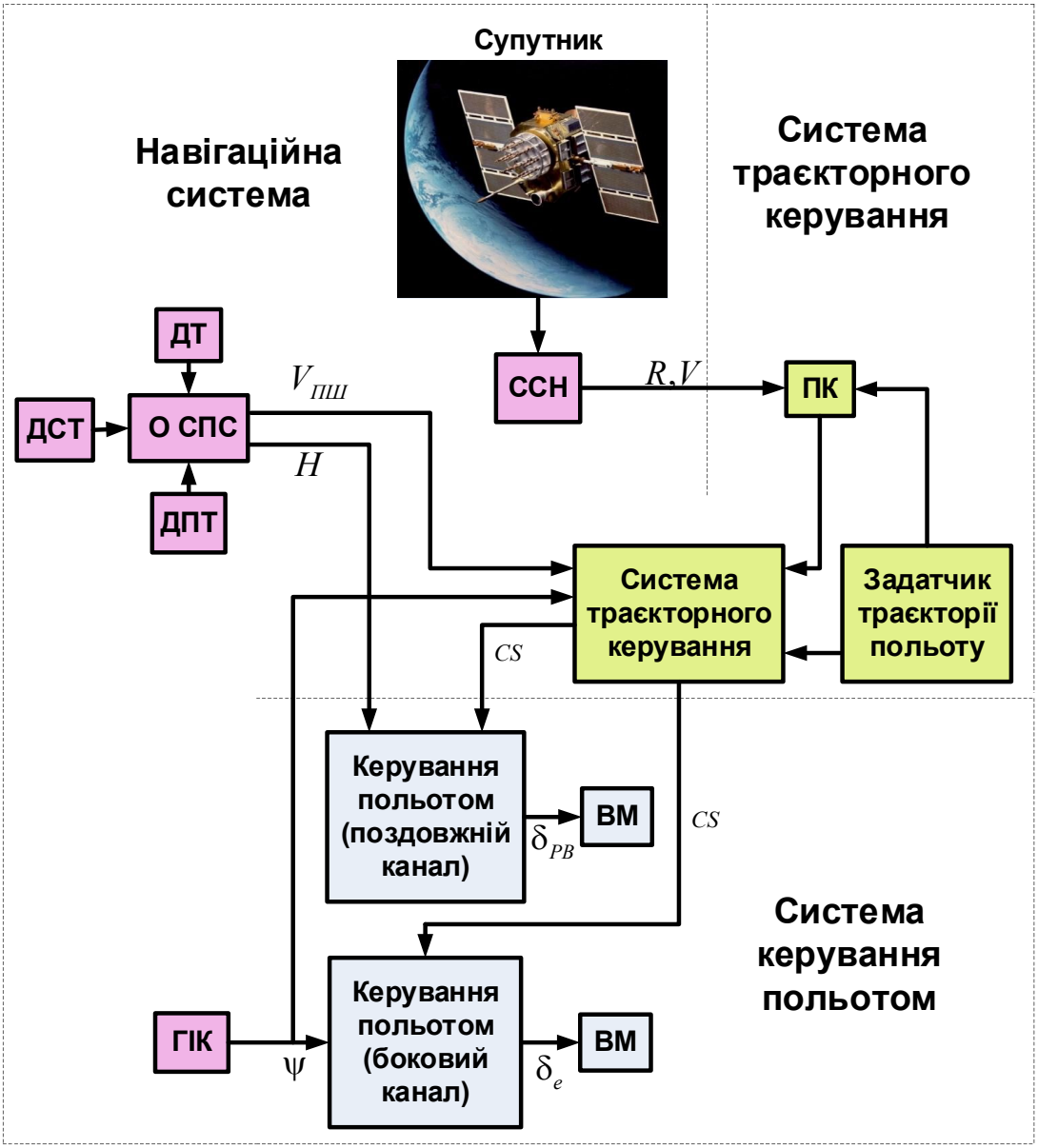


Рис. 3.2. Структура пілотажно-навігаційного комплексу БПЛА

Конструктивно пілотажно-навігаційний комплекс БПЛА виконаний у вигляді двох модулів основних блоків (системи керування польотом та навігаційної системи), що з'єднуються між собою кабелями.

НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА

БКВ – безплатформена курсовертикаль;

ВМ – виконавчий механізм;

ДПТ – датчик повного тиску;

ДСТ – датчик статичного тиску;

ДТ – датчик температури;

О СПС – обчислювач системи повітряних сигналів;

ГІК – гіроіндукційний компас

ПК – перетворювач координат (R – вектор положення літака; V – повітряна швидкість);

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ

СИСТЕМА ТРАЄКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

СКП – система керування польотом.

СПС – система повітряних сигналів.

ССН – супутникова система навігації;

СТК – система траєкторного керування.

Навігаційна система БПЛА складається з системи супутникової навігації (ССН), яка працює в автономному режимі та призначена для визначення місця положення та швидкості польоту БПЛА.

В ССН входять датчики статичного тиску (ДСТ) та датчики повного тиску (ДПТ) та датчик вимірювання температури (ДТ) навколишнього середовища.

Система траєкторного керування складеться з перетворювач координат (R – вектор положення літака; V – повітряна швидкість), системи траєкторного керування та задатчика траєкторії польоту, якій зберігає точки простору (висоту, широту та довготу у географічній системі координат).

Приймач СНС – представляє собою комбінований модуль приймача GPS (чіпсет SiRF StarII/LP) та антени. Виконує визначення координат БПЛА та передає поточну інформацію в навігаційну систему.

Модуль автопілоту – приймає дані від навігаційної системи та виробляє керуючі впливи на підставі закладених в нього законів керування, а потім подає їх у виді широтно-імпульсних сигналів на виконавчі органи БПЛА (рульові висоти та елерони). Автопілот сполучено із системою ручного керування, тобто виключатися або включатися по команді від оператора.

Програмне забезпечення призначене для: функціонального контролю систем автопілоту; планування траєкторії польоту; введення польотного завдання в модуль автопілоту і перевірки правильності введення. Усі перераховані операції можуть здійснюватися як у стаціонарних, так і в польових умовах.

У штатному режимі роботи супутникова система навігації та система траєкторного керування використовуються для забезпечення системи контролю заданого напрямку руху, а також забезпечення системи керування польотом необхідною інформацією.

Супутникова система навігації подає інформацію в геоцентричній системі координат, що зв’язана з центром Землі. Але системою користування є топографічна система координат.

Тому необхідно перевести інформацію в топографічну систему. Для цього необхідно попередньо обчислити матрицю направляючих косинусів, укласти її в перетворювач координат і він відразу видає інформацію в топографічній системі.

У поздовжній канал (ПК) подається: висота H; cs – командний сигнал, що виконує переключення схеми режимів. Для ПК це такі режими, як режим набору та стабілізації висоти. У представленій моделі БПЛА площина керування – руль висоти $\delta_{РВ}$ (рис. 3.2).

У боковий канал (БК) подається: ψ – заданий кут рискання; cs – командний сигнал, що виконує переключення схеми режимів. Для БК це такі режими, як режим розвороту, режим заданого курсу, режим стабілізації лінії заданого шляху. У представленій моделі БПЛА площина керування – елерони (їх відхилення показано на рис. 3.2, як $\delta_{ЕЛ}$.).

Властивість стійкості руху БПЛА характеризує здатність останнього до збереження деякого заданого режиму польоту. Зокрема, у якості заданого режиму польоту може прийматися режим горизонтального, прямолінійного польоту з постійною висотою. У випадках практичного використання БПЛА становить інтерес питання не тільки щодо збереження даного режиму, але й можливість, коли це необхідно, досить швидкої його зміни. Здатність БПЛА до змін режимів польоту, тобто до виконання різних еволюцій, прийнято оцінювати так званою керованістю. Під керованістю БПЛА можна вважати здатність останнього до зміни свого положення в просторі при відповідних переміщеннях руля висоти та елеронів. Керованість БПЛА можна охарактеризувати інтенсивністю зміни в часі кожного з кінематичних параметрів. Однак найбільший практичний інтерес представляють ті змінні, за допомогою яких оцінюють ступінь скривлення траєкторії центру ваги.

Це пояснюється тим, що головна задача автоматизованого керування БПЛА полягає в забезпеченні певної траєкторії польоту, у той час як обертання БПЛА навколо його центру ваги є одним із засобів вирішення цієї задачі. При цьому слід відмітити, що інтенсивність зміни таких кутових координат, як α, β, θ та т.п., хоча і посередньо, але впливає на зміну траєкторії польоту.

У дипломній роботі розглянемо режим польоту, тобто стабілізація заданої висоти при дії зовнішніх дестабілізуючих збурень.

Схема руху БПЛА зображено на рис. 3.3.

Як тільки БПЛА долітає до положення 4, команди починають повторюватись, а саме: спочатку поступає команда на разворот, далі відбувається стабілізація крену та стабілізація лінії заданого шляху.

Якщо БПЛА піднявся у повітря, то крім високих льотно-тактичних даних він повинен бути добре врівноважений, бути стійким і одночасно добре керованим. Виконання цих вимог – складне конструктивне завдання.

Політ даного БПЛА визначається його взаємодією з іншими тілами, головним чином з повітрям, що обтікає крило, фюзеляж, горизонтальне оперення і

т.п. При взаємодії з повітрям виникають зовнішні аеродинамічні сили, які навантажують БПЛА і створюють моменти сил. Для здійснення стабілізації кута крену та курсу потрібно повна або часткова рівновага зовнішніх сил і моментів, що діють на БПЛА.

