

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»  
УДК 004.58

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ І.Р. Пархомей  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-72мп  
(шифр групи)

Лугін Михайло Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Ігнатенко В.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
(назва інституту/факультету)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
технічної кібернетики  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ І.Р. Пархомей  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 31 » жовтня 2018 р.

## ІНДИВІДУАЛЬНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ПЛАН ПІДГОТОВКИ МАГІСТРА

за освітньо-професійною програмою «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

студента групи ІК-72мп

\_\_\_\_\_ Лугіна Михайла Михайловича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Зарахований наказом ректора від 20 серпня 2018 р. № 2502-с
2. Термін навчання з 01 вересня 2018 р. до 30 грудня 2019 р.
3. Науковий керівник  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)
4. Тема стартап-проекту<sup>1\*</sup>
5. Науковий керівник і тема стартап-проекту ухвалені рішенням кафедри технічної кібернетики протокол № 3 від 31 жовтня 2018 р.

---

<sup>1\*</sup> Для магістрантів практичного спрямування.

## План роботи на перший рік навчання

№ п/п	Назви навчальних дисциплін	Кількість кредитів ЄКТС	Форма звітності	Відмітка наукового керівника
I семестр				
1	Практикум з іншомовного професійного спілкування	1,5	реферат	
2	Менеджментстартап проектів	3	залік	
3	Наукова робота за темою магістерської дисертації -1. Основи наукових досліджень	2	залік	
4	Методології і технології побудови інформаційних процесів - 1	4	залік	
5	Педагогіка вищої школи	5	залік	
6	Криптографічні методи захисту інформації	5	екзамен	
7	Нейро-технології та нейрокомп'ютерні системи	6,5	екзамен	
8	Сучасна теорія управління	6	екзамен	
II семестр				
1	Патентознавство та інтелектуальна власність	3	залік	
2	Методології і технології побудови інформаційних процесів - 2	4	екзамен	
3	Основи інженерії та технології сталого розвитку	2	залік	
4	Практикум з іншомовного професійного спілкування	1,5	залік	
5	Наукова робота за темою магістерської дисертації – 2. Науково-дослідна робота за темою магістерської дисертації	2	залік	
6	Мікроконтролерне управління роботою технічними системами	4	залік	
7	Теорія мереж Інтернет	3	залік	
8	Технології проєктування пост реляційних та об'єктнореляційних баз даних	3,5	екзамен	
9	Інформаційне забезпечення роботою технічних систем	3	залік	
10	Розпізнавання образів	4	екзамен	

Зміни (доповнення) до плану:

<sup>2\*</sup>Тема магістерської дисертації \_\_\_\_\_ ,

затверджена наказом ректора від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

Магістрант \_\_\_\_\_

<sup>2\*</sup> Для магістрантів практичного спрямування.

## АНОТАЦІЯ

У даній роботі розглянуто проблему теорію побудови системи адаптивного керування безпілотним літальним апаратом за еталонною моделлю, зроблена оцінка та характеристик існуючих рішень, розглянуто їх переваги та недоліки. Також сформовано задачу керування за еталонним принципом.

Проведено дослідження існуючих рішень задач керування безпілотними літальними апаратами, зроблено моделювання на основі поставленої задачі, сформовано тестовий набір.

Ключові слова: безпілотний, еталонна модель, управління.

Розмір пояснювальної записки – 65 аркушів, містить 5 ілюстрації, 10 таблиць, 5 додатків.

## ABSTRACT

Being this paper, the problem of the theory of constructing a system of adaptive control of an unmanned aerial vehicle according to the reference model is considered, an estimation and characteristics of existing solutions are made, their advantages and disadvantages are considered. Also formed the task of managing the reference principle.

The research of existing decisions of the problems of control of unmanned aerial vehicles was carried out, the modeling was done on the basis of the set task, the test set was formed.

Keywords: unmanned, reference model, management.

The size of the explanatory note is 65 sheets, contains 5 illustrations, 10 tables, 5 appendices.

## ЗМІСТ

ВСТУП	12
1. БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ (БПЛА) ЯК ОБ’ЄКТИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ	5
1.1 Класифікація БПЛА за їх конструктивно функціональним складом, характеристиками та завданням управління.	5
1.1.1 БПЛА літакового типу	16
1.1.2 БПЛА з несучим крилом	17
1.1.3 БПЛА з обертовим крилом	19
1.1.4 БПЛА з махаючим крилом	20
1.1.5 БПЛА аеростатичного типу	21
1.1.6 Класифікація БПЛА з льотними параметрами	22
1.1.7 Система управління безпілотним авіаційним комплексом	23
1.2 Принципи та методи адаптації при управлінні нестационарними літальними апаратами	27
1.2.1 Самоналаштувальна система	32
1.2.2 Система адаптивного управління	32
1.3 Безпошукові самоналагоджуючі системи: їх класифікація та функціональні структури.	33
1.4 Безпошукові градієнтні самоналагоджуючі системи	35
2. СИНТЕЗ БЕЗПОШУКОВОЇ САМОНАЛАГУДУЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА	38
2.1 Узагальнена постановка задачі синтезу самоналагоджуючої системи управління літальним апаратом з еталоною моделлю	38
2.2 Метод допоміжного оператора при синтезі градієнтної самоналагоджуючої системи управління	38
2.3 Функціональна структура адаптивної системи управління БПЛА з еталоною моделлю	40
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА	43
3.1 Побудова математичної моделі адаптивної системи управління рухом БПЛА	44

3.2 Обґрунтування та вибір засобів моделювання адаптивної системи управління	45
3.3 Формування тестового набору завдань і початкових умов для моделювання адаптивної системи управління БПЛА	47
3.4 Результати моделювання адаптивної системи управління рухом БПЛА	
4. СТАРТАП ПРОЕКТ	49
4.1 Опис ідеї проекту	52
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	54
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	56
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ**

БПЛА – Беспілотний літальний апарат

ЛА – Літальний апарат

АС – Адаптивна система

Фреймворк – інфраструктура програмних рішень, що полегшує розробку складних систем

БАС – Беспілотна адаптивна система

САУ – Система автоматичного управління

## ВСТУП

Питання так чи інакше пов'язані з безпілотними літальними апаратами (БПЛА), в останні роки все більшою мірою стають актуальними, що зумовлено цілим рядом об'єктивних причин.

Діапазон існуючих і розроблюваних літальних апаратів дуже широкий і визначається від мікро і міні - БПЛА, до важких багатотонних апаратів, а також БПЛА, здатних виконувати наддалекі і свєрхвисотних польоти тривалістю в кілька місяців. Крім того, призначення сучасних БПЛА не обмежується тільки військовою сферою. Стрімко розширюється і сфера їх цивільного застосування (в таких галузях, як: нафтогазова промисловість, транспорт, будівництво, сільське господарство, зв'язок та ін.), Що надає додаткові імпульси розвитку безпілотної авіаційної техніки.

Розробками в області безпілотної авіаційної техніки займаються в багатьох країнах як великі фірми, так і невеликі спеціалізовані підприємства, підрозділи університетів і навіть окремі ентузіасти-аматори.

Величезна кількість публікацій по БПЛА, що з'явилися останнім часом, не завжди відрізняються повнотою і системністю викладу, за часту містять неоднозначне розуміння цілого ряду визначень і термінів, що в підсумку ускладнює об'єктивне сприйняття даної тематики.



# **1. БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ (БПЛА) ЯК ОБ'ЄКТИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ**

Гідроакустика отримала широке практичне застосування, оскільки ще не створено ефективної системи передачі електромагнітних хвиль під водою на скільки-небудь значній відстані, і звук тому є єдиним можливим засобом зв'язку під водою. Для країн які омиваються морями актуальним є контроль прибережної акваторії. Існує ряд способів контролю заснованих на різноманітних фізичних принципах: візуальні, радіолокаційні, гідроакустичні та інші. Кожний з них дозволяє виявляти морські об'єкти, проте цілі такого виявлення можуть бути різними. Гідроакустичні методи дозволяють визначати наявність об'єктів у товщі води. Такі задачі були поставлені в першій половині ХХ століття у зв'язку із необхідністю виявлення підводних човнів. В цей час поширення набули гідроакустичні системи активної локації – гідролокатори. Але застосування гідролокаторів видає місцеположення того об'єкту, де він встановлений. Тому останнім часом активно розвиваються методи пасивної локації об'єктів на основі гідрофонів.

## **1.1 Класифікація БПЛА за їх конструктивно функціональним складом, характеристиками та завданням управління.**

Перш ніж приступати до розгляду безпілотних літальних апаратів, слід системно викласти питання, пов'язані з термінологією і класифікацією, давши загальне поняття безпілотного мобільного кошти, зробивши при цьому ряд уточнень і визначень. Безпілотне мобільний засіб - це штучний мобільний об'єкт багаторазового або умовно - багаторазового використання, який не має на борту екіпажу (людини-пілота) і здатний самостійно і цілеспрямовано переміщатися в просторі для виконання різних функцій в автономному режимі (за допомогою

власних програмних засобів) або за допомогою дистанційного управління (здійснюваного людиною-оператором або диспетчерським центром).

Наведене вище визначення безпілотного мобільного засобу відображає в загальному вигляді сучасні уявлення фахівців про даному технічному об'єкті, які еволюціонували протягом певного відрізка часу.

Не можна вважати безпілотними мобільними засобами ті об'єкти, які не мають власної енергетичної підсистеми для переміщення, а самі безпілотні мобільні засоби можна класифікувати за критерієм середовища їх функціонування, якої може бути:

- космос (з підрозділом на навколопланетного орбіти, міжпланетний простір, атмосферу планет і поверхня планет);
- повітря (земна атмосфера);
- суша (з підрозділом по рельєфно-кліматичних і інфраструктурним умов, таким як: міська дорожня мережа, рейкові лінії, пустеля, ліс, гори та інші);
- водне середовище (з підрозділом на водну поверхню і підводний простір);
- підземна середовище (з підрозділом на підземні канали та комунікації, включаючи трубопроводи і свердловини, а також нерозроблену породу).

Безпілотне мобільний засіб функціонує не абсолютно самостійно, а в складі комплексу, куди можуть входити ще інші безпілотні мобільні засоби, центр управління, диспетчерські пункти, ретрансляційні вузли, станції підзарядки, засоби транспортування, запуску, посадки і т.д. Всі разом це прийнято називати UVS - Unmanned Vehicle System - безпілотна мобільна система [1].

Безпілотні мобільні засоби можуть бути дистанційно керованими або автономними. Для них існують загальні назва - ROV - Remotely Operated Vehicle і AUV - Autonomous Unmanned Vehicle.

Найбільш численні групи безпілотних мобільних засобів - це UAV (Unmanned Aerial Vehicles) - безпілотні літальні апарати, UGV (Unmanned Ground Vehicles) - безпілотні наземні мобільні засоби і UMV (Unmanned Marine Vehicles) - безпілотні морські мобільні засоби. Крім наведених вище варіантів, можливі і різні гібридні різновиди безпілотних мобільних засобів.

На сьогоднішній день найбільш адекватним визначенням БПЛА є те, що практично повторює визначення для безпілотного мобільного засобу, дане вище, відмінність полягає лише у середовищі функціонування, що в підсумку дає наступне:

*Безпілотний літальний апарат* - це літальний апарат багаторазового або умовно-багаторазового використання, який не має на борту екіпажу (людини-пілота) і здатний самостійно цілеспрямовано переміщатися в повітрі для виконання різних функцій в автономному режимі (за допомогою власних програмних засобів) або за допомогою дистанційного керування (здійснюваного людиною - оператором зі стаціонарного або мобільного пульта управління).

Само собою зрозуміло, що БПЛА, як і безпілотні мобільні засоби функціонують не абсолютно самостійно, а в складі відповідних авіаційних комплексів (ВАК) або інакше безпілотна авіаційна система (БАС), де враховується не тільки сам літальний апарат (апарати), але також вся інфраструктура і засоби забезпечення (транспортно-пусковий пристрій, засоби зв'язку, наземний пункт управління і ін.).

Класифікація безпілотних літальних апаратів, як будь-яких інших технічних об'єктів і систем, проводиться відповідно до визначених критеріїв, одним з яких є принцип польоту. За цим критерієм всі БПЛА можна розділити на наступні п'ять груп, перші чотири з яких відносяться до апаратів аеродинамічного типу:

- БПЛА з жорстким крилом (БПЛА літакового типу)
- БПЛА з гнучким крилом
- БПЛА з обертовим крилом (БПЛА вертолітного типу)
- БПЛА з махають крилом
- БПЛА аеростатичного типу

Крім БПЛА перерахованих п'яти груп існують також різні гібридні підкласи апаратів, які на їхню принципом польоту важко однозначно віднести до будь - якої з перерахованих груп. Особливо багато таких БПЛА, які поєднують якості апаратів літакового і вертолітного типів.

### 1.1.1 БПЛА літакового типу

Існує велика різноманітність видів БПЛА літакового типу, що розрізняються за формою крила і фюзеляжу. Практично всі схеми компоновання літака і типи фюзеляжів, які зустрічаються в пілотованій авіації, можна застосувати й у безпілотній.



Рисунок. 1.1 – RQ-4 Global Hawk

На рис. 1. представлений певний приклади, серед яких типовим представником можна вважати розвідувальний БПЛА RQ-4 Global Hawk, розроблений американською фірмою Teledyne Ryan. Він відрізняється незвичайною формою фюзеляжу, в носовій частині якого розміщено радіолокаційне, оптичне і чіткий устаткування. Апарат виготовлений з композитних матеріалів на основі вуглеволокна і алюмінієвих сплавів, має довжину 13,5 м, розмах крил 35 м, злітну масу близько 15 тонн, здатний нести корисне навантаження масою до 900 кг. RQ-4 Global Hawk може перебувати в повітрі до 30 годин на висоті до 18 км. Максимальна швидкість 640 км на годину. Силова установка - турбореактивний двигун з тяговим зусиллям 34,5 кН.

