

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 681.5

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____Юрій КИРИЧУК
(підпис)

“ ___ ” _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

**За освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої
особи»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ПМ-21мп
СЕНЬ Богдан Вячеславович _____

Науковий керівник:
к.т.н, доцент кафедри АСНК
ГРИШАНОВА Ірина Аркадіївна _____

Консультант з «Розробки стартап-проектів»:
д.е.н., проф., завідувач кафедри економічної кібернетики
БОЯРИНОВА Катерина Олександрівна _____

Рецензент:
д.т.н., професор кафедри ІВТ
ШЕВЧЕНКО Костянтин Леонідович _____

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

Студент _____ Богдан СЕНЬ

Київ – 2024 року

Національний політехнічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Юрій КИРИЧУК

(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Сеню Богдану Вячеславовичу

1. Тема дисертації «Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи», науковий керівник магістерської дисертації кандидат технічних наук, доцент кафедри АСНК Гришанова Ірина Аркадіївна, затверджені наказом по університету від «8» листопада 2023 р. №5188-с.
2. Термін подання студентом дисертації: 16.01.2024.
3. Об'єкт дослідження: проектування дрона та розробка система керування до нього.
4. Предмет дослідження (вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: зробити огляд, аналіз та історія галузі безпілотних літальних засобів; визначити та сформулювати робочі параметри моделі, системи живлення; обґрунтувати вибір системи керування

дрона; розробити автоматизовану систему керування на базі мікроконтролерів; виконати висновки.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схеми, програмний код і креслення компонентів моделі.

7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття в збірнику праць XIX Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні».

8. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Бояринова К.О., д.е.н, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики		

7. Дата видачі завдання: 01.09.2023.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Огляд, аналіз та історія галузі безпілотних літальних засобів	06.11-12.11.2023	
2	Визначення та формування робочих параметрів моделі, системи живлення	13.11-20.11.2023	
3	Реалізація системи керування	21.11-15.12.2023	
4	Моделювання конструкції	16.12-20.12.2023	
5	Виконання розділу стартап-проєкту	21.12-26.12.2023	
6	Висновки по задачі та оформлення дисертації	06.01-11.01.2024	

Студент

(підпис)

Богдан СЕНЬ

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(підпис)

Ірина ГРИШАНОВА

(ім'я, прізвище)

*Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та переліку посилань. Також цей диплом містить 112 сторінок, в тому числі 51 рисунок, 28 таблиць, 31 джерело.

Актуальність теми. Розробка автоматизованої системи керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) з системою спостереження від першої особи (FPV), що матимуть унікальні конструкторські параметри мають велику актуальність у нинішній час і може призначатися як для військово-промислового комплексу, так і для цивільних операторських цілей. У своєму зверненні 31 серпня 2023 р. ректор КПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського академік НАН України М.З.Згуровського на сесії професорсько-викладацького складу університету сказав дослівно: «Нові реалії змусили додати до стратегії розвитку КПІ ще одне важливе завдання: підвищення обороноздатності країни» [1]. Ключовими аспектами актуальності цієї теми є потреба в нових зразках зброї для оборони держави від ворога, особливо після початку повномасштабного вторгнення на територію України у 2022 році.

Мета роботи – розробити систему здатну коригувати рух безпілотного літального апарату в різних умовах, створити моделі крила, котра буде мати унікальні конструкторські параметри.

Об'єкт дослідження – це проектування дрона та розробка система керування до нього, яка зможе коригування траєкторії руху апарату. Окрім того, дослідження включає в себе створення моделі безпілотного літального апарату із запропонованими конструкторськими параметрами. Це означає, що форма та характеристики крила будуть оптимізовані для досягнення певних цілей, таких як підвищення ефективності, зменшення опору повітря, або підвищення стійкості в умовах радіозавад.

Предмет дослідження – автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи.

Методи дослідження. Методи включають в себе використання програмного забезпечення SolidWorks, Autocad як основний інструмент. В даних середовищах є змога проектування тривимірних дизайнів моделі та проводити необхідні розрахунки.

Наукова новизна. Розроблені як індивідуальні модулі, так і повна конструкція, базована на комп'ютерному моделюванні та аналітичних розрахунках. Ці розробки відповідають технічному завданню.

Практичне застосування отриманих результатів. На основі виконаного проектування, теоретичних розрахунків та застосування сучасного програмного забезпечення для проектування і можливостей аналізу та розрахунків, передбачених CAD-системами, запропоновано деякі конструкції, які знайдуть багато напрямків застосування в аеророзвідці, військовій промисловості та в повсякденній діяльності. Дана розробка розрахована на відновлення кордонів території України, нормального функціонування військової аеророзвідки в умовах військового стану, або у мирний час. Також нові конструктивні параметри можуть надати широкий спектр оператору безпілотного літального апарату в умовах зовнішніх радіозавад, при цьому буде мати низьку собівартість.

Ключові слова: автоматизація, дрон, БПЛА, політ, система керування, контролер, радіозв'язок, вимірювання напруженості поля, похибка, корпус, крило.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusions, and a list of references. Additionally, this diploma contains 112 pages, including 51 figures, 28 tables and 31 sources.

The relevance of the topic lies in the development of an automated system for controlling unmanned aerial vehicles (UAVs) with a first-person view (FPV) observation system, possessing unique design parameters. This is highly relevant in the present time and can be designated for both military-industrial complexes and civilian operational purposes. In his address on August 31, 2023, at a session of the university's faculty, the rector of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (KPI), Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine M.Z. Zgurovsky, stated verbatim: "New realities have compelled us to add another important task to the development strategy of KPI: enhancing the country's defense capabilities". The key aspects of the relevance of this topic include the need for new weapon models to defend the state against enemies, especially after the onset of full-scale invasion into the territory of Ukraine in 2022.

The objective of the work is to develop a system capable of adjusting the movement of a drone in conditions of radio interference and to create wing models with unique design parameters.

The research object involves the design of a drone and the development of a control system for it, capable of adjusting the trajectory of the vehicle's movement. Additionally, the research encompasses the creation of a model of an unmanned aerial vehicle with proposed design parameters. This implies that the shape and characteristics of the wing will be optimized to achieve specific goals, such as increasing efficiency, reducing air resistance, or enhancing stability in conditions of radio interference.

The research subject is the automated control system of a first-person view model of an aviation drone.

Methods of research include the utilization of software tools such as SolidWorks and AutoCAD as primary instruments. In these environments, it is possible to design three-dimensional models and perform the necessary calculations.

Scientific novelty is achieved through the development of both individual modules and a complete structure, based on computer modeling and analytical calculations. These developments align with the technical specifications, demonstrating innovation in the approach and design of the unmanned aerial vehicle system.

Keywords: automation, drone, UAV (unmanned aerial vehicle), flight, control system, fuselage, wing.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП.....	11
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	15
1.1.БПЛА: історія виникнення	15
1.2. Цільова авіаційна система або аналіз внутрішнього середовища.....	16
1.3. Огляд БПЛА українського виробництва.....	26
2. ФОРМУВАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ТЗ.....	34
2.1. Визначення робочих параметрів та обмежень моделі.....	34
2.2.Формування вимог до робочих параметрів механізму.....	36
2.2.1 Кути ротації.....	36
2.2.2. Крутні моменти	37
2.2.3. Принцип дії механізму складання крил	38
2.2.4. Система живлення	38
3. КОНСТРУКТОРСЬКА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАНИХ ФУНКЦІЙ.....	43
3.1. Вибір компонентів.....	43
3.1.1.Електродвигун	43
3.1.2 Система контролю та її реалізація.....	45
3.2. Розробка системи керування.....	51
3.2.1. Система на Arduino NANO.....	51
3.2.1.1. Принципова схема передавача.....	52
3.2.1.2 Принципова схема приймача	53
3.2.1.3. Програмування передавача через Arduino.....	54
3.2.1.4. Програмування приймача через Arduino	54
3.3.2. Система на польотному контролері	54
3.3.3. Реалізація електросхеми	57
3.3.4. Калібровка вимірювачі напруженість поля. Діапазон частот роботи дронів. Існуючі методи виміру напруженості електромагнітного поля.	66
4.МОДЕЛЮВАННЯ.....	76
5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи»	80
5.1. Опис ідеї проекту	80
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	83

5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	91
5.4. Розроблення маркетингової програми та бізнес-моделі стартап-проєкту	94
5.5. Висновки до 5 розділу	100
6.ВИСНОВКИ ПО ЗАДАЧІ	102
ДОДАТКИ.....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	108

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

РЕБ – радіоелектронна боротьба

M – крутний момент, Н·м;

F – сила, Н;

r – внутрішній опір, Ом;

Q – ємність, Агод;

ВНП – вимірювач напруженості поля;

$I_{п.нав}$ – струм під час польотного навантаження, А;

$I_{макс.нав.}$ – струм при повному навантаженні, А;

$L_{п}$ – польотне навантаження, %;

$W_{макс}$ – максимальна потужність, Вт;

$V_{ном.бат}$ – номінальна напруга, В;

E – вимірюване поле, дБ;

E_0 – поле, створене зразковим випромінювачем, дБ;

D – відстань між вимірювачами, м;

W – густина потоку енергії, Вт/м²;

$S_{эф,0}$ – ефективна поверхня антени, м²;

P_0 – вимірювана потужність, Вт;

δ – похибка, %;

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), часто називані дронами, представляють нові технологічні можливості, які можуть кардинально змінити звичайні підходи в різних сферах. Використання БПЛА в галузях, таких як складська логістика, транспортні перевезення, доставка товарів та сільське господарство, розглядається передовими компаніями протягом тривалого часу.

Однією з перспективних технологій, що використовує українська армія на фронті є використання дронів: морських, сухопутних та особливо авіаційних. Авіаційні дрони дозволяють вражати противника і при цьому особовий склад перебуває у відносній безпеці. Авіаційні дрони знищують ворожу техніку на колосальні суми коштів, при цьому коштують відносно дешево. Саме тому тема «Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи» для мене була цікава як студенту, що не мав досвіду в даній галузі і може запропонувати нові ідеї в галузі.

Основна проблема, з якою стикаються оператори FPV (англ. First Person View) дронів - це перешкоди, які створюють засоби РЕБ (засоби радіолокаційної боротьби). Наприклад, в мережі можна ознайомитись із одним із новітніх засобів українського виробництва Piranha AVD 360 (але звичайно є подібні і в противника), які для боротьби з баражуючими безпілотниками ЛАНЦЕТ захищають зону у формі куполу на відстані до 600 метрів, цей комплекс РЕБ забезпечує повне охоплення в усіх напрямках (360 градусів). Коли безпілотники входять в цю зону впливу, вони втрачають можливість отримувати команди та керування. Це призводить до того, що ворожі безпілотники перестають ефективно функціонувати – вони можуть зазнати аварійної посадки або втратити стабільність, але не можуть виконати ударні операції по цілях. У ході польових випробувань Piranha AVD 360, проведених у період 2023 року[2], було виявлено, що дрон типу Mavic почав демонструвати проблеми з навігацією, наближаючись до цієї станції РЕБ на відстані 600 метрів. Протягом 15 - 20 секунд втрачається зв'язок із дроном. Саме тому

однією з моїх пропозицій є наявність в ударного безпілотної можливості, при виявленні цілі для знищення, складати крила і швидко пікірувати для скорочення часу для підльоту. Крейсерська швидкість польоту FPV дрону типу "літак" складає 80-120км/год. Але під час атаки пікування швидкість може досягати 300км/год а то й більше (наприклад в природі вчені вираховували швидкість сокола під час атаки здобичі саме 300км/год). Підрахунок показує, що відстань 600м до цілі такий дрон подолає за 7,2с (за швидкості 83,3м/с). І як результат: система РЕБ не буде ефективно впливати на цей безпілотної.

Складання крил надає безпілотної значне зменшення опору повітря і відповідно високу швидкість атаки. Безпілотної перетворюється на керований снаряд. Складання крил механізоване, дистанційно кероване оператором дрону.

Постановка задачі:

Враховуючи актуальні тенденції у розвитку технологій систем керування та враховуючи очевидні проблеми в цьому напрямку, визначаємо наступне завдання:

- Забезпечити збільшення часу автономності роботи системи змінної стрілоподібності крила.
- Збільшити стабільність системи керування для досягнення вищих показників швидкості та точності польоту.
- Забезпечити параметри опору, які найбільше відповідають необхідним для забезпечення нормального польоту БПЛА відповідно до аеродинамічних норм.
- Знизити вартість БПЛА в порівнянні з конкуруючими аналогами.

Конкретизація рамок даної роботи

Дана робота містить в собі:

- Створення концепцій системи та розробка відповідних елементів, частин і вузлів конструкції для досягнення поставленої мети.
- Проектування механізму конструкції, що охоплює всі необхідні деталі та для забезпечення ефективності пристрою, включаючи

проведення тестових перевірок придатності запропонованих конструктивних рішень.

- Формування стратегій подальшого розвитку в галузі розробки систем живлення та систем контролю, що відповідатимуть встановленим вимогам та обмеженням.

Загалом, розробка автоматизованих систем керування для БПЛА є актуальною через їх потенціал вирішення різноманітних завдань у військовій, цивільній та науковій сферах, сприяючи підвищенню ефективності та забезпеченню безпеки у різних областях застосування.

Вивчення різних підходів до розвитку безпілотної авіації в іноземних країнах підкреслює, що визначальні аспекти для формування та ефективного використання перспективних бойових безпілотних систем авіації включають:

- Реалізація сумісного використання літальних апаратів з пілотами та безпілотних систем в структурі змішаних авіаційних сил тактичного призначення.
- Забезпечення безпеки експлуатації бойових безпілотних літальних апаратів в районах цивільної авіації, включаючи процеси повернення та посадки з невикористаним бойовим обладнанням.
- Розподіл функцій управління між зовнішнім оператором та бортовою системою управління.
- Забезпечення достатнього рівня ситуаційної свідомості для прийняття рішень щодо застосування зброї. Важливо враховувати, що безпілотні системи вже успішно зарекомендували себе як ефективні у бойовому використанні.

Разом із тим, військові та розробники вказують на те, що темпи впровадження безпілотних літальних апаратів залишаються недостатніми. Надалі існують проблеми в удосконаленні систем керування, командно-керівної та комунікаційної (С3) інфраструктур, та технологій обробки зображень, які утруднюють інтенсифікацію впровадження сучасних повітряних систем БПЛА. Важливим викликом залишається завдання ефективного передавання

інформації між "безпілотником" та наземним пунктом управління – це вимагає розширення пропускної здатності та завадостійкості каналів передачі інформації та автономної роботи пристроїв на борту БПЛА. Уникнення уразливості каналів передачі даних досягається за допомогою захищених зв'язків, супутникових ретрансляторів та інших заходів. Організаційна та технічна проблема включає у себе потребу в сумісному використанні груп БПЛА в єдиносистемних бойових операціях та розпізнаванні цілей засобами боротьби БПЛА при використанні ударних засобів. Урахування цих викликів є критичним для подальшого успішного розвитку програм безпілотних літальних апаратів України.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1.БПЛА: історія виникнення

Першим в історії використанням повітряних дронів, або безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відзначається епізод, що відбувся у 1849 році, коли австрійські війська, оточуючи Венецію, вирішили скинути снаряди з аеростатів, де не було екіпажу на борту. Проте ці пристрої значно залежали від напрямку вітру, що обмежувало їхню ефективність на практиці. Так, на той момент використання аеростатів для скидання снарядів мало скоріше символічне значення та створювало психологічний тиск на захисників міста. Варто відзначити, що не дивлячись на експериментальний характер застосування безпілотних літальних апаратів у тому часі, вони не відіграли визначальної ролі в завоюванні Венеції австрійцями.

Під час Першої світової війни спостерігалось активне вивчення та розвиток безпілотних літальних апаратів. Арчибалд Лоу зробив свій внесок у цей напрямок, розробивши пристрій, який нагадував біплан і міг бути керований за допомогою радіозв'язку. Його пристрій мав потенційне застосування для перенесення вибухівки, але через закінчення війни проект був припинений з фінансових причин.

Під час міжвоєнного періоду, британці розробили безпілотні літаки з радіокеруванням, які вони назвали "Бджолині королеви". Американці, побачивши успіх цієї технології, розпочали власні розробки і використовували термін "дрон", що в перекладі означає "трутень", указуючи на аналогію з "Бджолою королевою"[3].

У Другу світову війну дрони стали активно використовуватися на фронті, а в епоху Холодної війни їх застосовували для розвідки (рис. 1). СРСР також проводив розробки в цій області, але на практиці їх не впроваджували.



Рис 1.1. Останні приготування перед першим тактичним польотом БПЛА через Суецький канал, 1969 рік [4]

Започатковане в 70-х роках, виробництво дронів-камікадзе стало поширеним явищем, де ці безпілотні апарати підлітали до цілей і вибухали разом із ними. За цим принцип діють і сучасні дрони, які Росія використовує проти України. На сьогоднішній день технології БПЛА швидко розвиваються і постійно модифікуються.

1.2. Цільова авіаційна система або аналіз внутрішнього середовища

Безпілотна авіаційна система (БАС) - це комплекс, який включає в себе безпілотний літальний апарат, засоби наземного забезпечення та інфраструктуру для підготовки і використання літального апарата згідно з його призначенням.

Згідно з основними завданнями, літальні апарати в складі безпілотних авіаційних систем поділяються на різні категорії, як показано на рисунку 2.

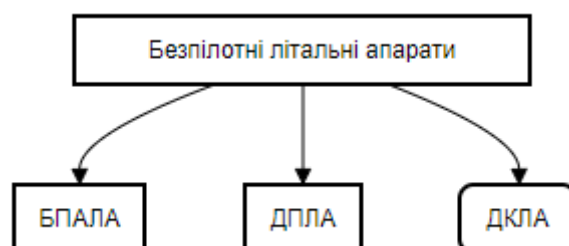


Рис 1.2. Класифікація за призначенням

Безпілотний літальний апарат (БПЛА), відомий також як безпілотний літак чи UAV (англ. Unmanned Aerial Vehicle), є технічним пристроєм, який може виконувати свої функції без прямого участі людини на борту, з метою управління. Термін має широке значення і не завжди точно відображає характеристики конкретного літального апарата[5].

Дистанційно пілотований літальний апарат (ДПЛА) – це безпілотний літальний пристрій, що безперервно керується з фіксованого чи рухомого пункту управління за допомогою різних методів керування. Безпілотний автоматичний літальний апарат (БПАЛА) – це безпілотний літальний засіб, який автоматично виконує свої функції, дотримуючись вбудованих алгоритмів і програм функціонування, тобто попередньо запрограмовані. Серед таких систем можуть бути крилаті ракети, розвідувальні літаки та інші аналогічні пристрої. У провідних технологічних державах наразі активно працюють над розробкою Безпілотних Авіаційних Систем (БАС), які призначені для заміщення бойових пілотованих літальних апаратів. У міжнародному контексті такі системи мають назву Безпілотними Бойовими Літальними Апаратами (БПБЛА).

Однак, за способом інформаційної передачі даних між літальним апаратом та оператором управління, більш вірним терміном є "дистанційно керовані літальні апарати" (ДКЛА). ДКЛА - це літальні пристрої, які можуть виконувати політ автономно без прямого втручання оператора, хіба лише для зміни маршруту та для або перепрограмування системи безпілотника. Наявність розвинуеного ШІ у дистанційно керованих літальних апаратах, яке забезпечує не тільки політ, але і процес ухвалення самостійного рішення на застосування бортової зброї, забезпечує не лише виконання польотів, а й здатність самостійно ухвалювати рішення щодо використання бортової зброї. Це перетворює їх у окремий клас дистанційно керованих авіаційних систем, а не просто наступне покоління безпілотників.

Ця перспективна дистанційно керована авіаційна система представляє собою високотехнологічний літальний апарат, властивості та можливості якого найбільш точно відтворюють характеристики пілотованого літального апарата аналогічного призначення. Даний апарат здійснює управління з пункту управління, яке може бути наземним або повітряним, стаціонарним або мобільним, працюючи в дискретно-імпульсному режимі. Він виконує визначені бойові завдання згідно зі своїми алгоритмами функціонування, враховуючи інформаційні та силові фактори оточуючого середовища, а також отримані команди від зовнішнього управління (від пункту управління).

Методи класифікації, які використовуються розробниками цієї галузі, полягають у значній різниці між безпілотними літальними апаратами бойового призначення і БПЛА забезпечення (рис. 3).

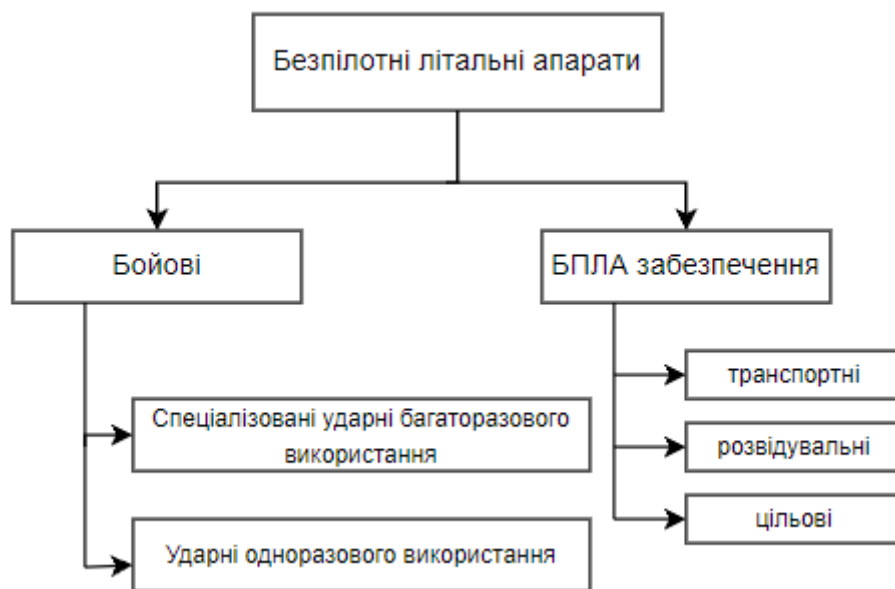


Рис 1.3. Функціональна класифікація БПЛА

До складу бойових безпілотних літальних апаратів входять спеціалізовані ударні БПЛА, які можуть бути використані багаторазово, а також ударні апарати, призначені для одноразового застосування.

Під час розробки бойових ударних безпілотних літальних апаратів основна увага приділяється створенню спеціалізованих ударних апаратів, які можуть бути використані багаторазово і мають тактико-технічні характеристики, що наближаються до сучасних тактичних винищувачів. В першій фазі

регіональних конфліктів, коли системи протиповітряної оборони супротивника ще діють, важливу роль в придушенні цих систем, особливо у знищенні радіолокаційних станцій і пунктів управління, можуть відігравати ударні безпілотні літальні апарати (UCAV). Такі апарати входитимуть до складу першого ешелону повітряних ударів і застосовуватимуться перед крилатими ракетами та бойовими літаками.

Серед характерних представників спеціалізованих ударних систем безпілотних літальних апаратів, які можуть використовуватися багаторазово, варто відзначити такі моделі: RQ-1A "Predator" і "Predator-B" (виробник - "General Atomic Aeronautical Systems Inc", США), RQ-3 Dark Star (США), UCAV-N (США), UCAR і "Black UCAV" (США), UCAV (представлений європейською корпорацією "ЕАДС"), ASN-206 (Xian ASN, Китай), "Grand Duck" ("Dasso", Франція) та інші подібні моделі.