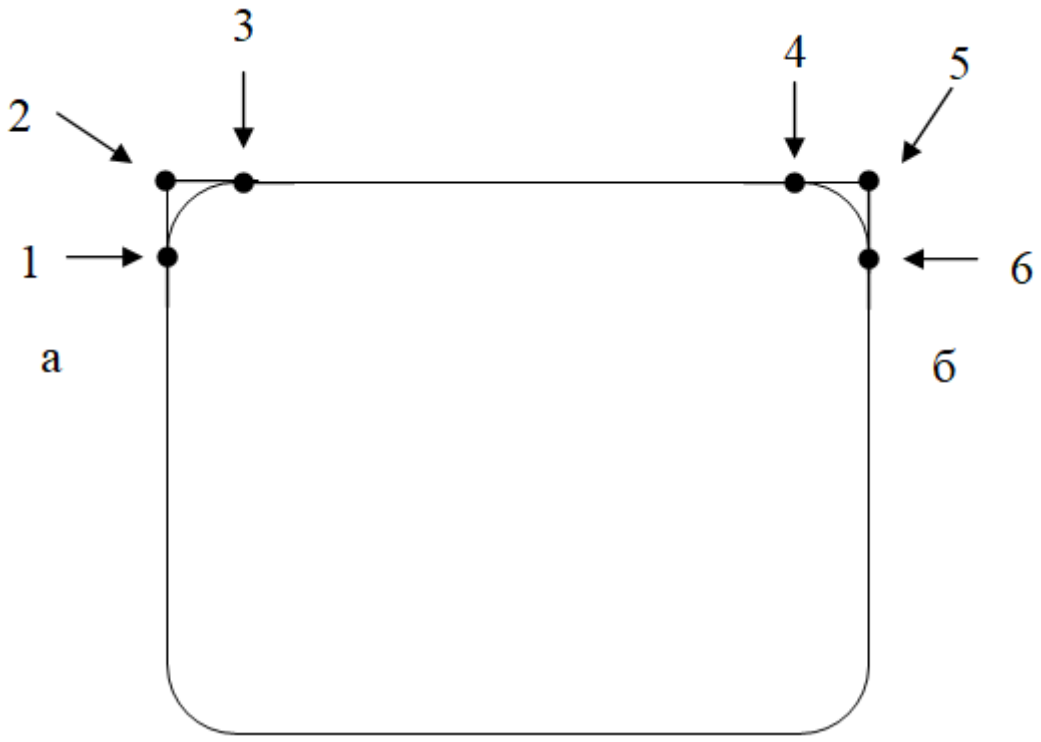


Рис. 3.3. Схема руху БПЛА в горизонтальній площині, де 1, 3, 4, 6 – лінійне упередження розвороту; 2, 5 – реперні точки траєкторії; а, б – стабілізація лінії заданого шляху.

Умови рівноваги для БПЛА у бочному каналі можна коротко записати в наступний спосіб: $Z=0$; $N=0$; $X=0$; $L=0$, де L, N – момент за рисканням s крену відповідно, Z – бічна сила, X – повздовжня сила.

З рівнянь витікає, що в сталому польоті проекції зовнішніх сил на осі X, Z, а також моменти щодо цих осей повинні дорівнювати нулю. Щодо осі Z БПЛА балансується і повертається за допомогою елеронів . Відносно осі X БПЛА балансується і повертається за допомогою керма напряму.

При порушенні поперечної рівноваги за рахунок виникнення доцентрової сили відбувається порушення шляхової рівноваги, а при порушенні шляхової

рівноваги за рахунок несиметричного обтікання напівкрил відбувається порушення поперечної рівноваги. Такий взаємний вплив поперечної та шляхової рівноваги на стан БПЛА називається боковою рівновагою.

Поперечна і шляхова стійкість ізольовано не можуть існувати, тому що прояв одного виду стійкості позначається на іншому. Тому сукупність поперечної і шляхової стійкості називається боковою стійкістю. Наприклад, під дією зовнішнього збурення БПЛА обертатиметься навколо осі X вправо. У міру відхилення від початкового положення зростає кут ковзання β. Завдяки ковзанню, на лівому крилі виникає додаткова аеродинамічна сила, що створює момент, який кренить БПЛА убік, зворотній ковзанню. При гарній поперечній стійкості крен, що виник при ковзанні, швидко усувається.

3.2. Структурна схема автопілоту для стабілізації БПЛА у бічному русі

Розглянемо режим стабілізації курсу та крену БПЛА. Структурна схема бокового каналу автопілоту БПЛА зображена на рис. 3.4.

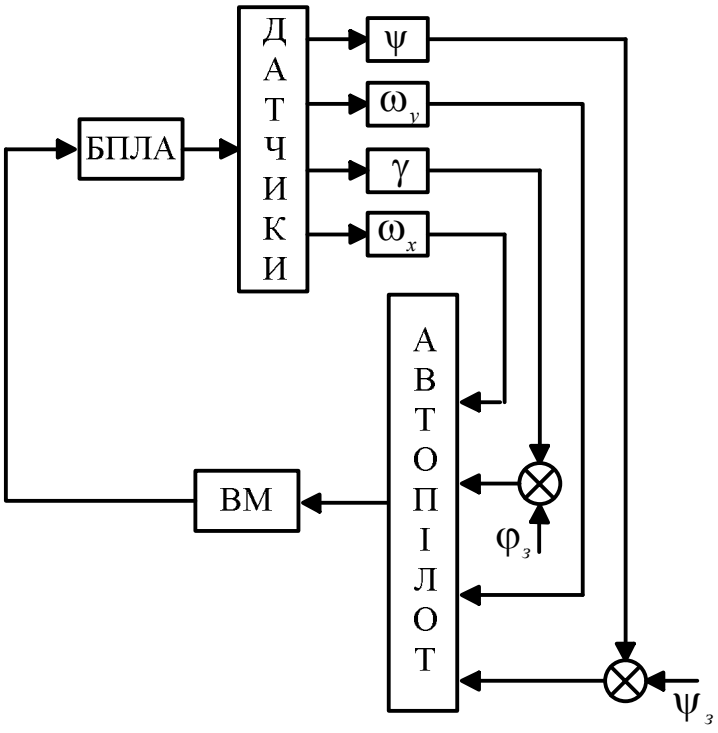


Рис. 3.4. Структурна схема автопілоту

Керування у бічному русі, де $\psi_з$, $\varphi_з$ – заданий сигнал курсу та крену відповідно.

До бокового каналу системи керування відноситься внутрішній контур керування креном і зовнішній контур керування курсом.

На вхід автопілоту надходять сигнали від датчиків кутових швидкостей крена ω_x, рискання ω_y та кутів курсу ψ, крену γ. Для виміру кутів відхилення БПЛА від заданого курсу використовується гіроіндукційний компас (ГІК). У комбінації з механізмом узгодження каналу курсу він вимірює кутові відхилення від будь-якого обраного напрямку польоту БПЛА. ГІК являє собою комплексну курсову систему, що складається з курсового гіроскопа, коректованого в азимуті індукційним компасом.

Для виміру кутових швидкостей обертання ω_x та ω_y БПЛА відносно його координатних осей використовується блок датчика кутових швидкостей. Він складається із двох незалежних вимірювачів кутових швидкостей, що використовують гіроскопи із двома ступенями свободи.

cs – командний сигнал, що виконує переключення схеми режимів. Для бокового каналу це такі режими, як режим розвороту, режим заданого курсу, режим стабілізації лінії заданого шляху. Система траєкторного керування при боковому польоті містить у собі команду на розворот, стабілізацію крена, стабілізації лінії заданого шляху.

Будемо вважати, що досліджуваний БПЛА, опишемо в просторі станів наступним рівнянням:

$$\dot{\mathrm{x}} = \mathbf{A}\mathrm{x} + \mathbf{B}\mathrm{u} + \mathrm{w};$$
$$\mathrm{y} = \mathbf{C}\mathrm{x} + \mathrm{v};$$

де x – вектор стану;

$\mathbf{A},\mathbf{B}$ – матриці стану та керування;

u – вектор керуючих впливів;

y – вектор спостереження;

$\mathbf{C}$ – матриця спостереження;

w,v – шуми стану і спостереження.

Вектор стану у бічному русі представимо у вигляді:

$$X = [\beta, \gamma, \omega_x, \psi, \omega_y]^{\mathbf{T}}$$

де ω_x - кутова швидкість кута крену;

ω_y - кутова швидкість кута рискання;

ψ, γ, β - кути курсу, крену, ковзання відповідно.

Вектор виходу представлений у наступному вигляді:

$$Y = [\gamma, \omega_x, \psi, \omega_y]^{\mathbf{T}}$$

Вектор керування у бічному русі, це відхилення елеронів , тобто:

$$u = [\delta_e]^{\mathbf{T}}$$

де: u - вектор керування;

δ_e - відхилення елеронів .

У проектній роботі пропонується розглянути дві моделі.

Так, номінальна модель БПЛА у бічному русі (при істинної повітряної швидкості 250 км/год), має наступний вид:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -0.136 & 0.14 & 10^{-4} & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -56.21 & 0 & -11.25 & 3.3 & 0 \\ 1.2 & 0 & -0.21 & -0.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B} = [0 \quad 0 \quad 160 \quad 0 \quad 0]^{\mathrm{T}}.$$

Обурена модель БПЛА у бічному русі (при істинної повітряної швидкості 200 км/год):

$$\mathbf{A}_{\mathrm{p}} = \begin{bmatrix} -0.109 & 0.175 & 10^{-4} & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -36.28 & 0 & -9.2 & 2.8 & 0 \\ 0.86 & 0 & -0.17 & -0.185 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B}_{\mathrm{p}} = [0 \quad 0 \quad 103.6 \quad 0 \quad 0]^{\mathrm{T}}$$

де: А і В - матриці стану та керування БПЛА у бічному русі, індекс «р» - позначмо параметричну збурену модель.

3.3. Структурна та функціональна схема автопілоту стабілізації парамтерів у бічному русі на основі інтелектуальних технологій

Відповідно до описаними в 1-му розділі рекомендацій структурну схему нечіткого автопілоту бічного каналу стабілізації БПЛА виберемо у вигляді, зображеному на рис. 3.5 .

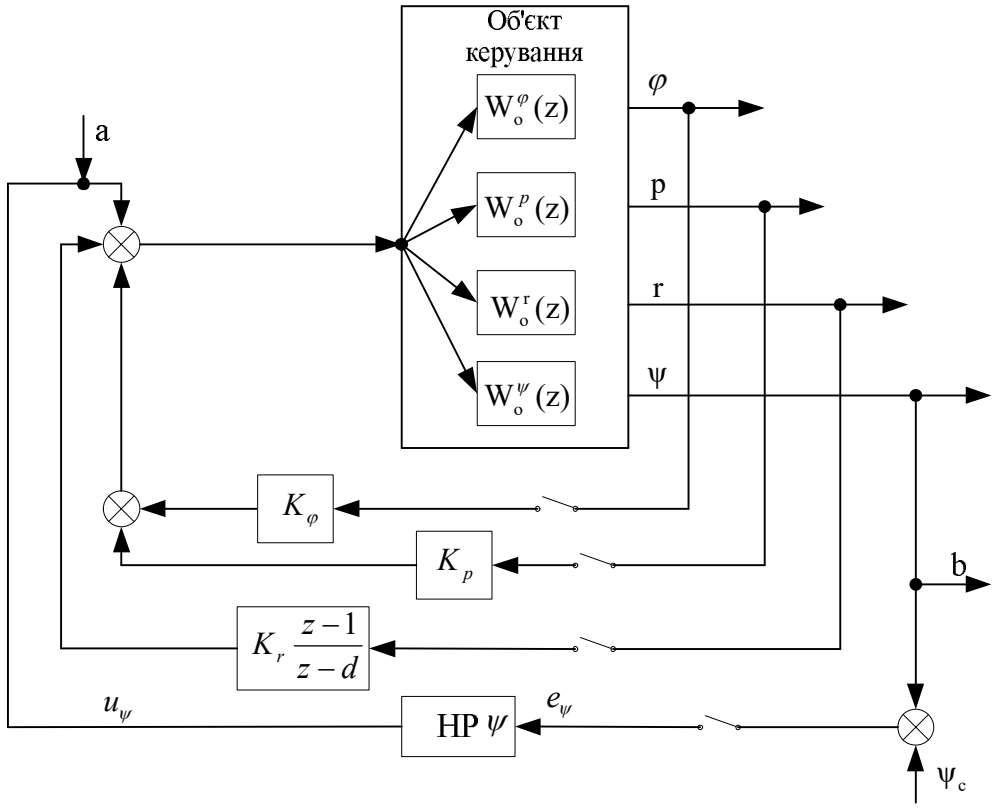


Рис. 3.5. Структура інтелектуального автопілоту бічного каналу стабілізації БПЛА, де: НЧ – нечіткий регулятор