### 1.1.2 БПЛА з несучим крилом

Це дешеві й економічні літальні апарати аеродинамічного типу, в яких в якості несучого крила використовується не жорстка, а гнучка (м'яка) конструкція, виконана з тканини, еластичного полімерного матеріалу або пружного композитного матеріалу, що володіє властивістю оборотної деформації. В цьому класі БПЛА можна виділити:

- безпілотні моторизовані параплани;
- дельтаплани;
- БПЛА з пружно деформується крилом;

*Безпілотний моторизований параплан* - апарат на основі керованого парашута-крила, з повітряним гвинтом для автономного розбігу і самостійного польоту. Крило зазвичай має форму прямокутника або еліпса. Крило може бути м'яким, мати жорсткий або надувний каркас.

Їх основна перевага - економічність, вони забезпечені двигунами внутрішнього згоряння і здатні тривалий час повільно баражувати над об'єктом, виробляючи, наприклад, відеозйомку. Для запуску потрібна площадка довжиною 2-3 м для короткого розбігу.

Недоліком безпілотних моторизованих парапланів є труднощі управління ними, так як навігаційні датчики не мають жорсткого зв'язку з крилом. Обмеження на їх застосування надає також очевидна залежність від погодних умов.

*Безпілотний моторизований дельтаплан* - це апарат на основі м'якого крила дельтоподібного форми. Таке крило являє собою три жорсткі направляючі, з'єднані між собою в передній точці і утворюють в горизонтальній площині віяло, з кутом між трубами 90-140 градусів. Між трубами натягнута міцна тканина. Дві бічні напрямні і задня кромка тканини утворюють при вигляді зверху майже трикутник. крило кріпиться на візок, на якій змонтовані двигун з гвинтом (тягне або штовхає) і апаратура Управління польотом здійснюється зазвичай за допомогою додаткових аеродинамічних елементів, невеликої деформації крила або за допомогою

переміщеного центра ваги.

Швидкість сучасних дельтапланів становить від 25 км / год до 100-130 км на год, висота польотів досягає 6 км і більше. У порівнянні з безпілотними мотопарапланами мотодельтаплани значно простіше і стабільніше в управлінні завдяки наявності жорстких зв'язків крила з іншою конструкцією.

Перевага мотодельтаплану по відношенню до інших БПЛА полягає в наступному:

1. простоті і надійності конструкції
2. дешевизні і компактності в складеному вигляді
3. мінімальної необхідної довжині майданчика для зльоту і посадки, безшумності
4. відсутності впливу вібрацій від ротора несучого гвинта на аеродинамічні елементи конструкції

*БПЛА з пружно деформується крилом*, яке в апаратах такого типу виконується з композитного матеріалу з великим ступенем пружності. Це дозволяє згортати крило без побоювання втратити його форму, воно також добре протистоїть зіткненні з землею і перешкодами.

Прикладом може служити БПЛА *Maverick* - компактний і дуже легкий електричний літальний апарат, розроблений американською компанією *Prigria Robotics*. Гнучке пружне крило дозволяє розміщувати *Maverick* в невеликому тубусі діаметром 15 см. Крім того, як заявляють розробники, таке крило здатне частково компенсувати пориви вітру та покращувати стабільність польоту. Апарат оснащений камерою для відео і фото зйомки. Запуск БПЛА може проводитися як "з руки", так і за допомогою спеціальної пневматичної катапульти. Після вильоту з катапульти апарат розгортає крила, які не мають елеронів, тому управління здійснюється за допомогою невеликих аеродинамічних рулів в хвостовій частині. БПЛА *Maverick* має масу 1,16 кг, радіус дії до 5 км і здатний знаходитися в повітрі від 45 до 90 хвилин.

### 1.1.3 БПЛА з обертовим крилом

Цей тип апаратів відомий також як БПЛА з обертовим крилом (англ. rotary-wing UAV, rotorcraft UAV, helicopter UAV). Підйомна сила у апаратів цього типу також створюється аеродинамічний, але не за рахунок крил, а за рахунок обертових лопатей несучого гвинта (гвинтів). Крила або відсутні зовсім, або грають допоміжну роль. Очевидними перевагами БПЛА вертолітного типу є здатність зависання в точці і висока маневреність, тому їх часто використовують в якості повітряних роботів.

Існує безліч схем побудови апаратів вертолітного типу, серед яких, в першу чергу, слід виділити багатовінтові вертольоти або, так звані, мультикоптери.

До групи безпілотних мультикоптерів відносяться літальні апарати, які мають більше двох несучих гвинтів і у яких реактивні моменти врівноважуються за рахунок попарного обертання несучих гвинтів в різні боки або нахилу вектора тяги кожного гвинта в потрібному напрямку. Безпілотні мультикоптери, як правило, відносяться до класів міні і мікро - БПЛА і, безумовно, до мультикоптерів відносяться апарати, що мають три несучих гвинта і більш. Відповідно потрібні мультикоптери називають трикоптерами, чотирехроторніе – квадрокоптер.

Трикоптер - найпростіша схема побудови мультикоптера. Зазвичай трикоптер рухається двома гвинтами вперед, а третій є хвостовим. Перші два гвинти мають протилежні напрямки обертання і взаємно компенсують реактивні закручують моменти, у хвостового ж гвинта пари немає, тому для компенсації його реактивного моменту вісь обертання цього гвинта трохи нахиляють в сторону, протилежну напрямку закручування. Це роблять за допомогою спеціального сервоприводу і тяги, які використовуються для стабілізації або керування положенням апарату по курсу.

Квадрокоптер - найпоширеніша схема побудови мультикоптера. Наявність чотирьох жорстко зафіксованих роторів дає можливість організувати досить просту схему організації руху. Існують дві таких схеми руху: схема "+" і схема "x". У першому випадку один з роторів є переднім, протилежний йому - заднім, і два ротори є бічними. У схемі "x" передніми є одночасно два ротори, два інших є задніми, а

зміщення в бічному напрямку також реалізуються одночасно парою відповідних роторів. Алгоритм управління частотами обертання гвинтів для схеми "+" дещо простіше і зрозуміліше, ніж для схеми "x", проте остання використовується все ж частіше через конструктивні переваги: при такій схемі простіше розмістити фюзеляж, який може мати витягнуту форму, бортова відеокамера має більш вільний огляд.

Основне призначення мультикоптера - це фото і відеозйомка різних об'єктів, тому вони, як правило, оснащуються керованими підвісами для камер. Компонування обладнання на мультикоптері може бути будь-якою. Модуль GPS зазвичай намагаються виносити окремо, як можна далі від електричних ланцюгів. Для захисту пропелерів часто передбачають спеціальні огорожі. Для збільшення підйомної сили і підвищення живучості апарату часто об'єднують на одній балці тягне і штовхає гвинти з відповідними двигунами. Гексакоптери і октокоптери, що мають відповідно по 6 і 8 роторів, мають вищою вантажопідйомністю в порівнянні з квадрокоптера. Вони також здатні зберігати стійкий політ при виході з ладу одного ротора.

### **1.1.4 БПЛА з махаючим крилом**

БПЛА з махають крилом (flapping-wing UAV) засновані на біоническом принципі - копіюванні рухів, створюваних в польоті літаючими живими об'єктами - птахами і комахами. Хоча в цьому класі БПЛА поки немає серійно випуску апаратів та і практичного застосування вони поки не мають, в усьому світі проводяться інтенсивні дослідження в цій області. В останні роки з'явилася велика кількість різних цікавих концептів малих БПЛА з махають крилом. Головні переваги, які мають птаці і літаючі комахи перед існуючими типами літальних апаратів - це їх енергоефективність і маневреність. Якщо розробникам "махаючого" БПЛА вдасться за показниками енергоефективності та маневреності наблизитися до того, що вже є в живій природі, то тоді їх зусилля не будуть даремними, і можна очікувати, що цей клас апаратів почне застосовуватися майже усюди. Апарати, засновані на імітації рухів



птахів, отримали назву орнітоптерів, а апарати, в яких копіюються руху літаючих комах.

### **1.1.5 БПЛА аеростатичного типу**

БПЛА аеростатичного типу (blimps) - це особливий клас БПЛА, в якому підйомна сила створюється переважно за рахунок сили Архімеда, що діє на балон, заповнений легким газом (як правило, гелієм). Цей клас представлений, в основному, безпілотними дирижаблями.

Дирижабль - це літальний апарат, що представляє собою комбінацію аеростата з рушієм (зазвичай це гвинт (пропелер, імPELLер) з електродвигуном або двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) і систем управління і орієнтації. За конструкцією дирижаблі поділяються на три основних типи: м'який, полужесткий і жорсткий. У дирижаблях м'якого і напівтвердих типу оболонка для несучого газу м'яка, яка набуває необхідну форму тільки після закачування в неї несучого газу під певним тиском.

У дирижаблях м'якого типу незмінюваність зовнішньої форми досягається надлишковим тиском газу-носія, постійно підтримуваним балонами з газом або м'якими ємностями, розташованими всередині оболонки, в які нагнітається повітря. Баллонети, крім того, служать для регулювання підйомної сили і керування кутом тангажа (диференційована відкачування / закачування повітря в баллонети призводить до зміни центра ваги апарату).

Дирижаблі напівтверді типу відрізняються наявністю в нижній частині оболонки жорсткої (в більшості випадків на всю довжину оболонки) ферми. У жорстких дирижаблях незмінюваність зовнішньої форми забезпечується жорстким каркасом, обтягнутим тканиною, а газ знаходиться всередині жорсткого каркаса в балонах з газонепроникної матерії. Жорсткі дирижаблі в безпілотному виконанні поки практично не застосовуються.

### 1.1.6 Класифікація БПЛА з льотними параметрами

Крім принципу польоту, для класифікації БПЛА можуть бути використані і інші об'єктивні критерії (льотні параметри), якими є такі характеристики ЛА, як злітна маса, дальність, висота і тривалість польоту, розміри апарату і т.д.

Міжнародною асоціацією по безпілотним системам AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) була запропонована універсальна класифікація БПЛА, яка об'єднує багато з названих критеріїв. У таблиці показана ця класифікація з приведенням англійських еквівалентів категорій і аббревіатур.

Наведена класифікація поширюється як на вже існуючі, так і на перспективні розробляються БПЛА, і її зараз не можна вважати усталеною. Крім того, багато особливі типи апаратів з нестандартними комбінаціями параметрів важко віднести до якогось певного класу. У деяких версіях цієї класифікації специфічні для військового застосування класиUCAV, Lethal і Decoys виділяють в окрему групу БПЛА. Є також тенденція, в зв'язку з швидкозростаючим числом цивільних застосувань БПЛА, взагалі не поділяти БПЛА на стратегічні і тактичні.

Як видно з наведеної таблиці, лідером за кількістю розробок є категорія Mini. Це цілком зрозуміло, тому що бурхливий прогрес в цьому класі апаратів обумовлений збігом відразу декількох сприятливих факторів, а саме:

- це відносна простота їх експлуатації і доступність (в тому числі за вартістю) для великого числа кінцевих споживачів;
- ці апарати підходять для виконання найрізноманітніших завдань, причому не тільки у військовій області, а й в цивільних, і саме попит на апарати цивільного застосування в основному стимулював їх розробки в останні роки

В останні десятиліття дозріли всі необхідні умови для розробок і початку виробництва саме таких апаратів - відносно невеликих за масою і габаритами, але здатних виконувати досить серйозні завдання.

Таблиця 1.1.6

Категорія	Злітна маса, кг	Льотність польоту, км	Висота польоту, м	Дальність
Нано-БПЛА	Nano	<0,025	<1	100
Мікро-БПЛА	Micro (p)	<5	<10	250
Міні-БПЛА	Mini	5-150	<10	150
Легкі БПЛА для контролю перелітного краю оборони	Close Range (CR)	25-150	10-30	3000
Легкі БПЛА з малою дальністю польоту	Short Range (SR)	50-250	30-70	3000
Середні БПЛА з великою тривалістю польоту	Medium Range Endurance (MRE)	500-1500	> 500	8000
Маловисотні БПЛА для бойових дій	Low Altitude Deep Penetration (LADP)	250-2500	> 250	9000
Тактичні	Маловисотні БПЛА з великою тривалістю польоту	Low Altitude Long Endurance	15-25	> 500
	Середньовисотні БПЛА з великою тривалістю польоту	Medium Altitude Long Endurance	1000-1500	> 500
Стратегічні	Висотні БПЛА з великою тривалістю польоту	High Altitude Long Endurance (HALE)	2500-5000	>2000
	Бойові (вларні) БПЛА	Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAV)	> 1000	1500

До числа таких дозрілих передумов можна віднести: досягнення в області мікросистемної техніки (зокрема, поява гіроскопів і акселерометрів в мікромініатюрном виконанні), широке впровадження систем глобального позиціонування (таких як GPS), поява інших необхідних елементів для комплектування міні-БПЛА: ефективних відеокамер, безколекторних електродвигунів і відповідних драйверів, енергоємних літій-полімерних акумуляторів.

### **1.1.7 Система управління безпілотним авіаційним комплексом**

Всю систему автоматичного управління авіаційним комплексом (АК) можна представити у вигляді ієрархічної структури, показаної на рис.1. Тут стрілками показані сигнали: керуючі (зверху вниз) і інформаційні (від низу до верху). На малюнку показані три рівня автоматичного управління АК і моделі, що використовуються при формуванні керуючих впливів, а також верхній рівень управління, всю роботу на якому виконує людина-оператор. Слід зазначити, що оператор, як правило, має можливість керувати будь-яким з низлежачих рівнів, задаючи:

- поточне завдання для системи управління АК;
- дію для конкретного БПЛА;
- необхідне значення будь-якого параметра стану БПЛА.