Багато з наявних військових безпілотних літальних апаратів, хоча їх вартість вважається досить високою, призначені для повторного використання, що передбачає обов'язковий повернення БПЛА після виконання місії. За розрахунками, спеціалізовані ударні безпілотні апарати відповідатимуть критерію "вартість-ефективність", якщо вони зможуть здійснювати не менше 5–9 бойових вильотів.

Однак існує та активно розвивається клас безпілотних літальних апаратів, щодо яких не виникає питання повернення. Це ударні безпілотні літальні апарати одноразового використання, призначені для атаки не лише на радіовипромінюючі цілі противника, але й на різновиди наземних об'єктів, включаючи мобільні цілі. Ці безпілотні апарати вдаряють по цілям відповідно до схеми "камікадзе", наводячи літальний апарат на мету та здійснюючи його підрив, обладнаний вибуховою частиною. До найбільш відомих представників ударних безпілотних літальних апаратів одноразового застосування відносяться "Harpy" (IAI, Ізраїль), CUTLASS (Ізраїль та США), "Ferret" (США), LEWK (США), "Typhoon" (Німеччина). Безпілотні літальні апарати забезпечення розділяються на розвідувальні, цільові і транспортні платформи. Останні дві

категорії, по суті, є еволюційними розвитками розвідувальних БПЛА. На сьогоднішній день можливо виділити основні напрямки і перспективні задачі для БПЛА (рис. 4).

Сучасні стратегічні розвідувальні БПЛА сильно відрізняються від БПЛА старіших моделей, головна різниця це значно менша злітна маса у декілька разів, при значно більшій дальності польоту, яка вимірюється не годинами, а добами. Такі властивості стали досяжними за рахунок використання передових розробок у галузі дозвукової аеродинаміки, виготовлення каркасів та фюзеляжів з композитних матеріалів і можливість застосування високоефективних двигунів.

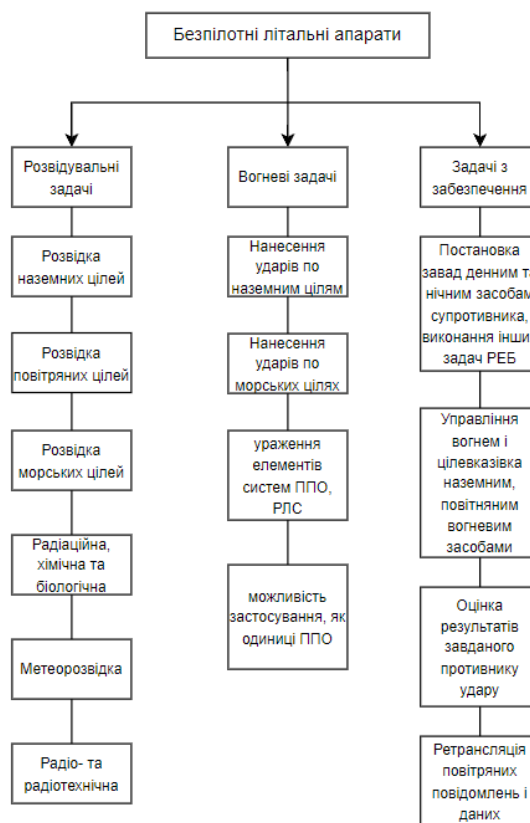


Рис. 1.4. Класифікація БПЛА за призначенням

Якщо порівнювати висотні стратегічні розвідувальні БПЛА з засобами, які працюють на середніх висотах, розробники указують на те, що, попри збільшення ціни, апарати, які застосовуються на більшій висоті мають цілий ряд переваг, до них відносяться такі:

– більша дальність видимості, завдяки якій може працювати оптична система і засоби телефонії;

– зменшена ймовірність виникнення аварій, оскільки бойові місії виконуються над областями з поганою погодою та в зонах, призначених для польотів інших літальних апаратів;

– зменшується число взльотів і посадок, в моменті яких часто відбуваються аварії з БЛПА.

До категорії існуючих стратегічних розвідувальних безпілотних літальних апаратів входять висотні RQ-4A "Global Hawk" та "Sensor Craft" (обидва вироблені США), французький "Fregat" і шведський "Gladan". У середньовисотну категорію включають RQ-1A "Предатор", A-160 "Хаммінгберд" (США), європейський "Ігл-1" і ізраїльський "Hermes 450". Ці безпілотні літальні апарати призначені для розвідувальних завдань, вогневих (ударних) місій та забезпечувальних завдань. Спрямовані на ураження наземних та морських цілях, розвідку місцевості, радіаційну, хімічну та біологічну розвідку, а також розвідку погоди (метеорозвідку) і повітряних цілей. Вони виконують завдання з нанесення ударів на елементи систем ППО, боротьби з повітряними цілями, знищення боеголовок балістичних ракет, ставлять завади радіо- і радіотехнічним засобам противника та виконують інші задачі. Ці БЛПА також включають у себе функції управління вогнем, цілевказівки для вогневих засобів, оцінку результатів ударів по противнику, ретрансляцію повідомлень і даних, а також транспортні завдання. Класифікація БЛПА за призначенням включає радіо- і радіотехнічну розвідку, радіаційну, хімічну та біологічну розвідку[6].

Тактичні розвідувальні безпілотники призначені для надання розвідувальної інформації частинам і з'єднанням сухопутних військ на рівні корпусу і нижче, а також частинам і з'єднанням військово-морських сил (ВМС). У деяких країнах тактичні розвідувальні БЛПА також використовуються на користь військово-повітряних сил (ВПС). Модернізація існуючих та розробка нових моделей тактичних розвідувальних БЛПА проводиться практично в усіх

індустріально розвинених країнах. У США, наприклад, створення розвідувальних БПЛА ведеться для сухопутних військ, ВМС і корпусу морської піхоти. Окрім традиційної розвідки, вони також можуть виконувати роль для картографування області бойових дій і виявлення мінних полів. Для флоту і морської піхоти розробляються БПЛА вертикального зльоту і посадки. У країнах Європи застосування та удосконалення БПЛА набуває особливого значення після війни в Югославії. Країни, такі як Німеччина, Великобританія і Франція, що взяли участь у цьому конфлікті, визнали обмежені можливості існуючих апаратів для проведення розвідки в реальному часі. Наразі існують такі тактичні розвідувальні БПЛА: "E-Hunter" (виробник IAI, Ізраїль), "Darter" ("Silver Arrow", Ізраїль), RQ-2 Pioneer і RQ-5 Hunter (TRW Inc, Avionics and Surveillance Group і IAI), RQ-6 Outrider (Alliant Techsystems, США). Класифікація БПЛА також може проводитися за організаційними та технічними параметрами, визначаючи їх гнучкі можливості використання і вимагаючи комплексного набору систем.

Класифікація БПЛА за організаційними ознаками:

- За напрямками застосувань:
 - Стратегічне застосування
 - Оперативне застосування
 - Тактичне застосування
- Кому належить:
 - Сухопутним військам
 - Військово-повітряні сили
 - Військово-морські сили
 - Міністерство внутрішніх справ
 - Прикордонним військам
- За можливостями:
 - Декілька застосувань
 - Одноразові

- За способом управління:
- Управління по каналам зв'язку
- Автоматичне управління
- Комбінована система

Однак перелік характеристик не лише вказує на унікальні можливості гнучкого використання БПЛА, але й на необхідність наявності комплексної системи. Військові розуміють, що БПЛА відіграє дуже важливу роль перспективних оборонних систем для різного роду військ, відомих як "Future Combat Systems" (FCS) – це інтегрована мережева система, яка може застосовувати різні види озброєнь і співпрацює через системи зв'язку. Фактично, FCS представляє собою комплекс, що включає 18 різних компонентів наразі. Серед них є швидкісні канали передачі даних, які з'єднують всі одиниці на полі бою. В рамках цієї концепції підсистема БПЛА має охоплювати кілька різновидів цих апаратів.

"Клас I БПЛА"

Це найменший з чотирьох БПЛА, який планують використовувати особовий склад армій НАТО. Вага таких апаратів може складати менше 7 кг. Розвідувальний комплекс, який включає два апарати і пульт управління, буде важити до 18 кг.

Класифікація БПЛА за технічними ознаками:

- За розміром:
 - Великі
 - Середні
 - Малі
 - Мініатюрні
- За способом старту
 - З катапульти
 - Запуск вручну
 - Запуск зі злітної полоси

- За способом посадки
 - Як літак
 - Із застосуванням парашуту
- За часом отримання зібраної інформації
 - В реальному часі
 - Періодичного зв'язку
 - Збір інформації з флеш-пам'яті
- По виглядом базування пускової установки
 - Наземні
 - Повітряні
 - Морські
- По висоті застосування
 - Надмалі висоти
 - Малі висоти
 - Середні висоти
 - Висотні
- По дальності дії
 - Надмалої
 - Малої
 - Середньої
 - Великої дальності
- За тривалістю польоту
 - Малої
 - Середньої
 - Великої

Кожен БПЛА можна буде упакувати в спеціальний кейс. Здатність кожного апарата знаходитися в повітрі до години робить його ефективним в автономному режимі, дозволяючи оператору уточнювати маршрут і визначати об'єкти для вивчення. БПЛА першого класу буде інтегрований у загальну

інформаційну систему. Цей безпілотний літальний апарат призначений для розвідки, спостереження і цілевказівки. Зокрема, він може уточнювати дані, отримані з інших джерел, а також ефективно взаємодіяти з невеликими підрозділами, в яких знаходиться його оператор. Завдяки конструкції, а саме квадрокоптера, апарат може тривалий час "зависати" на одному місці, а також ефективно працювати в міському, лісовому та інших рельєфних умовах, де літакам важко знижуватися до невеликої висоти.

"Клас II БПЛА"

Характеристики другого класу безпілотного літального апарата будуть приблизно вдвічі перевищувати параметри першого. Він матиме подвійний час польоту і вагу, порівняно з апаратом першого класу. Оперуючи на рівні рот та командуючи великими силами, цей БПЛА передаватиме інформацію командирам. Крім того, він здатний координувати вогонь важкої артилерії і ракетних систем. Апарат може ефективно діяти в міських умовах і лісових масивах, а також керуватися з пультів, встановлених у бронетранспортерах. Радіус його дії складає 16 кілометрів.

"Клас III БПЛА"

У цих засобів відбувається значне розширення спектру виконуваних завдань. Вони можуть виконувати ті ж місії, що і БПЛА перших і других класів, але на батальйонному рівні. Крім цього, вони здатні забезпечувати зв'язок між окремими підрозділами, виявляти встановлені міни, контролювати рівень радіації та виявляти наявність хімічних речовин та слідів біологічної зброї. Цей апарат також придатний для використання в метеорологічній розвідці. БПЛА третього класу може злітати з непередготовлених майданчиків, і хоча він не має можливості вертикального зльоту, він адаптований для роботи в найважчих умовах. Радіус його дії складає 40 кілометрів, а час, який він може провести в повітрі, становить близько шести годин.

"Клас IV БПЛА"

Показники радіусу дії та часу польоту цього класу БПЛА виявляються значно вищими порівняно з іншими моделями. Він може функціонувати на

відстані до 75 км і залишатися в повітрі до 18 годин на добу. Завдання, які передбачається вирішувати цим БПЛА, включають дії в складі авіаційних груп, топографічну зйомку, ретрансляцію радіосигналів, а також хімічну, бактеріологічну і радіаційну розвідку з можливістю обробки отриманих даних. Апарат оснащений значною кількістю датчиків для виконання своїх функцій. БПЛА буде знаходитися на висоті, що дозволить уникати ураження від стрілецької зброї та легких зенітних комплексів при будь-якій погоді.

Кваліфікований льотчик є набагато ціннішим, ніж будь-який БПЛА, навіть якщо цей апарат є витратним. Втрата особового складу вважається прийнятним лише в рідкісних випадках під час проведення розвідувальних операцій. Проте технічні проблеми часом перешкоджають безпілотним літальним апаратам виконувати завдання через відмови їх електроніку чи конструкцію. Можливо класифікувати відмови базуючись на статистичних даних, зібраних під час конфлікту у Югославії (рис. 5).

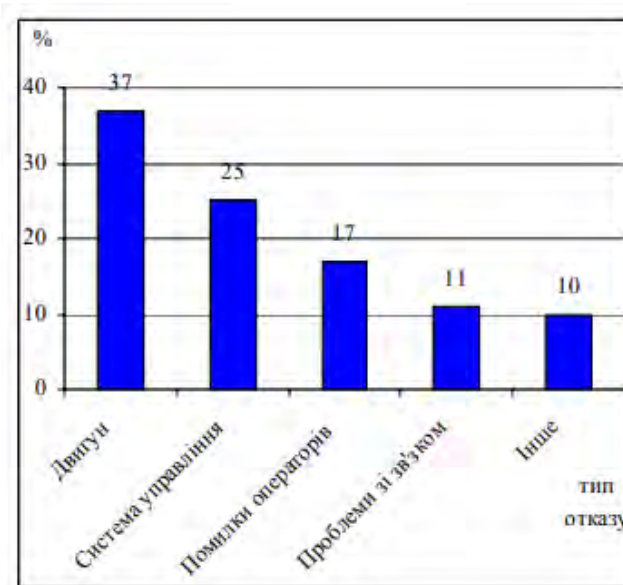


Рис 1.5. Діаграма відмов БПЛА[7].

1.3. Огляд БПЛА українського виробництва

Україна, яка востаннє декілька років активно розвиває свій оборонний комплекс, здобуває визнання на світовому ринку військової техніки. Зокрема, безпілотні літальні апарати (БПЛА) виробництва України здобувають

популярність та довіру завдяки своїм технічним характеристикам та ефективності в різних сценаріях використання. У цьому розділі розглядаються ключові аспекти та технологічні досягнення українських безпілотних літальних апаратів, їх роль у сучасній обороні та перспективи подальшого розвитку цієї галузі в Україні.

AQ-400 Scythe

AQ-400 Scythe (рис.6) – це далекобійний безпілотник-камікадзе. Розробник заявляє, що дальність польоту становить 750 кілометрів. Безпілотник можна запускати з короткої злітної смуги або з катапульти.



Рис. 1.6. БПЛА-камікадзе AQ 400 Scythe, грудень 2023[8].

Характеристики дрона: злітна маса – 100 кг, з них 32 кг – корисне навантаження, яке може бути збільшене до 70 кг, шляхом зменшення дальності польоту. Розмах крил – 2,3 м, крейсерська швидкість – 144 км/год.

Проект безпілотника-камікадзе AQ-400 Scythe був представлений ще навесні цього року. Особливістю українського безпілотника є швидке збирання, можливість масового виробництва та низька собівартість. За даними Defense Blog, компанія Terminal Autonomy отримує компоненти для виробництва безпілотників-камікадзе у різних невеликих компаніях та інженерних групах, що спеціалізуються на виробництві безпілотних платформ.

“Postman”

Український БПЛА “Postman” (рис.7) має здатність здійснювати політ на відстань понад 45 кілометрів вглиб території та має оперативну відстань 55 км, виконувати скидання 6-8 кг зарядів та безпечно повертатися. На даний момент ця перспективна розробка перебуває на етапі тестування.



Рис. 1.7. БПЛА «Postman»

“Наш БПЛА “Postman сьогодні на полігоні пройшов 115 км і ще залишилось 10% батареї. Сто п’ятнадцять кілометрів! Це означає, що ми можемо впевнено стверджувати, що в бойових умовах можна розраховувати на оперативний радіус ≈ 55 км. І повернутися назад!” – написав аеророзвідник, який випробовував техніку(На рис. 8 — показники з Mission Planner в Ardupilot.) [9]. Вітчизняний БПЛА “Postman” має здатність літати на відстань, що перевищує дальність всієї наявної в Сил оборони стрілецької артилерії (з урахуванням простих снарядів). Також автор відзначив, що дрон вже успішно проходив тести в реальних бойових умовах, пролітаючи через зону дії систем радіоелектронної боротьби і успішно виконавши поставлені завдання.



Рис. 1.8. Результат польоту

“COBRA”

Запущено серійне виробництво українських дронів COBRA, собівартість яких 2000 ум.од (рис.9).



Рис. 1.9. Ударний безпілотної COBRA[10]

"Головна ідея проекту полягає в зменшенні кількості людей, які ризикують своїм життям. Тобто замінити їх роботами, дронами", — зазначила команда розробників з міста Кривий Ріг.

Ударні безпілотники Cobra української розробки запустили в серійне виробництво, повідомила “Армія дронів” У повідомленні уточнили, що собівартість БПЛА "Кобра" становить приблизно дві тисячі доларів. Це менше, ніж для закордонних або українських аналогів. Щоб знизити вартість виробництва, розробники використовують метал, замість композитних матеріалів.

“Leleka LR”

Також в Україні презентували новітній безпілотник Leleka LR(рис. 10), який призначений для розвідки та корегування артилерії, а також сумісний із РСЗВ Himars. Розробники акцентують на його сучасних технологічних рішеннях, які допоможуть уникнути протидії російській РЕБ.



Рис. 1.10. Leleka LR[11]

Останній розвідувальний безпілотник Leleka LR, спроектований для виконання завдань розвідки та корекції артилерійського вогню, є сумісним із ракетно-артилерійською системою залпового вогню Himars. Розробники акцентують увагу на його передових технологічних рішеннях, які сприятимуть унікальності перед російськими засобами радіоелектронної боротьби. Цей безпілотник виготовляється у Чехії українсько-чеською компанією UAS. Компанія Devigo, яка виробляє безпілотник "Лелека-100", розширила виробничі

потужності з метою забезпечення захисту матеріально-технічної та інтелектуальної бази виробництва. У той же час, безпілотник буде піддаватися тестуванню в Україні, де забезпечується сервісне обслуговування та функціонує Центр підготовки операторів БПЛА. За відомостями представників компанії, в безпілотнику реалізовано резервування основних систем. Більше того, "Лелека" обладнаний декількома каналами зв'язку, які розташовані на різних частотах та використовують відповідні алгоритми шифрування. Дрон також оснащений системами антиджемінгу для захисту від навмисного глушіння, включаючи антени CRP. З метою проведення розвідки та корегування вогню артилерії, комплекс отримав двохосьовий гіростабілізований оптико-електронний модуль з оптичним 25-кратним та 4-кратним цифровим зумом. Цей безпілотник легкий та доступний у денній та нічній версіях з тепловізійним пристроєм для спостереження. Крім того, бортовий комп'ютер безпілотника використовує цифрові алгоритми обробки відео, що дозволяє йому супроводжувати як статичні, так і рухомі об'єкти, а також автоматично утримувати їх у центрі кадру.

Характеристики Leleka LR:

- Постійна висота - 1200-1500 м,
- Максимальна - 2000 м,
- Максимальна швидкість - 32 м/с,
- Крейсерська - 22 м/с,
- Розмах крила - 3 м,
- Вага на взльоті - 8,7 кг,
- Можливе навантаження - 600 грам,
- Відстань - 90 км,
- Час автономної роботи - 4 години.

Екіпажі БПЛА "Лелека-100" легко перепідготовуються на новий комплекс завдяки схожому алгоритму технічного обслуговування та програмному забезпеченню. Перепідготовка екіпажів можлива за 14 діб.

Ударний безпілотник "Backfire"



Рис. 1.11. Безпілотник Backfire[12]

Ударний безпілотник Backfire(рис.11), стійкий до засобів радіоелектронної боротьби, успішно пройшов комісію Міністерства оборони і готується до масового виробництва. Українські розробники, що входять до оборонного кластера Brave1, створили безпілотник, який може пролітати до 35 кілометрів у тил ворога та допомагає уражати російську артилерію, логістичні вузли, склади та командні пункти. За словами міністра цифрової трансформації, цей дрон оснащений GPS-антеною, що майже неможливо заглушити, і, завдяки повній автономності, уникає можливому виявленню координат та місцеперебування наземної команди, що дозволяє уникнути впливу з боку російських засобів радіоелектронної боротьби.

UJ-26 «Бобер»

UJ-26 «Бобер» - український баражуючий боєпрепас великої дальності (рис.12).



Рис. 1.12. UJ-26 Бобер[13]

"Бобер" є українською версією іранського безпілотної Shahed 131, який широко використовувався росіянами під час вторгнення в Україну. Його конструкція ґрунтується на аеродинамічній схемі качки, що сприяє легшому змінюванню висоти та кращим маневруванням у повітрі, має не великі габарити і зроблений з композитного матеріалу. Це підвищує ймовірність виживання "Бобра" в умовах ворожого ППО. Безпілотної має гвинта, оснащений двигуном внутрішнього згорання у задній частині корпусу. Також наявні технічні характеристики даної моделі (табл. 1).

Табл. 1.1. Характеристики UJ-26

	Значення
Довжина	2,5 м
Розмах крила	2,5 м
Дальність	< 800 км
Час	7 г
Швидкість	200 км/год
Вага	150 кг
Маса бойової частини	20 кг

2. ФОРМУВАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ТЗ

2.1. Визначення робочих параметрів та обмежень моделі

Перш за все потрібно визначити силові параметри для виконання дій з визначеного спектру рухів, різного типу повороту крила змінної стрілоподібності (рис. 1), при цьому забезпечити моделі високу аеродинаміку за всіма умовами. Це включає в себе ретельний аналіз аеродинамічних характеристик конфігурації крила, оптимізацію форми та параметрів стрілоподібності для забезпечення ефективності в різних умовах польоту. Додатково, необхідно враховувати вплив зміни стрілоподібності на стійкість та керованість БПЛА. Важливим етапом є також розробка систем автоматичного управління, які забезпечать точність та стабільність виконання різноманітних маневрів. Ретельне тестування та налаштування системи в реальних умовах дозволить досягти оптимальної продуктивності та функціональності літального засобу.



Рис. 2.1. Різновидність крил літальних апаратів: 1 – пряме, 2 – стрілоподібне, 3 – оберненої стрілоподібності, 4 – дельтоподібне, 5 – змінної стрілоподібності, 6 – косе [14].

Необхідно визначити спектр можливих рухів, які може виконувати безпілотний літальний апарат. Це в свою чергу дасть можливість визначити кути повороту, на які повинні бути розраховані шарніри та навантаження. Таким чином, встановлюються обмеження, які повинні бути дотримані, і межі, які не можуть бути порушені.

Додатково, необхідно враховувати вплив зміни стрілоподібності на стійкість та керованість БПЛА. Важливим етапом є також розробка систем автоматичного керування, які забезпечать точність та стабільність виконання різноманітних маневрів. Ретельне тестування та налаштування системи в реальних умовах дозволить досягти оптимальної продуктивності та функціональності літального засобу. Спочатку потрібно визначити спектр рухів крил, які може виконувати БПЛА, і встановити кути повороту для шарнірів, а також визначити, з яким навантаженням система може працювати. При розробці механізму використовують дешеві матеріали для можливості втілити його прототипу, в основному це пінокартон, пластик. Очевидно, що для ідеальної роботи потрібно використовувати міцніші композитні матеріали, але при застосуванні запропонованих матеріалів конструкція стає дешевшою та створює менше навантаження. З недоліків можна назвати малу вантажопідйомність, меншу маневреність, порівняно з повноцінними FPV-літаками, але попри це дрон може довго планувати, витратити малий заряд батареї і економічніший, адже у нього один мотор і ємність батареї менша.