На цьому рисунку об'єкт керування зображений у вигляді моделі з одним входом і декількома виходами (SIMO - „ single - input - multiple - output ") і відповідними передавальними функціями $W_o^{\phi}(s)$, $W_o^{p}(s)$, $W_o^{r}(s)$ і $W_o^{\psi}(s)$, що

описують динаміку зміни крену φ, кутової швидкості крену p, кутової швидкості курсу r і курсу ψ відповідно. У ці моделі входить також і передавальна функція приводу $\mathrm{W_{пр}} = \dfrac{1}{0.5\mathrm{s}+1}$.

Відповідні коефіцієнти K_p і K_r, як уже зазначалося вище, отримані після виконання оптимізації і в нашому випадку рівні $K_p = 7.62$, $K_r = 5$.

Як було зазначено вище, найбільш часто використовуваних режимом бокового каналу автопілоту є режим стабілізації курсу, тому в подальших будемо розглядати тільки два контури - стабілізації крену і стабілізації курсу.

Тобто, розглянемо спочатку випадок фазифікації зовнішнього контуру стабілізації курсу ψ, а потім проаналізуємо застосування нечітких регуляторів в обох каналах.

Розглянемо побудову узагальненого об'єкта керування у нашому випадку БПЛА, охопленого внутрішніми зворотними зв'язками. Позначимо через $W_{об}^{\varphi}(z)$, $W_{об}^{p}(z)$, $W_{об}^{r}(z)$, $W_{об}^{\psi}(z)$ передавальні функції від входу виконавчого механізму (приводу) до відповідних виходів об'єкта по крену, кутової швидкості крену, кутової швидкості курсу і курсу.

Відомо, що передавальні функції SIMO -систем мають один спільний знаменник:

$$\mathbf{A}_{\mathrm{o}}(\mathrm{z}) = \det[\mathrm{zI} - \mathbf{A}]$$

де $\mathbf{A}$ - матриця стану системи і різні числителі.

Тому вищевказані передавальні функції можуть бути представлені у вигляді:

$$\mathbf{W}_{об}^{\phi}(z) = \frac{\mathbf{B}_{\phi}(z)}{\mathbf{A}_{o}(z)}; \tag{3.1}$$

$$\mathbf{W}_{об}^{p}(z) = \frac{\mathbf{B}_{p}(z)}{\mathbf{A}_{o}(z)}; \tag{3.2}$$

$$\mathbf{W}_{об}^{r}(z) = \frac{\mathbf{B}_{r}(z)}{\mathbf{A}_{o}(z)}; \tag{3.3}$$

$$\mathbf{W}_{об}^{\psi}(z) = \frac{\mathbf{B}_{\psi}(z)}{\mathbf{A}_{o}(z)}. \qquad (3.4)$$

У зв'язку з цими структурну схему можна представити у вигляді рис.3.6.

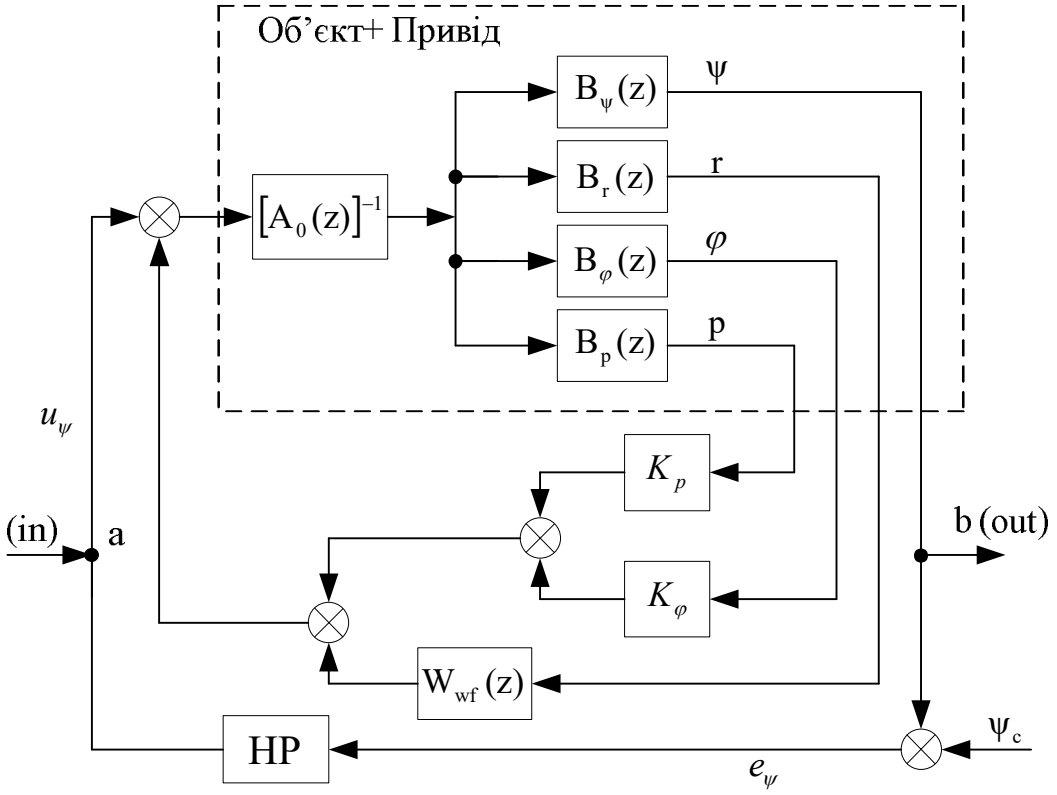


Рис. 3.6. Структурна схема нечіткого - регулятора і узагальненого об'єкта управління (БПЛА)

Очевидно, що передавальна функція узагальненого об'єкта від точки (вхід - in) до точки (вихід - out) представимо наступним чином:

$$\mathbf{W}_{yo}(z) = \frac{\mathbf{B}_{\psi}(z)}{\mathbf{A}_{o}(z) + [\mathbf{B}_{r}(z) \cdot \mathbf{W}_{wf}(z) + K_{\phi}\mathbf{B}_{\phi}(z) + K_{p}\mathbf{B}_{p}(z)]}$$

Задачу стабілізації кута курсу у бічному русі БПЛА пропонується вирішити, з використанням бази законів керування. Кожне керуючий закон діє у певній області інформаційного польотного простору з врахуванням впливу на БПЛА зовнішніх збурень. При виробленні автопілотом необхідного керуючого впливу на елерони здійснюється обробка великого числа законів керування, які відображають аеродинамічні та льотно-технічні характеристики БПЛА та негативний вплив зовнішнього середовища. Після процесу обробки результати

окремих висновків узагальнюються і отриманий результат перетворюється в числове значення сигналу, яке після підсилення подається на елерони БПЛА.

Розглянемо структурну схему автопілоту стабілізації кута курсу БПЛА з використанням інтелектуальних технологій (рис. 3.7), якій забезпечить оптимальну стабілізацію БПЛА в умовах дії зовнішніх збурень. Поточне значення кута курсу Ψ_n порівнюється з заданим значенням курсу $\Psi_з$ та помилка неузгодженості ε масштабується коефіцієнтом K_ε.

Диференціатор S перезначений для отримані похідної від помилки неузгодженості за курсом БПЛА, вихід якої масштабується значенням $K_{\dot{\varepsilon}}$. Елементи F_ε і $F_{\dot{\varepsilon}}$ призначені для перетворення поточних значень помилки неузгодженості за курсом ε та її похідної $\dot{\varepsilon}$ в значення лінгвістичних змінних. Величини ε^* і $\dot{\varepsilon}^*$ надходять у головний елемент автопілоту стабілізації кута курсу тобто базу законів (правил) керування.

База законів керування автопілоту стабілізації кута курсу побудована у вигляді алгоритму «Якщо (поточний стан БПЛА), то (необхідний керуючий вплив), інакше».

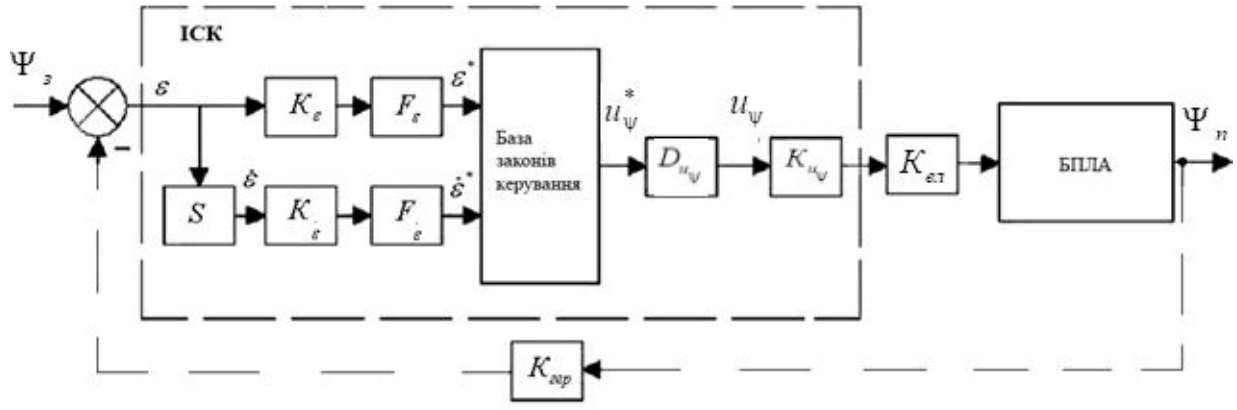


Рис. 3.7. Структурна схема автопілоту стабілізації кута курсу з використанням інтелектуальних технологій

Блок D_{u_ψ} здійснює перетворення отриманого значення лінгвістичної змінної керуючого впливу на елерони u_ψ^* в чисельне значення сигналу u_ψ у вигляді напруги. Отримане чисельне значення сигналу напруги після масштабування коефіцієнтом K_{u_ψ}, а також масштабний коефіцієнт елеронів $K_{кв}$

надходить на елерони БПЛА . $K_{гіп}$ - коефіцієнт підсилення зворотнього зв'язку з гіроіндукційного компасу.