При цьому всю необхідну інформацію про стан компонентів БАК (крім візуальної з навколишнього простору) оператор отримує через засоби відображення інформації (СОІ), як правило, входять до складу СУАК. На рівні оператора використовується модель авіаційного комплексу, що включає опис:

1. задач, які здатний виконувати комплекс
2. умов застосування та областей досяжності АК
3. ЛА, їх корисного навантаження і центральної системи управління

комплексом

#### 4. комунікацій між компонентами комплексу

Система управління АК може мати різне базування [66], але наземне розташування є найпростішим і поширеним. На цьому рівні використовуються моделі опису:

- ЛА в складі комплексу, їх основних льотно-технічних характеристик (ЛТХ) і функціональних можливостей, а також динамічних характеристик інших рухомих компонентів
- призначеної завдання сеансу функціонування комплексу
- кількості ЛА, а також ступінь можливої заміни одних компонентів (наприклад, що вийшли з ладу) іншими

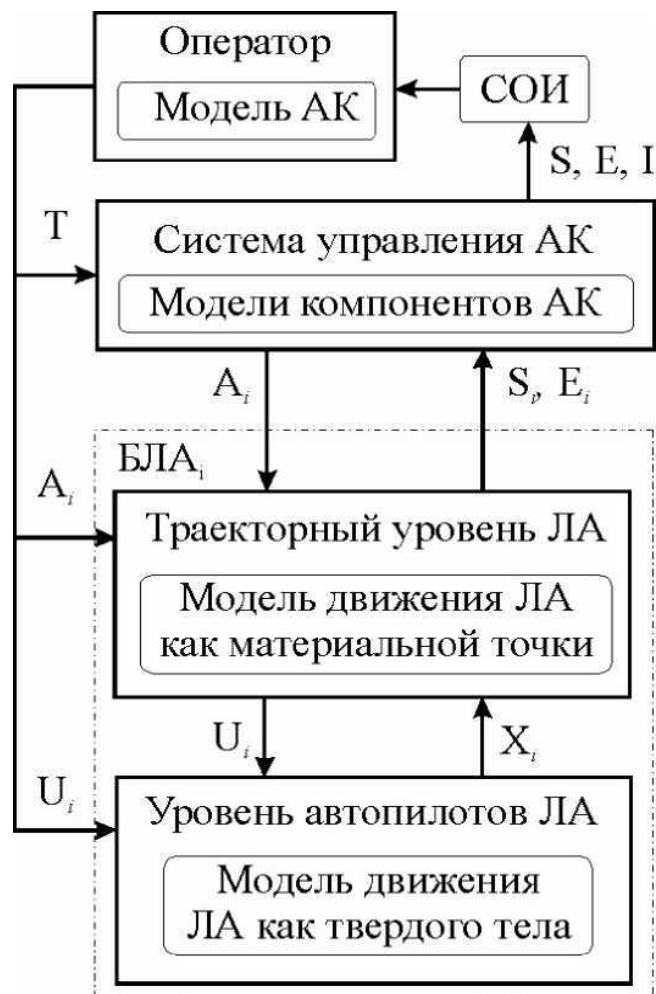


Рисунок 1.1.7 Рівні керування авіаційним комплексом

Завдання, які вирішуються:

- побудова вирішення поставленого перед АК завдання у вигляді сукупності підзадач, що вирішуються кожним ЛА в складі комплексу
- складання плану польоту для кожного ЛА, а також переліку дій в певних точках з урахуванням паливно-Тимчасові обмежень
- узгодження руху декількох ЛА в складі АК, якщо це необхідно

Критерій якості управління на цьому рівні можна сформулювати як оцінку рішення кожним БПЛА поставленої перед ним завдання з певним рівнем ефективності.

Наступні два рівня реалізуються безпосередньо на борту ЛА. Відповідно, перераховані нижче характеристики можуть мати кількісні відмінності в залежності від типорозміру і виконуваної ЛА завдання *траєкторний рівень* управління містить докладний опис руху ЛА, в тому числі і можливий розкид значень основних параметрів при їх виконанні. Таким чином, моделі цього рівня містять такі відомості:

- математичний опис просторового руху ЛА як матеріальної точки
- граничні значення швидкостей і ейлерових кутів при вивиконанні типових маневрів
- вимоги до точності витримування заданої траєкторії
- вимоги до витримуванню певних дистанцій між декількома одночасно виконують політ ЛА

На нижньому рівні управління забезпечується відпрацювання всіх дій ЛА, розрахованих на Траєкторні рівні. Відповідно, модель цього рівня містить: математичний опис просторового руху ЛА як твердого тіла; закони управління окремими параметрами руху ЛА;

граничні значення деяких величин, що підлягають огзпечних.

Завдання, які вирішуються:

- формування керуючих впливів, що передаються для відпрацювання в САУ;
- обмеження граничних значень заданих величин.

Завдання цього рівня вирішуються традиційними методами теорії

автоматичного управління, тому якість їх вирішення може бути виражено показниками якості перехідних процесів всіх задіяних САУ.

## **1.2 Принципи та методи адаптації при управлінні нестационарними літальними апаратами**

Адаптивною називається система, в якій за кінцеве час досягається задана мета управління для будь-яких об'єктів і умов із заданого класу. При цьому основною ознакою адаптації доцільно вважати мінімальну кількість необхідної апріорної інформації про об'єкт управління і її заповнення за рахунок випробувань, що поєднуються з робочим режимом функціонування системи.

Адаптивні системи прийнято розрізняти за ступенем адаптації; при цьому можна виділити два великих класу адаптивних систем: обмежено адаптивні системи і системи з високорозвиненою адаптацією. До першого класу систем можна віднести АСЕМ з сигнальної адаптацією, системи зі змінною структурою, системи з нелінійними коректуючими пристроями, системи з нескінченним коефіцієнтом посилення, системи з налаштованим коефіцієнтом посилення (*gainscheduling systems*).

До систем з високорозвиненою системою адаптації можна віднести самоорганізуються, самоалгоритмізуючі і які самостійно системи; до останніх відносять екстремальні, пошукові, безпошукові системи. Безпошукові системи найбільш придатні для електромеханічних об'єктів через найбільш високу швидкість самонастроювання. До них відносяться системи з контролем частотних характеристик, системи з контролем тимчасових характеристик, системи з контролем параметрів, системи з моделями. У практичних розробках адаптивних електромеханічних систем найбільше застосування знайшли останні два методи. Безпошукові системи найбільш придатні для електромеханічних об'єктів через найбільш високу швидкість самонастроювання. До них відносяться системи з контролем частотних характеристик, системи з контролем тимчасових

характеристик, системи з контролем параметрів, системи з моделями. У практичних розробках адаптивних електромеханічних систем найбільше застосування знайшли останні два методи.

Безпошукові системи найбільш придатні для електромеханічних об'єктів через найбільш високій швидкості самонастроювання. До них відносяться системи з контролем частотних характеристик, системи з контролем тимчасових характеристик, системи з контролем параметрів, системи з моделями. У практичних розробках адаптивних електромеханічних систем найбільше застосування знайшли останні два методи. Серед систем з еталонною моделлю виділяють системи з прямою і непрямую адаптацією. У разі прямого адаптивного управління в процесі роботи системи вимірюються деякі характеристики моделі і системи (тимчасові і частотні) і на підставі аналізу їх неузгодженості перебудовуються коефіцієнти основного регулятора так, щоб звести це неузгодженість до допустимого значення.

У системах непрямого адаптивного управління попередньо виконується (в темпі реальних процесів) ідентифікація об'єкта, після чого інформація про його параметрах використовується для обчислення коефіцієнтів регулятора. Непрямий (ідентифікаційний) підхід отримав систематичне розвиток на основі використання настроюються моделей, що ідентифікують поточні параметри і оцінюють недоступні виміру змінні об'єкта. Пряме управління реалізується в системах шляхом використання еталонної моделі, яка задає бажане рух об'єкта або його частини. Як і в схемі з настроюваної моделлю, можливі варіанти послідовного і паралельного включення еталонної моделі по відношенню до об'єкта.

Методи синтезу законів адаптивного управління з моделями поділяються на методи локальної адаптації (схеми першого наближення, градієнтні методи, методи чутливості та ін.) І методи, які використовують концепцію стійкості (метод функцій Ляпунова, метод гіперстійкості). Методи локальної адаптації, разом з перевагами - простотою і товарністю, мають істотний недолік: їх працездатність гарантована при виконанні умов малості параметричних збурень і їх квазістаціонарності. Згідно з технічним завданням, далі в дипломній роботі будемо розглядати адаптивні системи



з еталонною моделлю. У класі систем з високорозвиненою адаптацією до них відносяться АСЕМ з параметричних алгоритмом адаптації, в класі обмежено адаптивних систем - АСЕМ з сигнальної адаптацією. До незаперечних переваг АСЕМ з параметричної адаптацією можна віднести ефективне придушення параметричних збурень теоретично будь-якої кратності, а також наявність у адаптивних алгоритмів «пам'яті» і ідентифікують властивостей. У той же час слід зазначити ряд істотних недоліків цих систем, що перешкоджають їх широкому практичному застосуванню: відносна складність АСЕМ з параметричної адаптацією, відсутність формалізованих методик розрахунку їх параметрів, залежність якості адаптації від рівня і спектра вхідних впливів, а також, що не менш важливо, негруба адаптивних властивостей до наявності зовнішніх (адитивних) збурень, неідеальності самого об'єкта управління і неточностей його математичного опису, використовуваного для синтезу регуляторів, зокрема неврахованої динаміки. Але звісно, на відміну від параметричних АСЕМ, в системах з сигнальної адаптацією (релейного типу) мета адаптації досягається лише в обмеженому діапазоні варіацій параметрів. Але варто зазначити, що це обмеження не настільки істотно для застосування подібних систем на практиці, оскільки нерідко обмеження варіацій параметрів цілком прийнятно для практичних потреб. Недоліком цих систем, що відрізняються постійним існуванням в них адаптивних процесів, може виявитися також сам характер адаптує впливу на об'єкт управління. При прагненні посилити адаптаційні властивості системи в ній може виникнути режим високочастотних автоколебаний, що небажано, наприклад з міркувань міцності виконавчого механізму, а також з точки зору енергетичних витрат. Разом з тим, системи з сигнальної адаптацією мають ряд якостей, надзвичайно привабливих з точки зору практичного застосування, простотою реалізації, безінерційного адаптивного механізму, ефективністю придушення зовнішніх збурень і нелінійних властивостей об'єкта управління.

Також варто відзначити, що є позитивний досвід практичного застосування адаптивних регуляторів з сигнальним принципом адаптації та їх серійного

промислового випуску. В цілому практичне застосування принципів адаптації дозволяє вирішувати наступні завдання:

- забезпечити працездатність системи в умовах значної зміни динамічних властивостей об'єкта
- оптимізувати режими роботи об'єкта при зміні його параметрів
- знизити технологічні вимоги до виготовлення окремих вузлів і елементів системи
- уніфікувати окремі регулятори або блоки регуляторів, пристосовавши їх для роботи з різними видами однотипних об'єктів
- скоротити терміни конструкторських випробувань
- підвищити надійність системи. Більш широке застосування адаптивних регуляторів дозволить істотно підвищити функціональну надійність технічних систем і їх конкурентоспроможність при порівняно невеликому підвищенні собівартості

У СНС зі стабілізацією якості управління завдяки підтримується з певною точністю значення критерію якості на заданому рівні. Як самостійно системи такого типу найчастіше застосовуються для стабілізації динамічних властивостей (характеристик) систем. У цьому випадку критерієм якості можуть служити безпосередньо динамічні характеристики системи (перехідні функції і частотні характеристики), Різні непрямі показники якості перехідних процесів (Наприклад, інтегральні оцінки), статистичні оцінки точності (наприклад, середньоквадратична помилка). Необхідні при цьому еталонні характеристики системи (об'єкта) можна формувати аналітично і за допомогою еталонної моделі системи (об'єкта). При аналітичному формуванні еталонних динамічних характеристик застосовуються обчислювальні пристрої, зокрема мікропроцесори. Останні за величиною вхідного сигналу і реакції системи обчислюють критерій якості системи і його відхилення від еталонного. На підставі формується керуючий вплив, що здійснює налаштування основного. Прикладом такої адаптивної системи є мікропроцесорна система автоматичного управління\_технологічним процесом, в якій мікропроцесор МКП

виробляє керуючі впливи, що змінюють відповідним чином уставки основних автоматичних керуючих пристроїв АУУ.

Варіант узагальненої функціональної схеми СНС з еталонною моделлю. Еталонна модель може бути аналоговою або цифровою моделлю основної системи, яка має бажаної динамічної характеристикою. В даному випадку основною системою є комбінована САУ зі зв'язком по задає впливу До складу системи входять коригувальні пристрої в прямій ланцюга і ланцюги головної зворотного зв'язку, Підсилювач-перетворювач УП і керований об'єкт УО. На вхід еталонної моделі М і основної системи надходить одне і те ж задає вплив або пробні сигнали, що виробляються генератором Вихідні величини моделі і основної системи порівнюються в елементі порівняння контуру адаптації. Якщо динамічні характеристики моделі і системи не ідентичні, то виникає сигнал неузгодженості який подається на вхід механізму настройки МН параметрів. Останній зазвичай являє собою або містить інтегруючий елемент.

Механізм налаштування так змінює параметри коригувального пристрою в прямій ланцюга основної системи що сигнал неузгодженості зменшується або зводиться до нуля. Ідентичності динамічних характеристик системи і моделі також можна домагатися налаштування параметрів коригувальних пристроїв в головній зворотного зв'язку або в задаючи вплив СЗВ системи. Зокрема, налаштуванням параметрів СЗВ можна підтримувати виконання того чи іншого умови інваріантності (наприклад, умови підвищення порядку системи) змінюються параметрах системи. Таким чином, при зміні параметрів системи (об'єкта) контур самонастроювання з еталонною моделлю налаштовує параметри коригувальних пристроїв системи так, що динамічна характеристика всієї системи залишається незмінною, близькою до характеристики еталонної моделі. Щоб можна було забезпечувати ідентичність динамічної характеристики системи з характеристикою еталонної моделі зміною параметрів фізично реалізованих коригувальних пристроїв, структура (алгоритмічна схема) еталонної моделі повинна бути схожою зі структурою основної системи. У ряді випадків стає можливим застосування спрощеної моделі системи у вигляді

коливального або аперіодичної ланки. Параметри еталонної моделі повинні вибиратися з урахуванням обмежень координат реальної системи.