Надалі в роботі, спираючись на середньостатистичні розміри FPV систем, в результаті інформаційних досліджень, було запропоновано, що:

- Довжина корпусу без носової частини складає 800мм,
- Розмах крила в прямому положенні 1390мм,
- Центральна хорда 100мм,
- Кінцева хорда 80мм,
- Кут стріловидності при складанні $\approx 90^\circ$,
- Вага навантажувальної частини до 0,5 кг,
- Вага дрону 1,5 кг.

Після цього були створені ескізи (рис. 2 а, б), на яких зображені кути повороту крил безпілота.

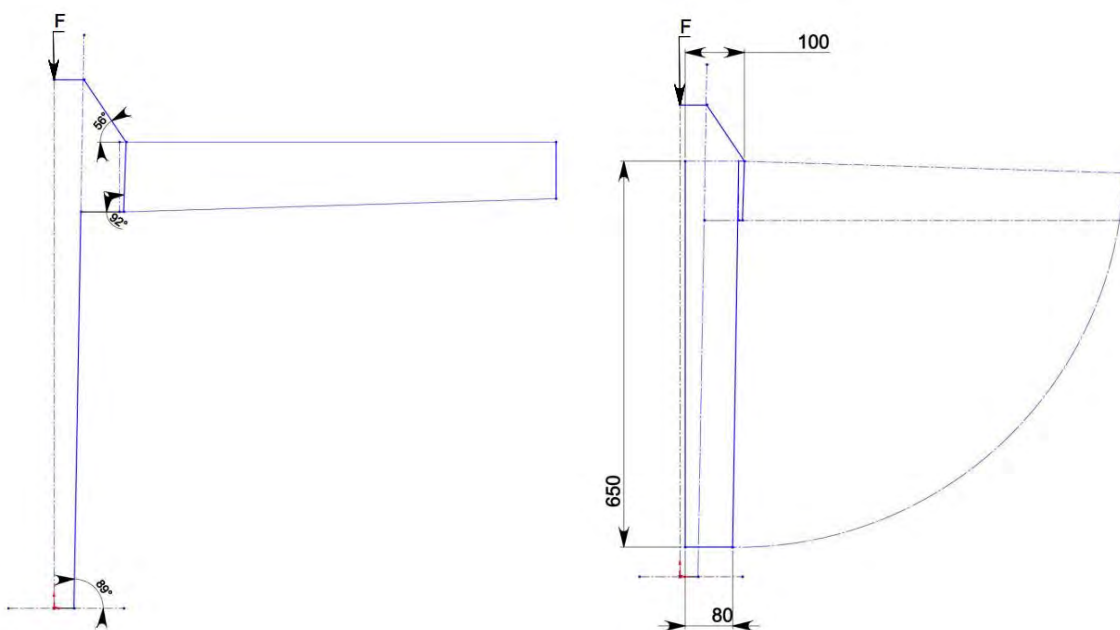


Рисунок 2.2. Ескіз: а – крило в прямому положенні, б – в складеному.

2.2.Формування вимог до робочих параметрів механізму

2.2.1 Кути ротації

Враховуючи визначений функціонал та необхідні кути ротації для цих дій, можна визначити діапазон кутів ротації, в якому повинні працювати шарніри механізму крила. Для цього можна використовувати максимальні значення зазначених дій у крайніх положеннях. Надалі наведені розміри і компоненти механізму, як показано на рисунках 3, 4.

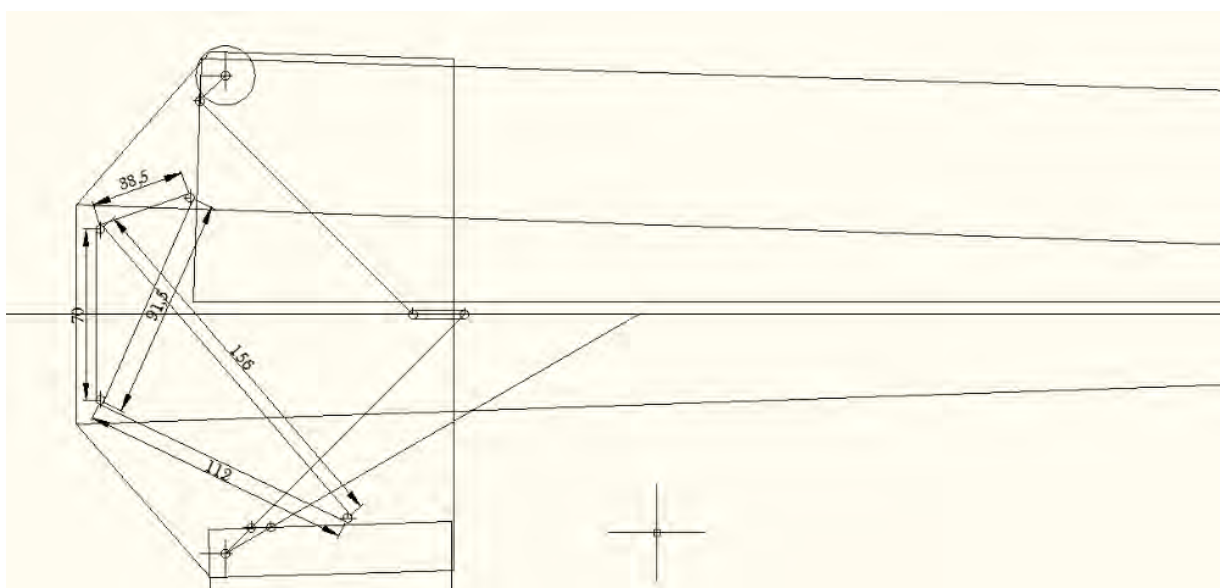


Рис. 2.3. Ескіз розмірів механізму

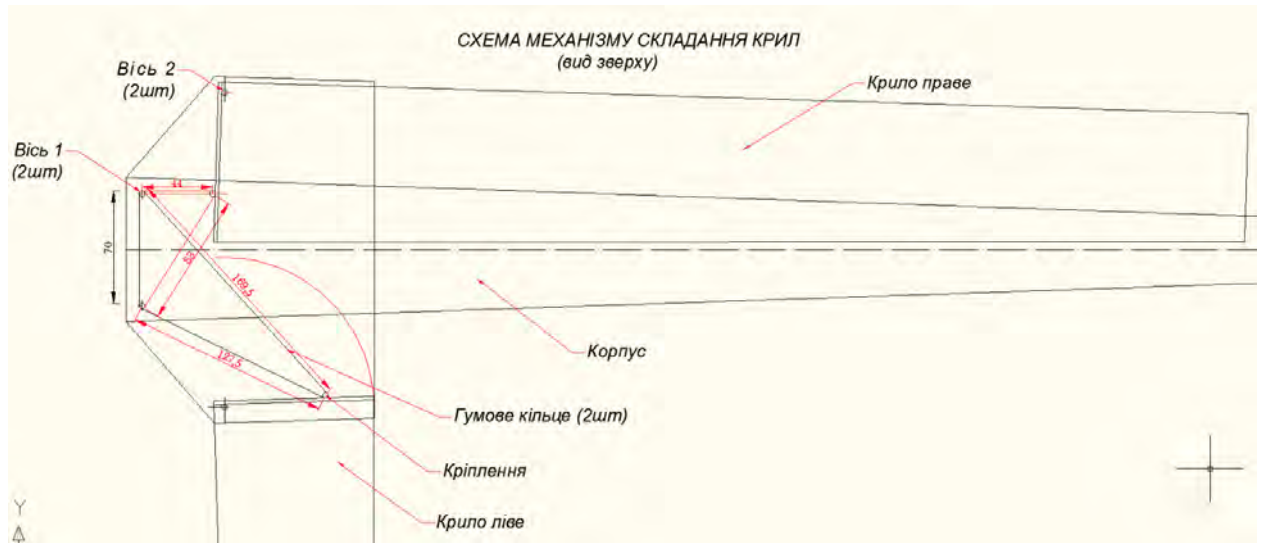


Рис.2.4. Схема механізму складання крил

2.2.2. Крутні моменти

Якщо орієнтуватися на вагу крила до 0,2кг. Максимальна вага дрона 1,5 кг.

Фаза складання має найбільше навантаження, оскільки важелі матимуть максимальне значення, тому отримані значення крутних моментів більше ніж задовольняють схему.

Поворот в шарнірі відносно вертикальної осі відбуватиметься в повітрі, це означає, що опір повітря допомагає в провертанні крила.

Якщо врахувати вище сказане, крутний момент в крилі для кожного з шарнірів буде:

$$M = \frac{L}{2} * F,$$

Де $L/2$ – половина довжини поворотного крила,

F – сила опору повітря, складає 4,12Н (встановлено в 4 пункті), при крейсерській швидкості крутний момент в крилі буде:

$$M = 2,68 \text{ Н} * \text{м}.$$

2.2.3. Принцип дії механізму складання крил

Перед запуском літака оператор розкладає крила вручну. За допомогою механічних стопорів крила автоматично фіксуються в розведеному положенні. Літак запускається та летить до моменту виявлення цілі. Оператор направляє літак на ціль і подає сигнал з дистанційного пульта на приймач літака для спрацювання сервомеханізму. Сервомеханізм повертає стопори крил і крила автоматично складаються під дією натягу гумового механізму складання крил.

2.2.4. Система живлення

В даній роботі схема електроживлення буде висвітлена відповідаючи вимогам та реалізації. Для демонстрації реалізації даного проекту важливо розглянути методи електроживлення системи, які відповідали б основним вимогам щодо ваги та швидкості забезпечення автономної роботи.

Для елементів живлення, враховуючи конструктивні обмеження, передбачено вагу 350 г. У зв'язку з цим, в рамках цієї маси можливе встановлення одного літій-іонний полімерний(LiPo) акумуляторів з робочою напругою 3,7 В та загальною ємністю до 4000мАгод з огляду на ринок електроживлення. Для безпілотників малого розміру вони є кращим варіантом. Основні переваги літій-полімерів полягають у великій ємності при невеликих габаритах і вазі.

Основні переваги літій-полімерів:

- Високий показник енергоємності при малих розмірах,
- Низький саморозряд,
- Малі розміри,
- Не тривала зарядка.

Недоліки Li-Po елементів:

- В порівнянні з Ni-MH мала кількість циклів заряду/розряду,
- Пасивне старіння. Вихід з ладу після декількох років без використання,

- Необхідність використовувати спеціальний зарядний пристрій з контролем та балансування напруги,
- Потрібно бережливо відноситися, адже при короткому замкненні, стрибку напруги при заряджанні або механічним пошкодженням можливе загоряння[15].

LiPo батарея складається з катода та анода на основі літію, розділених полімерним електролітом. LiPo акумулятори відрізняються від інших літій-іонних (Li-ion) акумуляторів тим, що вони містять твердий полімерний електроліт, а не рідкий. Звичайні полімерні електроліти можуть бути сухими, пористими або гелевими та включати полі-метилметакрилат (PMMA), полі-акрилонітрил (PAN), полі-вініліденфторид (PVdF) і полі-етиленоксид (PEO). Літієві батареї мають вищу щільність енергії порівняно з нікель-кадмієвими або нікель-метал-гідридними батареями, що означає, що вони можуть забезпечити більше енергії за меншої ваги. Літій-іонні батареї конкурують з літій-іонними за щільністю енергії, але особливо популярні, оскільки вони менш схильні до витоку. Щільність енергії LiPo батарей коливається від 140-200 Вт·год/кг за вагою та 250-350 Вт·год/л за об'ємом. Об'ємну щільність енергії важливо враховувати під час створення дрона, щоб батарея містилася на рамі, але для розрахунків продуктивності більш актуальною є щільність енергії за вагою. З більшою щільністю зростає вартість, адже бюджет також обмежувальний фактор.

Для звичайних LiPo акумуляторів номінальна або середня напруга становить 3,7 В/елемент з максимальною напругою 4,2 В/елемент. Після того, як елемент повністю заряджено, він ненадовго забезпечуватиме напругу 4,2 В, а потім впаде до 3,7 В протягом більшої частини терміну служби батареї. Розряджати батарею стає небезпечно після того, як напруга в елементі впала нижче 3,2 В, оскільки опір батареї зростає, спричиняючи її нагрівання та розбухання, що призводить до пошкодження.

- Внутрішній опір: 150-200 мОм (для напруги 7,2 В)
- Число циклів розряду до 20% становить: 500-1000

- Час швидкої зарядки 1-2 години
- Максимальна напруга в елементі: 4.20 В
- Напруга номінальна: 2.5 – 2.75 В
- Номінальний струм розряду: 70С
- Максимальний струм розряду: 120С
- Діапазон робочих температур: -40 – 70 °С
- Струм навантаження відносно місткості (С):
 - Струм заряду (максимальний): понад 5С
 - Струм розряду (оптимальний): до 2С

Сучасні малогабаритні акумулятори працездатні при струмах розряду до 2С, потужні 5 – 20С. Саморозряд становить приблизно 5% в перші місяці, але потім зменшується: за рік акумулятор втрачає 10 – 20% ємності. Втрата ємності значно менша, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів, як при 20 °С, так і при 40 °С. Ресурс – від 500 циклів. У кожного конкретного акумулятора розрядна напруга залежить від струму розряду, рівня розрядженості, температури; ресурс залежить від режимів (струмів) розряду й заряду, температури, глибини розряду; діапазон робочих температур – від рівня виробленого ресурсу та припустимих робочих напруг.

Розрахунку очікуваного польотного часу для даної моделі визначається за рівнянням:

$$t_{\text{п}} = \frac{Q * 10^{-3}}{I_{\text{п.нав}}} * 60,$$

де $t_{\text{п}}$ – польотний час дрона в хвиликах;

Q – ємність LiPo батареї в мАгод;

$I_{\text{п.нав}}$ – струм, котрий віддає акумуляторна батарея для живлення двигуна та іншого обладнання з розрахунком польотного навантаження, котре залежить від ваги апарату і його режиму роботи;

Максимальний струм, який віддає батарея при обраному політному навантаженні $I_{\text{п.нав}}$, визначається за формулою:

$$I_{\text{п.нав}} = I_{\text{макс.нав}} * L_{\text{п}},$$

$$I_{\text{макс.нав.}} = 51 \text{ А}$$

Де $I_{\text{макс.нав.}}$ – струм в амперах, який використовується всім обладнання літака при повному навантаженні;

$L_{\text{п}}$ – польотне навантаження в %, котре залежить від режиму роботи дрона та його ваги.

Отримуємо максимальний струм та очікуваний час польоту:

$$I_{\text{п.нав.}} = 10,2 \text{ А}$$
$$t_{\text{п}} = \frac{3300 * 10^{-3}}{I_{\text{п.нав.}}} * 60 = 19 \text{ хв } 25 \text{ сек.}$$

Якщо врахувати правило 80%, що акумулятори розряджаються лише на 80%, то очікуваний політний час $t_{\text{п } 80\%}$ складатиме 15 хв 32 сек.

Також розрахуємо максимальну потужність, котра використовується електронікою $W_{\text{макс}}$, визначається:

$$W_{\text{макс}} = I_{\text{макс.нав.}} * V_{\text{ном.бат}}$$
$$W_{\text{макс}} = 188,7 \text{ Вт}$$

Де $I_{\text{макс.нав.}}$ – струм в амперах, який використовується всім обладнання літака при повному навантаженні;

$V_{\text{ном.бат}}$ – номінальна напруга акумуляторної батареї.

Використовуючи рівняння $t_{\text{п}}$ і враховувати правило 80%, згідно з яким акумулятори розряджаються лише на 80% їх ємності. Було виявлено, що з акумулятором на 3300 мАг (3,3 Агод) можливо отримати 15хв 32сек польоту при цій системі.

Також можна застосувати альтернативні джерела живлення:

- Li-ion акумулятори: схожі на LiPo, але мають рідкий елемент. Вони дорожчі, можуть бути меншими за вагою, але мають менший розрядний струм порівняно з LiPo.
- LiFePO4 акумулятори: акумулятори на основі літію з фосфатом заліза. Вони можуть бути безпечнішими та стійкішими до перегріву, але мають меншу напругу та енергетичну щільність.

- NiMH(Нікель-метал-гідридні) акумулятори: зазвичай використовуються для менших моделей. Вони безпечніші, але мають меншу щільність енергії.
- Водневі паливні елементи: це технологія, яка використовує водень для виробництва електроенергії. Вона може забезпечувати довший час польоту, але складна.
- Також можливе використання паливних елементів, в комбінації з двотактним двигуном, це зробить систему відносно шумною, але матиме переваги, які дадуть можливість працювати системі значно довше і дасть живлення системі до 2 кВт. Також така система підвищить вагу моделі, отже потрібно буде збільшувати розміри фюзеляж та під'ємну силу літака, щоб розмістити баки в корпусі, але при цьому можливо буде значно збільшити корисне навантаження.

Шумність двигуна також є дуже важливим фактором, який слід врахувати щоб уникнути додаткового дискомфорту для оточуючих. При виборі комплектуючих за рівнем шуму, можна скористатись наступною інформацією. Децибел – це логарифмічна одиниця, яку використовують для вимірювання різних фізичних величин, що змінюються в дуже широких межах. Також, децибел використовується для вимірювання рівня звукового тиску, що прямо взаємодіє з гучністю звуку. Приблизні рівні звукового тиску для звичайних звуків навколишнього середовища: 10 дБ - шепіт; 50 дБ - розмова середньої гучності; 80 дБ - шум працюючого двигуна вантажівки; 110 дБ - шум працюючого трактора.

Отже параметри, які будуть втілені в даній конструкції, можна легко забезпечити, спираючись на подану інформацію. Забезпечити конструкцію необхідним живленням при вказаній вазі являється можливим. Також можливим пріоритетом в подальшому є розробка власного елемента живлення, у випадку необхідності підвищення часу автономної роботи системи, який краще задовольняв проект за загальною вагою, розміром для покращення аеродинаміки моделі.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАНИХ ФУНКЦІЙ

В цій частині проводиться інформаційно-аналітичне дослідження. Розрахунки наближені. В наступних розділах розглядаються 3Д моделі з певним спрощенням. Розглядається реальна можливість здійснити заплановану розробку та реалізувати її заданими способами.

3.1. Вибір компонентів

3.1.1. Електродвигун

Зважаючи на потужність двигуна, доступні для розробки приводи можна класифікувати за потужністю:

- Двигун з редуктором;
- Серводвигун;
- Безщіткові двигуни.

Розглянемо переваги та недоліки кожного з двигунів та ті електродвигуни, які мають необхідні характеристики в режимах подачі, тобто забезпечують M_{const} .

1. Переваги електродвигунів постійного струму:

- доступні;
- широкий вибір;
- дуже потужні;
- легке підключення.

Недоліки:

- погано працюють на низьких швидкостях;
- високе споживання електроенергії;
- найдорожчий серед запропонованих;

2. Серводвигуни:

Переваги:

- вбудований редуктор;
- різноманітність;
- дешеві;

- широкий вибір потужностей;
- простота установки;
- мале споживання енергії.

Недоліки:

- мала надійність.

3. Безщіткові двигуни:

Переваги:

- Краще співвідношення швидкість-крутний момент. Таким чином, можливо отримати більше продуктивності.
- Краща динамічна реакція.
- Більша енергоефективність. Особливо важливо в парі з використанням акумулятора.
- Менше перегрівання.
- Довговічніший, оскільки він не потребує такої кількості технічного обслуговування, а також не має тертя або зносу.
- Менше шуму. Вони набагато тихіше, нічого не торкаючись.
- Вища швидкість, ідеально підходить для моделей, де це важливо, наприклад для швидкісних безпілотників.
- Компактний. Незважаючи на великий крутний момент, який вони мають, вони значно компактніші.
- Не потребують технічного обслуговування. Не будете мати зупинок через знос щіток, а також не доведеться купувати запасні частини, очищати утворений пил тощо.
- відсутні щітки, відповідно відсутнє обслуговування

Недоліки:

- не велика потужність.
- для керування потрібен регулятор контролер і регулятор обертів, для контролю обертів. Вручну це не зробити
- дорожчі ніж щіткові двигуни

Безщіткові двигуни з постійними магнітами є достатньо потужними та економічними, працюють без додаткових передавальних елементів і забезпечують дуже високий крутний момент завдяки більш досконалій конструкції. На відміну від звичайних щіткових двигунів, які використовують механічну комутацію, де для електричних з'єднань використовуються обертові арматури зі щітками. Безщіткові двигуни не мають механічної комутації, а скоріше покладаються на електричні сигнали для своєї комутації. Швидкість обертання двигуна контролюється регулятором, який посилає періодичні імпульси струму на електромагніти двигуна.

Перевагами безщіткового двигуна перед щітковим є високе співвідношення потужності до ваги, висока швидкість, практично миттєвий контроль швидкості (об/хв) і крутного моменту, висока ефективність і мінімальне обслуговування. Загалом, безщіткові двигуни є швидшими та потужнішими, ніж звичайні щіткові двигуни, а також вони виробляють менше шуму. Крім того, вони працюють ефективніше та не страждають від менших втрат потужності або зовсім відсутні, ніж у щіткових двигунів, що може бути проблемою, оскільки щітки створюють тертя. Такі електродвигуни, зазвичай можуть працювати в діапазоні від 150 до 2500 об/хв, на ринку є багато пропозицій як в корпусному, так і в безкорпусному варіанті. З урахуванням зазначеного вище вирішено використовувати безщітковий двигун у подальших розробках даного проекту.

3.1.2 Система контролю та її реалізація

З удосконаленням технологій у дрони було інтегровано різні датчики, щоб покращити чутливість дронів для збору важливих проектних даних і здатність дронів маневрувати на складній місцевості. Завдяки цій інформації безпілотники також можуть зберігати свої позиції, визначати, наскільки вони швидкі, і уникати перешкод.

Інерційний вимірювальний пристрій (англ. IMU - Inertial Measurement Unit) — це електронний пристрій, який вимірює прискорення та обертання, який

можна використовувати для обчислення положення та швидкості. ІВП є основним компонентом інерціальних навігаційних систем, які зазвичай використовуються в літаках, безпілотних літальних апаратах (БПЛА) та інших безпілотних системах, а також ракетах і навіть супутниках.

ІВП зазвичай складається з:

- Акселерометра : вимірювання кутової швидкості.
- Гіроскопа : вимірювання кутової швидкості.
- Магнітометра (опціонально): вимірювання магнітного поля, що оточує систему.

ІВП з високою стійкістю до вібрації та хорошими характеристиками покращить ефективність польоту дрона.

Акселерометр.