3.4. Математичне моделювання інтелектуального автопілоту для стабілізації параметрів у бічному русі

Синтез законів керування автопілоту у бічному русі БПЛА, представимоу вигляді «Якщо (кут напряму), то (положення елеронів)».

Для кожної вхідної змінної кута напряму та її похідної у бічному русі сформуємо нечіткі множини, тобто діапазони зміни значень кута напряму, похідної кута напряму та положення елеронів у наступному вигляді: від'ємне велике (ВВ), від'ємне середнє (ВС), від'ємне мале (ВМ), нуль (Н), додатне мале (ДМ), додатне середнє (ДС), додатне велике (ДВ).

Синтезовані правила керування автопілоту у бічному русі в умовах дії пориву вітру 15 м/с представимо у вигляді «бази правил» керування (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Матриця «законів керування» автопілоту

$\varepsilon_\psi \rightarrow$ $\dot{\varepsilon}_\psi \downarrow$	ВВ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДБ
ВВ	ВВ	ВС	ВМ	ВВ	ВС	ВМ	Н
ВС	ВС	ВМ	ВВ	ВС	ВМ	Н	ДМ
ВМ	ВМ	ВВ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС
Н	ВВ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДВ
ДМ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДВ	ДМ
ДС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДВ	ДМ	ДС
ДВ	Н	ДМ	ДС	ДВ	ДМ	ДС	ДВ

Рядки матриці відповідають вхідній лінгвістичній змінній «зміна помилки неузгодженості кута напряму» – ε_ψ. Стовпці бази «законів керування» відповідають вхідній лінгвістичній змінній «швидкість зміни помилки неузгодженості за кутом напряму» – ε_ψ. Значення в перехресті рядків і стовпців відбивають лінгвістичної вихідної змінної «кут відхилення елеронів» – δ_e.

Зв'язок між вхідними змінними (кутом напрямку та похідної від кута напрямку) і вихідної змінної (положення елеронів) показано на рис. 3.8.

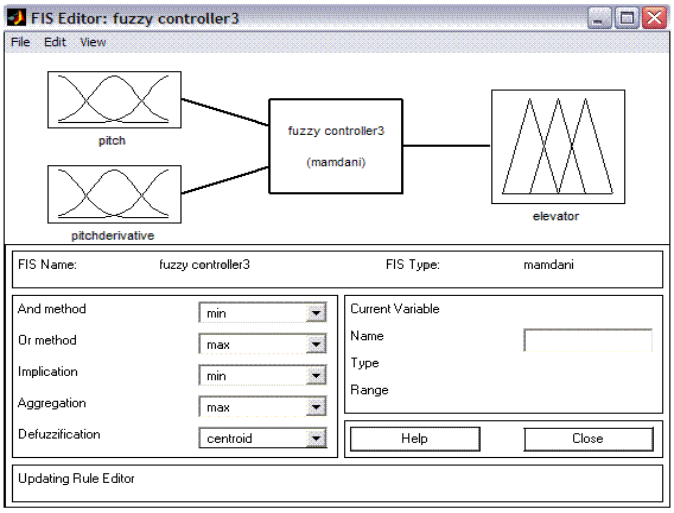


Рис. 3.8. Зв'язок між вхідними та вихідним параметрами автопілоту у середовищі MATlab

Для настройки лінгвістичних змінних кут напрямку, похідна від кута напрямку та положення елеронів використана еталонна модель бічного руху БПЛА у вигляді ланки другого порядку $W_{EM}(p)=\frac{k}{\tau_0^2 p+2d\tau_0 p+1}$, де $\tau_0=2.51, d=0.71$.

Розглянемо тепер саму інтерактивну процедуру синтезу параметрів ІСК. Структурна схема, яка реалізується в цій процедурі показана на рис.3.9. де ЕМ – еталонна модель, ІА – інтелектуальний автопілот, БПЛА – безпілотний літальний апарат (вихідний об’єкт, охоплений внутрішньої зворотним зв’язком), АН – алгоритм настройки.

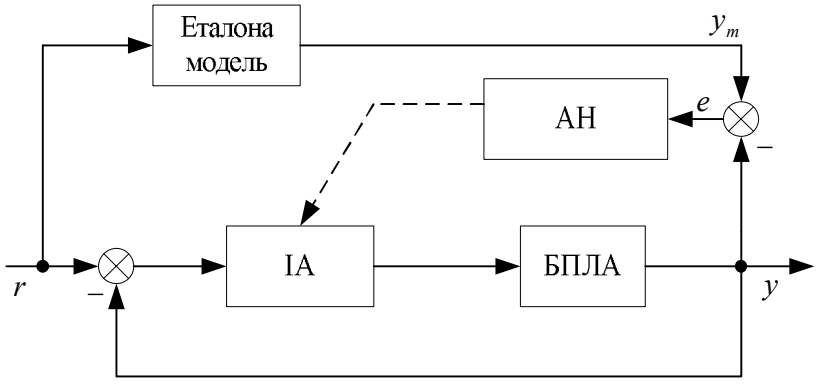


Рис. 3.9. Структурна схема процесу настройки оптимальних параметрів ІСК

Оптимальні параметри відповідають мінімальному значенню інтегральному критерію якості $J=\int_0^L \varepsilon_\vartheta dt \Rightarrow \min$, а мінімізація критерію якості автоматично

приводить до оптимізації параметрів ІСК, що впливають на якість часових та частотних характеристик.

Процес налаштування усіх лінгвістичних параметрів бічного руху наведено на рис.3.10 .

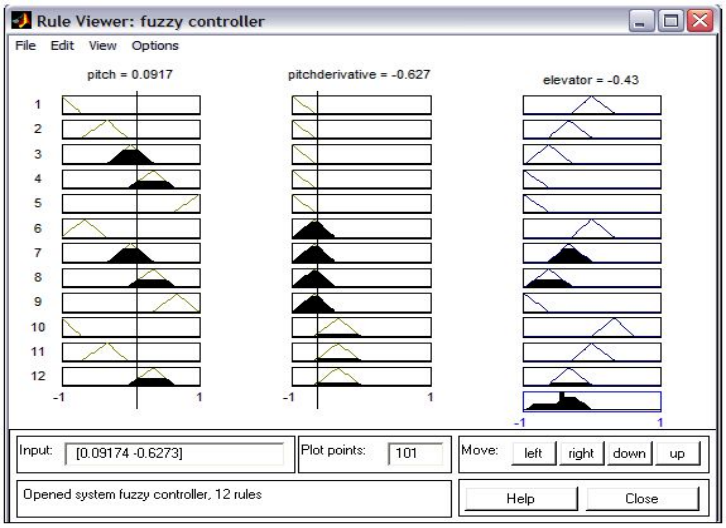


Рис. 3.10. Процес налаштування діапазонів лінгвістичних параметрів бічного руху

Оптимальний перехідний процес стабілізації кута напрямку представлено на рис. 3.11.

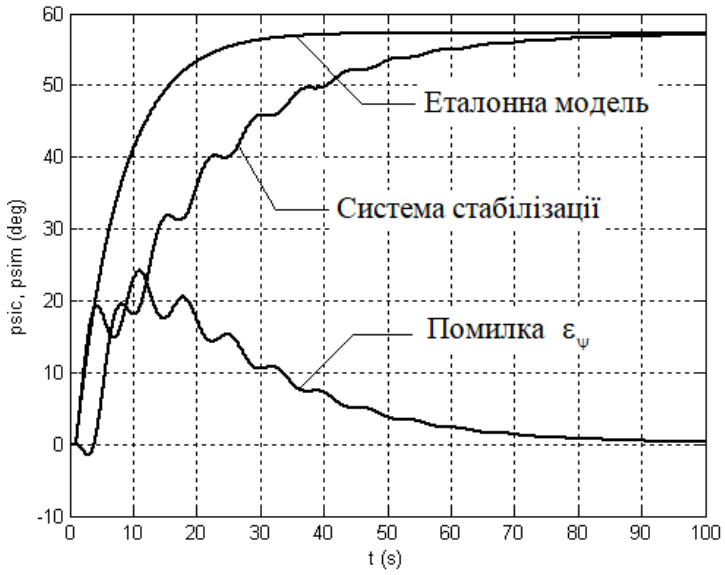


Рис. 2.11. Оптимальний перехідний процес стабілізації кута напрямку

Інтегральний критерій якості $J = 0{,}11$.

Результати моделювання ПІД-регулятору та автопілоту з базою «законів керування» наведено на рис. 2.12