### **1.2.1 Самоналаштувальна система**

Функціональна схема СНС зі стабілізацією амплітудно-частотної характеристики основної системи на одній частоті. Генератор пробних сигналів виробляє гармонійне коливання частоти. Це коливання надходить на еталонну модель  $M_i$  і на основну систему. Амплітуда вихідного коливання моделі на частоті відповідає ординаті  $M$  бажаної амплітудно-частотної характеристики системи. Коливальна складова вихідного сигналу системи виділяється за допомогою вузькосмугового фільтра  $\Phi$ , налаштованого на частоту коливання з виходу моделі  $M_i$  і фільтра  $\Phi$  системи попередньо випрямляється за допомогою випрямлячів  $B$ , а потім порівнюються в сигнал помилки, пропорційний відхиленню ординати амплітудно-частотної характеристики системи від надходить на механізм настройки. Що складається з підсилювача  $U$  і допоміжного двигуна. Останній переміщує движок потенціометра, за допомогою якого регулюється коефіцієнт посилення потенціометра і тим самим змінює амплітудно-частотну характеристику системи. Для стабілізації амплітудно-частотної характеристики системи на декількох частотах застосовують відповідну кількість аналогічних контурів самонастроювання. До контуру самонастроювання взаємодія з основним контуром управління накладає наступні дві основні вимоги: пробні сигнали повинні бути достатньо малі, швидкодія контуру має бути більше швидкості зміни динамічних характеристик основної системи.

### **1.2.2 Система адаптивного управління**

В САУ, що допускають великі коефіцієнти посилення, можливе досягнення стабілізації динамічних характеристик при використанні еталонної моделі без

відповідного налаштування параметрів коригувальних пристроїв основної системи. У ланцюг зворотного зв'язку системи, що складається з керуючого пристрою і об'єкта з передавальними функціями разом з ланкою включено ланка з великим коефіцієнтом посилення. На вхід ланцюга зворотного зв'язку надходить сигнал, рівний різниці вихідних сигналів основної системи  $P$  і моделі. Рівняння елементів системи: виключивши з системи рівнянь проміжні змінні, визначаємо комплексну (замінивши передавальну функцію всієї системи в області частот, де і виконується наближена рівність комплексна передавальна функція всієї системи визначається бажаною передавальною функцією моделі, незважаючи на можливі зміни параметрів основної системи.

### **1.3 Безпошукові самоналагоджуючі системи: їх класифікація та функціональні структури.**

Класифікація є самостійною системою знання, правда, завжди існує в рамках тієї чи іншої науки (біології, хімії, мінералогії або який-ли бо іншого) в більш широкому контексті знання, поряд з іншого роду знанням, яке працює на класифікацію так само, як вона працює на нього. В даному випадку, виходячи з сучасного, досить хаотичного, стану з класифікацією БАС можна зробити досить простий висновок: в світі застосовується примітивна і зовсім марна в практиці класифікація БАС. Причиною цього є зайва комерціалізація знань, що не передбачає стимуляцію прогресу в науці і підміняє зміст зовнішньої, досить привабливо-котельної формою. В основі класифікації БЛА, за поданнями західних аналітиків, лежить наступна група параметрів: стартова маса БЛА  $M_0$  - радіус дії БЛА  $R_d$  - функціональна висота польоту  $H_p \text{ max}$  - функціональна тривалість польоту  $T_p \text{ max}$ .

Відповідно до цієї групи параметрів. Вітчизняна класифікація до теперішнього часу також остаточно не склалася, хоча її відмінність від західного варіанту є умовним, оскільки в основі вітчизняної класифікації лежать ті ж

міркування є статистика по розробляються і експлуатуються БЛА, і вона формує класифікацію. Однак застосований підхід до класифікації БАС не дозволяє отримувати достатню інформацію про клас літального апарату і вибудувати однозначну взаємозв'язок між основними технічними показниками ЛА і його призначенням.

Відповідно до завданням регулювання системи автоматичного управління можна розділити на системи програмні або стежать, стабілізації і які самостійно. Завдання програмної або стежить системи - зміна регульованої величини за заздалегідь відомим або невідомому закону. Система стабілізації призначена для підтримки регульованої величини на незмінному рівні. Завдання самонастроюючої системи - зміна регульованої величини по заздалегідь невідомому закону, необхідного для досягнення певної оптимізації в керованому об'єкті.

При вирішенні перших трьох завдань алгоритм управління залишається незмінним. Метою самонастроювання може бути: забезпечення заданих показників якості (наприклад, динамічних характеристик - ступінь загасання, запас стійкості, виконання умов інваріантності, якість продукту виробничого процесу і т. п.) Або підтримання екстремальних значень (мінімум середньоквадратичної помилки, максимальний коефіцієнт корисної дії агрегату

Розглянемо таку адаптивну систему, алгоритм управління якої автоматично змінюється для здійснення в певному сенсі оптимального управління об'єктом при неповній інформації про його характеристики або параметрах вхідних сигналів, що змінюються в досить широкі межі. Отримуючи інформацію про регульовану величину  $\Phi$ , завданні обурення  $A$  і цілі управління  $C$ , регулятор виробляє регулюючу дію  $0$ .

Якщо до складу регулятора входить цифрова обчислювальна машина, то алгоритм управління є її програмою. Контур самонастроювання змінює алгоритм управління регулятора. Позначимо через  $x_1$  і  $x_\gamma$ ,  $\gamma = 1, 2, \dots, p$  - відповідно вихідні величини контуру самонастроювання і їх оптимальні значення. Тоді контур перетворюється в

багатовимірну нелінійну систему, що стежить, яка встановлює  $x_1$  відповідно до завдання  $x$ . Основним завданням в цьому випадку є розробка датчика неузгодженості, що визначає на базі інформації про роботу основної системи. До числа характерних особливостей самоналагоджувальних систем відносяться Багатоконтурні, нелінійність і неповнота інформації про характеристики об'єкта і або параметрах вхідних сигналів. Дійсно, в таких системах є принаймні два контури: основний системи і самонастроювання. Нелінійних елементами є множители, нелінійна частина об'єкта або датчика. Самонастройка ефективна лише для змінюються в досить широкому діапазоні динамічних характеристик об'єкта і параметрах вхідних впливів. При повній апріорної інформації або вузьких межах зміни досить один раз розрахувати і налаштувати основну систему автоматичного управління. Необхідність в самонастройке відпадає. В даний час ще не склалася загальноприйнята класифікація самоналагоджувальних систем.

#### **1.4 Безпошукові градієнтні самоналагоджувачі системи**

Як показала практика, застосування принципу максимуму Л.С. Понтрягіна при вирішенні реальних завдань рідко дозволяє отримувати вид оптимального управління в аналітичній формі. Основною причиною цього є досить складні математичні моделі керованого руху виду і необхідність до визначення «вільних» параметрів таких моделей. У зв'язку з цим різко зростає роль чисельних методів формування оптимального управління реальними об'єктами. Суть таких методів полягає в послідовному «поліпшення» довільно заданого управління до отримання з деякою точністю мінімального (максимального) значення використовуваної в розв'язуваній задачі функціоналу. Для ілюстрації змісту цього виду чисельних методів розглянемо метод якнайшвидшого спуску для вирішення завдань оптимального управління з вільними межами.

Використання терміну «якнайшвидший спуск» пояснюється тим, що на кожному етапі «поліпшення» управління кожне попереднє управління коригується в

напрямку найшвидшого наближення до мінімального (максимального) значення функціоналу  $J$ , описуваного вектором його градієнта. Нехай потрібно вирішити задачу вибору оптимального управління при наступних припущеннях: 1) моменти часу  $t_0$  і  $t_1$  є заданими (фіксованими) величинами, 2) початкові умови визначені для всіх фазових координат  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  об'єкта, що входять в модель 3) функціонал залежить тільки від невідомих «вільних» граничних значень фазових координат об'єкта в момент часу  $t = t_1$  де  $x_{j1} = x_j(t_1)$ . Задамо довільне керування, що задовольняє обмеженням. Поставимо задачу формування управління: яким відповідає максимальне значення приросту функціоналу обчислюється як: Тут  $\delta u_r = \delta u_r(t)$  - шукане приріст функції  $u_r(t)$  в момент часу  $t \in [t_0, t_1]$ ;  $J^*$  - значення функціоналу при використанні управління виду.

Будемо вважати, що коригувальні поправки  $\delta u_r$ , є досить малими за абсолютною величиною. Це означає, що приріст  $\Delta J$ , що описується виразом досить точно представляється варіацією  $\delta J$  функціоналу Управління, підставлені в рівняння після їх вирішення при початкових умовах: визначають траєкторію руху об'єкта на інтервалі часу  $[t_0, t_1]$ . У зв'язку з малістю  $\delta u_r$ , можна вважати, що де  $\delta x_j = \delta x_j(t)$  - безперервні функції, досить малі за абсолютною величиною в будь-який момент часу  $t \in [t_0, t_1]$ . При цьому з огляду на це припущення, уявімо варіацію функціонала як, де  $\delta x_{j1} = \delta x_j(t_1)$ . З доказу принципу максимуму Л.С. Понтрягіна будемо використовувати наступне співвідношення, компоненти якого визначаються виразами). Знаки цих поправок, які повинні доставляти максимум функціоналу  $\delta J$ , повинні визначатися з наступних співвідношень: де  $\mu$  - задана константа,  $\text{sign}(\cdot)$  - символ знака величини ( $\cdot$ ). Формуючи досить малі значення поправок  $\delta u_r = \delta u_r(t)$ ,  $t \in [t_0, t_1]$  і конкретизуючи їх знаки з умов, знаходимо «покращене» управління по формулі. Так як управління не повинні порушувати обмежень, то вибір поправок  $\delta u_r(t)$  необхідно проводити з урахуванням наступних нерівностей: Алгоритм методу включає в себе наступні етапи: Вибір кроку  $\Delta t$  і формування на інтервалі  $[t_0, t_1]$  сітки значень  $t_s$ . Завдання в кожній точці сітки управлінь. Чисельність інтегрування з кроком  $\Delta t$  системи рівнянь з початковими умовами. Обчислення значення



функціоналу  $J$  і похідних, за допомогою виразу користуванням отриманих значень. Чисельне інтегрування системи рівнянь з початковими умовами в напрямку від моменту часу  $t = t_1$  до моменту  $t = t_0$  з кроком  $\Delta t$ . Знаходження значень похідних, в кожен момент часу  $t_s$ , для обчислених значень пов'язаних функцій  $\lambda_j(t_s)$ . Формування значення  $\delta u(t_s)$ , і конкретизація їх знаків з використанням умов для цього значення параметра  $\mu$ . Визначення управлінь. Перевірка виконання умови для кожного моменту часу  $t = t_s$ . При їх порушенні - перехід до зменшення значення параметра  $\mu$ . Вважаючи, переходимо до п. До тих пір, поки не буде виконана умова  $|\Delta J| \leq \varepsilon$ , де  $\Delta J$  обчислюється по формулі, а величина  $\varepsilon$  визначає необхідну точність рішення задачі. Примітка. Якщо на певному етапі буде отримано значення  $\Delta J < 0$ , то здійснюється повернення до п. Зі зменшенням поправок  $\delta u$ . Виробляється інтегрування рівнянь в «зворотному» часу, тоді як в п. система інтегрується в «прямому» часу від  $t = t_0$  до  $t = t_1$ . Для виконання загального інтегрування систем рівнянь і в «прямому» часу функції  $\lambda_j = \lambda_j(t)$ , пропонується обчислювати за формулами:  $\lambda$  - допоміжні пов'язані функції, які визначаються з рівнянь.

## Висновки по розділу

Проведений аналіз різних класів та типів існуючих БПЛА, а також ряд різновидів беспілотних літальних апаратів, ці дані надають можливість надати рекомендації що до вибору оптимальних моделей БПЛА та систем управління для виконання різних задач. Варіанти використання БПЛА для передачі даних між центром управління та базовим блоком системи моніторингу, а також структура компоновки БПЛА з роботизованим пристроєм, приведені дані, пропонується також використовувати як базові при виборі оптимальних моделей БПЛА.

## **2. СИНТЕЗ БЕЗПОШУКОВОЇ САМОНАЛАГУДУЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА**

### **2.1 Узагальнена постановка задачі синтезу самоналагоджуючої системи управління літальним апаратом з еталонною моделлю**

У даній роботі зважаючи на складність завдання визначення найкращих параметрів адаптивного регулятора будемо використовувати два види опису об'єкта управління і еталонної моделі - в реальних фізичних змінних (кутові швидкості, моменти) (назвемо цю форму математичної моделі фізичної - ФФ) і в умовних змінних, відповідних канонічній формі керованості (КФУ).

Рівняння еталонної моделі (ЕМ):

$$X_M = A_M x + B_M u$$

В адаптивному механізмі вхід релейного елемента формується як лінійна комбінація компонентів вектора помилки стеження ОУ за ЕМ, причому вагові коефіцієнти цієї лінійної комбінації для моделей в фізичних і в канонічних змінних позначені відповідно як компоненти векторів .

### **2.2 Метод допоміжного оператора при синтезі градієнтної самоналагоджуючої системи управління**

Відповідно до завданням регулювання системи автоматичного управління можна розділити на системи програмні або стежать, стабілізації і які самостійно. Завдання програмної частини - зміна регульованої величини за заздалегідь відомим або невідомому закону. Система стабілізації призначена для підтримки регульованої

величини на незмінному рівні. Завдання адаптивної системи - зміна регульованої величини по заздалегідь невідомому закону, необхідного для досягнення певної оптимізації в керованому об'єкті. При вирішенні перших трьох завдань алгоритм управління залишається незмінним.