Акселерометри використовуються для визначення положення та орієнтації дрона під час польоту. Акселерометр використовується для визначення сили прискорення дрона по всіх трьох осях X, Y і Z. Він також визначає кут нахилу дрона в нерухомому положенні. Якщо дрон нерухомий у горизонтальному положенні, його осі X і Y дадуть вихід 0g, тоді як вісь Z дасть вихід 1g. 1g — гравітація, яку відчуває кожен об'єкт на Землі. Якщо дрон повернеться на 90 градусів навколо осі X, то X і Z дадуть 0g, а вісь Y почне давати 1g. Під час нахилу X, Y і Z забезпечать вихідний сигнал від 0 до 1g. Акселерометр також дає лінійне прискорення в горизонтальному і вертикальному напрямках. Ці дані можна використовувати для розрахунку швидкості, руху та навіть швидкості зміни висоти дрона. Акселерометри в поєднанні з технологією GPS дозволяють пристрою відстежувати маршрут під час польоту. Це може допомогти зменшити ризик помилок і забезпечити точну роботу дрона. Також вони допомагають дронам виявляти перешкоди в їхньому оточенні. Вимірюючи прискорення дрона, акселерометр може визначити, коли він наближається до перешкоди, і дрон може відповідно скоригувати свій курс. Акселерометри також допомагають дрону підтримувати стабільне зависання та орієнтуватися в навколишньому середовищі. Наприклад, припустімо, що дрон летить по прямій

і стикається з поривом вітру. У цьому випадку акселерометр виявить зміну прискорення, і дрон відповідно відкоригує своє положення.

Акселерометр MEMS (мікроелектромеханічна система) є найпоширенішим типом, який використовується в системах дронів(рис.1). Цей невеликий, легкий і економічно ефективний акселерометр робить його чудовим вибором для застосування безпілотників. Акселерометри MEMS виявляють зміни в прискоренні від 0,001 г і вимірюють прискорення за трьома осями (x, y і z) .



Рис. 3.1. Датчик акселерометра

Ще одна технологія, яка використовується в акселерометрах, – це термодатчик (рис.2), який пропонує кілька явних переваг. Він не має рухомих частин, натомість відчуває зміни в русі молекул газу, що проходять через невелику інтегральну схему. Завдяки чутливості цих датчиків вони відіграють важливу роль у стабілізації бортових камер.

Керуючи рухом вгору та вниз, а також усуваючи тремтіння та вібрацію, оператори можуть отримати надзвичайно плавне відео. Крім того, оскільки ці датчики більш стійкі до вібрацій, ніж інші технології, термодатчики MEMS ідеально підходять для використання в безпілотних літальних апаратах, щоб мінімізувати проблеми, пов'язані з підвищеною вібрацією, спричиненою рухом вентиляторів і пропелерів, що обертаються.

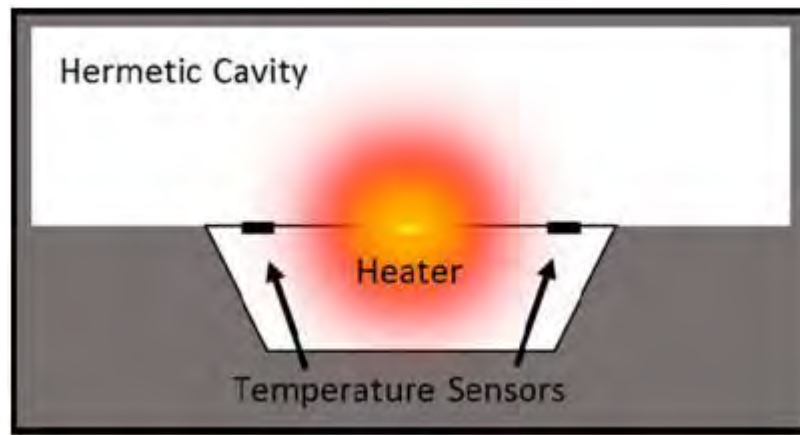


Рис 3.2. Оскільки акселерометри на основі технології теплового датчика не мають рухомих частин, вони пропонують набагато кращу стабільність і точність, ніж механічні датчики [16].

Гіроскоп.

Гіроскопи є універсальним інструментом для вимірювання та підтримки орієнтації. Це особливо важливо для безпілотних літальних апаратів, які використовуються для аерофотозйомки, оскільки вони повинні залишатися стабільними під час польоту, щоб отримати найкращі зображення. Гіроскопи часто поєднуються з акселерометрами, які вимірюють лінійне прискорення. Ці два компоненти працюють разом, щоб надати дрону інформацію, необхідну для визначення його положення та орієнтації в тривимірному просторі. Гіроскоп виявляє будь-яке дрейфування чи хитання безпілотника, коли команди від оператора не надходять. Потім ці дані надсилаються до контролера, який інструктує сервоприводи дрона протидіяти небажаним рухам. Датчик гіроскопа визначає кутову швидкість по трьох осях. Таким чином, він може визначити швидкість зміни кута Pitch, Roll і Yaw. Крім цього, гіроскопи використовуються на квадрокоптерах і гарантують, що дрони обертаються під точним кутом, який очікує користувач.

Магнітомерт (рис. 3) вимірює інтенсивність і напрямок магнітного поля. Він дає дані про магнітне поле в трьох площинах X, Y і Z. Це допомагає дрону визначати де північ і відповідно змінювати свій курс. Окрім визначення напрямку, магнітні датчики також можуть виявляти навколишній магнетизм і

ферометали, такі як електричні стовпи, дроти, транспортні засоби, інші дрони тощо, щоб уникнути аварії.

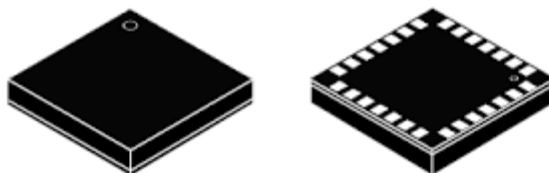


Рис 3.3. Датчик магнітометра

Барометр.

Барометр – це датчик, який вимірює тиск повітря (рис.4). Дрони використовують ці дані про атмосферний тиск, щоб обчислити свою висоту.



Рис. 3.4. Барометр

GPS приймач.

Технологія GPS (рис.5) має вирішальне значення для того, щоб дрони могли літати в автономних місіях. Він визначає, у який бік повинен рухатися літальний апарат, порівнюючи фактичне положення дрона з його цільовим положенням, і контролеру дрона відповідні команди.

Дрон оснащений GPS-приймачем, може приймати сигнали від кількох супутників GPS. Залежно від розташування джерела супутника час, який потрібен GPS-модулю дрона для отримання сигналу, буде різним. Місцезнаходження дрона можна визначити шляхом триангуляції відносного положення дрона з різних супутників GPS. Точність визначення

місця розташування буде визначатися силою сигналу, отриманого GPS-модулем дрона, і кількістю супутників у зоні його дії.



Рис 3.5. GPS-приймач[17]

Датчики струму, використовуються на безпілотних літальних апаратах (БПЛА), можуть включати в себе різні типи сенсорів для вимірювання струму в різних частинах апарата. Основні типи датчиків струму, які можуть бути використані на БПЛА, включають:

Шунти (резистивні датчики): шунти вимірюють струм, використовуючи втрати напруги на резисторі, через який протікає струм. Це дозволяє точно вимірювати силу струму.

Холлівські датчики: вони використовують ефект Холла для вимірювання магнітного поля, яке виникає при протіканні струму через провідник. Ці датчики можуть бути використані для неінвазивного вимірювання струму без прямого контакту з провідником[18].

Трансформатори струму: також відомі як трансформатори вимірювальні струму (Current Transformers, CT), вони використовують принцип трансформації для зменшення струму і створення вимірювального сигналу[19].

Спліт-кільцеві датчики: ці датчики можна помістити навколо провідника для вимірювання струму за допомогою індукції.

Також використовуються датчики впускного потоку двигуна, які використовуються на малих дронах, можуть бути різних типів, залежно від конкретного застосування та технічних вимог. Деякі з популярних типів датчиків впускного потоку включають:

- Датчики масового впускного потоку (MAF - Mass Airflow Sensors): вимірюють масу повітря, яке потрапляє в двигун. Ці дані використовуються для регулювання співвідношення повітря та пального для оптимального згоряння.
- Датчики об'ємного впускного потоку (VAF - Volume Airflow Sensors): вимірюють об'єм повітря, що входить в двигун. Вони також допомагають у визначенні оптимального співвідношення повітря та пального.
- Датчики тиску впускного колектора (MAP - Manifold Absolute Pressure Sensors): вимірюють тиск повітря в впускному колекторі. Ці дані використовуються для розрахунку густини повітря та оптимізації роботи двигуна.
- Датчики температури впускного повітря: вимірюють температуру повітря, що входить в двигун. Це важливо для підтримки оптимальних умов згоряння[20].

3.2. Розробка системи керування

3.2.1. Система на Arduino NANO

Система на Arduino NANO складається з схеми приймача та передавача. До схеми приймача входять такі компоненти (рис. 6): печатна плата, на якій розташовуються Arduino Nano, приймач NRF24L01, під'єднуються два розв'язувальні конденсатори до плати під'єднуються сервоприводи та електродвигун. До схеми передавача(рис. 7) входить передавач NRF24L01 PA+PNA, Arduino Uno, кнопка, 2-осьовий аналоговий модуль джойстика або комбінація двох потенціометрів, які використовуються для значень осі X і Y, та ще одного для швидкості. Електроживлення надходить до регулятора обертів, до якого підключений приймач і двигун[21].

3.2.1.1. Принципова схема передавача

З'єднання на стороні передавача дуже прості. Контакти VCC і GND модуля трансивера NRF24L01 підключені до контактів 3,3 В і заземлення Arduino. Розв'язувальний конденсатор ємністю 10 мкФ підключається між контактами джерела живлення. Для кращої продуктивності можна використовувати спеціальний блок живлення 3,3 В. Для регульованого джерела живлення 3,3В можна використовувати стабілізатор напруги AMS1117. Вивід CE підключений до виводу Arduino номер 9, CSN-пін підключений до виводу 10, SCK підключений до виводу 13, MOSI підключений до виводу 11, і, нарешті, MISO-пін плати NRF24L01 підключений до виводу Arduino номер 12. Кнопка підключення знаходиться між землею та пін-2 на Arduino. Ліва і права сторони всіх трьох потенціометрів підключені до 5 вольт і землі Arduino, тоді як середні драти підключені до аналогових контактів Arduino A0, A1 і A3. Це все, що стосується схеми передавача.

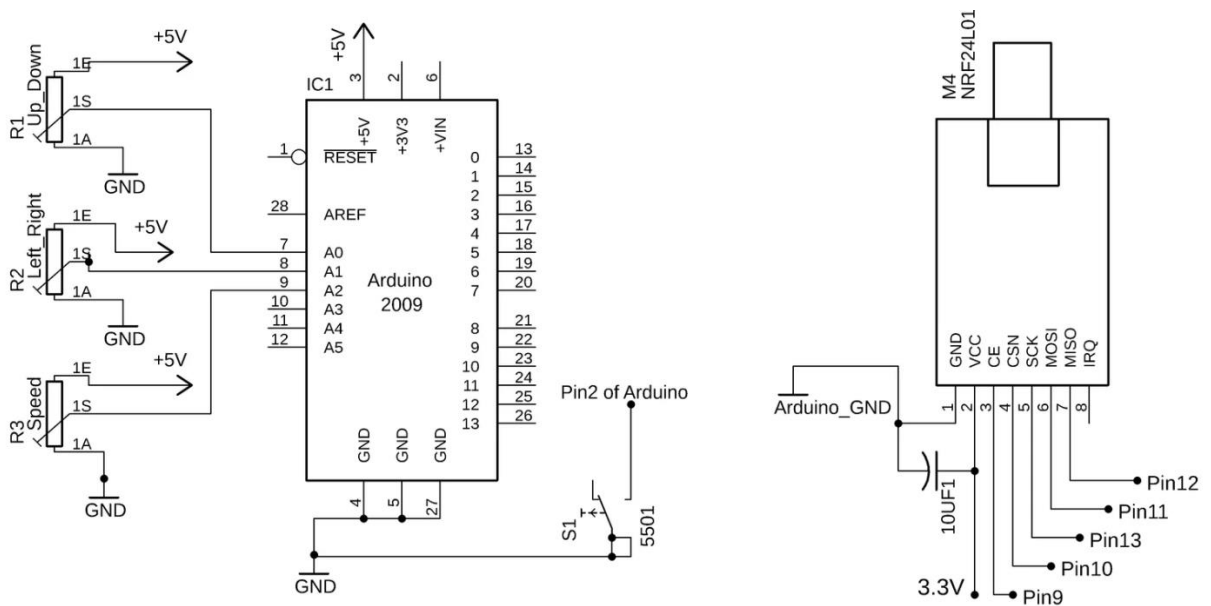


Рис. 3.6. Схема передавача сигналу

3.2.1.2 Принципова схема приймача

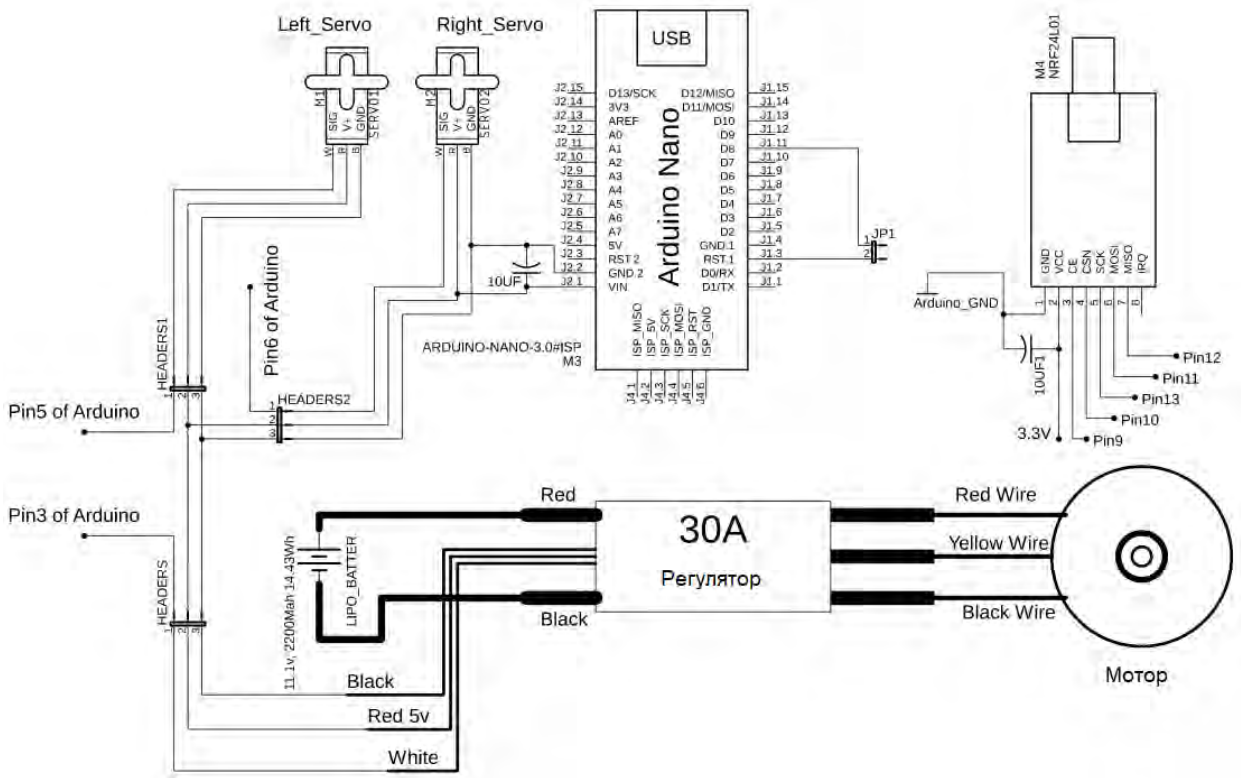


Рис. 3.7 Принципова схема приймача

З'єднання модуля трансивера NRF24L01 з Arduino залишається незмінним. Три дроти безщіткового двигуна 1000 кВ з'єднані з регулятором обертів 30 А. Жовтий провід повинен бути підключений до середнього проводу регулятора швидкості, а червоний і чорний дроти підключені до двох інших проводів регулятора швидкості, якщо двигун обертається в неправильному напрямку, можливо поміняти місцями ці два дроти. З іншого боку регулятора швидкості маємо загалом 5 проводів. Червоний і чорний дроти – це дроти джерела живлення, і їх слід з'єднати з червоним і чорним проводами акумуляторної батареї Lipo. Чорний і червоний дроти з'єднані з трьома штекерами, а також з контактом Vin і заземлення Arduino Nano. Ці 5 В використовуються для живлення всієї електроніки. Білий провід з'єднаний з контактом номер 3 Arduino. Через цей провід контролюється швидкість двигуна постійного струму. Сигнальні дроти обох серводвигунів з'єднані з контактами 5 і 6 Arduino. Між контактом скидання та контактом номер 8 під'єднано

перемичку. Працюючи над модулями трансивера NRF24L01, можна помітити одну важливу річ: з'єднання втрачено. Якщо бездротове з'єднання приймача з передавачем втрачено на 2 секунди, Arduino автоматично перезавантажиться, тривалість часу можна змінити в програмуванні. Під час завантаження програми обов'язково потрібно зняти перемичку, інакше програма не завантажуватиметься. Після завантаження коду можна розмістити перемичку[21,22].

3.2.1.3. Програмування передавача через Arduino

Перед початком програмування передавача, потрібно завантажити такі бібліотеки мови C++: SPI - дозволяє Arduino взаємодіяти з різними SPI-інтерфейсами), nRF24L01.h, RF24.h – дозволяють керувати модулем 2.4 G nRF24L01. Програмний код наведено в Додаток А.

3.2.1.4. Програмування приймача через Arduino

Перед початком програмування передавача, потрібно підключити бібліотеки:SPI.h, Servo.h, nRf24L01.h, RF24.h. Код наведено в Додаток Б.

3.3.2. Система на польотному контролері

Для цієї схеми можливо використати польотний контролер МАТЕК (рис. 8).

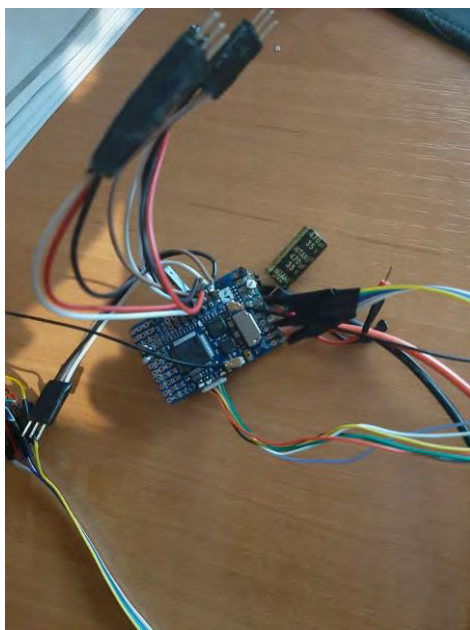


Рис. 3.8. Польотний контролер

З'єднання контроллера з елементами (рис. 9). Цей польотний контролер можна обрати виходячи з необхідних технічних характеристик, для цього літака він підходить найкраще, так як складатиметься з двох печатних плат. Нижня плата виконує ролі блоку живлення, а верхня складається з електроніки, яка буде мати:

Мікроконтроллер

ІДУ, який матиме 1,8V виходи для акселерометра та гіроскопа

Телеметрію ESP WiFi(MAVLink, 14 дБм)

Приймач ExpressLRS 2.4G з протоколом CRSF, телеметрією 12 дБм

12 виходів широтно-імпульсної модуляції

4x АЦП(VBAT, струм, RSSI, повітряної швидкості)

До нього потрібен передавач, або передавач може бути вбудований в контролер, тому до нього потрібні 2 антени 2.4G.

Та, обов'язково, до схеми підключається конденсатор 35 В 470 мкФ.

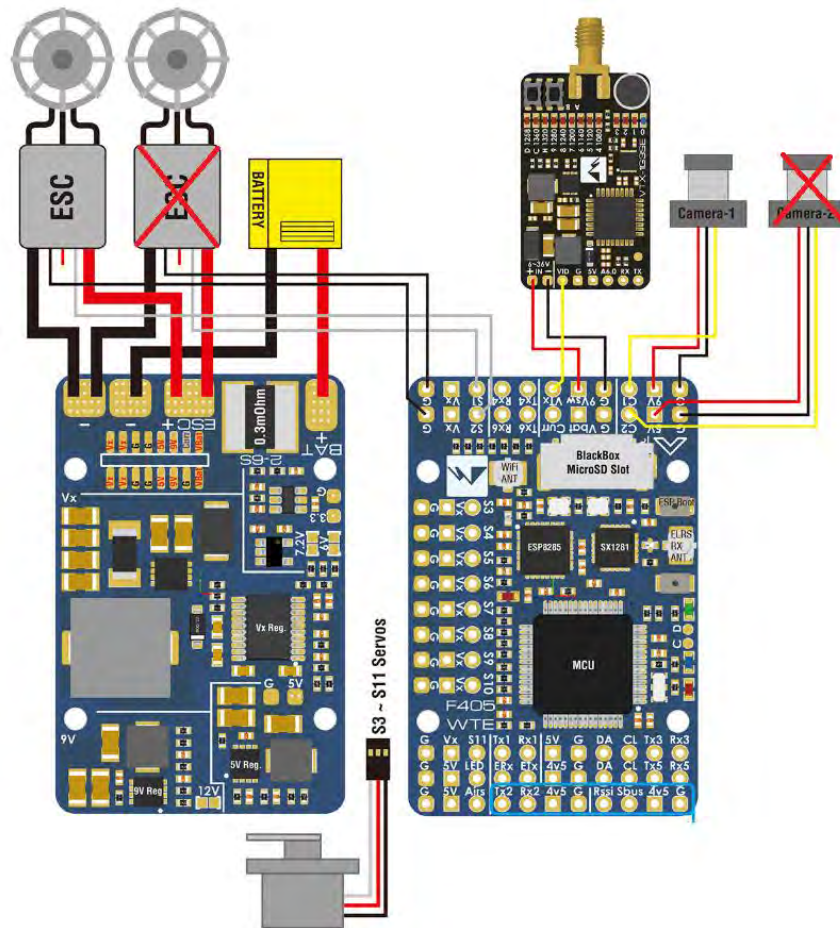


Рис. 3.9. Електрична схема підключення польотного контролера

Після цього прошивається і калібрується(рис.10).

