

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

Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр Бондаренко

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Літаки та вертольоти»

спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

на тему: «Мультикоптер із гібридною силовою установкою»

Виконав:

студент ІV курсу, групи АЛ-91

Аврамцев Дмитрій Сергійович _____

Керівник:

Доцент кафедри, к.т.н

Бондаренко Олександр Миколайович _____

Рецензент:

Професор, д.ф.-м.н., проф.

Чепілко Микола Михайлович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти –перший (бакалаврський)
Спеціальність –134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Олександр БОНДАРЕНКО

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Аврамцеву Дмитрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту «Мультикоптер із гібридною силовою установкою», керівник проєкту Бондаренко Олександр Миколайович, к.т.н., затвержені наказом по університету від «31» травня 2023 р. №2085-с
2. Термін подання студентом проєкту 16 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до

проєкту: _____

3.1 Висота польоту $H=0...300\text{м.}$

3.2. Максимальна швидкість польоту $V=$ км/год. _

3.3. Вага корисного навантаження не менше $m_{\text{пол}} = 20$ кг.

3.4. Тривалість польоту не менше $t_{\text{пол}} = 50$ хв.

3.5. Дальність польоту – 50 км

3.6. Можливість передавання керування

3.7. Тип силової установки – гібридна.

4. Зміст пояснювальної

записки: _____

4.1. Вибір варіанту побудови.

4.2. Опис функціональної схеми та конструкції.

4.3. Опис тактики використання

4.4. Розрахунки основних характеристик.

4.5. Розроблення програмного забезпечення.

4.6. Розроблення технології та оснащення

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

5.1 Огляд аналогів.

5.2 Тактики використання

5.3 Результати розрахунку.

5.4 Конструкція латального апарату.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 1 лютого 2023
р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	<i>Підбір та аналіз літератури</i>	<i>до 15.03.2022 р.</i>	
2.	<i>Огляд та аналіз даних аналогічних літальних апаратів</i>	<i>до 25.03.2022 р.</i>	
3.	<i>Розроблення конструкції.</i>	<i>до 10.04.2022 р.</i>	
4.	<i>Розрахунок основних характеристик</i>	<i>до 20.04.2022 р.</i>	
5.	<i>Розроблення програмного забезпечення</i>	<i>до 5.05.2022 р.</i>	
6.	<i>Розроблення тактики використання</i>	<i>до 15.05.2022 р.</i>	
7.	<i>Розроблення технології виготовлення</i>	<i>до 24.05.2022 р.</i>	
8.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів</i>	<i>до 27.05.2022 р.</i>	
9.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів. Відгук керівника ДП</i>	<i>до 06.06.2022 р.</i>	
10.	<i>Перевірка ПЗ до дипломного проекту на академічну доброчесність (плагіат)</i>	<i>до 10.06.2022 р.</i>	
11.	<i>Подання дипломного проекту на рецензування</i>	<i>до 12.06.2022 р.</i>	
12.	<i>Захист дипломного проекту</i>	<i>з 14.06.2022 р. по 17.06.2022 р.</i>	

Студент _____

Дмитрій АВРАМЦЕВ

Керівник _____

Олександр БОНДАРЕНКО

Пояснювальна записка
До дипломного проекту
На тему: «Мультикоптер із гібридною силовою установкою»

Київ 2023

Анотація

Пояснювальна записка до ДП «Мультикоптер із гібридною силовою установкою» містить 60 аркушів тексту, 27 ілюстрацій та 17 бібліографічних посилань.

Метою роботи є отримання практичних та теоретичних навичок розрахунку політних характеристик мультикоптера з гібридною силовою установкою. Важливим етапом є закріплення теоретичних знань і практичних навичок з усіх дисциплін навчального плану, оволодіння сучасними методами, формами організації переддипломної роботи в галузі будування літальних апаратів.

Етапами роботи є огляд аналогів, визначення необхідних параметрів ЛА, визначення технології налаштування та відлагодження політного контролера БПЛА для роботи з електрогенераторною установкою.

Ключові слова: БПЛА, електрогенераторна установка, гвинтомоторна група, наванження, політний контролер.

The explanatory note to the DP "Multicopter with a hybrid power plant" contains 60 pages of text, 27 illustrations and 17 bibliographic references.

The purpose of the work is to obtain practical and theoretical skills for calculating the flight characteristics of a multicopter with a hybrid power plant. An important stage is consolidation of theoretical knowledge and practical skills from all disciplines of the curriculum, mastering modern methods, forms of organization of pre-diploma work in the field of aircraft construction.

The stages of the work are a review of analogues, determination of the necessary parameters of the aircraft, determination of the technology for setting up and debugging the UAV flight controller for work with an electric generator.

Key words: UAV, electric generator installation, propeller-motor group, propulsion, flight controller.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень та позначень.....	9
ВСТУП.....	10
1. ОГЛЯД АНАЛОГІВ	12
1.1 Висновки по розділу.....	15
2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	16
2.1 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів конструкції БПЛА.....	18
2.2 Вибір аеродинамічної схеми мультикоптера.....	19
2.3 Пошук та аналіз гібридних установок для БПЛА.....	26
2.3.1 Бензиновий електрогенератор H2 Plus Hybrid Engine.....	27
2.3.2 Бензиновий електрогенератор Foxtech Halo-6000.....	29
2.3.3 Бензиновий електрогенератор Sanjing G12000 10KW.....	32
2.4 Визначення злітної маси мультикоптера.....	33
2.5 Визначення параметрів двигунів та лопатей, керуючих модулів. Розрахунок політного часу БПЛА.....	34
2.6 Висновки по розділу.....	36

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ Изм.Лист№ докумПодписьДатаРазраб Аврамцев Д.С. Мультикоптер
із гібридною силовою установкою

ЛитераЛистЛистовПровБондаренко О.М КПП ім. Ігоря Сікорського

Каф. АРБ Гр. АЛ-91 Н. Контр. УтвБондаренко О.М

3.ТЕХНОЛОГІЯ	НАЛАШТУВАННЯ	ПРОГРАМНОГО	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....			39
3.1 Технологічні характеристики автопілотів з підтримкою відкритого програмного забезпечення Ardupilot.....			41
3.2 Вибір ПК відносно поставленої технічної задачі.....			42
3.3.1 Встановлення ПЗ Ardupilot для схеми Octa-quad.....			48
3.3.2 Базові налаштування ПК під даний тип рами та гвинто-моторної групи.....			51
3.3.3 Інтегрування та налаштування електрогенераторної установки в екосистемі ПК БПЛА.....			53
3.3.4 Налаштування системи лідарів для відстежування рельєфу місцевості за траєкторією слідування.....			55
3.4 Висновки по розділу.....			57
ВИСНОВОК.....			58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....			59

Перелік умовних скорочень та позначень

ТЗ – Технічне завдання;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ПК – польотний контролер;

МЖ – Модуль живлення;

КА – конструкція апарату;

ППБ – Підвісні паливні баки;

КН – Корисне навантаження;

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Мультикоптери із гібридною силовою установкою – це наступна ітерація БПЛА, які використовують не тільки акумуляторні батареї, а ще і енергію, яка виробляється генератором прямо на борту.

Історично всі моделі БПЛА на початкових етапах розвитку мали акумулятори, що містять в собі невелику кількість енергії, що дозволяло перебувати в повітрі даному типу максимально 15-20хв. З розвитком технологій, створенням більш енергоємних АКБ дані характеристики вдалося збільшити майже удвічі – до 40хв. Але цього все одно недостатньо для виконання польотів із корисним навантаженням, доставки його в точки призначення на великі відстані.

Для забезпечення борта енергією протягом всього польоту, необхідно правильно підібрати та розрахувати його силові компоненти, які відповідатимуть за рушійну силу.

Даний тип апарату зможе виконувати широкий спектр робіт – від фарбування вертикальних поверхонь, встановлення великих камер нічного бачення з оптичним зумом, інтеграція системи ідентифікації вибухонебезпечних предметів методом електромагнітно-пульсуючого приладу (спільно із Інститутом геології НАН України), тушіння пожарів в багатоповерхівках із винятковою точністю до скидання потужних боєприпасів на позиції противника або доставки корисного вантажу у визначені місця для цілей наших військових.

Для простоти переобладнання можуть використовуватись швидкоз'ємні модулі корисного навантаження. Під кожен тип корисного навантаження – свій модуль із системою фіксації, лінією передачі даних та команд. Це

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

також дозволить нам широко використовувати дану платформу – в залежності від потреб користувача. Якщо замовником та користувачем буде держава, то для цих мультикоптерів постійно буде сфера застосування. Тобто, це максимально ефективний продукт із точки зору затрат коштів та експлуатації.

Теперішній стан сфери виробництва БПЛА мультироторного типу. На даний момент загальними лідерами із виробництва є Китай та Сполучені Штати Америки. В обох країнах виробляється найбільша кількість цих дронів та проводиться величезна кількість тестувань та випробовувань. Але технічні гіганти досі не виробляють дрони із гібридною установкою та високим рівнем вантажопідйомності. Є декілька моделей агродронів та транспортних дронів, але вони існують в малій кількості через неактуальність їх застосування.

Метою дипломного проекту є створення багатофункціонального мультикоптера із гібридною силовою установкою, розрахунок та підбір його складових компонентів та усіх інших елементів.

Ціллю даного дипломного проекту є отримання високоефективної платформи, що зможе виконувати широкий спектр задач.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд аналогів. Переваги та недоліки різних моделей.

Гібридний мультикоптер - це тип безпілотного літального апарату (БЛА), який поєднує в собі дві або більше різних силових установок для польоту. Зазвичай гібридний мультикоптер поєднує електричний привід з іншим типом силової установки, такою як двигун згоряння внутрішнього згоряння (ДВЗ) або паливний елемент.

Така комбінація різних силових установок дозволяє гібридному мультикоптеру використовувати переваги обох систем. Наприклад, електричний привід може забезпечити тихий та екологічно чистий політ, а силова установка з ДВЗ може забезпечити більшу дальність польоту або підвищену підйомну здатність.