Метою самонастроювання може бути: забезпечення заданих показників якості (наприклад, динамічних характеристик - ступінь загасання, запас стійкості, виконання умов інваріантності, якість продукту виробничого процесу і т. П.) Або підтримання екстремальних значень (мінімум середньоквадратичної помилки, максимальний коефіцієнт корисної дії агрегату і т. п.). Розглянемо таку адаптивну систему, алгоритм керування якої автоматично змінюється для здійснення в певному сенсі оптимального управління об'єктом при неповній інформації про його характеристики або параметрах вхідних сигналів, що змінюються в досить широких межах. Отримуючи інформацію про регульовану величину  $\Phi$ , завданні обурення  $A$  і цілі управління  $C$ , регулятор виробляє регулюючу дію  $U$ . Якщо до складу регулятора входить цифрова обчислювальна машина, то алгоритм управління є її програмою. Контур самонастроювання змінює алгоритм управління регулятора. Позначимо через  $x_1$  і  $x_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$  - відповідно вихідні величини контуру самонастроювання і їх оптимальні значення. Тоді контур з: простого перетворюється в багатовимірну нелінійну систему, що стежить, яка встановлює  $x_1$  відповідно до завдання  $x$ . Основним завданням в цьому випадку є розробка датчика неузгодженості, що визначає  $Dx_j = x_j - x_{1j}$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ) на базі інформації про роботу основної системи.

До числа характерних особливостей самоналагоджувальних систем відносяться багатоконтурність, нелінійність і неповнота інформації про характеристики або параметри вхідних сигналів. Дійсно, в таких системах є принаймні два контури: основний системи і самонастроювання. Адаптивність ефективна лише для змінюються в досить широкому діапазоні динамічних характеристик об'єкта та його параметрах вхідних впливів. При повній апріорної інформації або вузьких межах зміни досить один раз розрахувати і налаштувати основну систему автоматичного управління. Необхідність в адаптації відпадає. В даний час ще не склалася

загальноприйнята класифікація самоналагоджувальних систем. Більш повна класифікація приведена в роботі, де використовуються наступні основні ознаки: завдання самонастроювання, засоби досягнення умов самонастроювання, спосіб оцінки характеристик системи, спосіб реалізації регулюючого впливу і ступінь досконалості самонастроювання класифікуючи які самостійно системи чи за призначенням. Деякі системи займають проміжне положення між класами, інші - мають властивості декількох класів які розділяють самостійні системи на чутливі до входу, чутливі до змін об'єкта, а також до критерію якості роботи. За останніми двома класифікаціями самоналагоджувальна системи поділяються за типом вимірюваної величини, на яку реагує контур самонастроювання, і до деякої міри доповнюють класифікацію, запропоновану в роботі за способом організації руху до оптимального режиму на пошукові та безпошукові. У пошукових системах вводяться спеціальні пробні сигнали. Безпошукові системи використовують флуктуації обурюють або керуючих впливів, що мають місце в умовах нормальної експлуатації. В роботі безпошукові системи називаються аналітичними. До переваг безпошукових систем відноситься зменшення втрат енергії на пошук і підвищення швидкодії, крім того, для ряду об'єктів неприпустимі спеціальні пробні обурення. Однак у порівнянні з пошуковими системами необхідна більш повна інформація про систему. У тих випадках, коли інтервали часу між флуктуаціями нормально діючих в системі впливів великі, доводиться застосовувати спеціальні пошукові сигнали. Великий інтерес представляє розробка систем, що поєднують як пошукові, так і безпошукове алгоритми настройки. Є ще системи, де пошук на об'єкті замінюється пошуком на моделі.

На додаток до зазначених вище класифікацій є ряд ознак, таких же як для звичайних систем управління. Дійсно, розрізняють замкнуті, розімкнуті і комбіновані принципи побудови контурів самонастроювання. У разі замкнутого контуру самонастроювання останній використовує інформацію про результати свого впливу на основну систему.

При розімкнутій адаптації така інформація не враховується. Безпошукові алгоритми самонастроювання за характером дії в часі можна розділити на безперервні і дискретні. По виду закону посилення можна виділити системи з пропорційним і релейним керуванням. За кількістю параметрів, що настроюються (виходів контуру самонастроювання) системи діляться на одномірні і багатовимірні. Показник якості роботи основної системи може бути заданий аналітично і диференціюючи, або не володіти зазначеними властивостями. Залежно від того, чи є оптимізується показник якості заданою функцією або випадковою, іноді розрізняють детермінований і стохастичний алгоритми самонастроювання. Нарешті, істотне значення для побудови самонастраивающейся градиентной системи має можливість вимірювання ошiб— Мал. 3. Класифікація градієнтних безпошукове самоналагоджувальних систем.— ки без перешкод (дійсної помилки) або тільки з адитивною завадою (сумарною помилки). Під помилкою тут розуміється різниця між бажаним і дійсним виходами системи. На рис. 2 показані відповідні варіанти побудови самоналаштуванням фільтра.— За способом визначення градієнта показника якості по параметрам основної системи безпошукове які самостійно системи діляться на:

- 1) диференціальні
- 2) з допоміжним оператором
- 3) з використанням функцій чутливості
- 4) взаємно-кореляційні
- 5) з частотними фільтрами
- 6) на базі методу стохастичною апроксимації.

Розглянемо більш докладно окремі системи цього класу, а потім на конкретному прикладі покажемо зв'язок між різними способами визначення градієнта. Параметри моделі безперервно налаштовуються на параметри об'єкта в міру зміни останніх у часі. Нехай динаміка об'єкта описується лінійним диференціальним рівнянням зі змінними коефіцієнтами знаходимо з допоміжного рівняння Основні нелінійності об'єкта можна врахувати при побудові його моделі. При наявності випадкових перешкод знижується точність і швидкодію системи



змогу далі вибрати середовище для тестування та зробити кількісний аналіз такої системи оптимального управління.

## **3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА**

### **3.1. Побудова математичної моделі адаптивної системи управління рухом БПЛА**

Для знаходження області допустимих параметрів використовуються методи нелінійного програмування. Причому в якості шуканих значень коефіцієнтів даної зони вибирається точка, в яку вироджується область допустимих параметрів при пропорційному збільшенні вимог до перехідних процесів (наприклад, зменшення максимально допустимого перерегулювання, зменшення часу входження в трубку точності і т.п.).

Математичний опис ПМ формується у вигляді сукупності дрібно-раціональних (поліноміальних) виразів від налаштовуваних параметрів, що визначають реакцію САУ на відповідний тестовий сигнал. Наведена на рис.1 схема функціонування пояснює взаємодію частин програми, що реалізує алгоритм автомата-налагоджувальника (АН) в його класичному розумінні. У відповідності зі схемою порядок роботи алгоритму наступний. Тестовий сигнал надходить на вхід настроюється системи і налаштовуваної моделі. параметри ПМ і, Рівні номінальним значенням відповідних параметрів в реальному настроюється системі. Після проходження тестового сигналу помилка неузгодженості надходить в блок ідентифікації.

Відповідно до алгоритму ідентифікації в ПМ обчислюються значення параметрів. Які є відповідними оцінками даних параметрів в реальній системі.

$$\min_{t \in [0, T]} \|y_i(t) - y_{\text{им}}(t)\|, i = 1, 2, \dots, n,$$

Де  $n$  – число тестових сигналів,  $y_i(t)$  – реакція системи на тестовий сигнал,  $y_{\text{им}}(t)$  – реакція об'єкту на сигнал. У разі, якщо наструюється САУ лінійна, достатньо розглянути лише один тестовий сигнал на етапі ідентифікації, наприклад, ступінчастий, і змушує систему проявити всі динамічні характеристики. Таким чином, ПМ підлаштовується до реальної системи, і в подальшому відбувається налаштування моделі, а реальна система відключається від процесу настройки. Після етапу ідентифікації тестовий сигнал подається на вхід налаштовуваної моделі та еталонної моделі. ЕМ задає безліч бажаних перехідних процесів, які відповідають вимогам до якості регулювання. Помилка неузгодженості надходить в блок настройки, в якому мінімізується вираз:

$$\min_{k_j \in K_j, p_i \in P_j} \sum_{i=1}^n |y_{\text{им}}(k_1, k_2, \dots, k_l, t) - y_{\text{зм}}(p_1, p_2, \dots, p_r)|$$

$k$  – параметри для налаштування,  $y_{\text{им}}(k)$  – вихідні сигнали моделі

### **3.2 Обґрунтування та вибір засобів моделювання адаптивної системи управління.**

Для вирішення даного питання необхідно використати програмний комплекс що надасть змогу змоделювати систему керування на основі еталонної моделі. Тож фактично мова йде про прогресивну організацію інформації за первинними семантичними критеріями, тобто повністю створити модель та виконати певну імітацію реальних умов, для цього можливо використати або програмний пакет MATLAB, або Віртуальну лабораторію SHS, бо вони нададуть змогу просто та швидко побудувати нашу модель.



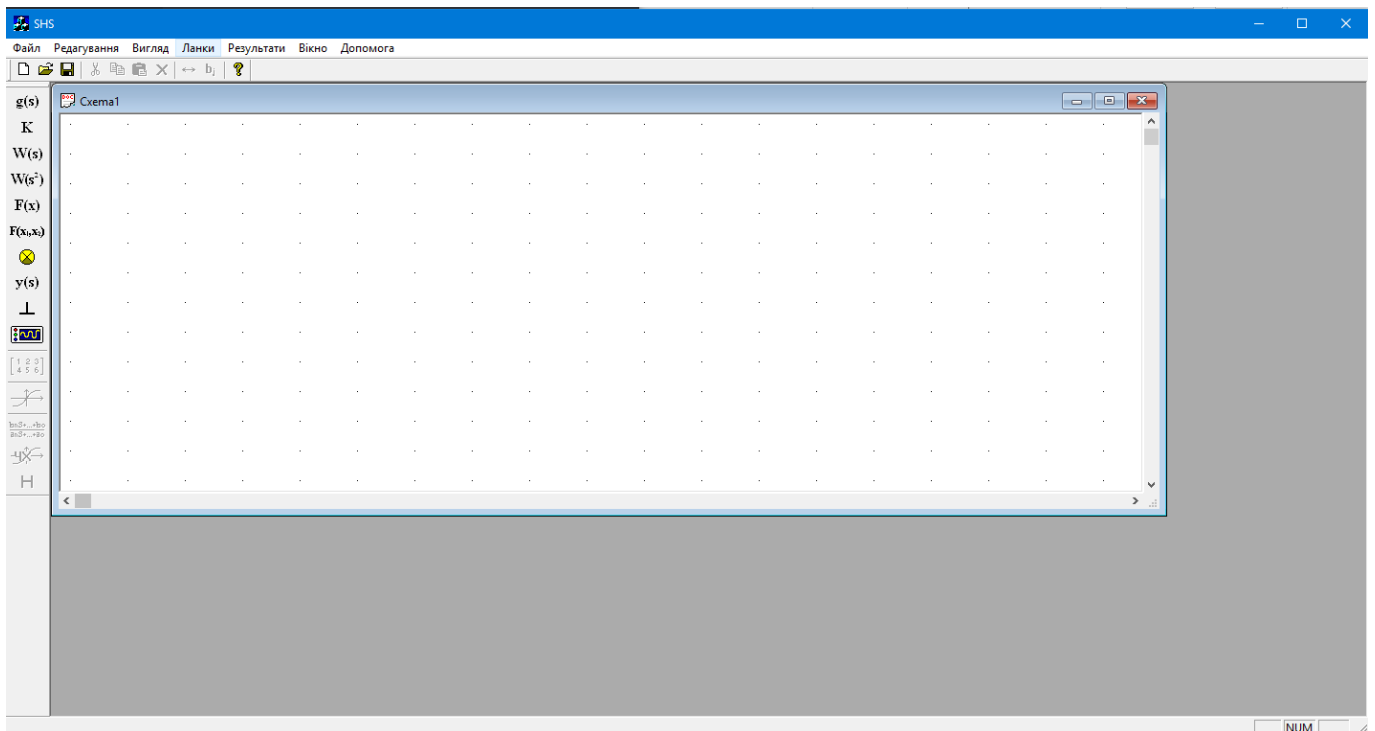


Рисунок 3.2

Універсальний лабораторний комплекс ТАК-SHS призначається для дослідження систем автоматичного керування. ТАК-SHS побудовано на принципі використання векторно-матричної моделі вивчаємої системи, яка автоматично розраховується на основі спеціалізованого алгоритму SHS по структурній схемі, що будується безпосередньо на екрані монітору. Лабораторний стенд забезпечує дослідження лінійних і не лінійних (стаціонарних та нестаціонарних) систем автоматичного керування, як неперервних так і дискретних, при детермінованих та випадкових впливах.

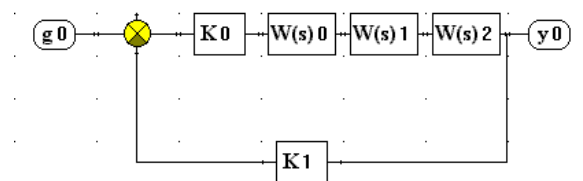


Рисунок 3.2.1

З обраних елементів будується структурна схема системи та задаються зв'язки між елементами. Зв'язки задаються курсором з натиском на ліву кнопку миші від виходу попереднього елемента до входу наступного. Зв'язок встановлюється по зеленому світлофору з відпусканням лівої кнопки миші. При

необхідності перевіряються матриці A,B,C,D векторно – матричної моделі та проглядаються результати на обзорному екрані. Результати можна спостерігати також на робочому графічному.