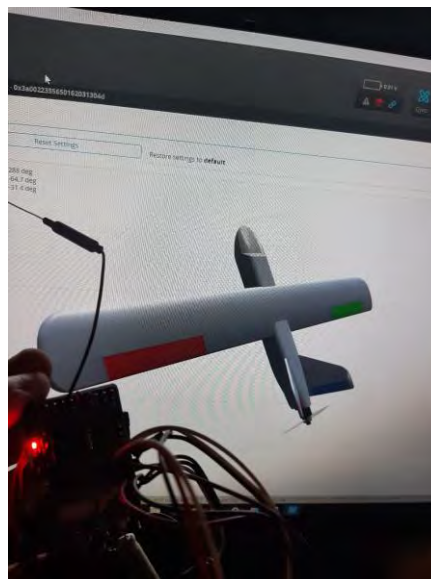


Рис. 3.10. Результат прошивки і калібровки. Видно роботу гіроскопа в

INAV

3.3.3. Реалізація електричної схеми

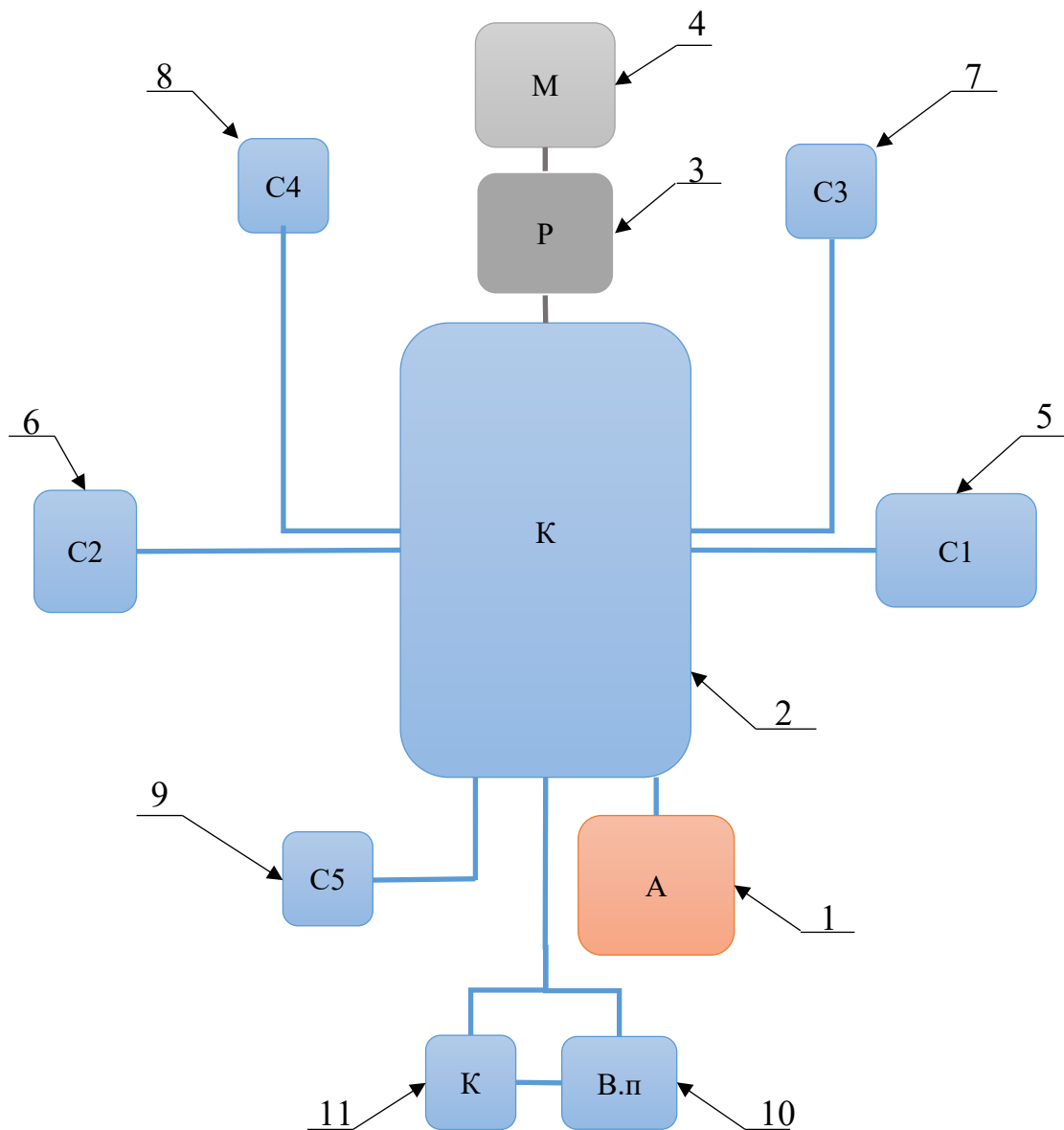


Рисунок 3.11. Принципова електрична схема: 1 – акумулятор, 2 – польотний контролер, 3 – регулятор обертів, 4 – мотор, 5-6 – передні сервоприводи, 7-8 – сервоприводи хвоста, 9 – сервопривід механізму, 10 – відео передавач, 11 – камера.

Електричний двигун.

Для цього літака можна використати безщітковий двигун (рис.12), який забезпечує тягу приблизно 1500 г з пропелером 10x4,5 і споживає близько 46А.. Використовуючи рівняння t_n і враховувати правило 80%, згідно з яким

аккумулятори максимально можуть розряджатися лише на 80% від їх ємності. Я виявив, що з аккумулятором на 3300 мАг (3,3 Аг) можу отримати 15хв 32сек польоту при цій системі.



Рис. 3.12. Електродвигун

Таблиця 3.1. Напруга, струм, тяга та ефективність електричного двигуна при різному коефіцієнті тяги

Тяга, %	0	10	20	30	40	50	60
Напруга, В	16,8	16,67	16,62	16,51	16,4	16,24	15,91
Струм, А	0	0	2,1	4,74	8,11	13,87	20,03
Потужність, Вт	0	0	34,87	78,25	133,06	225,15	318,65
Тяга, г	0	0	226	393	579	804	995
Продуктивність, г/Вт	0	0	6,48	5,02	4,35	3,57	3,12

70	80	90	100
15,63	15,3	14,97	14,73
28,71	34,75	41,76	48,75
448,83	531,78	652,37	717,88
1204	1304	1423	1491
2,68	2,45	2,28	2,08

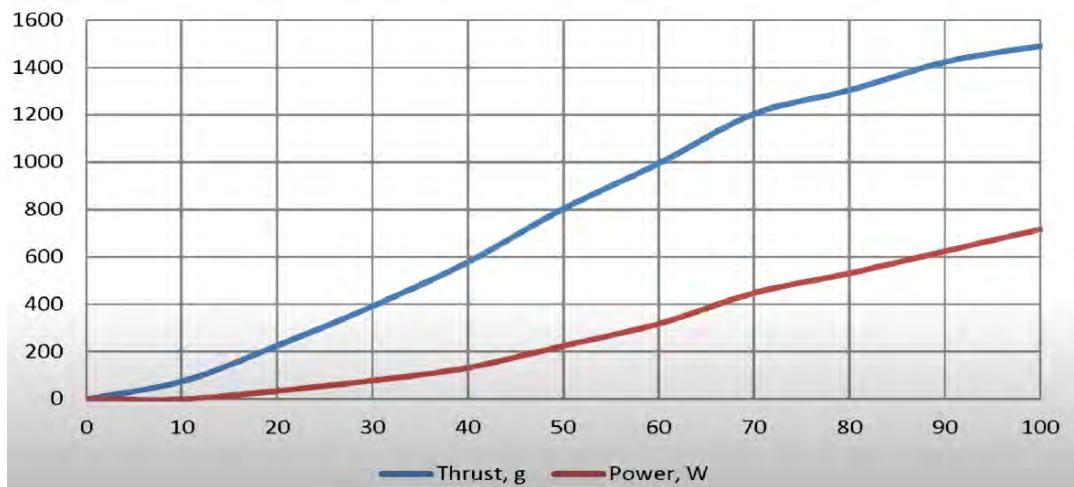


Рис. 3.13. Графік тяги, потужності двигуна

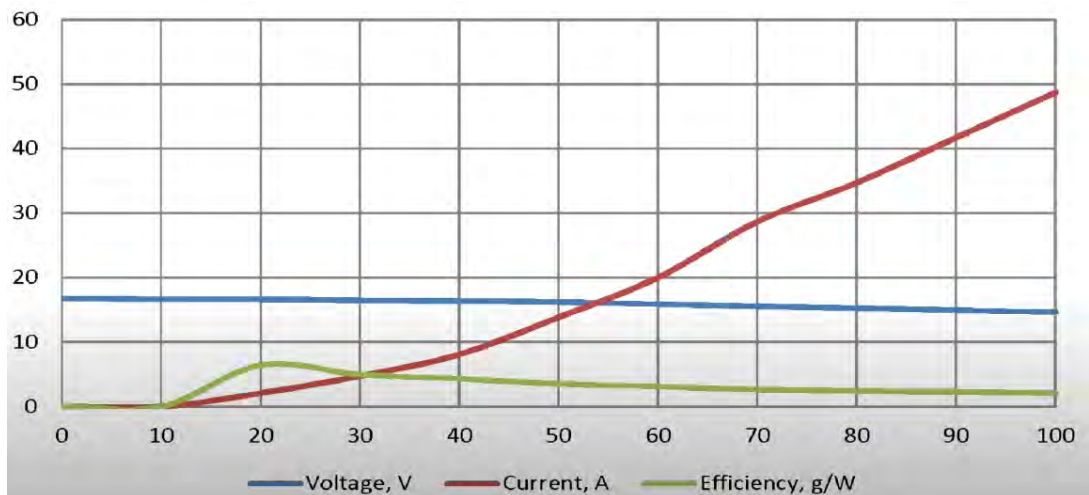


Рис. 3.14 Графік напруги, струму та продуктивності

Регулятор обертів двигуна.

Регулятор обертів отримує сигнали газу від контролера польоту та приводить в дію безщітковий двигун на бажаній швидкості. Використання високоякісного регулятора забезпечує надійний і плавний політ, хоча багато інших факторів також відіграють роль у загальних характеристиках. Регулятори живляться постійним струмом від LiPo батареї та приймають сигнали двигуна від контролера польоту, забезпечуючи трифазний змінний струм для живлення двигуна. Так як двигун один, отже регулятор теж один. Для даного двигуна підійде безколекторний 40 А, 16.8 V регулятор (рис. 15).

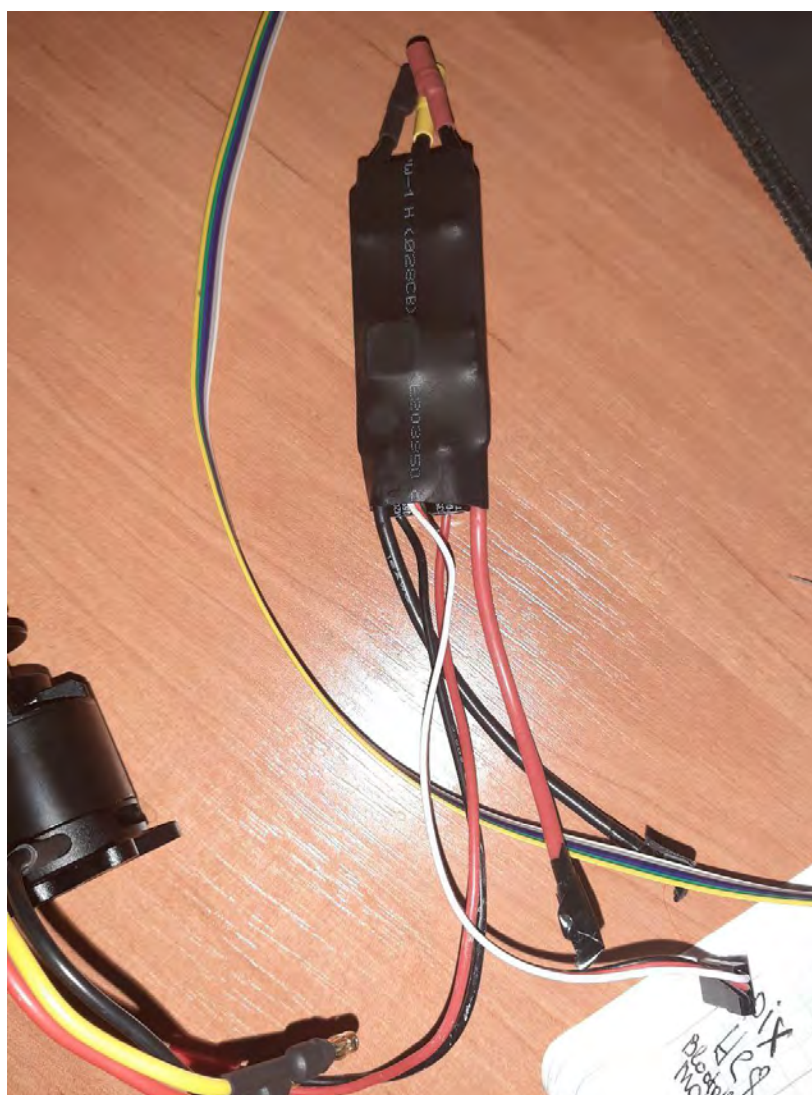


Рис 3.15. Регулятор

Сервоприводи.

Сервопривід (рис. 16) був обраний з такими характеристиками: швидкість без навантаження: 0,12 сек/60 град. При живленні 4.8В, крутний момент – 2 кг/см, температурний діапазон від 0 до +50°C, шириною мертвої зони: 4 мікросекунди, робочою напругою живлення: 3.5-5В, використання струму в русі: 50-80 мА, використанням струму при утриманні до 10 мА, кутом повороту 120°. В корпусі розташований компактний модуль керування, який, реагуючи на вхідний сигнал, надає електроживлення електродвигуну з врахуванням відповідної полярності. Вхідний сигнал керування містить інформацію про необхідне положення валу. Для визначення актуального положення валу, редуктор знаходиться в сполученні з двигуном, який включає змінний резистор. Електроніка розраховує відмінність між поточним та цільовим положенням редуктора. Модуль управління, враховуючи опір змінного резистора, направляє живлення на двигун у необхідній полярності для здійснення повороту редуктора, забезпечуючи відповідність між актуальним положенням та переданим сигналом управління. Частота керуючого сигналу залишається сталою і складає 50 Гц[23].



Рис. 3.16. Сервопривід

Відеопередавач є ключовим компонентом системи FPV, який бездротовим способом передає зображення з камери на приймач. Вибираючи відеопередавач 5,8 ГГц, потрібно враховувати компактні розміри, характеристики, підтримку каналів і точну частоту передачі, а також велику відстань і високу вихідну потужність, щоб забезпечити оптимальні характеристики польоту та мінімальні перешкоди для каналів.

Системи FPV можна розподілити на два типи: аналогові та цифрові. Аналогове обладнання не сумісне з цифровим обладнанням FPV.

Відеопередавач можна обрати з такими характеристиками: частота 5.8 Г, вихідна потужність до 3 Вт, вхідною напругою 14,8 В та підтримкою 4S LiPo акумулятора. Також до нього потрібно під'єднати антену для передачі зв'язку. Результат підключення на рис. 17.



Рис.3.17. Приймач підключений до передавача

Камера.

Камера є ключовим компонентом систем дронів FPV, яка знімає відео в реальному часі, яке передається на окуляри або монітор пілота. Камери відрізняються малим розміром та мають наднизьку затримку, широкий динамічний діапазон і надають важливу візуальну інформацію для пілотів

дронів FPV для навігації та виконання маневрів. Вони так само поділяються на аналогові та цифрові.

Є 2 основних типи датчиків зображення: CCD і CMOS, кожна з яких має унікальні характеристики і переваги. CCD – це старіша технологія, яка раніше була основним датчиком зображення для камер FPV. Зараз більшість нових камер використовують CMOS і вони постійно вдосконалюються.

CCD:

- Менший ефект розмиття у відзнятих матеріалах завдяки глобальному затвору.
- Менший цифровий шум за слабкого освітлення.
- Краща передача кольорів.

CMOS:

- Зазвичай менша затримка (у хороших).
- Вища роздільна здатність, але може мати більше цифрового шуму.
- Більш природний колір зображення.
- У камерах зі слабким освітленням/вночі FPV зазвичай використовуються сенсори CMOS.
- Як правило, дешевше у виготовленні, тому найдешевші камери FPV зазвичай мають CMOS.

В цілому CMOS-камери можуть працювати так само добре, як і CCD, якщо не краще. Наприклад Runcam Eagle або Foxeer Predator. Для своєї моделі було обрано камеру Foxeer.

Об'єктиви.

Об'єктиви камер FPV відрізняються двома основними параметрами: фокусною відстанню та розміром.

Фокусна відстань змінює поле зору (FOV) зображення, чим менша фокусна відстань, тим ширше поле зору. Щоб дати уявлення, ось приблизна оцінка:

Фокусна відстань об'єктива	прибл. FOV
1,8 мм	160° – 170°
2,1 мм	150° – 160°
2,3 мм	140° – 150°

2,5 мм	130° – 140°
2,8 мм	120° – 130°
3,0 мм	110° – 120°

Широкий динамічний діапазон.

Широкий динамічний діапазон(WDR) – це технологія, спрямована на покращення деталізації зображення в умовах екстремального освітлення, коли в одному кадрі присутні як яскраві, так і темні області. Більшість камер FPV мають певний рівень WDR, але продуктивність WDR може відрізнятися.

Здатність при слабкому освітленні.

Якщо планується політ на заході/світанку або вночі, тоді потрібно знати роботу FPV камери при слабкому освітленні. Здатність камери FPV у слабкому освітленні вимірюється в люксах. Чим нижче він опускається, тим краще для слабкого освітлення. Наприклад, Runcam Swift 2 має мінімальне значення LUX 0,01, тоді як Runcam Eagle 2 становить 0,0001, Більшість FPV-камер мають режим день/ніч. Це дозволяє камері виводити кольорові та чорно-білі зображення на основі вибору користувача або умов освітлення. «Нічний режим» використовує ближнє інфрачервоне випромінювання для отримання чорно-білих зображень, що дає змогу краще бачити за слабкого освітлення.

NTSC і PAL – Формат кодування відео

Основна відмінність між NTSC і PAL полягає в роздільній здатності та частоті кадрів. PAL пропонує трохи кращу роздільну здатність, тоді як NTSC дозволяє вищу частоту кадрів. Якщо ви хочете мати краще зображення, використовуйте PAL. Але якщо вам потрібні більш плавні відеоматеріали, NTSC справляється краще.

- PAL: 720 x 576 при 25 кадрах в секунду
- NTSC: 720 x 480 при 30 кадрах в секунду

Традиційно NTSC використовується в Північній Америці, Японії та Південній Кореї, тоді як PAL використовується в Україні, більшості країн Європи, Австралії та значних частинах Африки та Азії(рис.18). Але сьогодні

це не має значення, тому що обидва формати відео підтримуються всім обладнанням FPV[24,25].



Рис. 3.18. Розподіл держав за форматом кодування відео

Роздільна здатність FPV камери (TVL)

TVL (TV Lines) — це те, що виробники використовують для вимірювання роздільної здатності аналогової камери FPV. Це число залежить від того, скільки чорних і білих ліній, що чергуються, можна відобразити на зображенні по горизонталі. Камера 600TVL означає, що вона може поперемінно відображати 300 чорних ліній і 300 білих ліній в одному кадрі. Чим більше телевізійних рядків, тим краще зображення можна отримати з камери. TVL камер FPV зазвичай 600, 700, 800 і 1200. Однак вищий TVL не завжди дає вам краще зображення через обмеження аналогової передачі відео 5,8 ГГц, а також через обмеження монітора. Наприклад, 1200TVL не буде вдвічі різкішим порівняно з 600TVL в аналоговій системі FPV. Після розгляду та підбору було підключення та отримано зображення з камери (рис. 19).



Рис. 3.19. Зображення з FPV камери

3.3.4. Калібровка вимірювачі напруженість поля. Діапазон частот роботи дронів. Існуючі методи виміру напруженості електромагнітного поля.

Вимірювачі напруженості електромагнітного поля представляють собою сукупність самостійних засобів вимірювань: вимірювальних антен, вимірювальних приймачів та супутніх пристроїв.

Засоби вимірювань, які входять до вимірювачів напруженості поля, калібрують поелементним та комплексним способами[26].

При поелементній калібровці контролюються метрологічні характеристики основних вузлів: вимірювальних кабелів, аттенюаторів та вимірювального приймача. В цьому варіанті калібровка регламентована нормативно-технічними документами на методи та засоби калібровки відповідних засобів виміру. Основна погрішність ВВП при поелементній калібровці визначається шляхом об'єднання погрішностей, найдених при повірці основних вузлів: погрішність дійсної довжини і ефективної поверхні антени, погрішність ослабленого кабелю та аттенюатора, погрішність вимірювального приймача. Але об'єднання погрішностей ускладнюється невизначеністю законів розподілу складових

погрішності, тому часто використовують формулу, яка припускає нормальних закон розподілу для всіх похибок:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \delta_i^2}$$

Де δ_i - складові погрішності, відповідаючі заданій довірчій ймовірності.

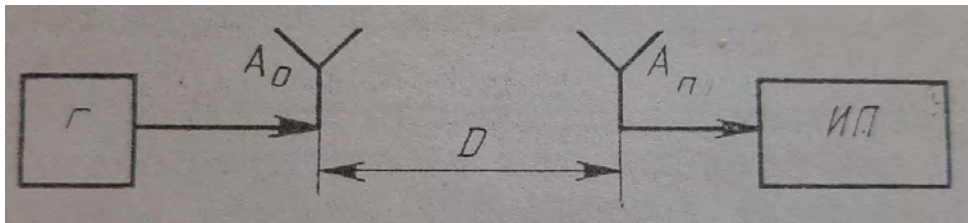


Рисунок 3.20. Визначення похибки ВВП методом зразкового поля

Метод зразкового поля (рис. 20) полягає в тому, що невідомі електричне або магнітне поле, відтворене зразковим випромінювачем в заданій точці простору, вимірюється каліброваним ВВП. Вимірювальна антена $A_{\text{П}}$ калібруемого ВВП розташована на відстані D від зразкової антени A_0 . Остання живиться від вимірювального генератора Γ , котрий забезпечує необхідну напругу(потужність) на її виході. Основна похибка (в %) калібруемого ВВП знаходиться як різниця між вимірюваними значеннями поля $E_{\text{зм}}$ та значенням, відтворюваним зразковим випромінювачем E_0 :

$$\delta_E = \frac{E - E_0}{E_0} * 100 \text{ або } \delta_H = \frac{E - E_0}{E_0} * 100.$$

В тому випадку, коли напруженість поля вимірюється у відносних одиницях (дБ відносно мкВ/м або дБ відносно мкА/м), погрішність ВВП розраховується по формулі:

$$\delta_E = E[\text{дБ}] - E_0[\text{дБ}] \text{ або } \delta_H[\text{дБ}] = H[\text{дБ}] - H_0[\text{дБ}].$$

Метод зразкової антени (рис. 21) полягає в тому, що стабільне допоміжне поле, створене спеціальним випромінювачем на певній відстані,

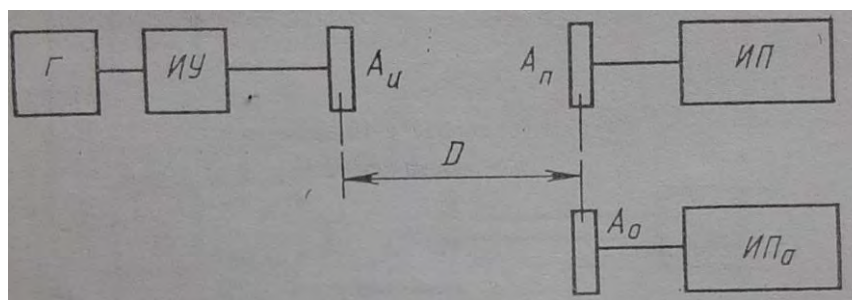


Рисунок 3.21. Визначення похибки ВНП методів зразкової антени

Допоміжне поле, створене спеціальним випромінювачем на певній відстані, вимірюється по чергово калібрувальним та зразковим ВНП. Допоміжний випромінювач, до складу якого входять антени A_i з ідентифікатором рівня ИУ та вимірювального генератора Γ , створює електромагнітне поле, характеристики котрого повинні бути стабільними по часу. На відстані D від допоміжного випромінювача в одну і ту саму ж точку простору по чергово встановлюються антени калібрувального A_n та зразкового A_o ВНП. Стабільність допоміжного поля в момент виміру його калібрувальним та зразковим ВНП контролюється по ідентифікатору рівня допоміжного випромінювача. Похибка ВНП вираховується по тим самим формулам, що і в методі зразкового поля.