Гібридні мультикоптери широко застосовуються в різних областях, включаючи дослідження, моніторинг, рятувальні операції та комерційні застосування. Їхні можливості залежать від конкретної конфігурації та силових систем, використовуваних у кожному окремому випадку.

Розглянемо та проаналізуємо характеристики одного з представлених продуктів на ринку – Foxtech Thor 210 Hybrid Hexacopter.

Маса корисного навантаження, кг	10
Потужність генератора, кВт	6
Злітна вага, <= кг	56
Об'єм паливного баку, л	14.5
Крейсерська швидкість, км/год	24
Максимальна швидкість, км/год	36
Висота польоту макс, м	3000
Час польоту після закінчення палива, сек.	90
Максимальна час польоту	2 год 30хв

Табл. 1. Характеристики Foxtech Thor 210 Hybrid Hexacopter[1]

Foxtech Thor 210 Hybrid Hexacopter

FOXTECH Thor 210 Hybrid hexacopter is a long endurance heavy lift hexacopter equipped with 6kW gasoline-electric hybrid power system for transportation.



2000mm Wheelbase	36kg Basic Empty Weight	20kg Max Payload
5-10m/s Flying Speed	2.5h Endurance@10kg Payload	700g/kWh Fuel consumption

Рис. 1 Foxtech Thor 210 [1].

Цей гібридний мультикоптер здатний переміщувати 10кг корисного навантаження та 14.5л палива. Тип палива, який використовується в гібридній установці дрона – бензин марки А-92. Схема побудови – рама типу Х, гексакоптер. Використовується автопілот Pixhawk Cube Orange або CUAV X7+ Pro, в залежності від моделі. Паливні баки розташованні між стійками кріплення шасі, що зміщує центр маси вниз відносно площини дрона. Застосовується генератор, потужність якого сягає 6кВт на виході. Реалізоване водяне охолодження двигуна із розташуванням 2-х радіаторів на променях, під площиною обертання гвинтів. Дане технологічне рішення забезпечує ефективне охолодження антифризу в системі та швидке розсіювання тепла.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк. 9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з ілюстрацій, ми можемо побачити декілька технологічно доцільних рішень, а саме: розташування електрогенераторної установки шляхом фіксації до основної пластини рами та рознесення баків палива на стійки шасі.

Переходимо до аналізу наступної моделі - Yanga YD6-1600L Hybrid Hexacopter.

Виробник позиціонує даний БПЛА як універсальну платформу для геодезії, картографування та рятувально-пошукових робіт. Виконаний із вуглецевого волокна, що робить його міцним та легким водночас. Корпус апарату є водостійким, що дозволить виконувати роботи в несприятливих для інших дронів умовах. Час польоту із корисним навантаженням в 5кг дорівнює 2 годинам.

Інстальовано політний контролер Pixhawk Cube Orange та цифрову СУ БПЛА та передачі відеосигналу на частотах 806-826MHz або 1427.9-1447.9MHz. Дані частоти є доволі привабливими з огляду на те, що вони є непопулярними серед користувачів комерційних дронів. Це, у свою чергу, означає що вони будуть менш вразливі до дії ворожого засобу радіоелектронної боротьби. Частоти 1427.9-1447.9MHz є віддаленими від частот GPS L1 1575.42MHz \pm 12 MHz. Також версія на 806-826MHz є віддаленою від стандартних частот керування 868-885MHz та 915-932MHz. Даний тип БПЛА можна також використовувати у ході війни, що зараз триває.

Маса корисного навантаження, кг	5
Потужність генератора, кВт	4.2
Злітна вага, <= кг	33.4
Об'єм паливного баку, л	9
Крейсерська швидкість, км/год	24
Максимальна швидкість, км/год	36
Висота польоту макс, м	1000
Час польоту після закінчення палива, сек.	90
Максимальна час польоту, год	2

Табл. 2. Характеристики Yangda 1600L Hybrid [2].

										Арк.
										9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата						

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

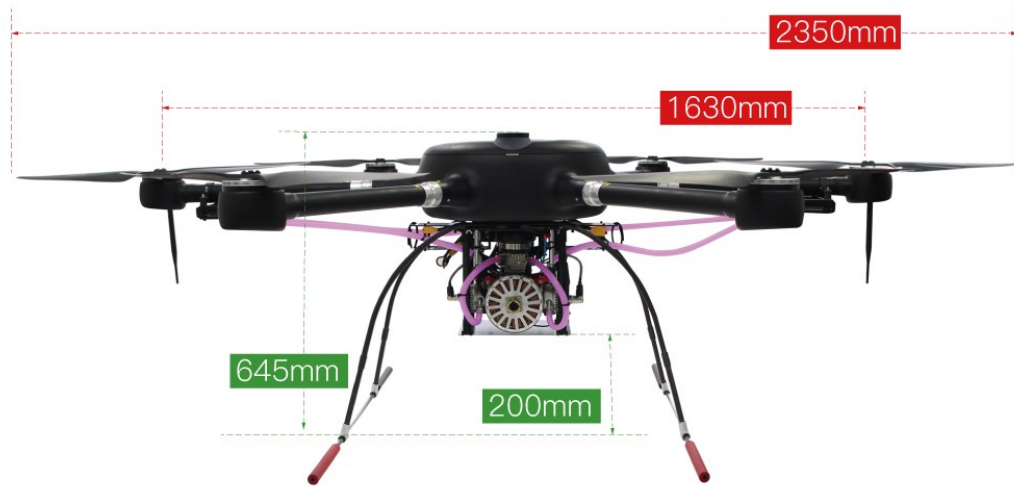


Рис.2. Yangda 1600L Hybrid [2].

Отже, до переваг мультикоптера з гібридною електрогенераторною установкою можна віднести:

- Можливість переміщення важких вантажів на велику відстань;
- Відсутність проблеми переохолодження елементів акумулятора, через що зменшується фактична ємність та політні характеристики;
- Можливість використання БПЛА як платформи для виконання різних типів завдань.

1.1. Висновки по розділу.

У цьому розділі було проаналізовано та досліджено низку аналогів літальних апаратів, в яких застосовується гібридна силова установка. Також були розглянуті встановлені на них СУ, радіокерування та обміну даними. Взято до уваги їх переваги та недоліки.

					АЛ9101.10.02.00.00ПЗ	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Конструкторська частина.

Розробка мультикоптера з гібридною силовою установкою включає в собі роботу над конструкторською частиною, яка охоплює проектування, розробку та інтеграцію різних компонентів для забезпечення ефективної та надійної роботи системи. Основні складові конструкторської частини розробки мультикоптера з гібридною силовою установкою включають наступні аспекти:

1. Розрахунок системи енергопостачання: Конструкторська частина передбачає аналіз та розрахунок потужності, енергоефективності та живлення системи. Це включає вибір інтегрованої силової установки, такої як комбінація електричного двигуна та ДВЗ або паливного елемента, а також батареї або іншого джерела живлення.

2. Дизайн рами та конструкції: конструкторська робота включає проектування легкої, міцної та жорсткої конструкції фрейму мультикоптера. Використовуються легкі, але міцні матеріали, такі як вуглецеві волокна або алюміній, для забезпечення оптимального співвідношення між масою і міцністю.

3. Інтеграція системи керування: конструкторська робота включає проектування та інтеграцію системи керування, яка об'єднує компоненти, такі як автопілот, гіроскопи, акселерометри та інші датчики, щоб забезпечити стабільний польот та точне керування.

4. Розміщення компонентів: Важливо розташувати компоненти, такі як: двигуни, батареї, електрогенераторна установка, ППБ, електроніка та інші елементи таким чином, щоб забезпечити баланс і стійкість БПЛА в повітрі.

Тестування та сертифікація мультикоптера з гібридною електрогенераторною установкою є важким та відповідальним процесом, спрямованим на перевірку безпеки, надійності та відповідності продукту стандартам і вимогам. Основні етапи тестування та сертифікації можуть включати такі:

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціональні тести: Проводяться для перевірки роботи всіх компонентів системи, включаючи електрогенератор, батареї, електроніку керування, пропелери та інші елементи. Ці тести включають запуск, зупинку, переключення між режимами роботи, перевірку ефективності системи та інші функціональні параметри.

Навігаційні тести: здійснюються для перевірки точності і надійності системи навігації, включаючи GPS, гіроскопи, акселерометри та інші датчики. Це включає перевірку стабільності польоту, точності позиціонування, контроль за орієнтацією та інші навігаційні функції.

Випробування на безпеку: проводяться для перевірки безпеки використання мультикоптера з гібридною електрогенераторною установкою. Це включає перевірку стійкості в різних режимах польоту, аварійних ситуацій, автоматичних процедур безпеки, захисту від перегріву, контролю за живленням та інші аспекти безпеки.

Випробування на тривкість та надійність: ці тести проводяться для перевірки тривкості та надійності мультикоптера з гібридною електрогенераторною установкою в різних умовах. Вони включають довготривале випробування, роботу в екстремальних умовах (наприклад, висока температура, холод, вітер), перевірку зносу компонентів та системи загалом.

Сертифікація: після успішного проходження тестів мультикоптер може бути підданий процедурі сертифікації, що підтверджує відповідність продукту встановленим стандартам і правилам. Сертифікація може проводитись органами влади або авторитетними організаціями в галузі авіації та безпілотних систем.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо враховувати, що тестування та сертифікація можуть зайняти значний час і вимагати великих зусиль для забезпечення високої якості та безпеки продукту перед його використанням на практиці.

2.1 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів конструкції БПЛА

Розміри та вага: Важливим параметром є компактність та легкість конструкції, оскільки вона впливає на портативність та маневреність БПЛА. Розміри і вага також можуть впливати на максимальний час польоту та навантаження, яке може нести БПЛА.