Альтернативою може слугувати MATLAB Simulink вкрбенч якого можна побачити на рисунку 3.2.2

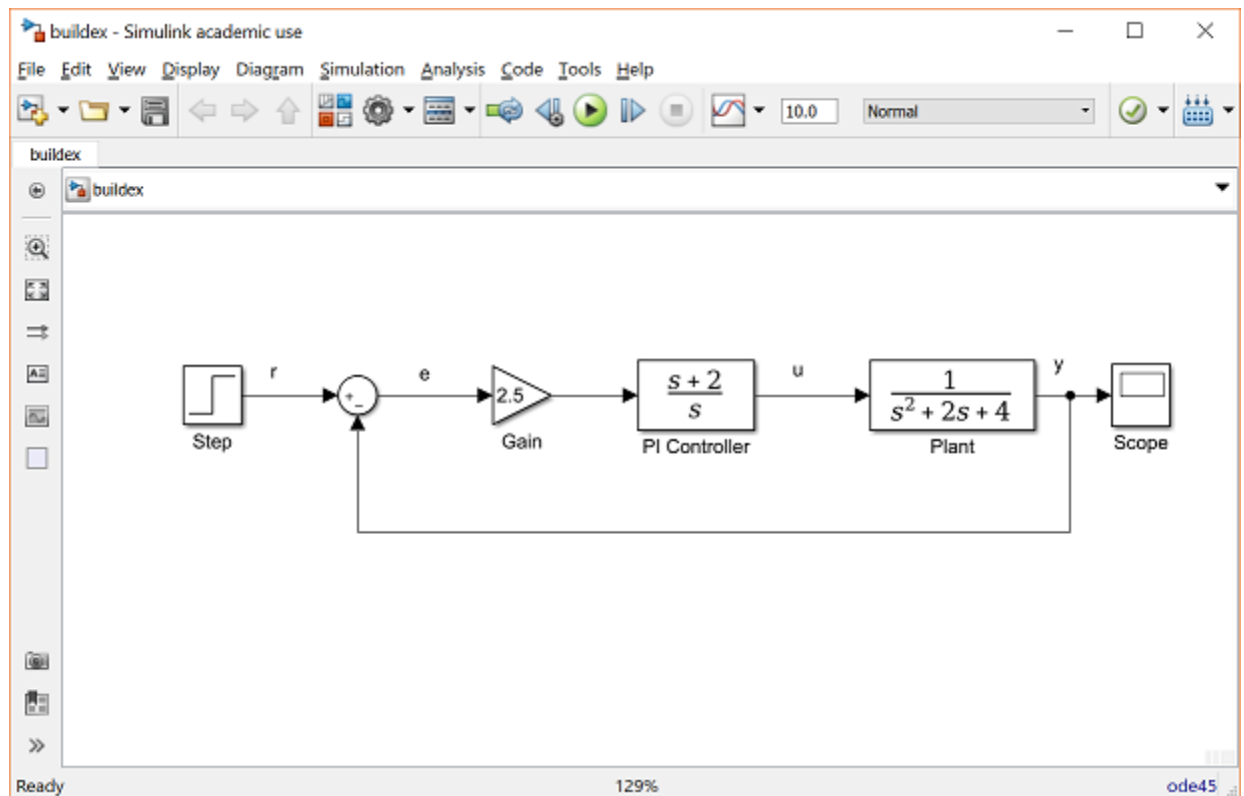


Рисунок 3.2.2

Іноді корисно витягувати імітаційну модель з Simulink в робочу область MATLAB. Це особливо стосується ситуацій, коли ваша імітаційна модель складна або нелінійна. Це витягування можна виконати за допомогою команди `linlad` команди MATLAB або самої моделі моделювання.

### 3.3 Формування тестового набору завдань і початкових умов для моделювання адаптивної системи управління БПЛА

Для тестів було вибрано передавальну функцію наступного вигляду, що надасть нам змогу змінювати параметри за кутом тангажу.

$$W_{\text{ЭМ}}^g(s) = \frac{U_M(s)}{U_3(s)} = \frac{a_1}{b_1s + b_2} = \frac{2,5}{0,8s + 1},$$

Де  $W$  – передавальна функція а  $U_m$  та  $U_3$ , навантаження на еталонну модель та на сам об'єкт. В даній формулі вхідний сигнал одночасно подається на об'єкт управління і на його еталонну модель. За допомогою пристрою, що порівнює порівнюється поведінка об'єкта управління і його ідеальне уявлення, на підставі чого формується сигнал зворотного зв'язку. У свою чергу, на підставі сигналу виробляється керуючий вплив.

Показники якості адаптивної системи управління по куту тангажа задовольняють вимогам:

- час перехідного процесу: 5 з;
- перерегулирование: 0,5%;
- встановилася помилка: 0;
- показник коливальності: 1.

При цьому вплив обурює впливу в повному обсязі компенсується, однак сталі значення знаходяться в межах  $\pm 5\%$  від  $30^\circ$ .

Його можна зменшити, використовуючи інші алгоритми і методи адаптації, наприклад, градієнтний метод адаптації, що і буде розглянуто далі. Метод найшвидшого метод за принципом роботи схожий на метод побудови адаптивних систем керування з еталонними моделями, проте, при його використанні алгоритм адаптації є динамічно настроюється, тобто в процесі роботи його параметри безперервно змінюються. Особливістю такої адаптивної системи управління є також те, що в ній відсутня коригуючий пристрій (наприклад, пропорції ціліонально-диференційний регулятор).

### 3.4 Результати моделювання адаптивної системи управління рухом БПЛА

Виходячи з попереднього розділу після проведення моделювання в програмному комплексі MATLAB ми можемо побачити наступні графіки.

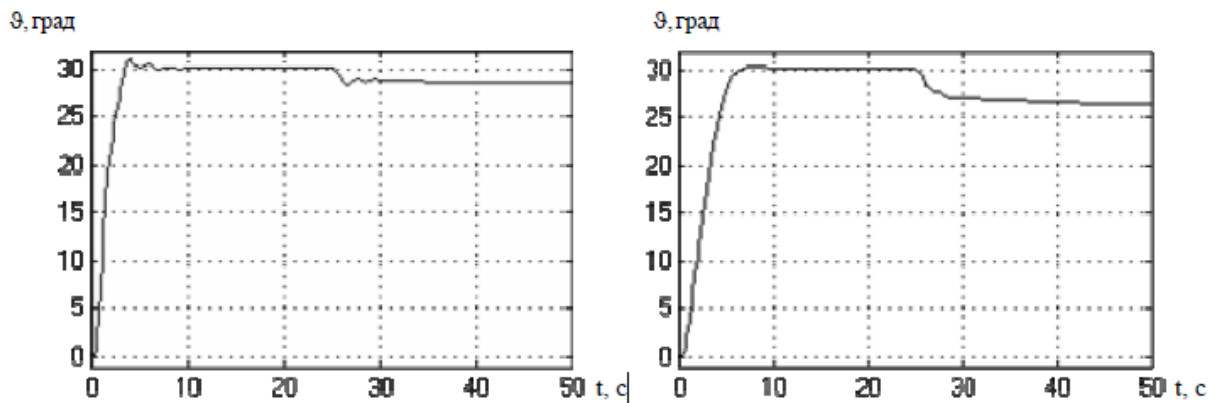


Рисунок 3.4.1-3.4.2 Перехідні процеси замкненої адаптивної системи керування за кутом тангажу без та з фільтром

Графіки перехідних процесів по куту тангажа і кутової швидкості тангажа при подачі обурює моменту на 100-й секунді польоту і при відключеному алгоритмі адаптації, наведені на рисунках 3.4.

Перехідні процеси, які спостерігаються в системі при включенні алгоритму адаптації по повній компенсації обурює впливу, наведені на рис. 5, а і б.

Як видно з рис. 5. а були отримані наступні показники якості в каналі тангажу:

- час перехідного процесу 6 с;
- перерегулювання 9,7%;
- встановилася помилка 0;
- час повної компенсації впливу, що обурює 6 с.

В результаті дослідження різних алгоритмів адаптації позовжнього каналу БПЛА можна зробити висновок, що раціональніше для управління безпілотним літальним апаратом в каналі тангажу використовувати адаптивну систему, синтезовану градієнтним метод.

Така адаптивна система забезпечує необхідні показники якості системи

управління і забезпечує повну компенсацію обурює впливу за 4 с.

Далі проводимо аналіз при умовах повної адаптації. Показники якості адаптивної системи управління по куту нахилу задовольняють заявленим вимогам:

- час перехідного процесу: 4 с;
- перерегулювання: 0,2%;
- помилка: 0;
- показник коливальності: 1.

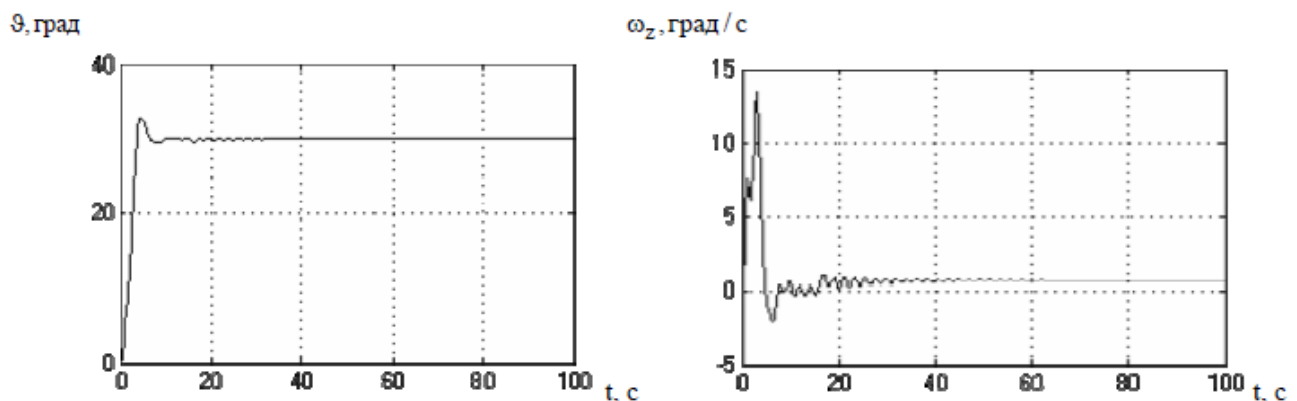


Рисунок 3.4.3-3.4.4 Перехідні процеси з умовою адаптації

Таким чином, були синтезовані і досліджені адаптивні системи управління безпілотним літальним апаратом з еталонними моделями, встановленими паралельно основному контуру в каналах поздовжнього (стабілізація кута тангажу) та бокового (стабілізація кута крену) руху. а також застосований градієнтний метод адаптації при управлінні по куту тангажа.

Для бічного каналу раціональним алгоритмом є алгоритм адаптації з ЕМ, включеної паралельно основному контуру, який забезпечує повну компенсацію обурює впливу за 10 с і показники якості, повністю задовольняють заявленим вимогам.

## Висновки по розділу

В результаті дослідження різних алгоритмів адаптації можна зробити висновок, що для управління безпілотним літальним апаратом в каналі тангажу необхідно використовувати адаптивну систему, синтезовану градієнтним методом, яка забезпечує необхідні показники якості системи і забезпечують повну компенсацію обурює впливу за б с.

## **4. СТАРТАП ПРОЕКТ**

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту для визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

## 4.1 Опис ідеї проекту

В межах підпункту слід проаналізувати та подати у вигляді таблиць:

1. Зміст ідеї (що пропонується).
2. Можливі напрямки застосування.
3. Основні вигоди, що може отримати користувач товару.
4. Чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (таблиця 5.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

<b>Зміст ідеї</b>	<b>Напрямки застосування</b>	<b>Вигоди для користувача</b>
Система аналізу спектограм гідроакустичних систем у тривимірному просторі.	1.Розробка програмного забезпечення	1. Аналіз та виявлення вузьких місць програмного забезпечення на етапі розробки.
	2.Тестування програмного забезпечення	2. Аналіз та виявлення вузьких місць програмного забезпечення на етапі тестування.
	3.Інтеграція програмного	3.Аналіз поведінки програмного забезпечення в

Продовження табл.4.1

	забезпечення	цільовому середовищі для полегшення процесу інтеграції.
	4.Бізнес-аналіз	Збір збереження та аналіз метаданих, для дослідження життєвого циклу та формування

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

1. Визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї.

2. Визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку.

3. Проводиться порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 5.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ п/п	(потенційні) товари/концепції конкурентів			
	Мій проект	Системи формування осцилограми сигналу	Системи формування тривимірного графіку	Системи, що використовують методи ДПФ



Продовження табл. 4.2

1	W слабка сторона	Відносно повільний час роботи	Повільний час роботи	Не є направленими на конкретну предметну область.	Не враховує особливості графіку
2		Відсутність можливості наближати графік	Діапазон задається лише у виділеному для користувача часу	Не враховує особливості побудови графіку	Обрахунки не автоматизовані
3	N нейтральна сторона	Користувач сам обирає канал сигналу	Не обирається автоматично канал	Можливість задавати проміжок часу	Проводиться спеціально нанятим персоналом
4	S сильна сторона	Формування графіку відбувається автоматично	Формування графіку відбувається автоматично	Можливо використовувати в різних предметних областях	Формування більш детального графіку
5		Побудований графік можна представити у вигляді діаграм для більшої наглядності	Побудований графік можна представити у вигляді діаграм для більшої наглядності	Присутні графіки створені спеціально для експертів	
6		Існує можливість огляду розрахунків кожного пункту графіку	Існує можливість огляду розрахунків кожного пункту графіку		

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту [30]. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.6):

1. За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту.
2. Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити.
3. Чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Інтерфейс користувача	Мова програмування С#	Наявна	Умовна безкоштовно
2	Алгоритм створення осцилограми	Мова програмування С#	Відсутня	Відсутня
3	Алгоритм формування графіку ДПФ у тривимірному просторі	Мова програмування С#	Відсутня	Відсутня
<p>Висновок: проект реалізувати можливо.            Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Система аналізу спектограм гідроакустичних сигналів у тривимірному просторі.</p>				

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: так чи ні, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити (з поміж названих технологій обираються такі, що доступні авторам проекту та є наявними на ринку).