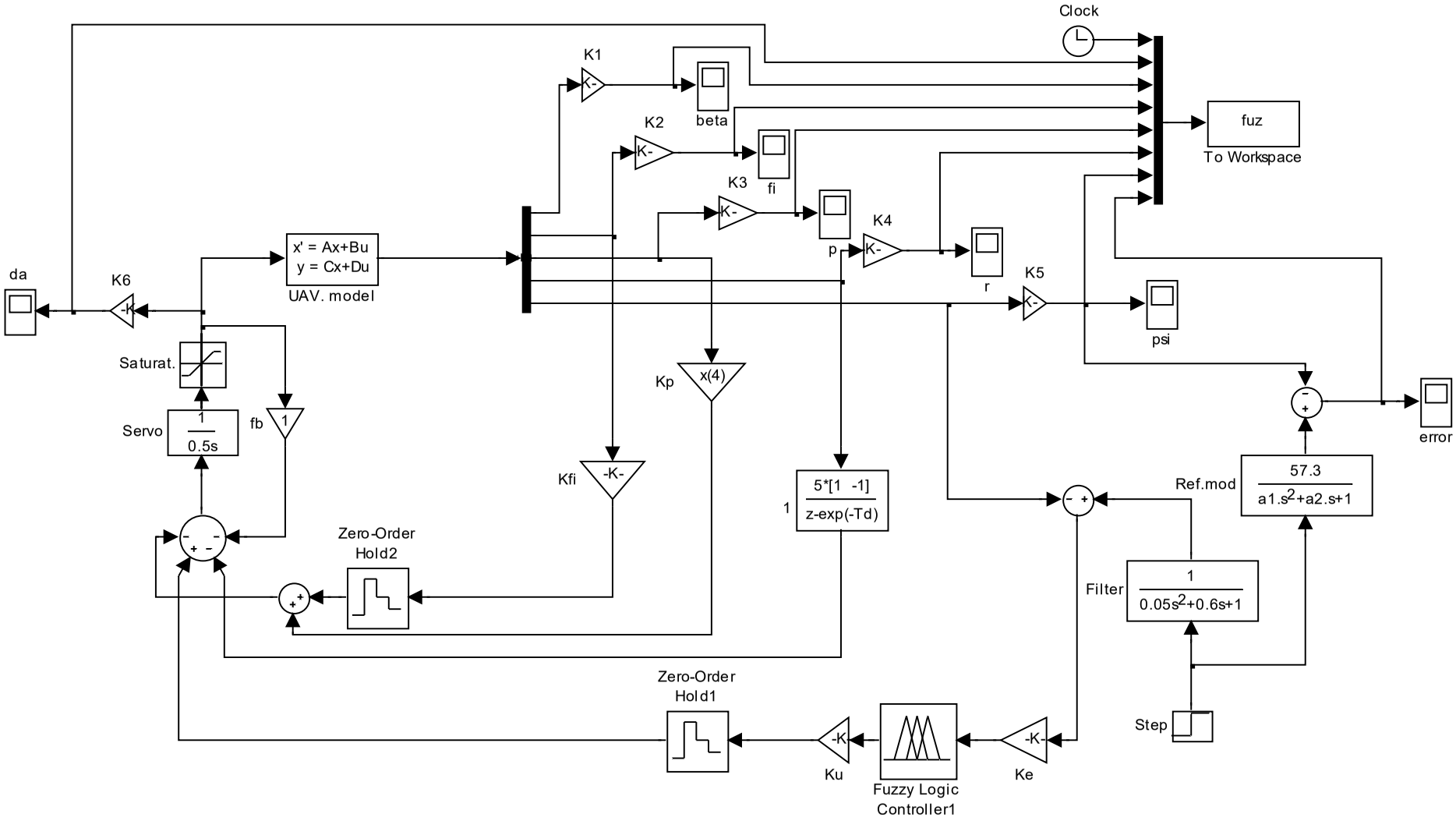
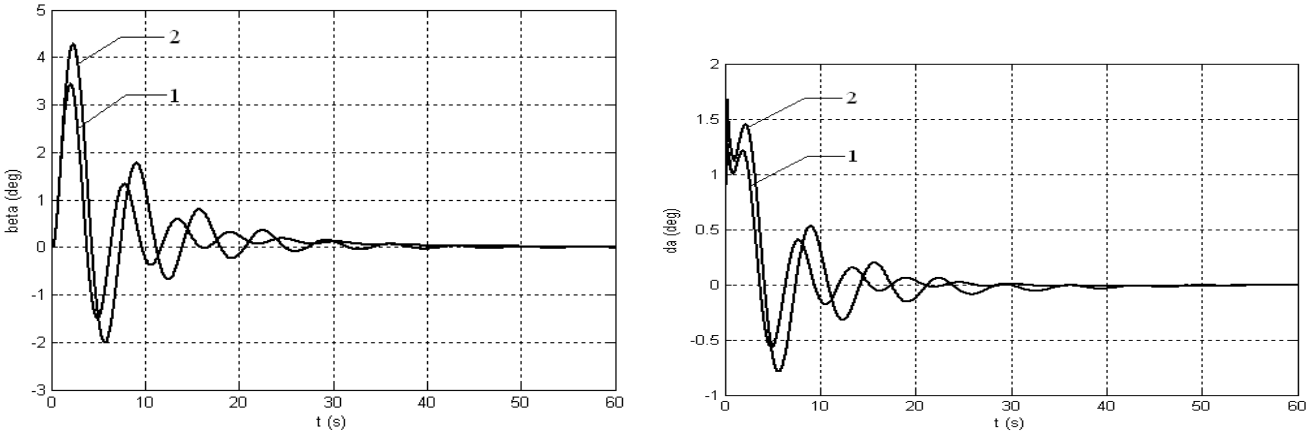


Рис.2.12. Структурна схема моделювання бічного руху БПЛА у середовищі MATlab, де: блок 1 - модель приводу БПЛА, блок 2 - модель бічного руху БПЛА, що представлено системою у просторі станів, блок 3 - модель автопілота БПЛА (Fuzzy Logic Controller –нечіткий регулятор)..

У роботі порівнюється ПІД-регулятор із законом керування $u = k_1 + k_2 / p + k_3\, p$, де $k_1 = 0{,}18, k_2 = 1{,}6, k_3 = 2{,}33$ – коефіцієнти посилення, а також автопілот з базою «законів керування», для керування кутом напрямку БПЛА у бічному русі.

Результати моделювання ПІД-регулятору та автопілоту з базою «законів керування» наведено на рис. 2.13



а) б)

Рис. 2.13. Перехідні процеси керування в бічному русі, де: 1 – автопілот з базою «законів керування», 2 – ПІД-регулятор. а) за кутом курсу; б) за кутом відхилення елеронів

Порівняльний аналіз результатів математичного моделювання бічного руху показує, що при використанні автопілоту з базою «законів керування» в контурі керування в порівнянні з ПІД –регулятором забезпечується підвищення якості перехідного процесу стабілізації кута напрямку в умовах дії пориву вітру силою 15м/с на 22%, а також зменшує енергетичні затрати на відхилення елеронів на 6%.

Розглянемо бічний канал БПЛА, а також проведемо порівняльний аналіз результатів дослідження розробленої комплексної системи з різними видами автопілотів (ПІД-регулятор, нечіткий регулятор і нейро-нечіткий регулятор) в основному режимі роботи стабілізація курсу БПЛА в умовах невизначеності. Структурна схема бічного каналу і розробленого автопілоту БПЛА стабілізації параметрів бічного руха представлена на рис. 3.14.

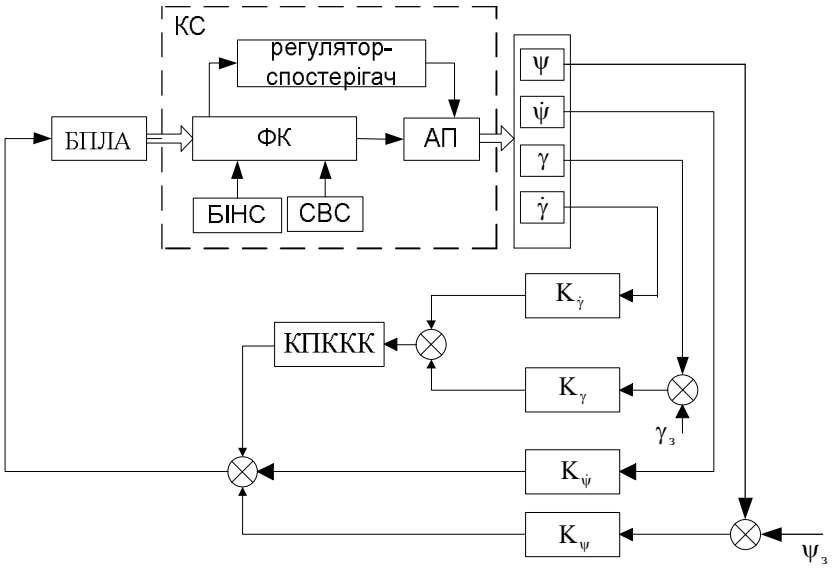
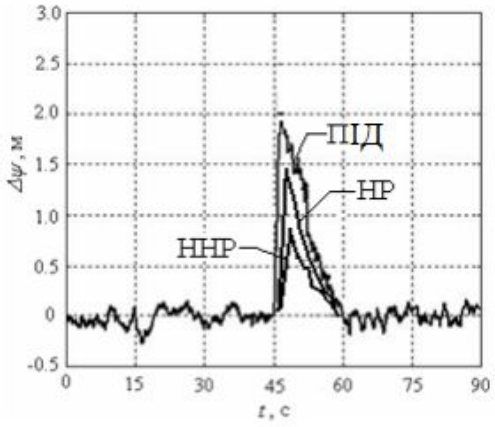
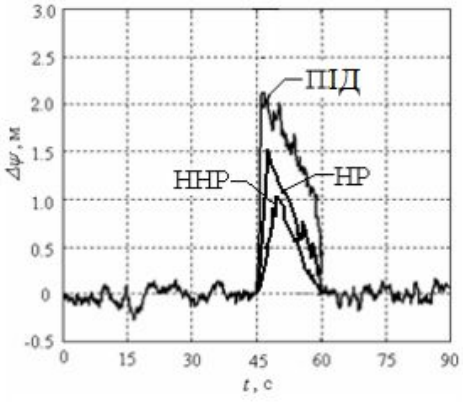


Рис. 3.14.Структурна схема бокового каналу: ЛМА – літак малої авіації, КС – комплексірованние система, ФК – фільтр Калмана, БІНС – безплатформна інерціальна навігаційна система, СНС – супутникова навігаційна система; АП – автопілот, КПККК – коригуючий пристрій контуру управління креном, регулятор–спостерігач (ПІД–регулятор, нечіткий регулятор і нейро–нечіткий регулятор).

На рис. 3.15. зображена частина результатів математичного моделювання процесу парирування виник зміщення БПЛА від необхідної траєкторії польоту в разіі стохастичних збурень (бічному вітрі 5 м / с і 10 м / с), За рахунок включення в контур управління регулятора–спостерігача. Як регулятори–спостерігачів використовувалися ННР, НР і ПІД–регулятор.



а



б

Рис.4.15. Відхилення БПЛА від заданого маршруту польоту за курсом при бічному вітрі 5 м / с – а і 10 м / с – б при використанні різних видів автопілотів

Таким чином, порівняльна оцінка результатів моделювання процесу польоту БПЛА з використанням різних видів регуляторів-спостерігачів, дозволяє зробити висновок про доцільність використання нейро-нечіткого автопілоту, оскільки він забезпечує підвищення швидкодії парирування відхилень за курсом в порівнянні з нечітким автопілотам, і ПІД-регуляторами на 16% і 28% відповідно, а також мінімальне відхилення від заданої траєкторії польоту в умовах стохастичних збурень (бічному вітрі 5 м / с та 10 м / с).

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Перелік небезпечних і шкідливих факторів на підприємстві з виробництва автопілотів БПЛА

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Роботодавець – власник підприємства, установи, організації або уповноважений ним орган, незалежно від форм власності, виду діяльності, господарювання, і фізична особа, яка використовує найману працю. Працівник – особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом) [15, 24-26].