Матеріали: Вибір матеріалів для конструкції БПЛА впливає на міцність, вагу та стійкість до зовнішніх факторів. Зазвичай використовуються легкі та міцні матеріали, такі як карбонові волокна, алюміній, магній та пластик.

Система живлення: Гібридна силова установка може включати комбінацію батарейного блоку та генератора. Аналізується ємність батарейного блоку, енергоефективність генератора, швидкість заряджання та можливість переключення між режимами живлення.

Мотори та пропелери: Досліджуються типи моторів та їх ефективність, швидкість реакції, ступінь нагрівання, шумові характеристики, а також вибір пропелерів для оптимальної стабільності та тяги.

Автономність та автоматизація: Розглядаються можливості автономної роботи БПЛА, включаючи системи навігації, автоматичне

					<i>AL9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

управління, виявлення перешкод та інші функції. Аналізується точність навігації, швидкість обробки даних та можливості програмування.

Система стабілізації: Вивчаються системи стабілізації та управління, включаючи гіроскопи, акселерометри, барометри та інші датчики. Аналізується точність стабілізації, швидкість реакції та можливості коригування положення БПЛА.

Конструкція корпусу: Розглядаються особливості конструкції корпусу БПЛА з урахуванням монтажу компонентів, захисту електроніки, можливості розбирання для транспортування та обслуговування.

Аналіз конструктивно-технологічних параметрів допомагає визначити ефективність, функціональність та безпеку мультикоптера з гібридною силовою установкою, а також виявити можливості для подальшого вдосконалення та оптимізації.

2.2 Вибір аеродинамічної схеми мультикоптера

Найпоширенішими із мультикоптерів є звичайні квадрокоптери. Це всім знайома схема, де на платформі встановлено 4 двигуни, що обертаються по діагоналі в одному напрямі. За допомогою зміни швидкості обертання двигунів, змінюються вектори тяги та моменти сили відносно осі дрона.

Дуже часто використовуються в користувацькій, комерційній та військових сферах. Є простими в експлуатації. Але вихід із ладу одного двигуна в польоті призводить до втрати борту, що є неприпустимим у нашому варіанті.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3 DJI Matrice, квадрокоптер[3].

Наступний варіант, який ми розглянемо, є гексакоптером. Відрізняється від квадрокоптера більшою кількістю гвинтів (6 замість 4-х), конструкцією та стійкістю до зовнішнього середовища.

Переваги

гексакоптера:

- Більша стійкість: Гексакоптер має шість пропелерів, що забезпечує більшу стійкість та продовження польоту в разі випадкової відмови одного з моторів. Це робить його більш надійним у повітрі та дозволяє продовжувати політ навіть при непередбачуваних поломках.
- Вища підйомна здатність: Завдяки більшій кількості моторів гексакоптер може піднімати більші вантажі в порівнянні з квадрокоптером. Це робить його корисним у випадках, коли потрібно підняти важкі камери або додаткове обладнання.

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата					

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

- **Більша маневреність:** Додаткові два пропелери гексакоптера надають йому більшу маневреність та стабільність в повітрі. Він може керуватися більш точно та виконувати всі дії плавніше.
- **Більше енергоефективність:** Завдяки більшій кількості моторів, це дозволяє використовувати їх в найбільш енергоефективному режимі, при малих оборотах.

Недоліки гексакоптера:

- **Вища складність конструкції:** Гексакоптер має складнішу конструкцію та більше компонентів порівняно з квадрокоптером. Це може призводити до складнішого монтажу та обслуговування.
- **Вища вартість:** У зв'язку з більшою кількістю моторів та компонентів, гексакоптери часто коштують дорожче, ніж квадрокоптери. Це може бути фактором, що впливає на вибір для деяких користувачів.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4. DJI Agras T16, сільськогосподарський гексакоптер [4].
Октокоптер – це тип мультикоптера, який має вісім моторів із пропелерами.

Переваги:

- Велика підйомна здатність: Октокоптер має вісім моторів, що дозволяє йому піднімати важкі вантажі. Це робить його корисним для комерційних застосувань, таких як доставка товарів, обприскування полів або виконання робіт у висотній забудові.
- Безпека в разі випадкових поломок: Октокоптер має більше пропелерів, що забезпечує додатковий резерв у разі випадкових поломок. Якщо один з пропелерів відмовить, решта можуть продовжувати робо-

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9101.10.02.00.00ПЗ				

ту, що дозволяє октокоптеру продовжувати польот або повернутися в безпечне місце посадки. В моїй практиці була така ситуація, коли при роботі в коптера «зняло» двигун із променя, але йому вдалось повернутись в точку зльоту неушкодженим.

Недоліки октокоптера:

- Складніша конструкція та обслуговування: Більша кількість моторів та компонентів робить конструкцію октокоптера складнішою. Це призводить до складнішого монтажу, обслуговування та ремонту. Під час виконань регламентних робіт витрачається більша кількість часу, ніж на попередні моделі дронів.
- Вища вартість: У зв'язку з більшою кількістю моторів та електроніки, октокоптери часто коштують дорожче, ніж квадрокоптери або гексакоптери. Також при падінні даного типу літального апарату, необхідно розуміти, що за ремонт необхідно було заплатити від 1000\$.
- Великі розміри та незручність при транспортуванні: Завдяки більшій кількості моторів, пропелерів, октокоптери зазвичай мають більші розміри та можуть бути менш зручними для транспортування порівняно з меншими мультикоптерами. Це може обмежувати їх використання у певних ситуаціях, де компактність та портативність є важливими факторами. Хоча вони і складаються, але все одно є громіздкими та важкими.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 5. Октокоптер DJI Agras MG1-P [5].

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.4. Octo-quad DJI Agras T40 [6].

Виходячи з аналізу всіх можливих конструктивних схем для вантажних дронів, найоптимальнішим варіантом є «Octo-quad». Він є октокоптером, двигуни якого розташовані попарно співвісно, що забезпечує його менші розміри при вищій ефективності в польоті. Також це полегшує транспортування і зменшує час підготовки до польоту. Дана схема поєднує в собі компактність квадрокоптера та переваги октокоптера. Тобто при виході з ладу 2-3 двигунів (тільки на різних променях), він все одно зможе виконати безпечну посадку з мінімальними пошкодженнями.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Пошук та аналіз гібридних установок для БПЛА

Пошук та аналіз електрогенераторних установок для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є важливим етапом в розвитку цієї технології. Завдяки електрогенераторним установкам, БПЛА отримують можливість продовжити тривалість польоту та розширити свої можливості у різних сферах застосування. Це відкриває широкий спектр можливостей для різних галузей, таких як землеробство, моніторинг навколишнього середовища, рятувальні операції та багато інших.

Перший етап пошуку електрогенераторних установок для БПЛА полягає у визначенні потреб та вимог, які ставляться до системи живлення. Це включає аналіз типу БПЛА, його розмірів, призначення, тривалості польоту, максимальної швидкості, навантаження та інших параметрів. Критичні фактори, такі як енергоефективність, вага, розмір та безпека, враховуються при виборі електрогенераторної установки.

Потім проводиться аналіз доступних типів електрогенераторних установок, їх переваг та недоліків. Одним з найпоширеніших варіантів є комбінація батарейного блоку та генератора. Батарейний блок забезпечує енергію для польоту в режимі електричного приводу, тоді як генератор може надавати електроенергію для підзарядки батареї під час польоту або для подовження часу польоту.

При аналізі електрогенераторних установок необхідно враховувати такі фактори, як ефективність генератора, максимальна потужність, вага, розмір та режими роботи. Ефективність генератора впливає на його здатність ефективно перетворювати рухову енергію у електроенергію. Максимальна потужність визначає, яку електроенергію може надавати генератор, що впливає на тривалість польоту та можливість нести додаткове навантаження. Вага та розмір мають значення для

					АЛ9101.10.02.00.00ПЗ	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

збалансованості БПЛА та зручності транспортування. Також варто враховувати можливість роботи в різних режимах, наприклад, режимі заряду, режимі резервного живлення або режимі енергії від генератора.

Для проведення аналізу електрогенераторних установок можна використовувати різні методи, такі як математичні моделі, комп'ютерне моделювання або експериментальні дослідження. Це допомагає визначити оптимальний варіант, який задовольняє всі вимоги та має найкращі характеристики для конкретного БПЛА.

У підсумку, пошук та аналіз електрогенераторних установок для БПЛА є важливим кроком в розвитку цієї технології. Вибір оптимального рішення залежить від потреб та вимог до системи живлення, а також враховує переваги та недоліки доступних електрогенераторних установок. Глибокий аналіз технічних характеристик, ефективності та безпеки допомагає забезпечити надійну та продуктивну роботу БПЛА з гібридною електрогенераторною установкою.

2.3.1 Бензиновий електрогенератор H2 Plus Hybrid Engine

Даний електрогенератор забезпечує систему живлення дрона вольтажем 48V (12S) та безперервною потужністю в 1.9кВт.

триває.

Вага, кг	5.4кг (без батарей)
Потужність генератора, кВт	1.9кВт безперервно/2.4кВт максимально
Злітна вага БПЛА з цією установкою, <= кг	20кг
Розмір (Д x Ш x В)	360*216*260мм
Висота польоту макс, м	1000
Тип палива	A-95 або вище
Витрата палива, г/кВт	950

Вихідна напруга

12S (DC 48V)

Табл. 2.3.1 Характеристики електрогенераторної установки H2 Hybrid Engine [5].