Калібрування ВНП зі штиревыми антенами.

Основна відносна похибка калібрувального ВНП визначається методом зразкової антени, як показано на рисунку 22. Допоміжне поле створюється в зоні знаходження антени A_n каліброваною ВНП за допомогою генератора сигналу Γ та допоміжної антени A_i . Рівень допоміжного поля контролюється за допомогою перетворювача T_n та приладу постійного струму Π_T . Відстань D між допоміжною та каліброваною антенами та висоту h центра каліброваної антени вибирають такими, при яких нерівномірність поля по довжині калібрувальної антени не перебільшує 10%.

Порядок вимірів наступний. Спочатку встановлюється рівень допоміжного поля в проміжках останньої третини шкали приладу Π_T та за допомогою

градуйованого графіку перетворювача T_{Π} знаходять струм в випромінюючій антені.

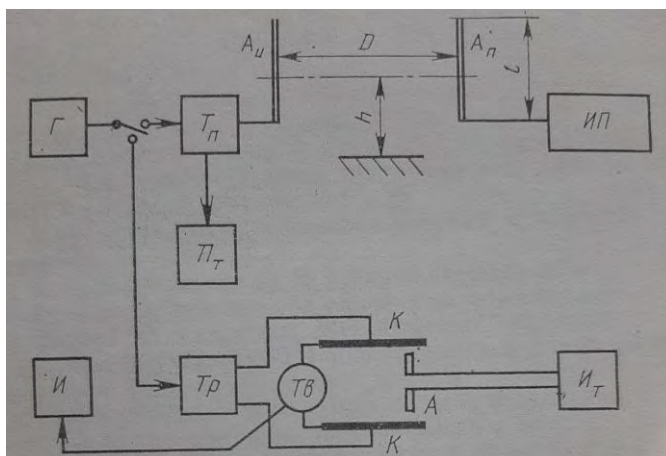


Рисунок 3.22. Калібрування основної погрішності ВНП зі штиревыми антенами

Калібрування ВНП з рамочними антенами.

При калібруванні ВНП з рамочними антенами основна погрішність визначається методом зразкового поля, відтворюваної за допомогою установок П1-4 (рис.23).

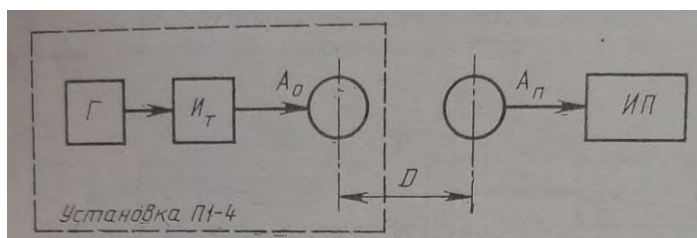


Рисунок 3.23. Калібрування ВНП з рамочними антенами

Де A_0 -зразковий рамочний випромінювач, A_{Π} – антенa калібрувального ВНП встановлюється на відстані D , визначається за формулою:

$$D = A_2 / \operatorname{tg} \theta,$$

Де A_2 – радіус антени каліброваного ВНП, θ – кут між віссю, яка проходить через центри антен та лінією, проведеною з центра рамки зразкової антени A_0 до краю рамки калібрувальної антени.

Обидві антени встановлюють на висоті $1,75 \pm 0,1$ м та з потужністю координатних пристроїв орієнтують в одній площині, після чого розвертають

на кут $(90 \pm 1)^\circ$, щоб забезпечити коаксіальне положення зразкової та калібрувальної антен.

Після установки антен, регулюванням рівня генератора Γ по показам термоперетворювача I_T встановлюють необхідний струм у випромінюваній антені A_0 . Напруженість зразкового поля H_0 в зоні розташування антени калібрувального ВНП визначається за формулою:

$$H_0 = \frac{K_0 * I * N * A_1^2}{2 * (D^2 + A_1^2 + A_2^2)^{3/2}} * \sqrt{1 + \frac{4 * \pi^2 * D^2}{\lambda^2}},$$

Де K_0 – калібрувальний коефіцієнт зразкової антени A_0 ; I – струм в зразковій антені; A_1 та A_2 – середні радіуси зразкової та калібрувальної антени; N – число витків зразкової антени; λ – довжина хвилі, яка відповідає частоті налаштування генератора. Після цього зразкове поле вимірюється калібрувальним ВНП.

Калібрування ВНП з рупорними антенами.

Основна погрішність ВНП з рупорними антенами в діапазоні частот 0.3-16.7 ГГц визначається методом зразкового ВНП. Схема з'єднання приладів при визначенні основної погрішності показана на рис. 24.

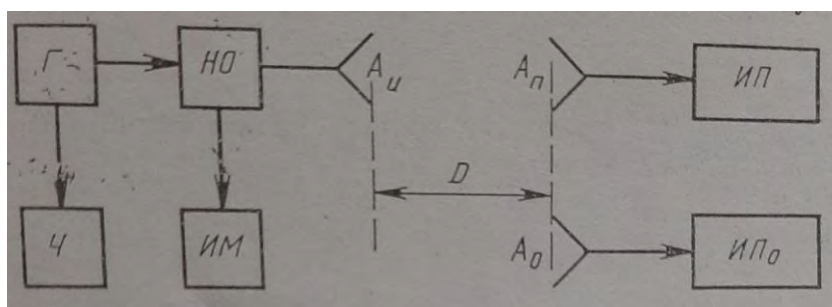


Рисунок 3.24. Визначення основної похибки ВНП з рупорними антенами

Допоміжне поле створюється випромінюваною антеною A_n , яка живиться від генератора Γ через направлений відгалужувач HO . Постійність допоміжного поля контролюється ватметром $ИМ$, підключеним до бокового плеча відгалужувача. Антена A_n , кріпиться на поворотній головці висотою 1.5 м на

відстані $D = 1$ м в діапазоні частот $0.3 - 2$ ГГц та $D = 0.75$ м в діапазоні вище 2 ГГц.

Орієнтуючи антену A_n на максимум показань калібрувального ВНП, вимірюють густину потоку енергії допоміжного поля за формулою:

$$W = \frac{P}{S_{\text{еф}}}$$

Де P – відлік по шкалі калібрувального ВНП; $S_{\text{еф}}$ – ефективна поверхня антени A_n . Виміри виконують не менше трьох разів та результати усереднюються.

Після цього замість калібрувального встановлюють зразковий ВНП та, контролюючи постійність додаткового поля, вимірюють його значення зразковим приладом:

$$W_0 = \frac{P_0}{S_0}$$

Де P_0 та S_0 – вимірювана потужність та ефективна поверхня антени зразкового ВНП.

Похибка калібруемого ВНП (в %) розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{W - W_0}{W_0} * 100,$$

та порівнюють зі значенням допустимої погрішності $\delta_{\text{доп}}$.

Калібрування ВНП з логоперіодичними антенами.

Основна похибка ВНП з логоперіодичними антенами визначається методом заміщення, при якому зразковий вимірювач напруги поля вибирається у відповідності до діапазона значень полів калібрувального вимірювача. Наприклад, для ВНП сильних полів ПЗ-9 зразковий вимірювач створюють з логоперіодичної антени ПБ-31А з вбудованим перетворювачем М5-88 та зразкового термисторного моста МЗ-22А. Відстань D міняється в залежності від частоти, так як відліковується до області максимального випромінювання на

даній частоті, точка відліку для частот f_i , на яких виконується перевірка, вираховуються за формулою:

$$l_i = l_A \frac{(f_B - f_i)}{f_B - f_H},$$

Де l_A – загальна довжина логоперіодичної антени, f_B та f_H – верхня та нижня частоти робочого діапазона антен; f_i – частота, на якій перевіряються ВПП; l_i – відстань від кінця антени до області максимального випромінювання.

Дрони взаємодіють з оператором за допомогою передавачів та приймачів, які можуть працювати на різних частотах, наприклад 900 МГц, 1.2 ГГц, 1.3 ГГц, 2.4 ГГц та 5.8 ГГц. У галузі користувацької авіації найбільш популярними частотними діапазонами для зв'язку є 2.4 ГГц і 5.8 ГГц. Також існують два основних типи обладнання для передачі сигналу від першої особи (FPV): цифрове та аналогове. Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки, але один із них видається більш перспективним.

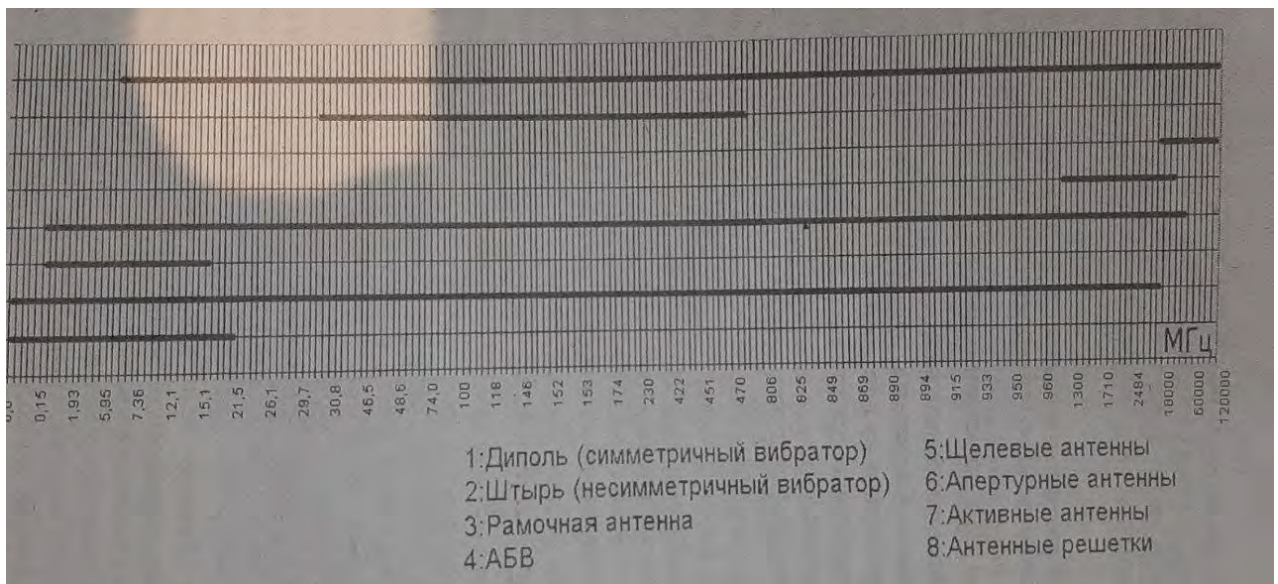


Рис 3.25. Діапазони хвиль застосування антен різних типів: 1 – диполь(симетричний вібратор), 2 – штир (несиметричний вібратор), 3 – рамочна антена, 4 – антена біжучої хвилі, 5 - щілинні антени, 6 – апаратурні антени, 7 – активні антени, 8 – антенні решітки. [27].

На рисунку 25 зображено порівняльний розподіл діапазону властивостей антен різних класів. Таблиця не претендує на повноту і точність, але дозволяє відносно повно отримати уявлення о типі антени, працюючої в тому, або іншому діапазоні. На тип застосованої антени сильно впливає її призначення(приймальна або передавальна) і відповідно з цим її конструкція може потерпати суттєві зміни. Наприклад, в діапазоні метрових хвиль в якості передаючої антени з круговою направленістю при відносно невисоких потужностях(до 100 Вт), як правило, застосовують штиреві антени. А в якості приймальної антени можна застосовувати як штиреву антену, так і асиметричний диполь, активну антену або антену біжучої хвилі.

На вибір того чи іншого типу антени суттєво впливають конструктивні характеристики того об'єкта, на який вона встановлюється. Наприклад, однією з головних умов, застосованої до антен літальних апаратів (літаків, вертольотів, ракет), являються їх малі зовнішні габарити. При цьому в ідеальному випадку антена взагалі не повинна створювати ніяких виступів на обшивці об'єкта. Саме тому на них застосовуються щілинні антени і решітки на їх основі.

На основі рисунку 25 можна зробити висновки, що для FPV дронів краще всього можуть підходити антени в діапазоні 2484 МГц, тобто штиреві, антена біжучої хвилі, щелеві та антенні решітки.

Аналогова передача зв'язку на 2,4 ГГц не є особливо популярною через низьку якість відеопередачі на цій частоті. Зображення при аналоговій передачі на 2.4 ГГц часто розмите та супроводжується шумами, особливо через велику кількість електронних пристроїв, що працюють на частоті 2.4 ГГц, таких як мобільні пристрої, Wi-Fi підключення. В умовах міста FPV-польоти на частоті 2.4 ГГц стають дуже проблематичними через інтерференцію від усіляких пристроїв. У той час як аналоговий FPV має свої плюси, такі як мінімальна затримка сигналу (лаг), що поліпшує реактивність управління дроном, а також простота використання та відносно невелика вартість обладнання.

FPV WiFi на 2.4 ГГц є дуже популярною технологією для FPV-польотів, особливо на бюджетних дронах. Основна причина цієї популярності -

доступність і низька вартість Wi-Fi передавачів, які можна легко підключити до камери дрона. У разі аналогового обладнання, для FPV-польотів пілоту необхідно додатково придбати пульт з монітором або спеціальні окуляри. FPV Wi-Fi на 2.4 ГГц є найбільш простим і зручним способом для FPV-польотів в даний час.

FPV на частоті 5.8 ГГц є популярним вибором серед як професіоналів, так і новачків. Він відрізняється хорошим балансом між пропускною здатністю та дальністю. Затримка відеопотоку на 5.8 ГГц настільки мінімальна, що практично не помітна для людського зору. На сьогодні це один з найефективніших діапазонів для FPV-польотів, і його застосовують за замовчуванням на швидкісних дронах, оскільки затримка передачі відео ідеально підходить для високошвидкісних польотів.

На частоті 5 ГГц використання Wi-Fi для передачі відеопотоку в бюджетному сегменті стало доступним нещодавно, що дозволило значно поліпшити якість та дальність передачі відео.

Отже можна зробити висновок:

- Аналогове FPV на 2.4 ГГц є старою технологією, яку рідко використовують.
- Wi-Fi FPV на 2.4 ГГц (цифрове) представляє сучасну, але бюджетну технологію, проте якість передчі відео на цій частоті страждає від затримок і має меншу відстань.
- Wi-Fi FPV на 5 ГГц (5G Wi-Fi, цифрове) є новою бюджетною технологією з кращою якістю передачі відео порівняно з 2.4 ГГц, що дозволяє досягти більшої дальності польоту. Є оптимальним.
- Аналогове FPV на 5.8 ГГц це кращий варіант серед чотирьох, якому надають перевагу всі.

З'єднуються всі компоненти електроніки (рис.26): електродвигун, електронний регулятор обертів двигуна, польотний контролер, FPV камера, відео передавач, 4 сервоприводи.

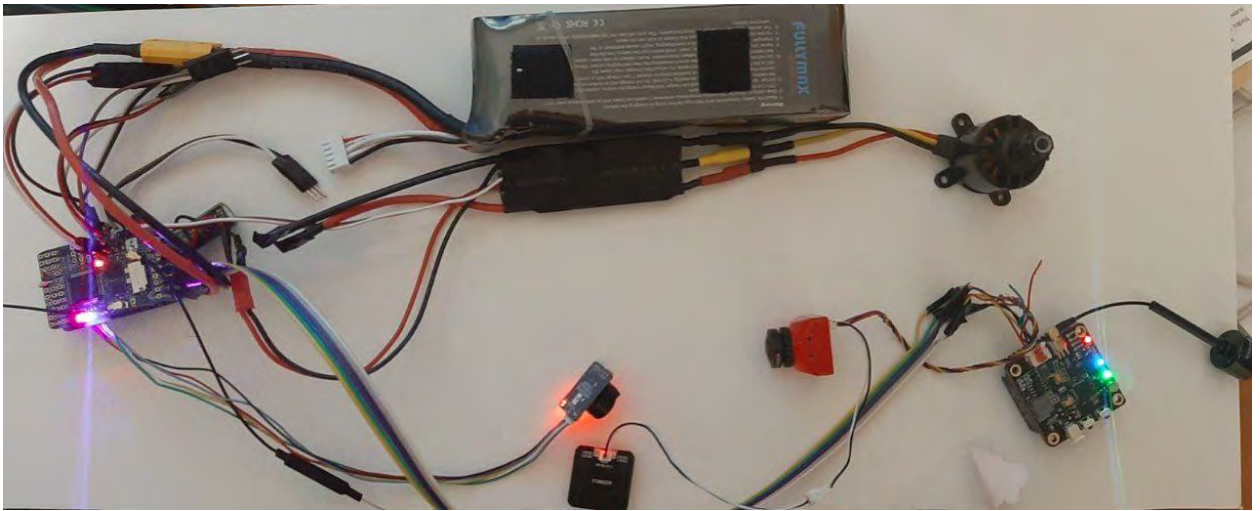


Рис.3.26. З'єднання компонентів електроніки

Розрахунок ваги:

1 двигун - 80 г

1 батарея 3300 мАг - 200г

1 регулятор обертів - 35 г

5 сервоприводів по 25 г кожен = 125 г

1 камера та відеопередавач = 30 г

1 політний контролер = 15г

Загальна вага електроніки = 485 г

460 г x 2,5 (запас на вагу літака) = 1200 г Разом

4.МОДЕЛЮВАННЯ

В ході проектування для крила було обрано аеродинамічний профіль NASA 2412(рис. 1). Цей профіль не має складної кривизни, вигину, товщини і інтуїтивно зрозумілий. В якості параметрів обрано: хорду 100 мм, найбільша висота профілю 20мм. На цих крилах будуть розташовуватися елерони з 2 сервоприводами, котрими можливо буде керувати поворотом літака

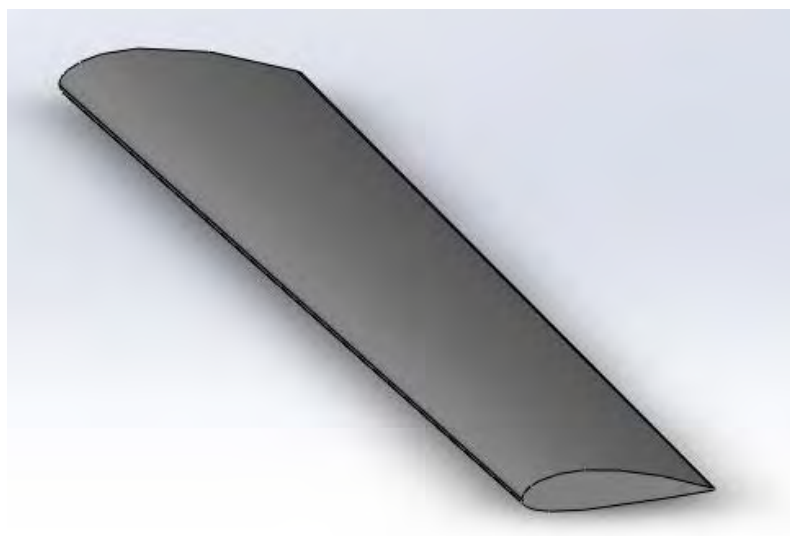


Рис. 4.1. Крило

Ззаду розташовуються V-подібне хвостове оперення. Складається з двох нахилених поверхонь, що виконують функції і горизонтального і вертикального оперення. Хвостове оперення забезпечує продольну стійкість, керованість та балансування. Оперення складається з нерухомих поверхонь - стабілізаторів та шарнірно підвішених до них рулів висоти, тобто 2 елеронів (рис. 2).

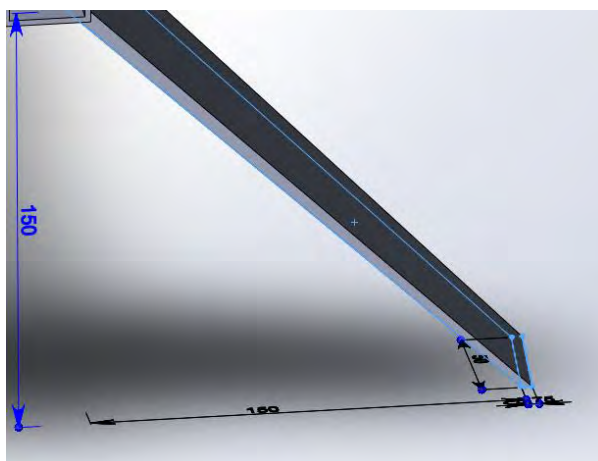


Рис. 4.2. Хвостове оперення

Для початку розрахунку необхідних параметрів потрібно було створити розрахункову область, тобто змодюлювати продування моделі у аеродинамічній трубі, обрано половину, так як БПЛА симетричний. Після цього створено локальну сітку в середовищі Solidworks Flow Simulation за методом рівновіддаленого дроблення, як показано (рис. 3).

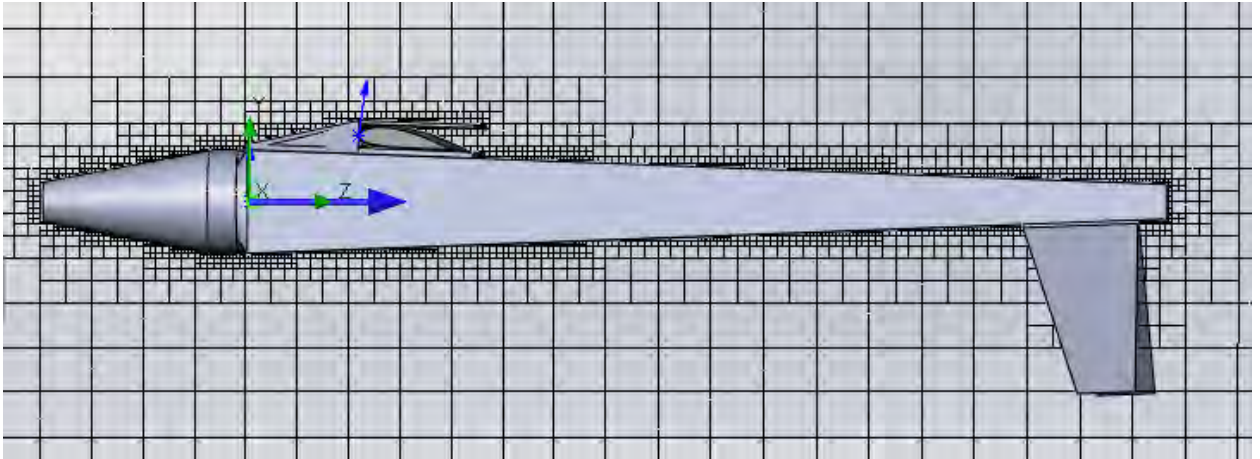
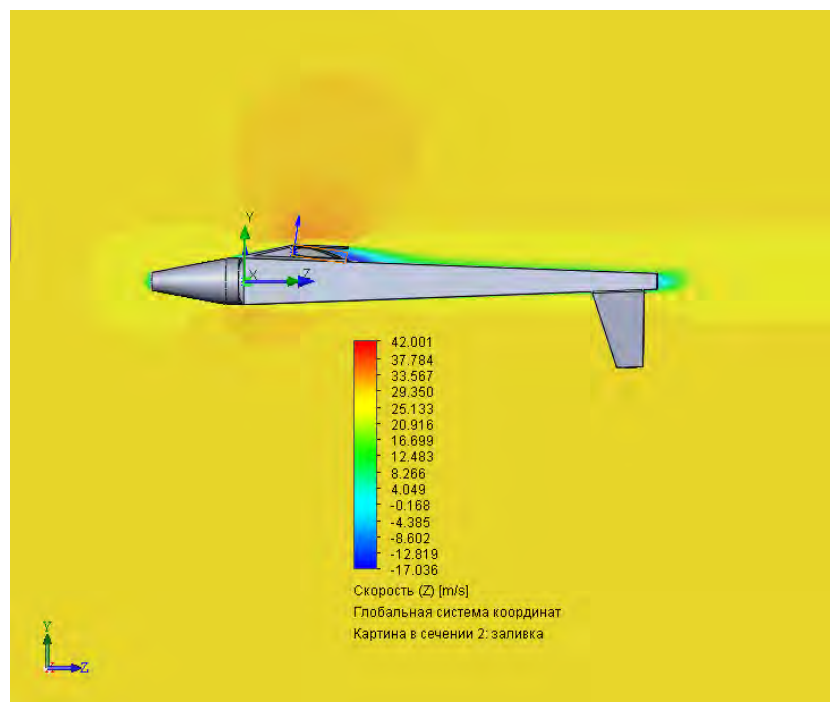


Рис. 4.3. Результат генерації сітки

Отримано аеродинамічний контур для корпусу (рис. 4) та крила (рис. 5) моделі у розрізі при крейсерській швидкості 30м/с при заданому куту атаки на якому видно зону високого і низького тиску.