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

– пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

– підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

– комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики;

– досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;

– соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

– встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб’єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

– адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров’я та психологічного стану;

– використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;

– інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

– забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об’єднань громадян, що розв’язують проблеми охорони здоров’я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

– використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

Робітники підприємства з виготовлення елементів та агаргатів БПЛА піддаються впливу шкідливих речовин (табл. 4.1.), довготривалих статичних навантажень, впливу електромагнітного випромінювання, що призводить в майбутньому до неврозів, відхилень в психіці, захворювань серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату. Незадовільний функціональний стан робітника може викликати небажані наслідки (професійні та професійно зумовлені захворювання), що також пов'язано зі значними соціальними та економічними втратами враховуючи стрімке зростання кількості комп'ютеризованих робочих місць [16].

Таблиця 4.1

Потенційно небезпечні фактори, що впливають на функціональний стан працівників цеху

№ п.п	Потенційні небезпеки	Характер дії на людину
1. Виробниче середовище	-електромагнітні хвилі різних частотних діапазонів; - параметри мікроклімату; - світлотехнічні показники; - хімічні та біологічні фактори. |	Функціональні порушення ЦНС (астенопічний синдром та ін.) , хвороби системи кровообігу, органів дихання, органів травлення, ураження шкіри, порушення репродуктивних функцій.
2. Трудовий процес	- значні статичні фізичні навантаження; - недостатня рухова активність;	Психофізіологічні можливості людини, порушення функцій уваги, мислення, регуляції рухів, біль та різь в очах, головний біль, біль в області спини та шиї, загальна втома, втома м’язів рук.
3. Зовнішні засоби діяльності	- погана організація робочого місця; - відсутність допоміжного устаткування;	Підвищення фізичних та психофізіологічних навантажень, дискомфорт, перенапруження скелетно-м’язової системи.

Визначення та вивчення факторів, які впливають на функціональний стан працівників цеху з розробки систем керування БПЛА, дозволять в майбутньому розробити певні засоби і заходи щодо підвищення працездатності, забезпечення безпеки при промисловому виробництві, дозволить виділити основні причини виникнення станів напруженості, стомлення, стресу і здійснити відповідні профілактичні заходи.

4.2. Перелік небезпечних і шкідливих факторів на підприємстві з виробництва автопілотів БПЛА

Для захисту від електромагнітних, електростатичних та інших полів можна застосовувати спеціальні технічні засоби, що мають відповідні сертифікати щодо їх захисних властивостей. Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщеннях де працюють оператори рекомендується підвищувати вологість повітря (в опалювальний сезон) за допомогою зволожувачів. Працівникам не рекомендується носити одяг із синтетичних матеріалів. Сонячні бліки на робочому місці усуваються за допомогою регульованих жалюзей, що встановлені на вікнах [17].

Хімічний склад повітря в цеху також негативно впливає на функціональний стан працівника. Серед речовин, які перевищують ГДК у повітрі біля робочих найчастіше є формальдегіди, оксиди азоту, випари бензину та ацетонів, пил. Особливу небезпеку щодо впливу на здоров'я представляє підвищена концентрація формальдегіду — високотоксичного газу.

Для забезпечення здорових і безпечних умов праці важливо дотримуватись діючих нормативних документів, що також впливає на підвищення працездатності та збереження здоров'я робітників.

– при виробничих приміщеннях мають бути обладнані приміщення для відпочинку під час роботи, приймання їжі, психологічного розвантаження та інші побутові приміщення. Всі ці приміщення повинні відповідати СНиП 2.09.04-87 "Административные й бытовые здания". В приміщенні (кімнаті) психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою;

– виробничі приміщення мають бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

Для нормального теплового самопочуття людини важливо забезпечити певне співвідношення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Такі

умови визначаються, в основному, категорією роботи, що виконується, та періодом року і можуть бути оптимальними та допустимими.

Для забезпечення нормованих значень мікроклімату, вмісту шкідливих речовин, іонного складу повітря приміщення для роботи мають бути обладнані системами опалення, кондиціювання повітря або припливно-витяжною вентиляцією.

На підприємстві використовується центральне повітряне опалення з подачею нагрітого повітря від єдиного джерела тепла. Основними перевагами цієї системи опалення є швидкий тепловий ефект в приміщенні при вмиканні системи, відсутність у приміщенні нагрівальних приладів, можливість використання в літній період для охолодження та вентиляції приміщень, економічність.

У забезпеченні максимально комфортних умов зорової роботи вагома роль належить оптимізації кількісних та якісних показників освітлення. Відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 [18] освітлення у приміщеннях з ВДТ має бути суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення повинне доповнюється штучним. Коефіцієнт природної освітленості (КПО) повинен бути не нижче 1,5.

Для забезпечення відносної постійності природного освітлення незалежно від погодйих умов чи пори року необхідно вікна обладнати сонцезахисними регульованими жалюзями або світлорозсіюючими шторами з коефіцієнтом відбиття 0,5-0,7.

В загальному на підприємстві забезпеченні здорові і безпечні умови праці, які відповідають діючим нормативним документам, що позитивно впливає на підвищення працездатності та збереження здоров'я робітників. Робочі місця відповідають ергономічним нормам, застосовані заходи по зниженню шкідливості хімічного та іонного складу повітря, система вентиляції, опалення та освітлення також відповідає встановленим нормам [19].

Основні недоліки, які потрібно усунути стосуються облаштування виробничого приміщення: вікна необхідно обладнати регульованими пристроями (жалюзі, завіски, зовнішні позирки; покрити підлогу антистатичним лінолеумом; створити обладнане приміщення для відпочинку під час роботи, приймання їжі,

психологічного розвантаження та інші побутові приміщення. Втілення даних пропозицій дасть змогу підвищити безпеку праці, продуктивність праці та знизити вплив негативних факторів на здоров'я працівників.

Перед початком роботи всі співробітники підприемства повинні пройти інструктаж з техніки безпеки. Вступний інструктаж проводиться з метою ознайомлення нових працівників з вимогами охорони праці, промсанітарії, протипожежної безпеки, правилами внутрішнього трудового розпорядку, надання першої медичної допомоги при настанні нещасного випадку.

Розслідування і облік нещасних випадків на виробництві. При настанні нещасного випадку всі працівники повинні діяти згідно "Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприемствах, установах і організаціях" і чітко дотримуватися її пунктів, залежно від посади. При настанні нещасного випадку одразу треба повідомити Керівництво і створити комісію (призначити наказом), яка буде займатися розслідуванням нещасного випадку. Розслідуванню підлягають травми, у тому числі отримані внаслідок тілесних ушкоджень, заподіяних іншою особою, гострі професійні захворювання і гострі професійні отруєння та інші отруєння, теплові удари, опіки, обмороження, утоплення, ураження електричним струмом, блискавкою та іонізуючим випромінюванням, ушкодження, отриманні внаслідок аварій, пожеж, стихійного лиза (землетруси, зсуви, повені, урагани та інші надзвичайні події), контакту з тваринами, комахами та іншими представниками фауни і флори, що призвели до втрати працівником працездатності на один робочий день чи більше або до необхідності перевести потерпілого на іншу (легшу роботу) терміном не менш як на один робочий день, а макож випадки смерті на підприемстві [21, 22].

За результатами розслідування складається акт за формою Н-5 і Н-1 і беруться на облік нещасні випадки, що сталися з працівниками під час виконання трудових (посадових) обов'язків, у тому числі у відрядженнях, а також ті, що сталися під час:

– перебування на робочому місці, на територій підприемства або в іншому місці роботи протягом робочого часу, або за дорученням власника в неробочий час, під час відпустки, у визідні та святкові дні;

– приведення в порядок знарядь виробництва, засобів захисту, одягу перед початком роботи і після ii закінчення, виконання заходів особистоі гігіени;

– проізду на роботу чи з роботи на транспорті підприемства або на транспорті сторонньоі організаціі, яка надала його згідно з договором (заявкою), за наявності розпорядження власника;

– використання власного транспорту в інтересах підприемства з дозволу або за дорученням власника;

– провадження дій в інтересах підприемства, на якому працює потерпілий;

– ліквідаціі аварій, пожеж та наслідків стихійного лиха на виробничих об”ектах і транспортних засобах, що використовуються підприемством;

– прямування працівника до (між) об”ектами обслуговування за затвердженими маршрутами або до будь-якого об”єкта за дорученням власника.

За результатами розслідування беруться на облік і складаються акти за формою Н-5 і Н-1 також у випадках:

– випадки зникнення працівника під час виконання трудових (посадових) обов”язків, якщо комісія з розслідування виходячи з конкретних обставин прийде до висновку, що зникнення працівника пов”язане з можливістю нещасного випадку під час виконання трудових обов”язків;

– нещасні випадки, пов”язані із заподіянням тілесних ушкоджень іншою особою, або вбивство працівника під час виконання, або у зв”язку з виконанням ним трудових обов”язків;

– нещасні випадки, що сталися внаслідок захворювання, погіршення стану здоров”я працівника, за умови, що погіршення стану здоров”я працівника сталося внаслідок впливу небезпечних чи шкідливих виробничих факторів або якщо робота, що виконувалась, була протипоказана потерпілому відповідно до медичного висновку про стан його здоров”я, а також якщо потерпілий не проходив медичного огляду, передбаченного законодавством.

– нещасні випадки, що сталися з працівниками на території підприемства або в іншому місці роботи під час перерви для відпочину та харчування, яка встановлюється згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку, а також під час перебування працівників на території підприемства у зв”язку з проведенням власником наради, отриманням заробітноі плати, обов”язковим проходженням медичного огляду, за умови, що буде встановлено факт впливу на потерпілого виробничого фактора чи середовища.

Працівник з охорони праці забезпечує постійний контроль у всіх підрозділах підприемств: стежить за станом техніки безпеки і виробничоі санітарії, за виконанням правил і норм, спеціальних інструкцій і постанов з охорони праці, виконанням наказів по підприемству з охорони праці. Також служба охорони праці забезпечує працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами з охорони праці, веде облік нещасних випадків на підприемстві і виявляе причини з яких трапився даний нещасний випадок. Складае плани, щодо створення безпечний та нешкідливих умов праці.

Тільки тоді, коли кожен працівник буде дотримуватися вимог інструкцій з техніки безпеки, коли кожен буде співпрацювати і не залишати без уваги недоліки, які на його думку можуть привести до нещасного випадку, ми зможемо значно покращити і зменшити травматизм [24].

4.3. Розрахунок захисного заземлення на підприемстві авіаційного профилю

Захисне заземлення – навмисне приєднання до землі металевих частин електроустаткування, що можуть виявитися під напругою внаслідок ушкодження ізоляції. Основне призначення захисного заземлення – знизити напруга дотику до безпечної величини [23].