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [31].

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	300 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50 %

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект.

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо того, чи є ринок привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

No п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
--------	--------------------------	--	---	-----------------------------

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 5.6-5.7).

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку. Аналіз пропозиції необхідно виконати аналізуючи існуючі види конкуренції.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

No п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Підходить для нових проєктів	Потребує певних знань для роботи з системою	Імпорт файлу формату radio raw
2	Власний формат зберігання	При необхідності потрібно розробка сервісу приведення до визначеного формату	Додавання можливості автоматизованого експорту різні типи сховищ, розробка додаткового ПЗ
3	Обмеженість функцій	Інструмент обмежений наявними функціями і не має деяких функцій, які мають конкуренти	Додавання нових функцій за потреби

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

<b>№ п/п</b>	<b>Фактор</b>	<b>Зміст можливості</b>	<b>Можлива реакція компанії</b>
1	Попит на програмний продукт	Розвиток паралельних систем сприяє збільшенню попиту систему аналізу гідроакустичних сигналів.	Розробка та підтримка унікального нового надійного функціоналу
2	Зменшення ціни на розробку	Ефективніше використання наявних ресурсів.	Збільшення штату компанії, збільшення швидкості розробки.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (Таблиця 4.8).

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 3.5 (таблиця 4.8), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 4.2), вимог споживачів до товару (таблиця 4.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналі	Прямі конкуренти галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
		Системе формування графіків ДПФ	Мінімізація витрат часу постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Визначити інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів	Є можливості виходу на ринок, оскільки існуючі рішення не надають потрібних переваг	Постачальники підлаштовуються під ринок	Клієнти диктують вимоги згідно з умовами експлуатації	Обмеження для роботи на ринку через товари замітники

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Орієнтація на предметну область формування графіків	Існуючі конкуренти або не враховують особливості формування сценаріїв, або виконують процес побудови не оптимально

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 5.9) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 5.10)

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (таблиця 5.11) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (Таблиця 4.11).

Таблиця 4.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Database Generator (даним продуктом)						
			-3	-2	-1	0	1	2	
1	Орієнтація на предметну область формування Графіків	20	+						

Таблиця 4.11. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <p>Актуальність користування системою, яка викликана бажанням розвитку</p> <p>Оцінка проходить відразу для великої кількості людей, а також у будь-який період часу.</p> <p>Актуальність користування системою, яка дає оптимальні графіки та відображення осцилограми.</p> <p>Невелика ціна користування за місяць</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <p>Потребує масштабної рекламної компанії</p> <p>Орієнтація на інтернет, яка може відсіяти «не розвинутих» в технічному плані клієнтів</p>
<p><b>Можливості:</b></p> <p>Можливе продовження розробки проекту за кордоном, так як система налаштована на країни СНГ.</p> <p>Систему можна використати на ринку фрілансу, для відсіювання некомпетентних виконавців</p>	<p><b>Загрози:</b></p> <p>Відсутність користувачів через погану рекламну компанію</p>

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<b>№ п/п</b>	<b>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</b>	<b>Ймовірність отримання ресурсів</b>	<b>Строки реалізації</b>
1	Орієнтація поточної моделі на ринок стартаперів	25 %	8 год
2	Орієнтація поточної моделі на ринок державних установ	20 %	72 год
3	Орієнтація поточної моделі на ринок ентерпрайз	35 %	168 год
4	Переорієнтація на розробку серверної частини	75 %	120 год
5	Переорієнтація на веб-розробку	45 %	96 год



Альтернатива, де отримання ресурсів є більш простим та ймовірним – №4 " Переорієнтація на розробку серверної частини, що становить 75 відсотків. Це значення перевищує інші альтернативи.

Альтернатива, де строки реалізації є більш стислими – №2 " Орієнтація поточної моделі на ринок державних установ. Терміни реалізації в цьому разі становлять 72 годин.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 4.13).

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку.

Таблиця 5.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Стартапери	Готові	Високий	Висока	Просто
2	Державні установи	Потребують недовгих переговорів	Середній	Середня	Складно

3	Ентерпрайз	Потребують довгих переговорів	Низький	Низька	Дуже складно
Які цільові групи обрано: стартапери					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку (таблиця 4.14).

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку

<b>Обрана альтернатива розвитку проекту</b>	<b>Стратегія охоплення ринку</b>	<b>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</b>	<b>Базова стратегія розвитку*</b>
Орієнтація поточної моделі на ринок стартаперів	Стратегія концентрованого маркетингу	Стартапери потребують швидкості розробки, яку надає підтримка декількох платформ даним продуктом	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію)

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 4.15)

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<b>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</b>	<b>Чи буде компанія шукати нових споживачів</b>	<b>Чи буде компанія копіювати основні характеристики конкурента</b>	<b>Стратегія конкурентної поведінки</b>
Ні	Шукати нових споживачів, забирати існуючих у конкурентів		Стратегія заняття конкурентної ніші

#### 4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для цього у таблиці 5.16 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.16 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<b>Потреба</b>	<b>Вигода, яку пропонує товар</b>	<b>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</b>
Пришвидшення оптимальності роботи алгоритму	Побудова оптимального графіку ДПФ у тривимірному просторі за оптимальний час	Конкуренти або не мають орієнтованості на обробку сигналу, або побудови графіку осцилограми.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його

надання (таблиця 4.17).

М/Нм – монотонні або немонотонні;

Вр/Тх/Тл/Е/Ор – вартісні, технічні, технологічні, ергономічні або органолептичні (останній – для продуктів харчування)

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання.

Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 5.17).

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5.18):

1. Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).
2. Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту.
3. Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	27...250 грн	105...300 грн	25000...50000 грн	27...105 грн

Таблиця 4.18. Формування системи збуту

<b>№ п/п</b>	<b>Специфіка поведінки цільових клієнтів</b>	<b>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</b>	<b>Глибина каналу збуту</b>	<b>Оптимальна система збуту</b>
1	Клієнт повинен надаватися в режимах “тріал” та “повний” сплатити після закінчення випробувального строку	Легкість в встановленні, легкість в оплаті послуг	Windows-додаток	Проводити збут силами посередника побудови сигналу

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 4.19).

Таблиця 4.19. Концепція маркетингових комунікацій

<b>Специфіка поведінки цільових клієнтів</b>	<b>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</b>	<b>Ключові позиції, обрані для позиціонування</b>	<b>Завдання рекламного повідомлення</b>	<b>Концепція рекламного звернення</b>
Купляють програми через авторизовану мережу	Веб-сайти	Формування сценарію розвитку	Довести, що програмний продукт оптимально формує сценарі	Проводити збут силами посередника побудови сигналу

## ВИСНОВОК

Після виконання магістерської дисертації можна зробити наступні висновки: Як стало відомо після аналізу ситуації в інтернеті на сьогоднішній день, звичайному користувачу дуже важко отримувати актуальну інформацію у галузі систем оптимального та адаптивного керування в Україні та її регіонах. Тому було проведено аналіз на основі іноземних статей.

Таким чином, були синтезовані і досліджені адаптивні системи управління безпілотним літальним апаратом з еталонними моделями, встановленими паралельно основному контуру в каналах поздовжнього (стабілізація кута тангажу) та бокового (стабілізація кута крену) руху. а також застосований градієнтний метод адаптації при управлінні по куту тангажа.

В результаті дослідження різних алгоритмів адаптації можна зробити висновок, що для управління безпілотним літальним апаратом в каналі тангажу необхідно використовувати адаптивну систему, синтезовану градієнтним методом, яка забезпечує необхідні показники якості системи і забезпечують повну компенсацію обурює впливу за  $t_b$  с.

Для бічного каналу раціональним алгоритмом є алгоритм адаптації з ЕМ, включеної паралельно основному контуру, який забезпечує повну компенсацію обурює впливу за 10 с і показники якості, повністю задовольняють заявленим вимогам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптивная система управления беспилотным летательным аппаратом Т-10» 2008 г.
2. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия// Геоматика. 2011. N4. С. 89-93.
3. Vjorno L. Applied Underwater Acoustics Elsevier, 2017. — 970 p. — ISBN 978-0-12-811240-3.
4. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Колесникова В.А. и др. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. М.: ВИМ, 2016. 100 с.
4. Михайленко И.М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. N2. С. 16-24.
5. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Смирнов И.Г. и др. Концепция развития оперативного управления автотранспортными и другими мобильными техническими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве с использованием ГЛОНАСС/GPS. М.: ВИМ, 2014. 63 с.
6. Корченко А.Г., Ильяш О.С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. Вып. 4(33). С. 27-36.
7. Ростопчин В., Бурдун И. Беспилотные авиационные системы. Основные понятия. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. N4. С. 82-88.
8. Шейнин В.М., Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1 Весовой расчет и весовое проектирование. М.: Маши-

ностроение, 1977. 344 с.

9. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Адамовский В.В., Красноперов Р.А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Уфа: Фотон, 2014. 217 с.

10. Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun hang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spray system. Computers and Electronics in Agriculture. 2016; 128: 58-66.

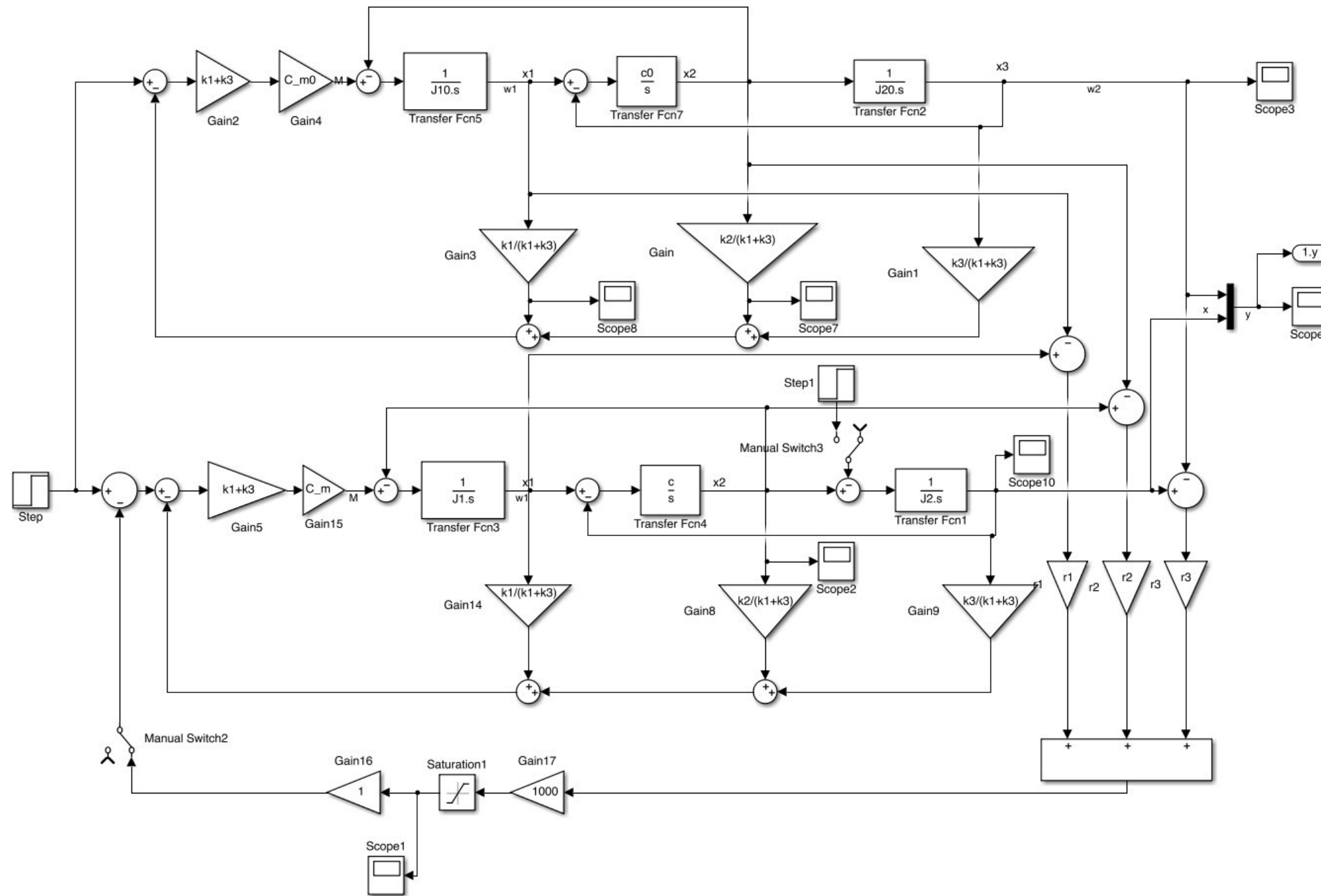
11. Дружинин Е.А., Крицкий Д. Н., Захарчук А.И. Особенности массовой модели беспилотного летательного аппарата // Система обработки информации. 2013. Вып. 1(108). С. 44-48.

12. Приймак А. В., Сюлев К.В., Рыжук И. А., Куприенко А.В. Математическая модель выбора основных параметров беспилотного летательного аппарата для решения типовых задач поиска наземных целей // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2013. Вып. 2(35). С. 28-32.

13. Захарчук А.И., Яшин С.А., Рябков В.И. Особенности массового баланса беспилотного летательного аппарата гражданского назначения во втором // Открытые информационные и компьютерные технологии. 2013.