4.4. Контур розподілу під'ємної сили на корпус

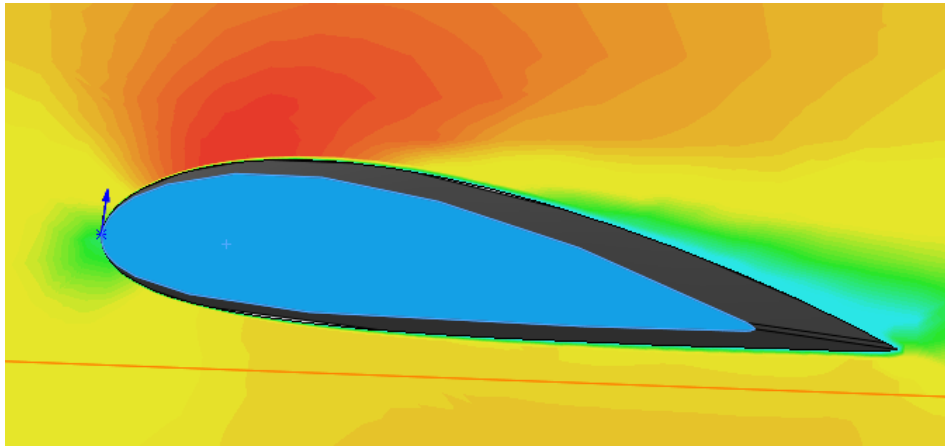


Рис. 4.5. Контур розподілу під'ємної сили на корпус при заданому куту атаки

Та отримано графіки величини сили, що діє на половину літака з крейсерською швидкістю, з яких можна зробити висновок, що підймальна сила становить 19,04 Н(рис. 6) та сила лобового спротиву (опір повітря) 4,6 Н (рис. 7).

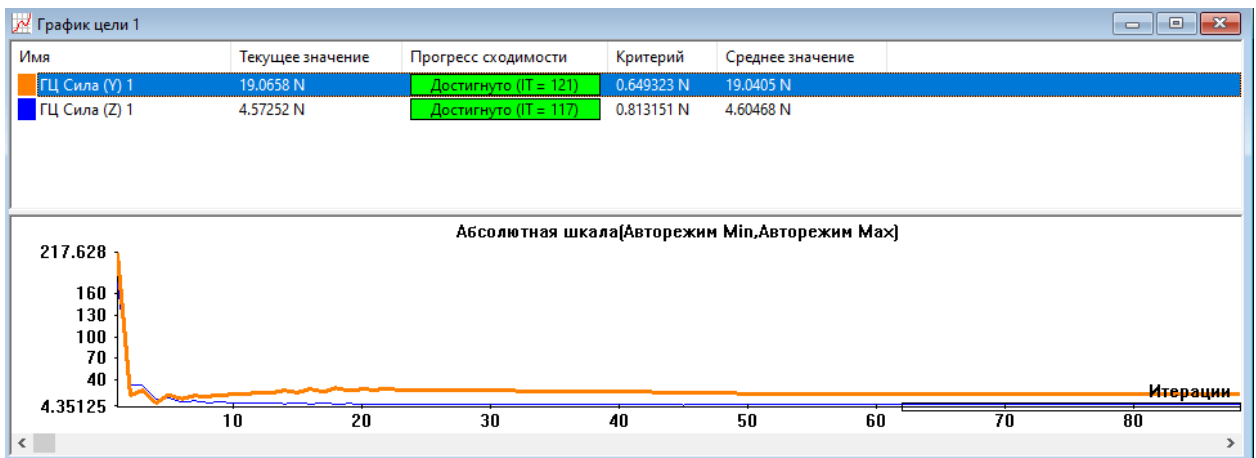


Рис. 4.6 Графік підйимальної сили

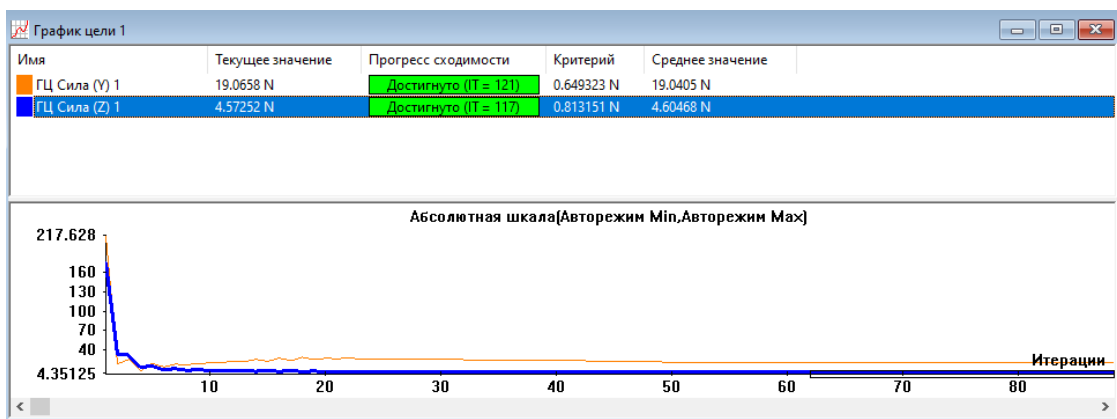


Рис. 4.7. Графік лобового спротиву

Наочно можливо побачити вигляд спроектованого літака(рис. 8).

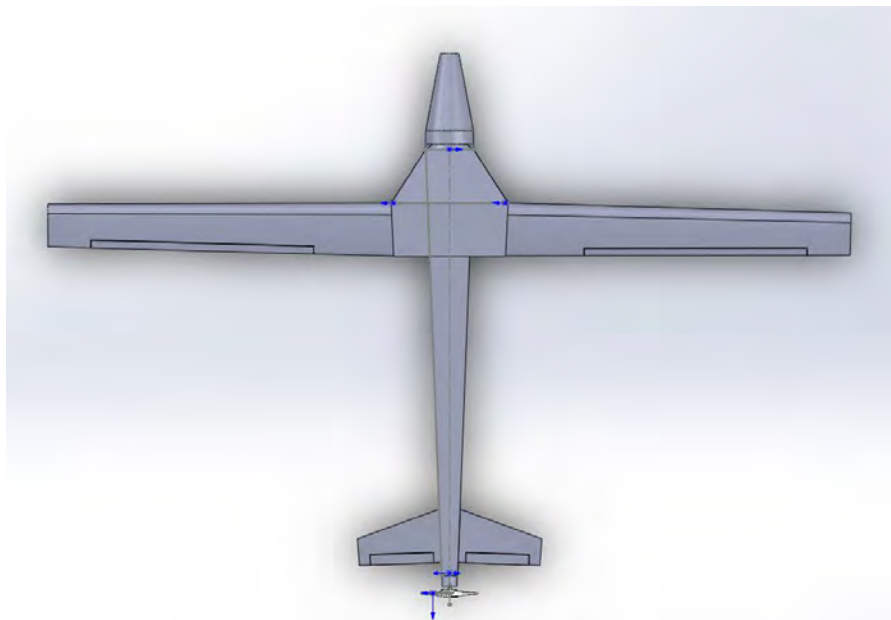


Рис. 4.8. Вигляд моделі зверху

5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи»

У розділі розглядається реалізація стартап-проекту щодо автоматизованої системи керування безпілотним літальним засобом. Дана система призначена для передачі сигналу керування від приймача до БПЛА та від передавача відеозв'язку до приймача. (також буде додана вартість комплектуючих)

5.1. Опис ідеї проекту

Автоматизовані системи керування засобами, зокрема керуванням літальними, викликали велику зацікавленість промислового комплексу та волонтерів після повномасштабного вторгнення на територію України у 2022 році, зокрема розвідка і ураження, так як вони не потребують високої точності, технологічності, великих інвестицій.

Також важливим аспектом використання таких систем є дотримання вимог сталого розвитку щодо раціонального використання ресурсів. Опишемо ідеї стартап-проекту (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована система керування БПЛА з видом від першої особи	1. Розвідка на полі бою, прикордонних територіях	Забезпечує зображенням оператора, інформування військовослужбовців
	2. Застосування військовими для ураження	Раціональне використання ресурсів, збереження життя
	3. Продаж в комерційних цілях	Забезпечує користувача зображенням на відстані 20-30 км

Отже, запропонована автоматизована система керування безпілотником, що забезпечить достатньо непогану відстань, та простоту у використанні. В таблиці наведені можливі напрямки застосування цієї системи. Можливими замовниками є прикордонні, державні та волонтерські установи, які потребують апарати такого типу.

Далі наводиться інформаційна карта стартап проекту(табл 5.2).

Табл 5.2. Інформаційна карта проекту[28]

Назва проекту	Автоматизована система керування моделі авіаційного дрона від першої особи
Автори	Сень Б.В., Гришанова І.А.
Анотація	Система дає можливість керувати авіаційним дроном з дачею відозв'язку
Термін реалізації	3 місяці
Необхідні ресурси	людські, фінансові
Опис проблеми, яку вирішує стартап- проект	Заміна такими системами участі людини на полі бою
Ціль	Створити систему керування дрона з новими ттх
Очікуваний результат	Впровадження нових рішень в розробку конструкції, прошивки чи програмування для ефективнішої роботи попри обмеженість ресурсів

Аналізуємо техніко-економічні переваги даної ідеї проекту у порівнянні з пропозиціями конкурентів:

- визначення переліку технічних і економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначення можливих конкурентів (проектів-конкурентів) або альтернативних товарів чи аналогів, які вже присутні на ринку, та збір інформації щодо техніко-економічних характеристик для ідеї власного проекту та конкуруючих проектів відповідно до визначеного вище переліку;
- аналіз порівняння показників: для власної ідеї визначено показники, які мають а) менш вигідні значення (W, слабкі); б) подібні (N, нейтральні) значення; в) більш вигідні значення (S, сильні) (табл. 5.2.).

➤ Таблиця 5.2. Визначення слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	DJI	Ukrspesystems			
1.	Контролер польоту	МАТЕК	Власний модуль	STM32		+	
2.	Швидкість польоту	Швидка	Низька	Середня			+
3.	Вартість	Низька	Середня	Висока			+
4.	Зміна параметрів, передавача, прошивки	Наявна	Відсутня	Наявна		+	
5.	Якість зображення	Низька	Висока	Висока	+		
6.	Простота виробництва	Проста	Середня	Середня			+

Запропонована у стартапі автоматизована система керування БПЛА має переваги у швидкості польоту, що дозволяє зменшити витрати на компоненти мікросхеми та матеріалу моделі. Так як вартість є меншою від конкурентів, ця система стає доступнішою для низки споживачів, або зекономлені гроші можна витратити на покращення акумулятора, або електродвигуна для збільшення часу та дальності польоту. Модель складається з розбірної конструкції і присутня простота виробництва, налаштування та використання оператором.

Далі проаналізуємо технологічну здійсненність ідеї системи керування дроном (табл 5.3). Цей етап важливий для вибору оптимальної ідеї проекту.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій

1.	Використання інерційних сенсорів для визначення кута нахилу	Прошивка мікроконтролера	Наявні	Доступні
2.	Використання приймача та передавача 2.4Гц або WIFI зв'язку	Прошивка передавача та приймача	Наявні	Доступні
3.	Виготовлення конструкції моделі	3-Д друк та конвеєрне складання каркасу та фюзеляжу	Наявні	Доступні

Після аналізу технологічної здійсненності ідеї проекту можна зробити висновок, що для впровадження проекту є існуючі(наявні) технології. Технологія реалізації ідеї спирається на інноваційність підходу та зосереджена саме на процесі апаратної прошивки польотного контролера та інших комплектуючих. Всі пункти, наведені вище, полягають у прошивці комерційних(побутових) компонентів електроніки та виробництві компонентів моделі. Можливість створення компонентів, окрім акумуляторів та електродвигунів, мікросхеми не розглядається, так як це дозволяє створити дешеву систему для примітивного використання і економічно доцільною без лишніх ланцюгів виробництва.

5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У підрозділі досліджують та визначаються ринкові можливості та загрози, що позитивно та негативно впливатимуть на стартап.

Виконаємо попередній опис характеристики потенційного ринку стартап-проекту (табл. 5.4).

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту[21].

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	>200
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція серед компаній
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Спеціальні вимоги відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або ринку), %	12-13%

Наведена характеристика у таблиці 5.4 показує загальні показники: ринку та його динаміки, для даної ніші вона зростає; наявність конкуренції, для даної ніші вона присутня серед компаній; наявність спеціальних вимог, тут вони певною мірою відсутні; рентабельність яка становить від 12 до 13%. Однак присутня конкуренція на внутрішньому ринку, що є завадою для виходу на ринок.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, а також виконуємо формування орієнтовного переліку вимог до товару відносно кожної обраної групи. Усі отримані дані заносимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп	Вимоги споживачів до товару
1	Не достатня кількість БПЛА	Військова індустрія, волонтерська діяльність, прикордонники, працівники у сфері	Використання засобу для отримання фото- та відеоматеріалу тут і зараз, контроль засобом в прямому часі	Надійність, простота, безпека від керування на відстані

		зйомок		
--	--	--------	--	--

Формування ринку визначається потребою в розробці нових систем БПЛА. До основних груп потенційних споживачів можна віднести волонтерів, військових, а також потенційних клієнтів різного типу, які потребують FPV крило для різного призначення.

Переходимо до опису потенційних факторів загроз (табл. 5.6).

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Якість	Не відповідність побажанням якості	Пошук методів поліпшення якості згідно з вимогами
2	Ріст конкуренції	На ринку присутні аналогічні більш дешеві системи	Пошук рішень зменшення вартості та підвищення технологічності
3	Зменшення попиту	Оборонний сектор перенасичений	Вихід на зовнішні сектори, робота з зовнішніми інвесторами
4	Обслуговування, ремонт	Поломки викликані експлуатацією	Модифікація систем, тісна праця з операторами
5	Нарощування системи новими модулями	Загроза РЕБ, повітряними умовами, магнітного, ядерного випромінювання	Необхідно модернізувати систему, використовувати ретранслятори

Основними загрозами вважаються зменшенням попиту та конкуренція. Це обумовлено тим, що на ринку є велика кількість схожих засобів, але якщо достатньо протестувати цей зразок то можна отримати переконливі переваги над аналогами. Зменшення попиту можна обґрунтувати закінченням бойових дій, в цьому випадку потрібно перелаштовуватись на цивільну аудиторію або шукати клієнтів на зовнішньому ринку.

Наступний етап є опису факторів потенційних можливостей (табл. 5.7)

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Розширення на зовнішній ринок	Поширеність збільшується, шляхом виходу на міжнародні ринки	Впровадження нової функціональності, механізму крил.
2	Зростання попиту	Збільшення попиту на товар призводить до зростання прибутку та надає можливість розширити обсяг виробництва продукції	Збільшення виробництва, впровадження нових технологій для виготовлення
3	Сервісне обслуговування	Навчання, інформаційне забезпечення та підтримка операторів	Дистанційна підтримка користувачів
4	Погодні умови	Необхідність покращення аеродинамічних можливостей, захисту мікросхеми від впливу повітря високої вологості	Урахування цих факторів для покращення
5	Впровадження нових технологій	Дозволить побачити, які фактори мають найбільший вплив на систему і створити кращу версію	Використання нових модулів і розробка нових систем програмного забезпечення (розпізнавання, нові системи захисту)

Деякі фактори мають потенціал для позитивного впливу на розвиток стартап-проекту. Ріст інвестування дозволить збільшити виробництво, дозволить збільшити армування, аеродинаміку, зменшити вагу. Сервісне обслуговування сприятиме навченості, інформаційною забезпеченістю, що дозволить збільшити замовлення. Впровадження нових технологій дозволить виготовляти унікальний товар для збільшення конкурентоздатності.

Перейдемо до ступеневого аналізу конкуренції на ринку (табл. 5.8)

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії)
--------------------------------------	---	--

		компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: чиста конкуренція	Компанії у ніші виготовляють аналогічну продукцію	Деякі технічні показники перевищують конкурентів
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародна конкурентна боротьба	Наявність ринків у багатьох куточках континенту	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою: конкуренція за внутрішньогалузевою ознакою	Актуальність в військово-промисловому комплексі	Покращення системи для безперебійного зв'язку
4. Конкуренція за видами товарів: товарно видова	Конкуренція між товарами одного виду	Адаптація під сучасні виклики
5. За характером конкурентних переваг: цінова	Ціна залежить від функціоналу	Покращення якості та можливостей засобу
6. За інтенсивністю: марочна	Конкурентні компанії не пропонують продукт з подібними характеристиками	Просування марки серед військових, завдяки зручності та простоті

На даному ринку галузі існує інтенсивна конкуренція. Для здобуття, утримання або збільшення переваги перед іншими конкурентами, важливо розробити стратегію, спрямовану на задоволення потреб промисловості. Також важливо вести співпрацю з користувачами засобу для виявлення недоліків і оперативної зміни параметрів.

Виконаємо аналіз умов конкуренції у галузі (табл. 5.9)

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції у галузі за М. Портером

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти у галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
-------------------------	----------------------------------	------------------------------	----------------------	----------------	-------------------------

	DJI	Наявність товарів-аналогів	Розміри поставок та наявність	Відгуки щодо системи	Виробники дешевих та простих комплектуючих
	Ukrspcsystems				
Висновки:	Висока конкуренція	Вихід на ринок за рахунок окремих кращих показників та ціни	Встановлюють ціну	Забезпечують попит	Дозволяють використовувати нові технології

Фактори, що впливають на проєкт, можуть включати безпосередніх клієнтів та військових, які виступають у ролі споживачів послуг чи продуктів і мають здатність впливати на його популярність, як у позитивному, так і в негативному аспекті. Також, прямі конкуренти грають важливу роль, оскільки надають подібний продукт, але, певною мірою, можуть бути більш дорогими, або мати меншу функціональність.

Розгляд обґрунтування факторів конкурентоспроможності, як показано (таблиця 5.10), надає можливість оцінити загальну здатність проєкту до конкурентоспроможності. Ця аналізована таблиця дозволяє визначити ключові елементи, що впливають на конкурентну позицію проєкту на ринку. Зокрема, враховуючи різні аспекти, такі як цінова стратегія, якість продукту, рівень обслуговування, інноваційність та інші фактори.

Цей аналіз дозволяє визначити, в яких аспектах проєкт може вирізнитися від конкурентів і де можуть бути слабкі сторони, що потребують вдосконалення. Також, враховуючи змінні у ринковому середовищі, цей аналіз допомагає прогнозувати можливості та загрози, що можуть виникнути у майбутньому.

Загальне обґрунтування факторів конкурентоспроможності надає стратегічний інструмент для управління проєктом і формування дієвих стратегій, спрямованих на збільшення конкурентної переваги та успішного виходу на ринок.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Дешеві компоненти і встановлення
2	Підтримка та обслуговування	Навчання операторів керування, супроводження
3	Універсальність	Оптимальна робота і конструктивні параметри, які дозволяють виконувати ті завдання, які не зможуть деякі інші аналоги
4	Енергоспоживання	Використовується вручну зібраний блок живлення з акумуляторів
5	Модернізація	Пошук нових компонентів, оновлення програмного забезпечення

Далі описуються фактори конкурентоспроможності системи, що пропонується у стартап-проекті (табл. 5.11). Виконується оцінка кожного з факторів за балами.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Фактор конкурентоспроможності у порівнянні з ДЛ						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Функціональність	10		+					
2	Ціна	18							+
3	Оптимальна якісна робота	14			+				
4	Рівень енергоспоживання	17				+			
5	Технічне обслуговування користувачів	19					+		
6	Наявність гарантії на систему	15				+			

У підсумку щодо опису та оцінки факторів конкурентоспроможності варто зазначити, що основними факторами які її забезпечують є функціональність системи та оптимальна якість роботи при невисокій ціні. Але при у порівнянні з системою DJI є різниця в функціональності. Їх програмне забезпечення складне, але при цьому набагато вища і для поставлених завдання не підходить.

Далі розглянемо побудову таблиці SWOT-аналізу(матриці аналізу сильних(Strength) та слабких(Weak) сторін, можливостей(Opportunities) та загроз(Troubles) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз, сильних і слабких сторін (табл. 5.11).

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Не висока вартість 2. Універсальність 3. Простота у навчанні, можливість зміни параметрів 4. Вітчизняний засіб 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Менша функціональність, дорого модернізувати 2. Для досягнення якісної роботи потрібно провести практичні тестування і виявити помилки 3. Без джерел постачання компонентів, потрібно шукати нового постачальника
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Серійне виробництво 2. Співпраця з військово-промисловим комплексом для тестування та модернізація засобу 3. Співпраця з волонтерськими організаціями 4. Ріст інвестування 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока конкуренція 2. Недостатня модернізація 3. Невідповідність бажаній якості

Провівши SWOT-аналіз визначенні можливості, загрози які передбачаються сильними та слабкими сторонами. Слабкими сторонами є залежність від постачальників, від ціни на комплектуючі, а також недоступність авіаційних логістичних ланцюгів та проблем з Китайськими. Потрібно вживати заходів для поліпшення функціональності та загальних

можливостей системи, оскільки це має вплив на рівень її популярності. Важливо підтримувати стабільність цінової стратегії. Також слід проводити регулярні модифікації та оновлення програмного забезпечення.

Перейдемо до визначення альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту (табл. 5.13).

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Середня	4 міс.
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1 міс.
3	Залучення волонтерської діяльності та інвестицій	Середня	3 міс.

Провівши аналіз (табл.5.13), можна зробити висновок, що ймовірність впровадження волонтерської діяльності та отримання ресурсів є досить великою. Головним джерелом ресурсів є інвестиції, маркетингова або соціальна діяльність. Альтернативою може бути вихід на міжнародні ринки.