Захисне заземлення є ефективним способом забезпечення безпеки людей, що працюють з електроустаткуванням. Повинне бути заземлені металеві корпуси

електричних машин, апаратів, каркаси розподільних щитів і інші металеві конструкції, зв'язані з електроустановками. Штучний заземлювач являє собою замкнутий контур з 10 труб, довжиною 2 м і діаметром 0,2 м, встановленими на глибину 1 м і з'єднаних смугою, що заземлює.

Опір розтікання струму від однієї труби:

$$R = \frac{0.336 \times p}{L\left(\lg\left[\frac{2 \times L}{d}\right] + 0.5 \times \lg\left[\frac{4 \times h + L}{4 \times h - L}\right]\right)},$$

де $p = 100$ Ом/см – питомий опір ґрунту;

$L = 2$ м – довжина труби;

$d = 0{,}2$ м – діаметр труби;

$h = 100$ см – глибина установки заземлення;

$$R = \frac{0.366 \times 100}{200 \times \left(\lg\left[\frac{2 \times 200}{20}\right] + 0.5 \times \lg\left[\frac{4 \times 100 + 200}{4 \times 100 - 200}\right]\right)} = 0.46 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання струму системи заземлення:

$$R_{сист} = \frac{R}{m \times K_1 \times K_2},$$

де m – число труб;

K_1=0,56– коефіцієнт, що враховує екранування труб;

K_2=0,78– коефіцієнт, що враховує екранування смуги і труб;

$$R_{сист} = \frac{0.46}{10 \times 0.56 \times 0.78} = 0.11 \text{ Ом.}$$

Довжина замикаючої смуги для замкнутого кола:

$$L_1 = a \cdot m,$$

де $a = 3$ м – відстань між трубами.

$$L_1 = 3 \times 10 = 30 \text{ м.}$$

Опір розтікання струму сталевої смуги, що заземлює:

$$R_{П} = \frac{0.366 \times p}{L_1 \times \lg\left[\frac{2 \times L_1^2}{b \times h_1}\right]},$$

де $h_1 = 3$ см – ширина смуги, що заземлює.

$$R_{П} = \frac{0.366 \times 100}{3000 \times \lg\left[\frac{2 \times 3000^2}{100 \times 3}\right]} = 0.058 \text{ Ом.}$$

Загальний опір заземлення:

$$R_{заг} = \frac{R_{ссис} \times R_n}{R_{ссис} + R_n},$$

$$R_{зг} = \frac{0.11 \times 0.058}{0.11 + 0.058} = 0.038 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання струму в захисному пристрої, що заземлює, для установок до 1000 В. повинно бути не більш 4 Ом.

Опір проектованого заземлення:

$R_{заг} = 0.038$ Ом < 4 Ом.

Зпроектований пристрій задовольняє правилам пристрою електроустановок ПЕУ-86.

4.4. Висновки

1. Робітники підприємства з виготовлення систем, елементів та агаргатів БПЛА піддаються впливу шкідливих речовин, довготривалих статичних навантажень, впливу електромагнітного випромінювання, що призводить в майбутньому до неврозів, відхилень в психіці, захворювань серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату.

2. Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

3. Проведено розрахунок захисного заземлення та встановлено, що зпроектований пристрій задовольняє правилам пристрою електроустановок ПЕУ-86

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В даній дипломній роботі виконуються розробка автопілоту для стабілізації параметрів польоту безпілотного літального апарату (БПЛА) на основі інтелектуальних технологій (Бічний канал керування). З метою забезпечення зменшення впливу шкідливих чинників на навколишнє середовище в процесі виробництва, експлуатації та утилізації електроапаратури, несучої конструкції, системи керування, позиціюванням та навігації , необхідно на етапі проектування БПЛА віднести до основних критеріїв технології виробництва - екологічну доцільність.

Для реалізації екологічної доцільності технології виробництва БПЛА необхідно, впровадити ряд заходів, а саме: з зменшення відходів виробництва, зменшення використання природних ресурсів електроенергії шляхом застосування новітніх технологій, а також розрахувати еколого-економічний збиток та визначити шляхи по його зменшенню.

Безплотні літальні апарати є незамінними у вирішенні ряду цивільних завдань, таких як: пошук, виявлення та ідентифікації об'єктів; моніторинг та боротьба зі стихійними лихами; спостереження за нафто- та газопроводами; виявлення пожеж; пошук і порятунок; спостереження громадських заходів; спостереження наземного і морського руху; екологічний контроль та моніторинг рослинництва; наземне відображення і фотографування; метеорологічне спостереження; перевезення вантажу; аерофотозйомка; моніторинг та контроль дорожнього руху [12].

У цих випадках особливо ефективним стає використання для цих цілей безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Визначення їх раціональних параметрів в ході спільного проектування вимагає використання спеціального методичного апарату, а також критеріальних функцій, що дозволяють здійснити обґрунтоване формування тактико-технічних вимог до створюваного БПЛА а також розрахувати екологічного збитку при утилізації старих елементів та агрегатів БПЛА.

5.1. Розрахунок еколого-економічного збитку при виготовленні елементу автопілоту БПЛА

Блок живлення системи автоматичного керування (САК) БПЛА розміщений у корпусі розмірами 60×40×35 мм, виготовлений з листового металу (сталь) товщиною 1,2 мм.

Виходячи з розмірів, витрата матеріалу на виготовлення корпусу блоку живлення САК БПЛА складе:

$$V = 2 \times s \times (l \times b + b \times h + h \times l),$$

де l – довжина;

h – висота;

b – ширина блоку;

s – товщина сталевого аркуша.

Тоді, отримаємо:

$$V = 2 \times 1,2 \times 10^{-3} \times (0,6 \times 0,4 + 0,4 \times 0,35 + 0,35 \times 0,6) = 1,416 \times 10^{-3} \text{ м}^3,$$

при питомій масі сталі 9,6 кг/м^3 маса корпусу живлення САК БПЛА складає

$$m = V \times \rho = 1,416 \times 10^{-3} \times 96 \approx 0,9 \text{ кг.}$$

Загальна маса міді, використаної в пристрої, становить 0,1 кг. Економічний збиток навколишньому середовищу може бути визначений за формулою [21]

$$Y_м = m \times M,$$

де М – питомий збиток від виробництва одиниці матеріалу (для сталі - 2000 грн., для міді - 17250 грн. за кілограм).

Загальний збиток від використання матеріалів складе

$$Y_з = Y_{мс} + Y_{мм} = 13,6 \times 2000 + 2,6 \times 1725 = 7205 \text{ грн.}$$

Для зменшення втрат від використання матеріалів у бічних, верхній, нижній і задній стінках блоку є технологічні отвори, загальна площа яких становить 35% площі зазначених елементів корпусу САК БПЛА.

Тоді маса сталевого корпусу складе САК БПЛА

$$m_c = s \times \left\{ \left(2 \times \left[(1 - 0{,}35) \times (b \times l + l \times h) \right] \right) + (2 - 0{,}35) \times b \times h \right\} \times \rho;$$

$$m_c = 1{,}2 \times \left\{ \left(2 \times \left[(1 - 0{,}35) \times (0{,}4 \times 0{,}6 + 0{,}6 \times 0{,}35) \right] \right) + (2 - 0{,}35) \times 0{,}4 \times 0{,}35 \right\} \times$$

$$\times 9{,}6 = 0{,}7 \text{ } кг.$$

Загальний збиток при цьому складе

$$Y_з = 9{,}4 \times 200 + 2{,}6 \times 1725 = 6365 \text{ грн.}$$

Далі зменшувати розміри та масу корпусу САК БПЛА використовуваних матеріалів не має змісту через значну втрату якості виробу при цьому.

Збиток зменшився на суму

$$7205 – 6365 = 840 \text{ грн.}$$

З приведених розрахунків видно, що розроблений у даному дипломній роботі блок САК БПЛА, не надає істотної шкоди навколишньому середовищу від споживання електроенергії.

5.2. Принцип побудови крила типового БПЛА та його негативний вплив на навколишнє середовище

Основними і найбільш токсичними матеріалами, що застосовуються при виробництві несучої поверхні (крила) БПЛА, являються різного роду полімери. Відходи полімерних мас можна розділити на дві групи [27]:

1. Технологічні відходи виробництва, які виникають при синтезі й переробці термопластиків. Вони діляться на ті, що можна ліквідувати, і ті, що не підлягають

ліквідації. Ті, що підлягають ліквідації – це крайки, висічки, обрізки, літники, облой, грат і т.д. У галузях промисловості, в яких займаються виробництвом і переробкою пластмас, таких відходів утворюється від 5 до 35 %. Не підлягаючі ліквідації відходи, по суті, представляють собою високоякісну сировину, яка своїми властивостями не відрізняються від вихідного первинного полімеру. Переробка його у вироби не вимагає спеціального устаткування і проводиться на тому ж підприємстві. Відходи, що підлягають ліквідації, утворюються при недотриманні технологічних режимів у процесі синтезу і переробки, тобто це – технологічний брак, який може бути зведений до мінімуму або зовсім усунутий. Технологічні відходи виробництва перероблюються в різні вироби, використовуються в якості добавки до вихідної сировини і таке інше.

2. Відходи виробничого споживання – накопичуються в результаті виходу з ладу виробів з полімерних матеріалів, що використовуються в різних галузях народного господарства. Ці відходи є найбільш однорідними, малозабрудненими, і тому становлять найбільший інтерес із погляду їх повторної переробки. Так, при списанні, нейронний класифікатор пошкоджень є джерелом полімерних твердих побутових відходів.

У даній дипломній роботі використовуються композитні матеріали для виготовлення крила БПЛА на основі вуглепластику й склопластику, армовані додатково оптичним волокном (скловолокном). Основою для виробництва матриці композитних матеріалів і оптичного волокна є різні полімери, і у загальній масі композитів вони становлять 60-70%.

Через специфіку області застосування дані матеріали повинні витримувати істотні динамічні і термічні навантаження. У їхню структуру вводиться цілий ряд різноманітних хімічних речовин, з яких більшість є токсичними. Зважаючи на це, а також з огляду на неоднорідність структури композитних панелей, їх вторинна переробка виявляється досить важкоздійсненною задачею.

Однак через усе більше поширення композитів в авіаційній промисловості, пошук шляхів їх знешкодження і переробки є найважливішим завданням.