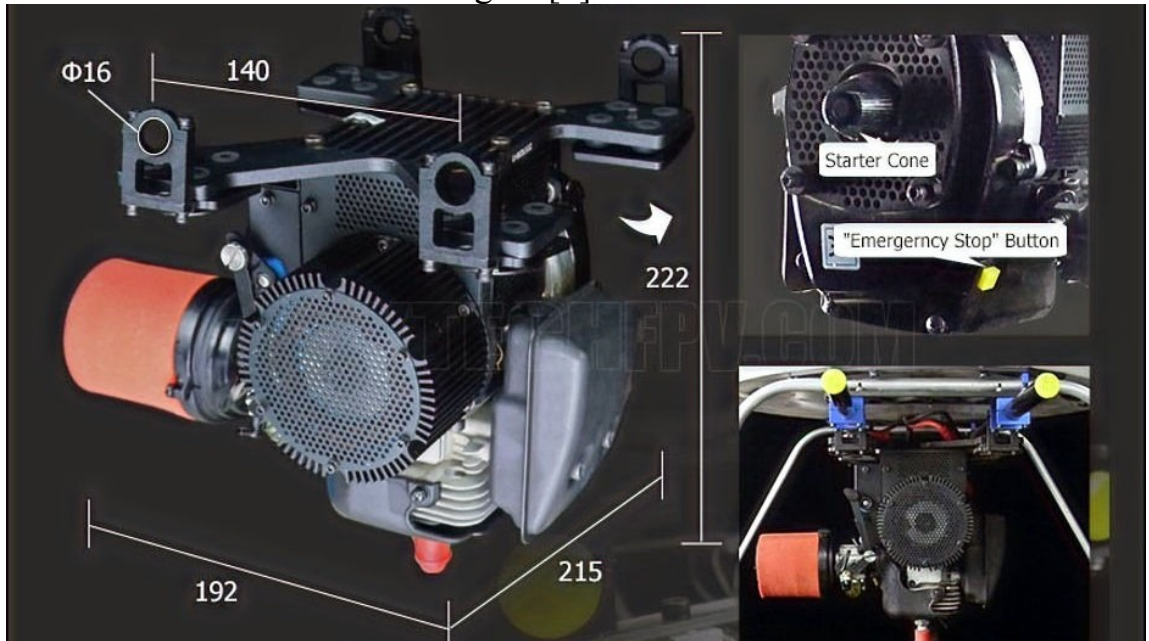


Рис. 2.3.1 H2 Hybrid Engine та його геометричні параметри [5].

Richen Power
H2 UAV Generator with EFI

Read This First

H2 EFI

English

This manual can be downloaded from the following website:
<http://www.richenpower.com/services/>

CONTACTS:
John Li
Sales Manager
Email: info@richenpower.com
Mobile: +86-138-1022-6700 Skype
Desk: +86-10-6776-0657

Download user manual and service/repair information on
richenpower.com

1 Getting Started

3 Maintenance

Checking the bundled items

- H2 w. EFI (1)
- Fuel pump (1)
- LiPo Battery 6S (2)
- Manual (this)

2 Operation

4 Trouble Shooting

Complimentary Accessories

- Fuel Mixer (1) *
- Oil (1) *
- Fuel Tank 4.3 liter (1) *
- Fuel Level Sensor (1) *

*Accessories are consumable items, available at <http://stores.ebay.com/RichenTech>

Specification

H2 EFI	
Weight	5.4kg(11.9lbs) without batteries
Power	1.9kW(2.6hp) Continuous
Dimension (L x W x H)	360 x 216 x 260 mm/14 x 8.5 x 10 in
Applicable UAV Types	Multipcopters & VTOL Fixedwings
Max. Take-off Weight	20kg (44lbs) or UAV suggested
Output Voltage	12 S (48V)
Fuel consumption	950 g/kw·h (hovering 2.5 Liter/h)
Service Temperature	-20 ~ 40 °C / -4 ~ 104 °F
Power as altitude	1.9kW/3000m; 1.5kW/1500m; 1.4kW/2000m
Rotating direction	Clock wise (view from starter)
Fuel (gasoline)/25:1	Automotive #95 or above + 2T oil

Share information with Flight Controller

H2 can share running status and errors information with Flight Controller via #5 wire. The transmission protocol is TTL and

3 ENGINE RUNNING-IN

Running-in is completed. Plug-in and play.

Operation

1 STARTING

- Before every start, Check if the filter is clogged. Check muffler bolt. (Fig.1)
- Power on. Make sure the screen displays 'IDLE' and the LED on H2 is 'solid green'(Fig.2). If not, please see Trouble Shooting chapter.
- Pull the starter quickly until the engine start (Fig.3)
- If the engine does NOT start after 5 times of pull, please check the fuel supply and dry spark plug (see trouble shooting).
- Operate engine for a few minutes for the warming up. The battery will be charged automatically.
- Make sure the LED is 'solid green'. Monitor the screen (Fig.4). If 'IDLE' or 'RUN' displayed, it's ready for takeoff. If 'CHARGE' displayed, please wait a few minutes for batteries charging until 'IDLE'

Fig1 Filter muffer bolt Push the cover and open

Fig2 on/off IDLE

Fig3

Fig4a IDLE RUN CHARGE BALANCE
By RichenPower
IDLE S:0000 V:48.57 Running hours
RPM Voltage Hhh:mm:ss
Firmware version Vb.1.0
0000
Hours to maintain Generator output Power

Fig4b

2 FUEL

Installing H2 to UAV, default is suspended

Units: mm

Pump position: fuel pump must be installed in the lower part of the tank. After refueling, make sure the filter is fully filled with fuel, otherwise the air in pipe

NOTES: default mount is suspended. Other modes may lead to damper failure

NOT: Installation may differ from UAVs

NOTES: Removing muffler or gasket lead to derated power. Check muffler bolts before use.

Using Fuel Mixer to mix gasoline and oil

- Filling gasoline (octane over 95) until Mixer mark.
- Filling oil *** until Mixer mark
- Up-side down to

Рис. 2.3.2 H2 Hybrid Engine та його інструкція [5].

Даний тип установки має можливість «спілкуватись» з ПК. Він обмінюється даними, визначає частоту обертів двигуна, температуру

Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

Арк.

9

вихлопних газів, потужність вихідної енергії. Можливий дистанційний запуск установки для прогріву акумулятора.

2.3.2 Бензиновий електрогенератор Foxtech Halo-6000

Генератор Halo-6000 використовує двигун з системою електронного впорскування палива та систему водяного охолодження.

Даний тип двигуна може автоматично регулювати співвідношення палива та повітря за допомогою електронних засобів керування, щоб підтримувати оптимальні умови згоряння та визначати точну кількість палива, яку має подавати інжектор. Завдяки оптимізації співвідношення повітря/паливо та моменту запалювання двигун EFI усуває випадкові зупинки двигуна та інші проблеми, пов'язані з неоптимальним співвідношенням, таким чином підвищує надійність і скорочує час і витрати на технічне обслуговування.

Обов'язково: моторне мастило, яке допускається до використання, має бути Motul 710 2T.

Вага, кг	9.8
Потужність генератора, кВт	6.0
Швидкість холостого ходу, об/хв	5000
Розмір (Д x Ш x В)	320*290*230мм
Висота польоту макс, м	3000
Тип палива	A-95 або вище + 2T масло, 40:1
Спосіб запуску	Сигналь по PWM або CAN шині
Витрата палива, г/кВт	700
Вихідна напруга	14S (DC 58V)
Максимальна час польоту, год	2

Табл. 2.3.2 Характеристики електрогенераторної установки Foxtech Halo-6000 [6].

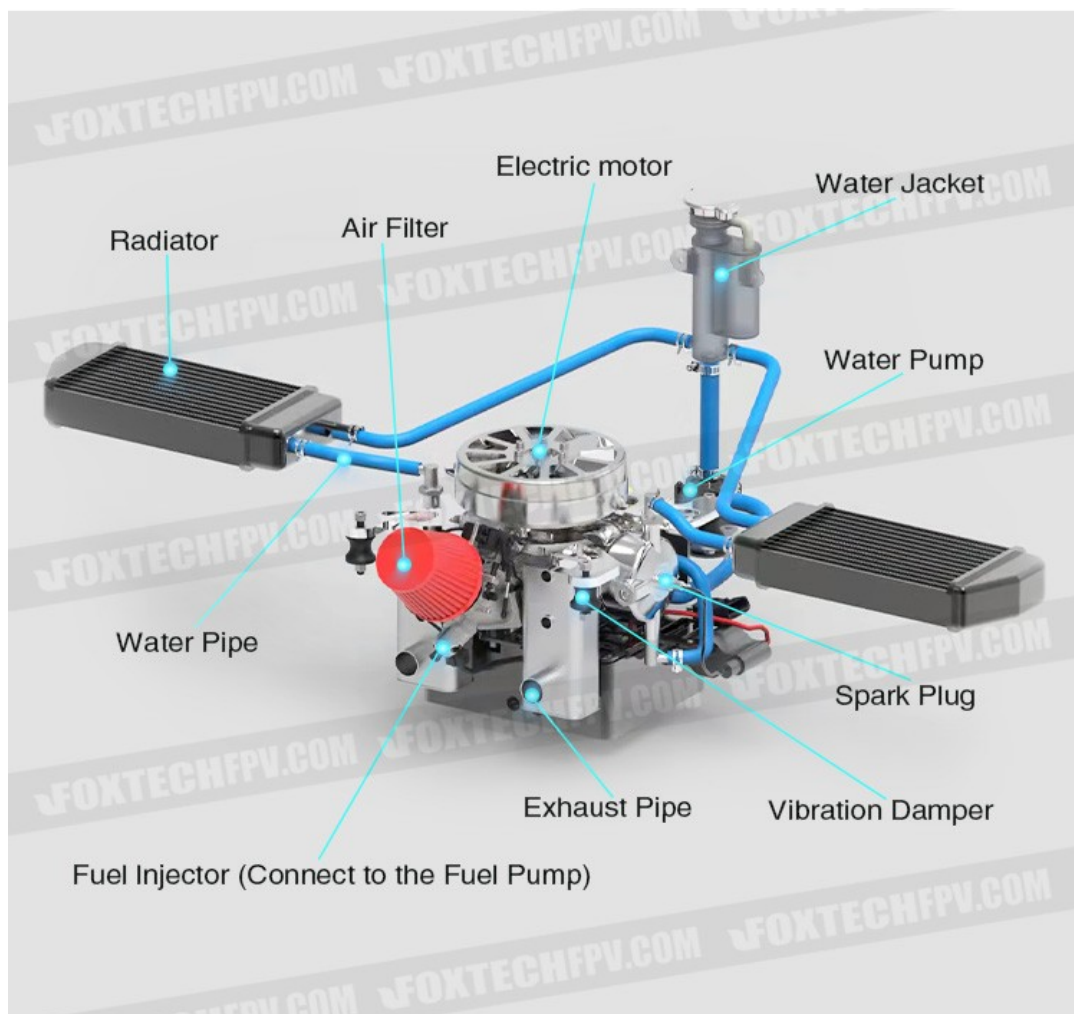


Рис. 2.3.2.1 Електрогенераторна установка Foxtech Halo-6000 та її складові [7].

Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

Арк.

9

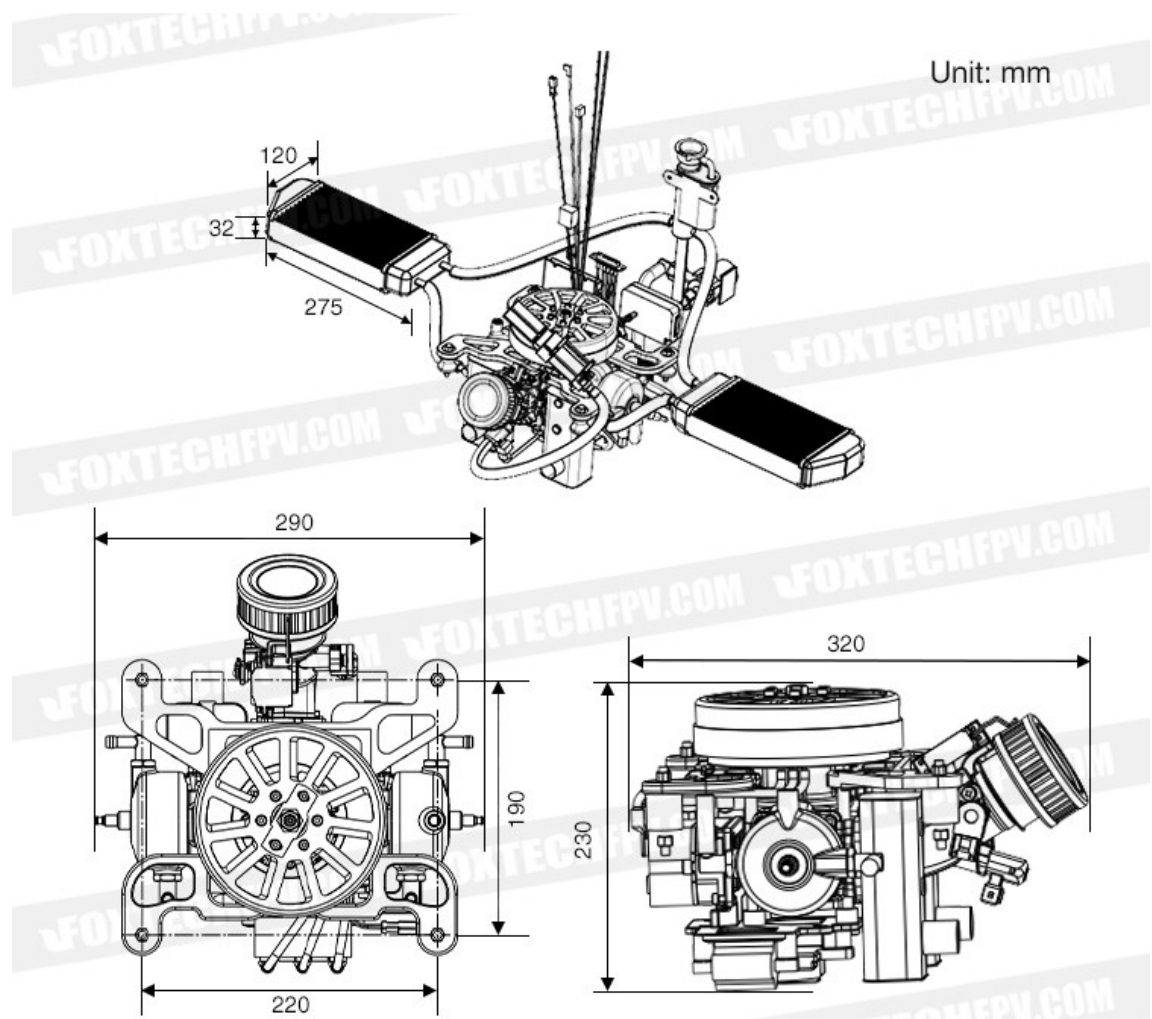


Рис. 2.3.2.2 Креслення загального виду Foxtech Halo-6000 [7].

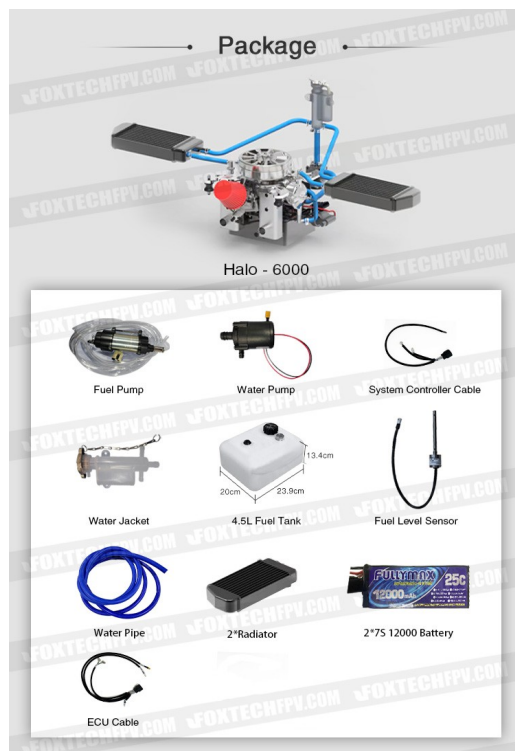


Рис. 2.3.2.3 Комплектація установки Foxtech Halo-6000 [7].

Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

Арк.

9

2.3.3 Бензиновий електрогенератор Sanjing G12000 10KW.

Даний електрогенератор є одним із найпотужніших у своєму класі. Вихідний вольтаж дорівнює 12S або 24S (на вибір). Максимальний струм, який може видати установка, дорівнює 120А. Сертифікований CE/3С. Тип охолодження – активне повітряне, має власний пропелер для охолодження.

Вага, кг	10
Потужність генератора, кВт	10.0 постійна/12 максимальна
Швидкість холостого ходу, об/хв	4000
Розмір (Д х Ш х В)	390*360*300мм
Висота польоту макс, м	1000
Тип палива	А-95 або вище + 2Т масло, 40:1
Спосіб запуску	Сигналь по PWM або CAN шині
Витрата палива, г/кВт	700
Вихідна напруга	12S або 24S (опціонально)
Максимальний час польоту, год	2



Рис. 2.3.3.1 Електрогенераторна установка Sanjing G12000 10KW [8].

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9101.10.02.00.00ПЗ				

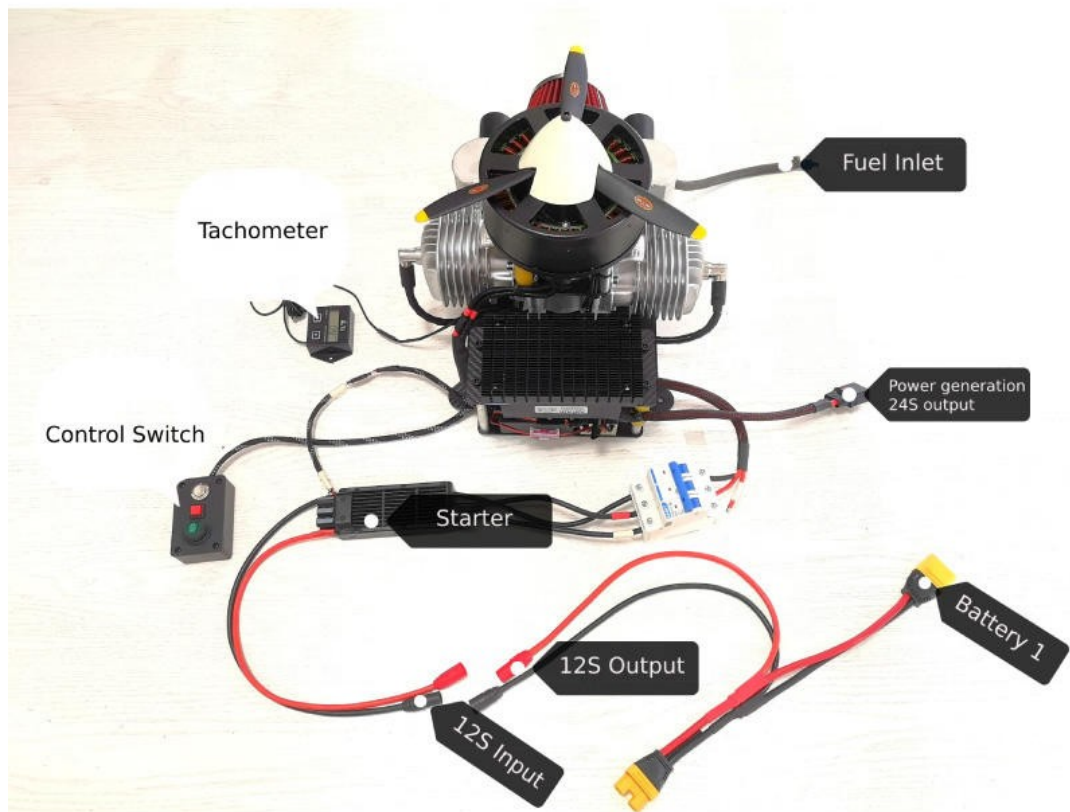


Рис. 2.3.3.2 Комплектація установки [9].