# Реалізація системи керування за еталонною моделлю



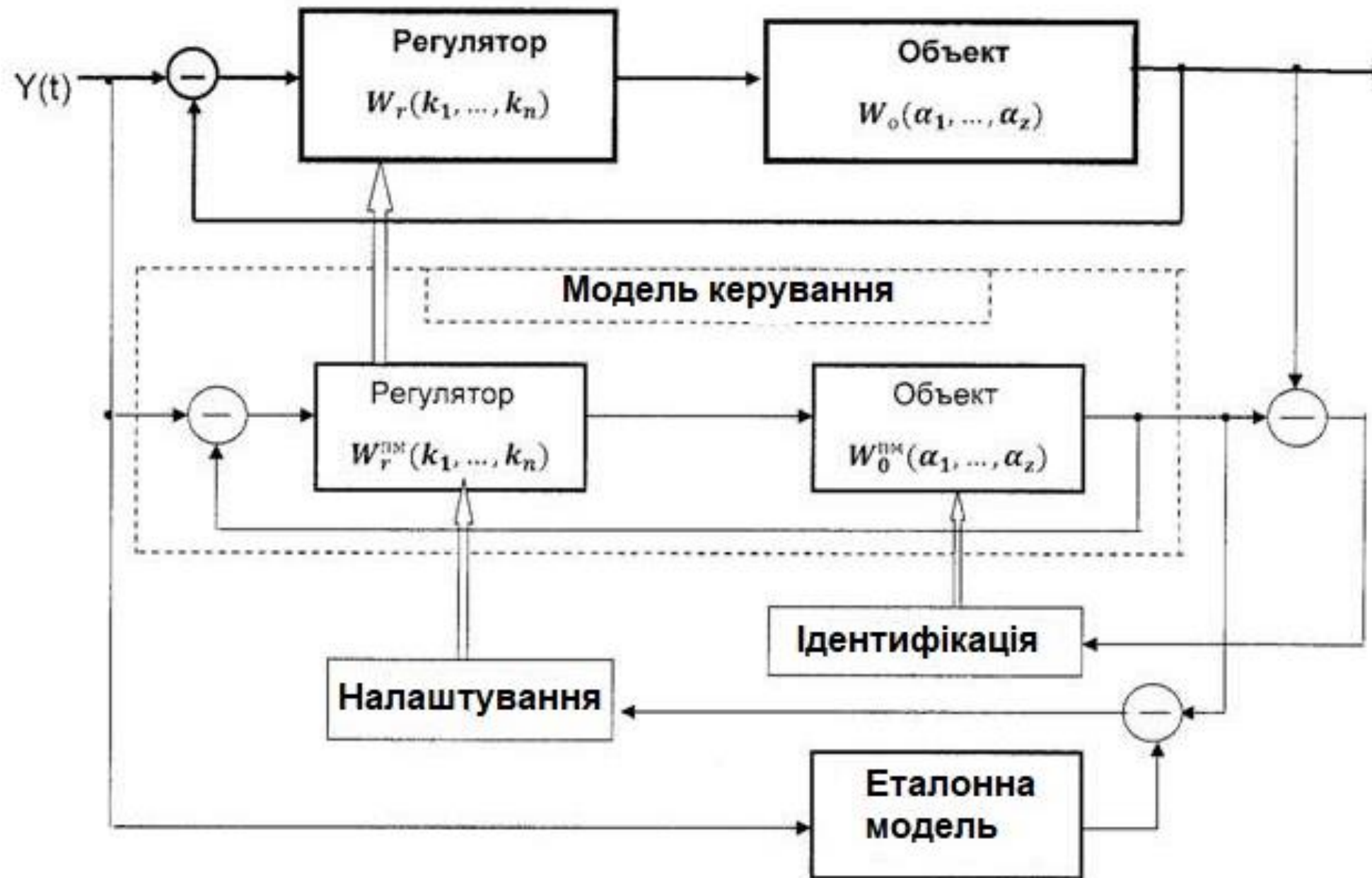
Демонстраційний плакат № 1  
до магістерської дисертації на тему

„Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом”

Розробив: \_\_\_\_\_

Прийняв: \_\_\_\_\_

# Функціональна структура



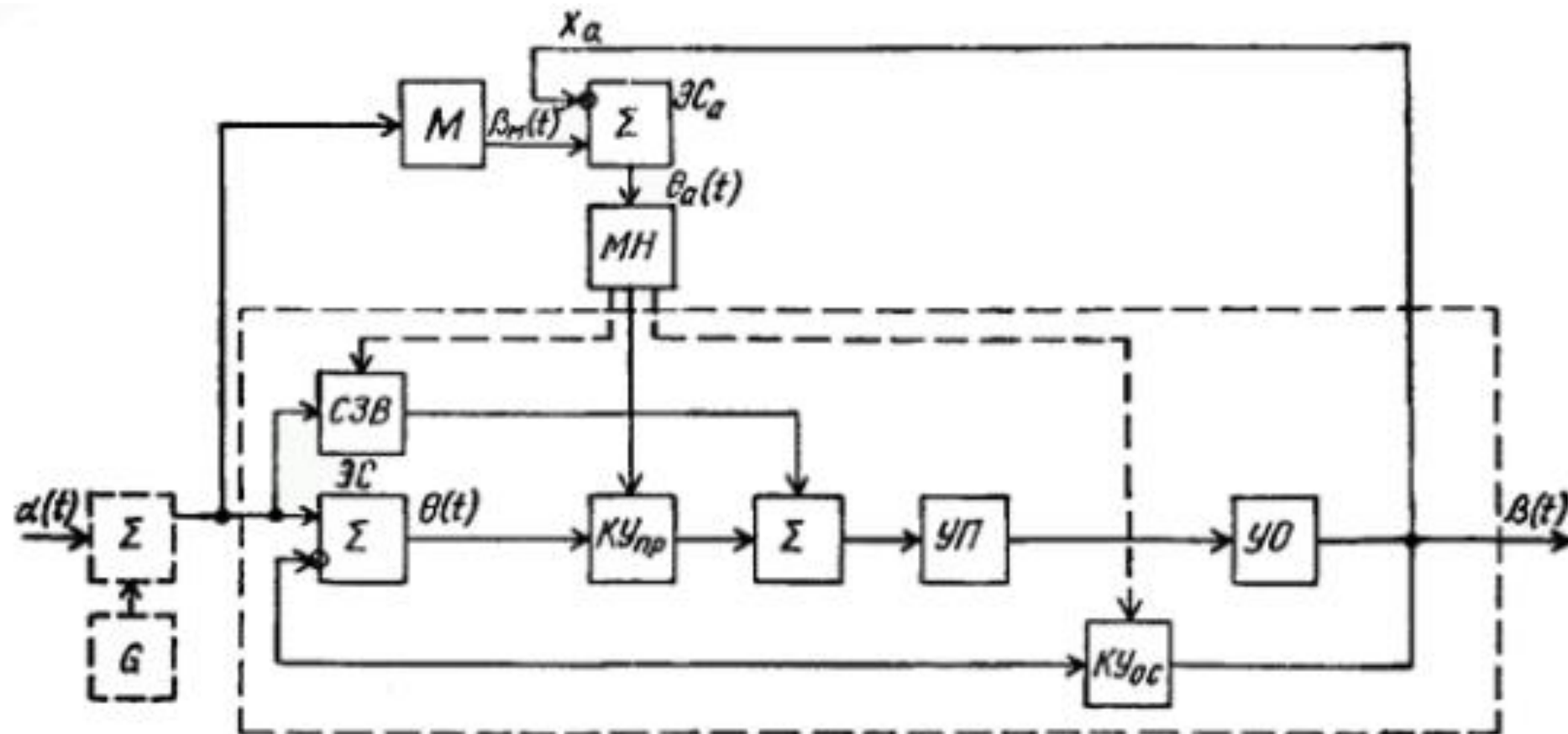
Демонстраційний плакат № 2  
до магістерської дисертації на тему

„Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом”

Розробив: \_\_\_\_\_

Прийняв: \_\_\_\_\_

# Варіант узагальненої функціональної схеми СНС з еталонною моделлю



Демонстраційний плакат № 3  
до магістерської дисертації на тему

„Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом”

Розробив: \_\_\_\_\_

Прийняв: \_\_\_\_\_

# Система керування з еталонною моделлю

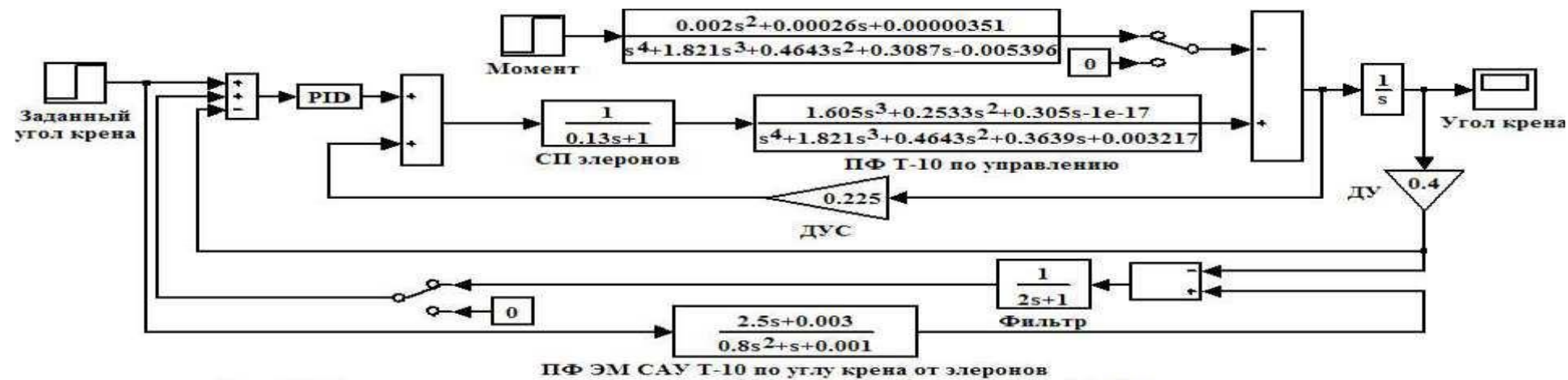


Рис.6. Машинная модель адаптивной системы управления БПЛА по углу крена

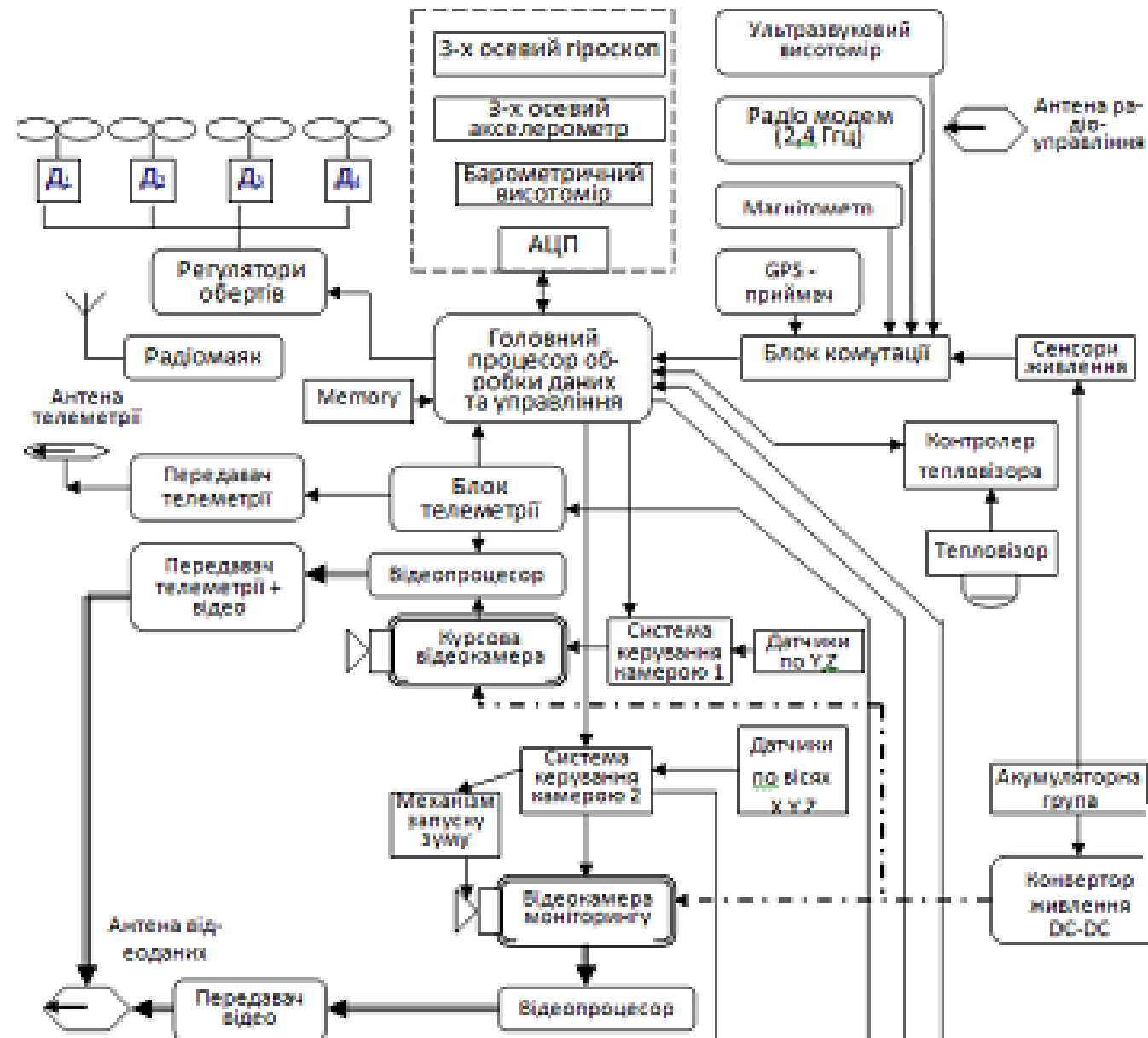
Демонстраційний плакат № 14  
до магістерської дисертації на тему

„Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом”

Розробив: \_\_\_\_\_

Прийняв: \_\_\_\_\_

# Узагальнена структурна схема



Демонстраційний плакат № 5  
до магістерської дисертації на тему

„Адаптивна система автоматичного управління рухомим об'єктом”

Розробив: \_\_\_\_\_

Прийняв: \_\_\_\_\_