5.3. Природоохоронні заходи, пов'язані з утилізацією полімерних композитних панелей БПЛА, що відробили свій ресурс

Основний шлях використання відходів полімерів - це їх утилізація, тобто повторне використання. Доведено, що капітальні та експлуатаційні витрати по основних способів утилізації відходів не перевищують, а в ряді випадків навіть нижчі за витрати на їх знищення. Позитивною стороною утилізації є також і те, що виходить додаткову кількість корисних продуктів для різних галузей народного господарства і не відбувається повторного забруднення навколишнього середовища. З цих причин утилізація є не тільки економічно доцільним, а й екологічно найліпшим рішенням проблеми використання пластмасових відходів. Підраховано, що із щорічно утворюються полімерних відходів у вигляді амортізованних виробів утилізації піддається тільки незначна частина (всього кілька відсотків). Причиною цього є труднощі, пов'язані з попередньою підготовкою (збір, сортування, поділ, очищення і т.д.) відходів, відсутністю спеціального устаткування для переробки і т.д [28].

До основних способів утилізації відходів пластичних мас відносяться:

- термічний розклад шляхом піролізу;
- розкладання з одержанням вихідних низькомолекулярних продуктів (мономерів, олігомерів);
- вторинна переробка.

Піроліз - це термічне розкладання органічних продуктів у присутності кисню або без нього. Піроліз полімерних відходів дозволяє отримати висококалорійне паливо, сировину і напівфабрикати, що використовуються в різних технологічних процесах, а також мономери, що застосовуються для синтезу полімерів.

Газоподібні продукти термічного розкладання пластмас можуть використовуватися як паливо для отримання робочого водяної пари. Рідкі продукти використовуються для отримання теплоносіїв. Спектр застосування твердих (воскоподібних) продуктів піролізу відходів пластмас досить широкий

(компоненти різного роду захисних речовин, мастил, емульсій, просочувальних матеріалів та ін.).

Розроблено також процеси каталітичного гідрокрекінгу для перетворення полімерних відходів на бензин і паливні масла.

Багато полімерів в результаті оборотності реакції утворення можуть знову розкладатися до вихідних речовин. Для практичного використання мають значення способи розщеплення ПЕТФ, поліамідів (ПА) і спінених поліуретанів. Продукти розщеплення використовують знову в якості сировини для проведення процесу поліконденсації або як добавки до первинного матеріалу. Проте наявні в цих продуктах домішки часто не дозволяють одержувати високоякісні полімерні вироби, наприклад, волокна, але чистота їх достатня для виготовлення ливарних мас, легкоплавких і розчинних клеїв.

Гідроліз є реакцією, зворотною поліконденсації. З його допомогою при направленій дії води по місцях з'єднання компонентів поліконденсати руйнуються до вихідних з'єднань. Гідроліз відбувається під дією екстремальних температур і тисків. Глибина протікання реакції залежить від pH середовища та використовуваних каталізаторів.

Цей спосіб використання відходів енергетично більш вигідний, ніж піроліз, так як в обіг повертаються високоякісні хімічні продукти [29].

У порівнянні з гідролізом для розщеплення відходів ПЕТФ економічніший інший спосіб – гліколіз. Деструкція відбувається при високих температурах і тиску в присутності етиленгліколю і за участю каталізаторів до отримання чистого діглікольтерефталата. За цим принципом можна також переетеріфікувати карбаматні групи в поліуретані.

Найпоширенішим термічним методом переробки відходів ПЕТФ є їх розщеплення за допомогою метанолу – метанолізу. Процес протікає при температурі вище 150 °С і тиску 1,5 МПа, прискорюється каталізаторами переетерифікації. Цей метод дуже економічний. На практиці застосовують і комбінацію методів гліколізу і метанолізу [30].

Однак і захоронення, і спалювання продовжують залишатися досить широко поширеними способами знищення відходів пластмас. Найчастіше тепло, що виділяється при спалюванні, використовують для отримання пари і електроенергії. Але калорійність спалюваної сировини невелика, тому установки для спалювання, як правило, є економічно малоефективними. Крім того, при спалюванні відбувається утворення сажі від неповного згоряння полімерних продуктів, виділення токсичних газів і, отже, повторне забруднення повітряного і водного басейнів, швидкий знос печей за рахунок сильної корозії.

5.4. Висновки

1. Останнім часом проблеми екології все сильніше дають про себе знати, тому необхідно вживати дієвих заходів для усунення негативних впливів діяльності людини. Відносно теми даної роботи, заходами для зменшення шкідливих впливів і захисту навколишнього середовища являється відмова від знищення і покращення технології утилізації матеріалів, що входять до складу композитних матеріалів крила БПЛА і складових автоматизованої системи керування, та повторне використання відходів, що утворюються з цих матеріалів. Ці заходи мають покращити екологічну «обгрунтованість» використання нових типів матеріалів у авіаційній галузі.

2. У випадку дотримання основних екологічних вимог до технологічних процесів виготовлення, ремонту та експлуатації устаткування автоматична система керування БПЛА на основі інтелектуальних технологій не приносить шкоду навколишньому середовищу й не робить негативного впливу на здоров’я людей.

3. Спроектована система автоматична система керування БПЛА на основі інтелектуальних технологій не є джерелом забруднення навколишнього середовища (при дотриманні вищевказаних правил).

4. При подальшій модернізації автоматичної системи керування БПЛА на основі інтелектуальних технологій необхідно враховувати нормативи та вимоги екологічної безпеки.

ВИСНОВКИ

Розроблено автопілот БПЛА для стабілізації параметрів в бічному русі на основі інтелектуальних технологій, що дозволить підвищити якість перехідних процесів.

Розроблено алгоритм синтезу інтелектуальної системи керування БПЛА в бічному русі.

В дипломній роботі розроблено структурна схема моделювання стабілізації курсу в середовищі MATlab та проведено математичне моделювання бічного руху БПЛА з різними типами регуляторів.

Порівняльний аналіз результатів математичного моделювання бічного руху показує, що при використанні автопілоту з базою «законів керування» в контурі керування в порівнянні з ПІД-регулятором забезпечується підвищення якості перехідного процесу стабілізації кута напрямку в умовах дії пориву вітру силою 15м/с на 22%, а також зменшує енергетичні затрати на відхилення елеронів на 6%.

Порівняльна оцінка результатів моделювання процесу польоту БПЛА з використанням різних видів регуляторів-спостерігачів, дозволяє зробити висновок про доцільність використання нейро-нечіткого автопілоту, оскільки він забезпечує підвищення швидкодії парирування відхилень за курсом в порівнянні з нечітким автопілотам, і ПІД-регуляторами на 16% і 28% відповідно, а також мінімальне відхилення від заданої траєкторії польоту в умовах стохастичних збурень (бічному вітрі 5 м / с та 10 м / с).

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артюшин Л.М., Зиатдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В. Большие технические системы: проектирование и управление – Харьков: «Факт», 1997. – 400 с.

2. Боднер В.А. Авіаційні прилади. – М.: Машиностроение, 1969. – 467 с.

3. Гостев В.И. Синтез нечітких регуляторів систем автоматичного управління. – К.: Из-во «Радіоматор», 2013. – 705 с.

4. Гостев В.И., Дзюба Т.М., Чуприн А.Е. Оптимизация параметров цифрового регулятора системы автосопровождения по направлению // Автоматизація виробничих процесів, 2017. – № 2(9). – С. 90 – 93.

5. Доброленский Ю.П. Динаміка польоту в неспокійній атмосфері. – М.: Машинобудування, 1969. – 256 с.

6. Закс Н.А. Основи експериментальної аеродинаміки. – М.: Оборонгиз, 2017. – 371 с.

7. Казак В.М., Шевчук Д.О., Тачиніна О.М., Лазарчук Є.П. Порівняльний аналіз методів кількісного визначення властивостей живучості динамічних систем // Вісник ТАУ. – 2010. – №6. – С. 68–71.

8. Красовский А.А. Системи автоматичного управління польотом і їх аналітичні конструювання. – М.: Наука, 2011. – 560 с.

9. Мінаєв Ю.М., Філімонова О.Ю., Кріксунов Є.Е. Нечітка математика на підставі генетичних та еволюційних алгоритмів як апарат для розв’язку задач ідентифікації в умовах невизначеності // Праці міжнародної конференції з управління АВТОМАТИКА –2000. – Т. 2. –С.177–182.

10. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта // Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Машиностроение 2010. – 312 с.

11. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения.: Пер. с англ./ Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. –408 с.

12. Пупків К.А. Математичні основи кібернетики. – М: Вища школа,2007.

– 416 с.

13. Проектирование систем управления на ЭВМ (MATLAB/Simulink/Control System) // А.Ю. Соколов, Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко, М.М. Митрахович, Д.Н. Гайсенок; Под ред. А.Ю. Соколова. – Х.: «ХАИ», 2005. – 590 с.

14. Ротштейн О.П. Штовба С.Д. Проектування нечітких баз знань: Лабораторний практикум. – Вінниця: ВДТУ, 2013. – 64 с.

15. Джигирей В. С. Безпека життєдіяльності Львів - 2008 - 500 с

16. Безпека життєдіяльності: навч. посібник для вузів / Боровик С.І. та ін; під ред. А.І. Сидорова. - М.: КноРус, 2007. - 495 с.

17. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання споруд. Природне та штучне освітлення. – Введ. 2006-10-01. – Київ : Мінбуду України, 2006. – 1 с.

18. ДСанПіН 7.7.3.-014-99 Державні санітарні правила і норми, гігієнічні нормативи: Гігієна транспорту: Авіаційний транспорт. Введ. 1999-02-09. – Київ : Держспоживстандарт України, 1996. – 16 с.

19. ДСН 3.3.6.037-99 Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – Введ. 1999-12-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 1999. – 34 с.

20. ДСН 3.3.6.042-99 Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Введ. 1999-12-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 1999. – 40 с.

21. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань – Введ. 1999–01–01. –

22. Київ : Мінбуду України, 1999. – 2 с.

23. ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги. – Введ. 2000-07-01. – Київ : Мінбуду України, 2000. – 2 с.

24. ДСТУ 7238:2011 Система стандартов безопасности труда средства индивидуальной защиты. – Введ. 2011-03-14. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 7 с.

25. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 (ГОСТ 23407-78, MOD) Огородження інвентарні будівельних майданчиків і ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови. – Введ. 2012-12-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2012. – 11 с.

26. ДСТУ Б В.2.8-44:2011 Майданчики і сходи для будівельно-монтажних робіт. Загальні технічні умови (ГОСТ 26887-86, MOD). – на заміну ГОСТ 26887-86 ; Введ. 2012-12-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2012. – 12 с.

27. Баженов В.А., Ісаєнко В.М., Саталкін Ю.П. Інженерна екологія. Теорія і практика сталого розвитку Київ: НауДрук - 492 с.

28. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Основи екології: теорія та практикум Київ: НауДрук - 378 с.

29. Жигун Ю. Ю., Лазар В. Ф. Інженерна екологія підручник Київ НауДрук - 2016 - 276с.

30. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів - 2002 -300 с