2.4 Визначення злітної маси мультикоптера

Розрахуємо масу мультикоптера сумуючи всі елементи, з яких він складатиметься. . Маса 10кВт (пік 12кВт) генератора $m_T = 10\text{кг}$, маса палива з баком та системою постачання $m_{\Pi} = 13\text{кг}$, маса несучої конструкції коптера із системами контролю $m_{\text{н.,к.}} = 7\text{кг}$, маса гвинто-моторної групи $m_{\text{г.м.г.}} = 11.2\text{кг}$, маса АКБ резервного живлення $m_{\text{р.ж.}} = 5\text{кг}$, маса корисного навантаження $m_{\text{к.н.}} = 25\text{ кг}$.

$$m_k = m_T + m_{\Pi} + m_{\text{н.,к.}} + m_{\text{г.м.г.}} + m_{\text{р.ж.}} + m_{\text{к.н.}} = 71.2\text{ кг}$$

Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата

Визначимо, якою є частка корисного навантаження відносно ваги самого мультикоптера.

$$k = \frac{m_{\text{к.н.}}}{m_k} = 0.35$$

2.5 Визначення параметрів двигунів та лопатей, керуючих модулів. Розрахунок політного часу БПЛА.

З попередніх аналізів та розрахунків ми отримали дані для подальшої роботи над нашою мультифункціональною платформою. Ми обрали оптимальну схему розташування двигунів та пропелерів – OTO-QUAD. Також ми прорахували, що повна вага даного дрона складатиме 71.2кг, з яких 25кг – це корисне навантаження. Відповідно, далі нам потрібно визначити навантаження на кожен двигун під час статичного висіння та руху з крейсерською швидкістю.

Визначимо навантаження $N_{\text{в}}$ на один двигун для забезпечення висіння дрона.

$$N_{\text{в}} = \frac{m_k}{8} = 8.9 \text{ кг.}$$

Визначимо навантаження P на один двигун для забезпечення польоту дрона на крейсерській швидкості.

$$N_{\text{к.ш.}} = 8.9 * 1.2 = 10.68 \text{ кг.}$$

Номінальна потужність генератора становить 10.8кВт. Це означає, що на кожен двигун він зможе видати по

$$P_{\text{од}} = \frac{P}{8} = 1.35 \text{ кВт}$$

Максимальна потужність генератора становить 12кВт. Це означає, що на кожен двигун в піку він зможе видати по

$$P_{\text{од,макс.}} = \frac{P_{\text{макс}}}{8} = 1.5 \text{ кВт.}$$

					АЛ9101.10.02.00.00ПЗ	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш енергоефективними за характеристиками споживання енергії та ваги самих моторів є Hobbywing X9 Max Dual Axis. Це безколекторні двигуни, які розташовуються по два на промінь, співвісно. На платформі-кріпленні розташовані електронні регулятори обертів двигунів (ESC – electronic speed controller), які охолоджуються набігаючим потоком повітря від пропелерів. Від даних регуляторів йдуть силові кабелі живлення та сигнальні лінії, які відповідають за отримання керуючих команд від автопілота та передачу телеметрії мотора. Телеметрія мотора – це такі дані, як: кількість обертів в хвилину, температура регуляторів, споживання струму в момент часу.



Рис. 2.5.1 Hobbywing X9 Max Dual [10].

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

HW-X9-MAX 技术参数

C-M9626-100KV-BLACK

技术参数

最大拉力(53.6V) : 29 Kg
 额定电压 : 14S LiPo
 推荐起飞重量/轴 : 12-15 Kg
 动力总成重量(不含桨) : 1970g

电机

定子尺寸 : 96*25
 极值 : 100 空载V
 内阻 : 0.02 Ω
 重量 : 1025 g
 电机尺寸 : Φ10*52.8 mm
 出轴直径 : 14 mm
 出线规格 : 35-40 mm 直出线
 桨叶安装孔螺攻 : Φ31mm*4M4
 轴承 : 进口滚珠轴承(防水)

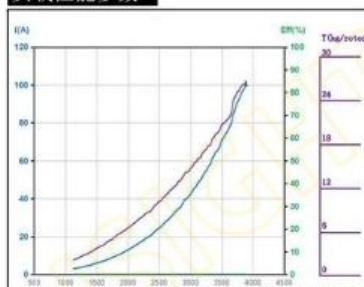
电调

型号 : T-80F06/120A-FOC
 电池 : 12-14S LiPo
 PWM输入信号电平 : 3.3V/5V
 工作频率 : 1100-1940 μs
 最大允许电压 : 60.9 V
 最大允许电流(散热良好) : 120 A
 最大允许峰值电流(3秒) : 150 A

桨叶

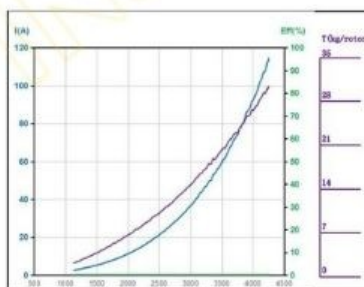
直径/螺距 : 36*120 inch
 重量(含桨尖) : 32kg

负载性能参数



以上数据为电调输入电压 46 V、室温 25° C、海平面高度的环境下,变化油门输入调节拉力测得。

Voltage(V) 工作电压	Propeller 螺旋桨	Throttle (%) 油门	Thrust (g) 拉力	Current (A) 电流	Power(W) 输入功率	Speed(RPM) 转速	Efficiency(%) 效率
40%	36V (12S LiPo)	36 inch Foldable Propeller	5399	10.6	430.0	1874	11.02
45%			6635	14.4	606.9	2081	9.95
50%			8009	18.9	872.8	2284	9.18
52%			8460	20.8	938.3	2375	8.83
54%			9185	23.2	1070.3	2451	8.58
56%			9758	25.4	1167.6	2536	8.36
58%			10494	28.1	1294.8	2613	8.11
60%			11209	30.6	1417.8	2700	7.91
62%			11859	33.7	1550.3	2782	7.65
64%			12678	36.7	1697.1	2864	7.47
66%	13518	40.1	1857.5	2943	7.28		
68%	14150	43.6	2014.2	3030	7.03		
70%	15074	47.7	2202.7	3113	6.84		
75%	17099	58.1	2681.4	3315	6.38		
80%	19912	71.7	3306.5	3519	6.02		
90%	25130	100.2	4605.8	3892	5.46		
100%	25490	101.4	4661.0	3883	5.47		



以上数据为电调输入电压 48 V、室温 25° C、海平面高度的环境下,变化油门输入调节拉力测得。

Voltage(V) 工作电压	Propeller 螺旋桨	Throttle (%) 油门	Thrust (g) 拉力	Current (A) 电流	Power(W) 输入功率	Speed(RPM) 转速	Efficiency(%) 效率
40%	33.6V (12S LiPo)	36 inch Foldable Propeller	5452	9.4	508.8	1882	10.72
45%			6673	12.6	675.5	2067	9.88
50%			8063	16.5	888.7	2290	9.07
52%			8638	18.2	946.1	2373	8.81
54%			9254	20.1	1082.0	2453	8.55
56%			9888	22.3	1203.1	2540	8.22
58%			10522	24.5	1315.5	2617	8.00
60%			11108	26.8	1440.9	2704	7.71
62%			11987	29.2	1575.6	2788	7.61
64%			12623	31.7	1707.2	2864	7.39
66%	13436	34.8	1877.6	2939	7.16		
68%	14133	37.5	2017.7	3032	7.00		
70%	15076	41.0	2210.0	3115	6.82		
75%	17088	49.8	2681.5	3317	6.37		
80%	19542	60.9	3282.4	3523	5.99		
90%	24512	87.3	4493.8	3934	5.22		
100%	24626	114.3	4619.2	4246	4.74		



Рис. 2.5.2 Таблица випробувань мотора Hobbywing X9 Max [11].

Виходячи із даних випробувань, які є наданими виробником, ми можемо продовжувати розрахунки щодо польотного часу дрона в різних режимах.

Насамперед розрахуємо кількість енергії, яку зможе надати нам генератор та АКБ для здійснення польоту. Параметри батареї – 12S, літій полімерна, струмовіддача 25C (550A), ємність 22Ампер*години,
 $E_{акб} = 976,8 \text{ Ват} * \text{год}$

Вага палива нетто дорівнює 11кг. Ефективність виготовлення електроенергії генераторною установкою дорівнює 1кВт*год на 700грам

палива. Тобто, маючи на борту 11кг палива, легко порахувати кількість енергії E_{Γ} , яка згенерується.

$$E_{\Gamma} = \frac{11}{0.7} * 1\text{кВт} * \text{год} = 15.7 \text{кВт} * \text{год}.$$

Тобто, загальний запас енергії на літальному борту становить $E_{\text{заг}}$

$$E_{\text{заг}} = E_{\Gamma} + E_{\text{акб}} = 16.66 \text{кВт} * \text{год}.$$

Тепер ми зможемо розрахувати час висіння нашого ЛА в повітрі із навантаженням 25кг. Для цього ми беремо прораховане навантаження на мотор під час висіння та визначаємо споживання у Ватах з таблиці, що в рис. 4.3. $P_{\text{в.м.}} = 1050\text{Ват}$. Загальне споживання під час висіння $P_{\text{заг}}$ буде дорівнювати споживанню усіх восьми моторів. В цих попередніх розрахунках ми можемо знехтувати споживанням системи, адже відносно гвинто-моторної групи воно є дуже малим та не перевищить 1% від загальної кількості енергії.

$$P_{\text{в.заг}} = P_{\text{в.м.}} * 8 = 8.4\text{кВт}.$$

Тепер визначимо час висіння дрона в повітрі.

$$t_{\text{вис}} = \frac{E_{\text{заг}}}{P_{\text{заг}}} = \frac{16.66}{8.4} = 1.98\text{год} = 1 \text{год} 58\text{хв}.$$

Тепер знайдемо споживання під час крейсерського польоту ЛА $P_{\text{к.заг}}$.

$$P_{\text{к.заг}} = P_{\text{к.м.}} * 8 = 10.4 \text{кВт}.$$

Визначимо час крейсерського польоту мультикоптера.

$$t_{\text{пол}} = \frac{E_{\text{заг}}}{P_{\text{к.заг.}}} = \frac{16.66}{10.4} = 1.6 \text{год} = 1 \text{год} 36\text{хв}.$$

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Висновки по розділу.