5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Проведемо вибір цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.14).

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Цільова група потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільового сегменту	Інтенсивність конкуренції	Простота входу у сегмент
1	Робототехніка	Так	Середня	Висока	Просто
2	Військова промисловість	Так	Висока	Висока	Просто
3	Волонтерство	Так	Висока	Висока	Просто

4	Прикордонники	Так	Низька	Середня	Складно
Як цільові групи обрано: волонтерство та військова промисловість					

Обрано як цільові групи волонтерів та військову промисловість, так як даний стартап-проект є більше можливостей реалізувати саме в цих сферах.

Перейдемо до визначення базової стратегії розвитку (табл. 5.15)

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні і позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Компенсація слабких сторін стартапу ринковими можливостями	Стратегія не диференційованого маркетингу	Низька ціна Низьке енергоспоживання	Стратегія диференціації

Як основну стратегію розвитку вибрано стратегію диференціації, оскільки вона дозволяє зосередити увагу на ключових характеристиках продукту, таких як його функціональність, якість, надійність і інші.

Визначаємо стратегію конкурентної поведінки (табл. 5.16)

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні	Шукати нових та забирати існуючих	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Ідея стартапу є не унікальною з точки зору функціональності, так як раніше вже існували системи, які виконували керувати БПЛА та передачею телефонії, але основною відмінністю даного проєкту є дешевизна та нова конструкція, яка дозволяє обійти аналогічні моделі по деяким технічним параметрам.

Визначаємо стратегії позиціонування стартап-проєкту (табл. 5.17), ця стратегія спрямована на формування ринкової позиції, що визначає, як споживачі мають ідентифікувати проєкт.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проєкту (три ключових)</i>
1	Доступність	Стратегія диференціації	Недорога система керуванням засобом, присутність відеозв'язку	Продуктивність Низьке енергоспоживання Ціна
2	Простота у використанні	Стратегія диференціації	Універсальність у застосуванні з постійним удосконаленням	Доступність Надійність

В ході виконання цього розділу було сформульовано та отримано систему рішень, щодо ринкової поведінки компанії. Обрано стратегію диференціації, така стратегія дозволить позиціонувати себе надійною, простою у використанні, універсальною та доступною.

5.4. Розроблення маркетингової програми та бізнес-моделі стартап-проєкту

Проведемо опис визначення ключових переваг концепції для потенційного товару стартап-проєкту (табл. 5.18).

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Універсальність використання системи керування	Дозволяє швидко навчати та використовувати засіб, можливість заміни компонентів, прошивки	Складальний механізм зменшує опір, що дає унікальні технічні параметри засобу
2	Хороша надійність та доступність	Низька собівартість при хорошій надійності	Оптимізація для зменшення собівартості товару
3	Адаптація при зміні умов поширення радіохвиль	Можливість забезпечення швидкою зміною каналів зв'язку, що дозволяє уникнути втраті засобу	Менші втрати засобів, здатність адаптації до екстремальних умов, що збільшує популярність серед споживачів

Ключовою перевагою можна назвати адаптацію при застосуванні на полі засобів, що спотворюють радіосигнал, оскільки це дає змогу використовувати продукт в повному діапазоні роботи сигналу, за будь-яких умов додаючи ретранслятор не особливо піднімаючи додаткові витрати.

Виконуємо опис трьох рівнів моделі товару (табл. 5.19).

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Автоматизована систему керування БПЛА від першої особи		
II. Товар у	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Ор

реальному виконанні	1. Функціональність	М	Тх
	2. Надійність	М	Тх
	3. Енергоспоживання	М	Тх
	4. Телефонія	М	Тх
	5. Економічність	М	Е
	Якість: постанова КМ №256		
	Пакування: поліпропілен, картон		
Марка: UA V			
III. Товар з підкріпленням	До продажу: перевірка на роботу сервоприводів, регулятора обертів, камери, налаштування		
	Після продажу: налаштування, підтримка операторів при виходу пристрою з ладу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: сертифікат на ТЗ			

В цьому розділі описано рівні моделі готового товару стартап-проекту. Після придбання засобу споживач отримує доставку товару, товар може йти в пластиковому кейсі або коробці з плівкою для захисту від ударів, також в комплекті може йти передавач, якщо нема наявного. Окрім цього в комплекті може бути коротка інструкція та гарантійний талон. Також для захисту проекту потрібно зафіксувати транспортний засіб відповідно до постанови кабінету міністрів №256 та отримати сертифікат на володіння ТЗ або запатентувати.

В наступному етапі визначимо межі встановлення ціни (табл. 5.20).

Таблиця 5.20. 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	10000-100000г	20000-50000г	10000-40000г	15000-25000г

Встановлена ціна на продукт 300-500ум.од. Така ціна відповідає характеристикам товару і є нижчою або аналогічною ціні на товари конкурентів, не говорячи про квадрокоптери. Для цього стартапу обраний

нижній ціновий сегмент, щоб засіб міг виконувати поставлені завдання при низькій вартості.

Виконаємо формування системи збуту для стартап-проєкту (табл. 5.21).

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Поставки в малих/середні кількостях	Відправка продукту, навчання збору та налаштування, виконання ремонтних зобов'язань	Нульового рівня	Пряма

Пряма система є оптимальною системою збуту. Відповідно до таблиці виробник являється безпосереднім каналом збуту даної пропозиції, про що вказує нульовий рівень глибини каналу збуту. Виробник виконує зобов'язання по консультації, первинного налаштування засобу.

Наступним етапом є опис концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.22).

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Потреба у виконанні поставлених завдань, стабільність роботи, хорошої якості сигналу	Соц-мережі, виставки і конференції	Доступність, надійність, виконання поставлених завдань	Пояснення переваг та важливості впровадження нових систем БПЛА для вітчизняного	Виступ на виставках, конференціях, заохочення внутрішніх волонтерів,

				виробництва	інвесторів
--	--	--	--	-------------	------------

Отримано маркетингову програму, що включає в себе аспекти товару, стратегії збуту, методи просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення. Вона ґрунтується на цінностях та потребах потенційних клієнтів, конкурентних перевагах ідеї, а також аналізі стану та динаміки ринкового середовища, де буде впроваджено проект. Крім того, концепція враховує обрану альтернативу ринкової поведінки. Маркетингова комунікація, у рамках цієї концепції, націлена на привертання нових клієнтів через рекламу, мобільний зв'язок, Інтернет та участь у виставках. [29].

Таблиця дозволяє зрозуміти загалом специфіку поведінки цільової аудиторії, волонтерів, інвесторів, позиціонування засобу, завдання та концепції щодо рекламування засобу. Цю таблицю слід використати для створення нових зв'язків, просування стартап-проекту за допомогою соц-мереж з метою залучення клієнтів та інвестицій.

Представляємо структуру бізнес-моделі (табл. 2.23) автоматизованої системи керування моделі авіаційного дрона від першої особи.

Табл. 5.23. Структура бізнес моделі засобу

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Взаємозв'язок з клієнтами	Споживчий сегмент
SpeedyBee, МАТЕК	1. Створення системи автоматизованого керування 2. Підтримка користувачів(на вчання, інформування) 3. Послуги з ремонту	1. Пропозиція є цінною в умовах обмеженості ресурсів, існуючі аналоги не мають інші політні можливості, що	1. Взаємовідно сини між клієнтами буде мати широкій діапазон послуг починаючи від постачання, закінчуючи налагодженням а також навчанням	1. Волонтерські об'єднання, компанії військово-промислового комплексу, військові

	обладнання	робить її унікальною.	спеціалістів	
	Головні ресурси 1. Політний контролер 2. FPV камера та передавач 3. Акумулятор 4. Електродвигун 5. Регулятор обертів	Модель має високий рівень зручності керування та може вироблятися серійно.	Канали збуту 1. Допомога волонтерським об'єднанням. 2. Співпраця і продаж військовим	
Структура собівартості 1. Разові витрати: розробка технічної документації, дослідження, обладнання 2. Постійні витрати: купівля компонентів до системи 3. Витрати змінні: обслуговування, комунальна оплата		Шляхи надходження доходу Дохід від продажу розроблених моделей, просування серед військових, волонтерів, новинних видань, виставок		

Далі розглянемо виробничий план стартапу. Сировина, матеріали та комплектуючі наведені (табл.5.24.):

<i>Вид сировини, матеріалу та комплектуючих</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Ціна за одиницю, грн</i>	<i>Умови постачання</i>
1. Контролер МАТЕК-f405	Mateksys	3000	Партіями
2. Двигун та регулятор	T-motor, Emax	2000	Партіями
3. Камера та передавач	Foxeer, Eachine	3000	-
4. Пінокартон	...	300	-
5. Акумулятор	FullyMax	3000-4000	-

6.Сервоприводи	Emax	50	-
7.Антени	Foxeer	300-1000	-

Отже з таблиці 5.24 можна зробити висновок, що для виготовлення апарату необхідно близько 13000 грн, ця цифра взято з урахуванням затрат на нинішній варіант, без обрахунку додаткових затрат на армування.

Необхідність у використанні додатковими технічними засобами розглянута (табл 5.25):

Таблиця 5.25. Потреба в обладнанні та технічних засобах

<i>Найменування обладнання</i>	<i>Кількість</i>	<i>Постачальник</i>	<i>Умови постачання</i>	<i>Вартість, грн</i>
1.Паяльники	1			200
2.Змінні головки	1			40
3.Передавач	1			5000
4.Приймач від камери	1			1000

В результаті можемо зробити висновок: для стартап-проекту необхідно ... одиниці обладнання, серед яких.

Далі проводиться оцінка вартості стартап-проекту. Для неї потрібно оцінити фактори успішності стартапу (табл.5.26). Показник фактору розраховується як добуток максимального значення фактору на значення фактору стартапу.

Табл.5.26. Оцінка факторів успішності стартапу[30]

<i>Фактори для порівняння</i>	<i>Діапазон</i>	<i>Стартап, у який заплановано інвестування</i>	<i>Фактор</i>
Розмір ринку	20% макс	125%	0,25
Сила управлінської команди	30% макс	125%	0,38
Продукт і	15% макс	100%	0,2

технологія			
Конкурентне середовище	20% макс	150%	0,3
Необхідність у додаткових раундах фінансування	5% макс	100%	0,1
Маркетинг, канали продажів та партнерство	10% макс	100%	0,1
Разом			1,33

Виходячи з таблиці можна підсумувати показник фактору і визначити вартість стартапу як добуток суми вартості стартапу на середню оцінку. Вартість стартапу = $1,33 * 350$ дол = 470 дол.

5.5. Висновки до 5 розділу

У цьому розділі розглянуто і описано стартап-проект для розробки автоматизованої системи керування БПЛА від першої особи.

У розділу розробка стартап-проекту було описано та оцінено доцільність та можливість створення стартапу на основі системи керування. Було приділено увагу питанням організації, побудови, вибору оптимальних рішень, стратегії, питанням маркетингу, економічної доцільності, ефективності просування ідеї, конкурентоспроможності та інші.

Проведено опис та аналіз ідеї стартапу де було розглянуто напрямки можливого застосування та переваг, які отримає клієнт при купівлі цієї продукції. Розглядаються техніко-економічні характеристики та оцінюються згідно рівня по відношенню до аналогів.

Визначено що стартап має низку сильних сторін, зокрема низьку вартість, а також нову функціональність, що дозволяє виконувати ті завдання, які не виконають інші засоби.

Проведено технологічний аудит ідеї стартапу, де було описано технології реалізації оптимальної ідеї. Було обрано використання системи для середньої дальності і ємності акумулятора.

Проведено аналіз ринкових можливостей, розглянуто та оцінено основних конкурентів та потенційних конкурентів у ніші. Розглянуто потенційні характеристики клієнтської аудиторії і її потреби щодо пропонованого товару. Розглянуто та оцінено фактори загроз та можливостей. Виконано ступеневий аналіз конкуренції на обраному ринку.

Детально розглянуто конкурентоспроможність проєкту і його фактори. Здійснено порівняльний аналіз сильних та слабких сторін. Виконано SWOT-аналіз.

Певну частину було присвячено розгляду і визначення ринкової стратегії для стартапу, у якості базової стратегії розвитку обрано стратегію диференціації, а у якості стратегії охоплення ринку стратегію недиференційованого маркетингу. Описано стратегію конкурентної поведінки.

Наступним етапом було розроблено маркетингову програму з визначенням ключових переваг концепції, описом трьох рівнів моделі товару, меж ціни, системи збуту.

Після створення маркетингової стратегії для проєкту визначено діапазон цін на продукт та ідентифіковані ключові фактори успішності стартапу. Ці важливі елементи допомогли у визначенні вартості стартапу, яка складає 470 доларів.

Визначено що даний стартап-проєкт має високий потенціал до забезпечення попиту, так як надає чудове рішення у сфері керування авіаційним дроном.

6.ВИСНОВКИ ПО ЗАДАЧІ

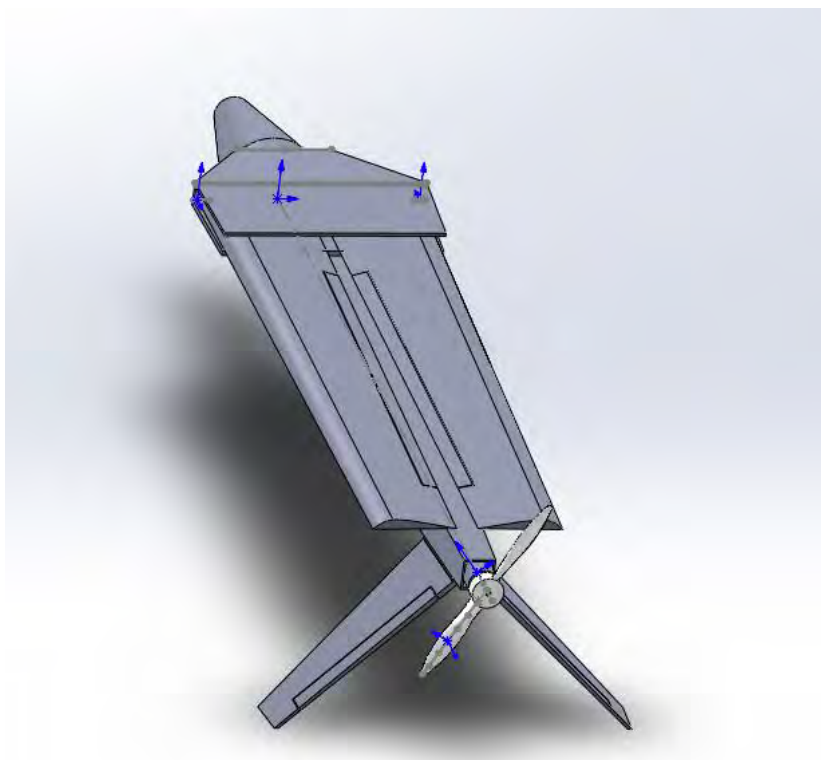


Рис. 6.1. В роботі спроектовано авіаційний дрон ударного типу, вигляд зі складеними крилами

В цій роботі було виконано:

- Розглянуто існуючі зразки БПЛА, які застосовувалися в минулому і розробляються в Українській галузі.
- Створено концепцію вузлів та елементів конструкції для реалізації завдання.
- Розроблено частини механізму конструкції, а саме: тих вузлів, які будуть давати змогу працювати механізму.
- Розглянуто можливі джерела живлення та системи контролю, які можливо використати в електричній схемі, описано переваги та недоліки.

Під час розробки були прийняті такі параметри:

- Крейсерська швидкість апарату становить 30м/с, якщо корпус виготовляти з пінокартону.
- Потенційна модель буде важити 1,5 кг
- Вага потенційної навантажувальної частини до 0,5 кг.
- Система матиме змогу виконувати політ з крилом у 2 різних положеннях: розкладеному та складеному при падінні.
- Вага електроніки 485г.
- Час автономної роботи становитиме 15хв 32с при використанні акумулятора об'ємом 3300 мАг.
- Відстань передачі сигналу до у випадку використання системи на Arduino – до 3 км, з використанням польотного контролеру – до 25 км.
- Механізм під'єднується гвинтовим з'єднанням для можливості переміщення та центрування ваги БПЛА.
- Орієнтовна вартість (з урахуванням ціни на комплектуючі та приблизної вартості решти матеріалів) становить 470 ум. од.

Для подальшої роботи:

- Необхідно створити кращу аеродинамічну форму, створити кращу схему деталей з використанням середовища CAD в Inventor («Генератор форм») та розробити додаткові симуляції в Solidworks Flow Simulation та SimulationXpress.
- Виготовити та протестувати модель, створити повноцінну конструкцію, що включатиме армування обшивки, каркас та ребра жорсткості крила.
- Розробити систему фіксації цілей в об'єктиві.
- Розробити систему кріплення та запуску моделі для уникнення аварій.

ДОДАТКИ

Додаток А

Програмний код для передавача

1 Доступ за домовленістю з авторами

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доповідь ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського академіка НАН М.З.Згуровського на сесії професорсько-викладацького складу, 31 серпня 2023 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://kpi.ua/2023-08-31-rector>

2. В Україні розробили комплекс РЕБ для захису від «Ланцетів» [Електронний ресурс]: Офіційний сайт інтернет-журналу Today. – Режим доступу:

<https://top.today.ua/ruskyj-v-ukrayne-razrobotaly-kompleks-reb-dlya-zashhyty-tankov-ot-lantsetov/>

3. Історія дронів: коли вперше розробили ці пристрої та яка їх роль у сучасній війні [Електронний ресурс]. Офіційний сайт інтернет-журналу Бровари&регіон. – Режим доступу:

<https://brovaryregion.in.ua/історія-дронів-коли-вперше-розробили/>

4. Preparation before first tactical mission across Suez canal(1969).[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Last_preparation_before_first_tactical_mission_across_Suez_canal_\(1969\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Last_preparation_before_first_tactical_mission_across_Suez_canal_(1969))

5. С. Макаров, В. Лебедєв, Є. Дроб. Удосконалення моделі міжсистемної взаємодії радіоелектронних засобів системи державного впізнавання і мереж мобільного зв'язку технології LTE у смузі частот 1427-1532 МГц. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Збірник «сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони» № 3 (45)/2022. С. 26. – Режим доступу:

<http://sit.nuou.org.ua/article/view/270053/267078>

6. Міночкін А. І., Сова О. Я. Аналіз використання безпілотних літальних апаратів у якості ретрансляторів тактичних мобільних радіомереж. Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 1. С. 61–70.

7. О.І.Тимочко, Д.Ю.Голубничий, В.Ф.Третяк. Класифікація БПЛА. Збірник наукових праць, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2007. С. 61-66. – Режим доступу:

<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0/content>

8. “Дешево Й Сердито”: ЗСУ Отримали Далекобійні Дрони-Камікадзе AQ 400 Scythe [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу Sundries. – Режим доступу:

<https://sundries.ua/deshevo-j-serdyto-zsu-otrymaly-dalekobijni-drony-kamikadze-aq-400-scythe-foto/>

9. Вітчизняний БПЛА “Postman” Вже Випробовують На Полігоні [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу Sundries. – Режим доступу:

<https://sundries.ua/vitchyznianyj-bpla-postman-vzhe-vyprovovuiut-na-polihoni-foto/>

10. Запущено серійне виробництво українських дронів cobra, собівартість яких \$2000. [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «Дзеркало тижня» . – Режим доступу:

<https://zn.ua/ukr/war/zapushcheno-serijne-virobnitstvo-ukrajinskikh-droniv-cobra-sobivartist-jakikh-2000.html>

11. Взаємодія із himars та захист від РЕБ: в Україні презентували новий дрон-розвідник [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «Дзеркало тижня» . – Режим доступу:

<https://zn.ua/ukr/TECHNOLOGIES/vzajemodija-iz-himars-ta-zakhist-vid-reb-v-ukrajini-prezentovali-novij-dron-rozvidnik.html>

12. Стійкий до російської РЕБ: український дрон пройшов комісію Міноборони [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу Hromadske. – Режим доступу:

<https://hromadske.ua/posts/stijkij-do-rosijskogo-rebu-ukrayinskij-dron-projshov-komisiyu-minoboroni>

13. Бобер (БПЛА) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://uk.wikipedia.org/wiki/Бобер_\(БПЛА\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Бобер_(БПЛА))

14. Крило літака [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

uk.wikipedia.org/wiki/Крило_літака

15. Особливості акумуляторів для радіокерованих моделей [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «Modelistam». – Режим доступу:

<https://modelistam.com.ua/ua/osobennosti-akkumulyatorov-dlya-radioupravlyaemyh-modelei-a-221/>

16. Capacitive Vs Thermal MEMS for High-Vibration Applications [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «Automation.com» – Режим доступу:

https://www.eenewseurope.com/en/white_papers/memsic-capacitive-versus-thermal-mems-for-high-vibration-applications/

17. Технічний паспорт політного контролеру виробника МАТЕК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.mateksys.com/?portfolio=f405-wte>

18. Микитченко Д. Датчики Холла, принцип дії та застосування [Електронний ресурс]. Курсова робота, СДУ, 2022. 1 с. – Режим доступу:

<https://ua-referat.com/uploaded/datchiki-holla-princip-diyi-ta-zastosuvannya/index1.html>

19. Waqas Ali, Haroon Farooq, Ali Raza. Single phase GSM based wireless energy metering with user notification system. International Symposium on Wireless Systems and Networks (ISWSN). 2017. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/figure/Microcontroller-interfacing-circuits-a-for-CT-and-b-for-PT_fig5_322436095

20. Flight Controller Explained: Understanding FPV Drone Control Systems [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «OscarLiang». – Режим доступу:

<https://oscarliang.com/flight-controller-explained/>

21. Варіант підключення та програмування радіомодуля NRF24L01 + Pa + LNA [Електронний ресурс]. Стаття на офіційному сайті порталу «Arduino». – Режим доступу:

<https://arduino.ua/art38-vot-moi-variant-podklucheniya-i-programmirovaniya-radiomodylya-nrf24l01palna>

22. nRF24L01 – How It Works Arduino Interface, Circuits, Codes [Електронний ресурс]. Офіційний сайт порталу «How to mechatronics». – Режим доступу:

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/>

23. Arduino Servo Motor Basics and Control [Електронне джерело]. Офіційний сайт порталу «MakerPortal». – Режим доступу:

<https://makersportal.com/blog/2020/3/14/arduino-servo-motor-control>

24. Phase Alternating Line [Електронний ресурс]. Офіційний сайт енциклопедії «Wikipedia». – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/PAL>

25. Ji Weilin. Civil UAV monitoring techniques [Електронний ресурс]. Презентація. ITU, 42 С. – Режим доступу:

<https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Documents/Events/2018/SMWE-China/Presentations/Day3-1000-1100-Civil%20UAV%20monitoring%20techniques-JiWeilin.pdf>

26. О.П. Яненко, С.М. Перегудов, К.Л. Шевченко. Радиометричні НВЧ методи та засоби вимірювання фізичних величин: навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 352 с.

27. Д. М. Шевель. Електромагнітна безпека. Київ «НТІ». Київ «ВЕК+», 2002. 189- 235 с.

28. Розроблення стартап-проекту. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей. Київ, НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2016. 27 с.

29 Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

30. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

31. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.