У цьому розділі було проведено масштабну роботу щодо пошуку та аналізу електрогенераторних установок та розрахунку мультикоптера відносно технічного завдання. Описано загальні елементи та конструкцію гібридного БПЛА, здійснено підбір оптимальної гвинто-моторної групи.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ТЕХНОЛОГІЯ НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Технологія налаштування програмного забезпечення політного контролера (Flight Controller) є важливим етапом в підготовці безпілотного літального апарата (БЛА) до польоту. Політний контролер є основним компонентом, який відповідає за управління польотом БПЛА і виконання різних функцій, таких як стабілізація, автопілотування, навігація та комунікація.

Описана технологія налаштування програмного забезпечення політного контролера включає наступні кроки:

- Підключення до комп'ютера: Політний контролер підключається до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або іншого з'єднання, яке підтримується контролером. Це дозволяє здійснювати зв'язок між комп'ютером та політним контролером для налаштування.
- Встановлення програмного забезпечення: Спочатку необхідно завантажити відповідне програмне забезпечення для політного контролера. Це може бути офіційне програмне забезпечення виробника або спеціалізоване відкрите програмне забезпечення, таке як Betaflight, Cleanflight або Ardupilot. Після завантаження програмного забезпечення воно встановлюється на політний контролер.
- Конфігурація: Після підключення до комп'ютера необхідно відкрити програму налаштування, яка надає доступ до різних параметрів політного контролера. Ці параметри включають основні налаштування, такі як тип фрейму (конструкції) БЛА,

						Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

кількість моторів та інші специфічні налаштування, залежно від вимог конкретного БПЛА.

- **Калібрування сенсорів:** Один з важливих кроків - це калібрування сенсорів політного контролера. Це включає калібрування акселерометра, гіроскопа та компаса для точного вимірювання показників польоту і навігації. Калібрування зазвичай здійснюється за допомогою спеціальних функцій у програмі налаштування.
- **Налаштування PID-контролю:** PID-контроль (пропорційний-інтегральний-диференціальний контроль) відповідає за стабілізацію та керування політними характеристиками БПЛА. В цьому кроці налаштовуються параметри PID-контролю, такі як коефіцієнти пропорційності, інтегралу та диференціалу, для досягнення бажаної стабільності і відповіді на керування.
- **Тестування та налагодження:** Після завершення налаштування важливо провести тестування політного контролера та БЛА в контрольованому середовищі. Це дозволяє перевірити правильність налаштування, здатність до стабільного польоту та відповідь на керування. Під час тестування можуть з'явитися деякі помилки або недоліки, які вимагають додаткової налагодження і корекції.

Технологія налаштування програмного забезпечення політного контролера є важливим етапом, який впливає на безпеку, стабільність та продуктивність польоту БПЛА. Комплексне налаштування забезпечує оптимальні робочі параметри та дозволяє досягти бажаного функціоналу залежно від потреб та вимог конкретного апарату.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Технологічні характеристики автопілотів з підтримкою відкритого програмного забезпечення Ardupilot

Автопілоти з підтримкою відкритого програмного забезпечення Ardupilot є популярними серед розробників безпілотних літальних апаратів (БЛА) і мають ряд технологічних характеристик, які роблять їх потужними та гнучкими рішеннями для автономних польотів. Ось деякі з цих характеристик:

1. Відкрите програмне забезпечення: Ardupilot - це відкрите програмне забезпечення з ліцензією GPLv3, що означає, що його вихідний код доступний для вивчення, модифікації та розповсюдження. Це надає розробникам широкі можливості для налаштування та розширення функціональності автопілотів згідно з їхніми потребами.
2. Різноманітність підтримуваних платформ: Ardupilot підтримує широкий спектр платформ, включаючи квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери, планери, вертольоти та багато іншого. Це дозволяє використовувати одне програмне забезпечення для керування різними типами БЛА.
3. Автономні функції: Ardupilot надає розширений набір автономних функцій, таких як маршрутизація, точки маршрутування, точне посадки, визначення місцезнаходження за допомогою GPS, автоматичне уникнення перешкод і багато іншого. Ці функції дозволяють БЛА виконувати складні завдання безпілотних польотів.
4. Режими польотів: Ardupilot має різні режими польотів, які дозволяють керувати БПЛА в різних ситуаціях. Наприклад, стабілізаційний режим забезпечує стабільність і простоту керування, в режимі автономного польоту БПЛА може виконувати програмовані місії, а режими навігації дозволяють використовувати GPS для точного позиціонування.

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата					

5. Підтримка додаткових датчиків: Ardupilot підтримує підключення різних датчиків, таких як компаси, барометри, датчики тиску повітря, датчики висоти і багато інших. Це дозволяє отримувати додаткові дані для політного контролю і розширює можливості вимірювання та навігації.
6. Розширені можливості налаштування: Ardupilot надає багато параметрів, які можна налаштувати для досягнення оптимальних політних характеристик. Це дозволяє розробникам індивідуально налаштувати автопілоти згідно з особливостями своїх БЛА та вимогами проекту.

Технологічні характеристики автопілотів Ardupilot роблять їх потужними та гнучкими рішеннями для безпілотних літальних апаратів. Вони надають широкий функціонал та можливості для розробки різноманітних додатків та застосувань, що робить їх популярними серед спільноти розробників та ентузіастів БПЛА.

3.2 Вибір ПК відносно поставленої технічної задачі

Розглянемо декілька типів автопілотів, що підтримують ПЗ Ardupilot.

Яке необхідне для виконання наших задач.

Розглянемо першу версію ПК АРМ Ardupilot 2.4.8.

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристика	Значення
Версія	2.4.8
Мікроконтролер	Atmel ATMega2560
Датчики	Гіроскоп, акселерометр, магнітний компас, барометр, GPS
Інтерфейси	UART, I2C, SPI, USB
Оперативна пам'ять	2 МБ
Підтримувані платформи	Квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери, планери, вертольоти та інші
Підтримка живлення	5V DC
Розміри	70мм x 45мм x 13мм
Вага	37 г
Операційна система	NuttX RTOS
Кодування	Відкрите програмне забезпечення з ліцензією GPLv3
Функціональність	Автономний польот, GPS навігація, маршрутизація, точна посадка, автоматичне уникнення перешкод, телеметрія та інші

Табл. 3.2.1 Характеристики ПК АРМ Ardupilot 2.4.8

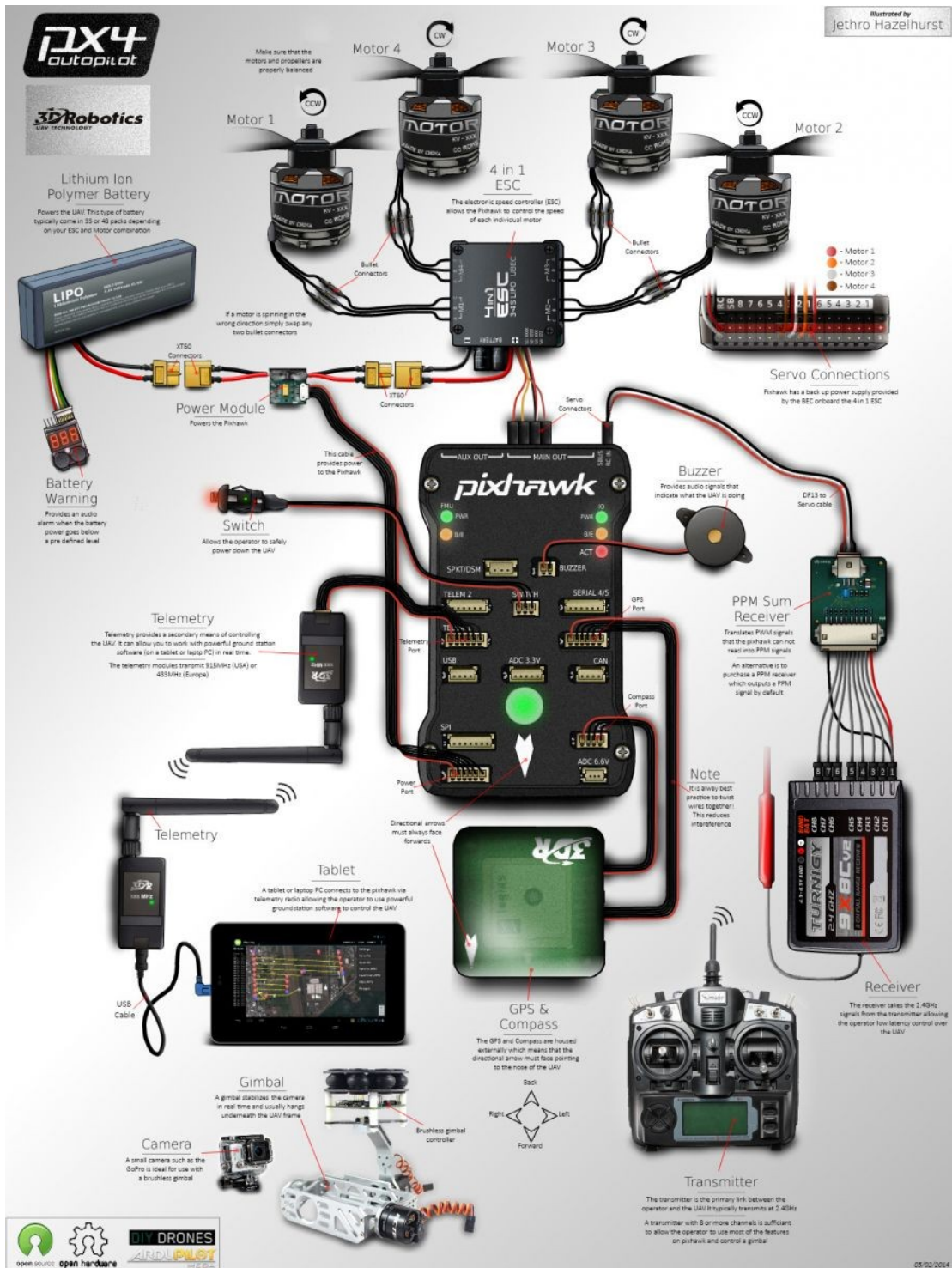


Рис. 3.2.1 Схема підключення ПК Ardupilot APM 2.4.8 [9]

Аналізуючи склад та архітектуру даного контролера, ми можемо визначити що його нам не вистачить для реалізації повного функціоналу БПЛА, В нього всього лиш 2Мб оперативної пам'яті, чого недостатньо для оброблення інформації з інформаційних датчиків із потрібною нам частотою.

Розглянемо наступну модель ПК – Pixhawk Cube Orange.

Pixhawk Cube Orange є високопродуктивним автопілотом, розробленим для безпілотних літальних апаратів (БЛА) та робототехніки. Він є однією з версій автопілотів серії Pixhawk Cube, яка відома своєю надійністю та широким спектром функціональних можливостей.

Ось основні характеристики Pixhawk Cube Orange:

1. Процесор: В автопілоті використовується потужний 32-бітний процесор ARM Cortex-M7 з частотою до 216 МГц, що забезпечує швидку та ефективну обробку даних.
2. Датчики: Pixhawk Cube Orange має широкий набір датчиків, включаючи гіроскопи, акселерометри, магнітний компас, барометр, датчик тиску повітря, GPS і термометр. Ці датчики забезпечують точне вимірювання стану БЛА та навколишнього середовища.
3. Роз'єми: Автопілот має різні роз'єми, включаючи UART, I2C, CAN, SPI, PWM та інші. Це дозволяє підключати різні пристрої та додаткові модулі, такі як датчики, комунікаційні модулі, розширювачі функціональності і так далі.
4. Підтримувані платформи: Pixhawk Cube Orange може бути використаний для керування різними типами БЛА, включаючи квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери, планери, вертольоти та інші. Це робить його універсальним і гнучким рішенням для різних застосувань.
5. Розширені можливості налаштування: Pixhawk Cube Orange підтримує велику кількість налаштувань, що дозволяє розробникам

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

індивідуально налаштовувати автопілот згідно з особливостями своїх проектів та вимогами.

6. Відкрите програмне забезпечення: Pixhawk Cube Orange побудований на базі відкритого програмного забезпечення ArduPilot, що надає доступ до великої спільноти розробників і користувачів, а також великий набір додатків та розширень.

Характеристика	Значення
Процесор	ARM Cortex-M7 32-бітний процесор з частотою до 216 МГц
Пам'ять	2 Мбайт Flash-пам'яті, 512 Кбайт RAM
Датчики	3 Гіроскопи, 3 акселерометри, магнітний компас, барометр, GPS, датчик тиску повітря, термометр
Роз'єми	UART, I2C, CAN, SPI, PWM, USB, SD карта
Підтримувані платформи	Квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери, планери, вертольоти та інші
Вхідне напруга	4.8V - 5.7V
Вихідна напруга	5V

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9101.10.02.00.00ПЗ				

Характеристика	Значення
Розміри	60мм x 40мм x 21мм
Вага	44 г
Операційна система	NuttX Real-Time Operating System
Кодування	Відкрите програмне забезпечення з ліцензією GPLv3
Функціональність	Автономний польот, GPS навігація, маршрутизація, точна посадка, автоматичне уникнення перешкод, телеметрія та інші

Табл. 3.2.2 Характеристики ПК Pixhawk Cube Orange [10]

Також даний виріб підтримує встановлення SD накопичувача, який може використовуватись для запису даних в чорний ящик (BlackBox) або для завантаження, налаштування та виконання скриптів для периферійного обладнання БПЛА. Це дозволить підключати такі датчики, як: датчик постійного відслідкування рель'єфу місцевості або детекції перешкод (лідар), датчик оптичної стабілізації дрона в повітрі відносно поверхні землі (optical flow sensor). Другий з них дозволить утримувати свою

позиції при можливій дії РЕБ завдяки камері та постобчислювальній архітектурі, яка даватиме орієнтири для ПК щодо зміщення в просторі.

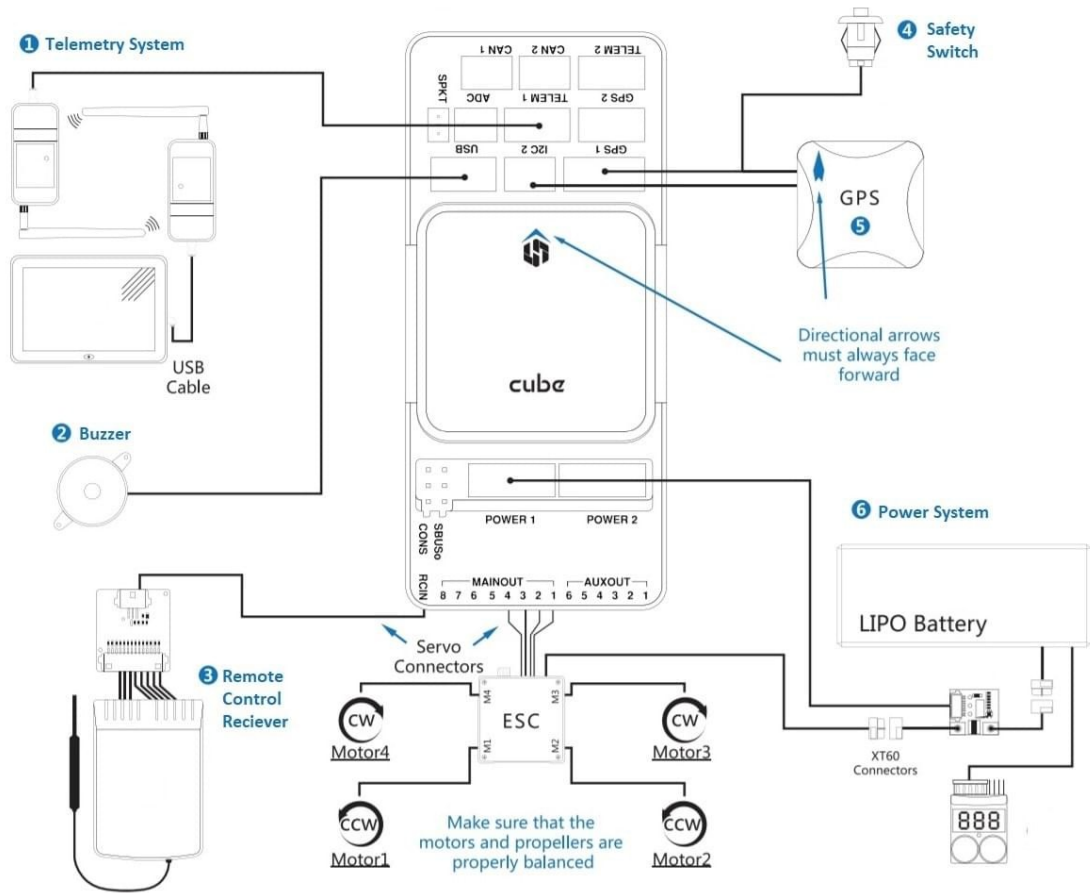


Рис. 3.2.2 Базова схема підключення ПК Pixhawk Cube Orange[10]

Виходячи з кількості портів обміну інформацією, частоти оброблення даних мікроконтролером, підтримки інтегрування сторонніх скриптів та можливості обміну інформацією з багатьма пристроями на високих частотах, ми обираємо даний ПК як базовий для нашого мультякоптера із гібридною силовою установкою.

3.3.1 Встановлення ПЗ Ardupilot для схеми Octa-quad

Почнемо роботу з нашим ПК. Насамперед нам необхідно встановити програмне забезпечення Mission Planner для прошивки та налаштування Pixhawk.

Folder contents:

Type	Filename	Date	Size
Parent Directory	..	--	--
Folder	Firmware	--	--
Folder	LogAnalyzer	--	--
Folder	MetaData	--	--
File	MissionPlanner-1.3.76.msi	Sat Dec 25 04:59:56 2021	106003925
File	MissionPlanner-1.3.76.zip	Sat Dec 25 05:00:02 2021	106651091
File	MissionPlanner-1.3.77.msi	Wed Mar 16 10:26:46 2022	105374572
File	MissionPlanner-1.3.77.zip	Wed Mar 16 10:27:22 2022	105345511
File	MissionPlanner-1.3.79.msi	Tue Dec 6 03:04:40 2022	108660715
File	MissionPlanner-1.3.79.zip	Tue Dec 6 02:58:53 2022	105408516
File	MissionPlanner-1.3.80.msi	Mon Mar 20 00:33:32 2023	118738145
File	MissionPlanner-1.3.80.zip	Mon Mar 20 00:31:37 2023	115088220
File	MissionPlanner-latest.msi	Mon Mar 20 00:33:32 2023	118738145
File	MissionPlanner-latest.zip	Mon Mar 20 00:31:37 2023	115088220
File	MissionPlanner-stable.msi	Mon Mar 20 00:33:32 2023	118738145
File	MissionPlanner-stable.zip	Mon Mar 20 00:31:37 2023	115088220
Folder	archive	--	--
File	checksums.txt	Mon Mar 20 00:35:06 2023	80482
Folder	dev	--	--
File	driver-old.msi	Tue Jul 28 09:23:01 2020	1667072
File	driver-old2.msi	Fri Dec 27 23:28:10 2019	1667072
File	driver-old3.msi	Wed Jul 6 06:42:35 2022	6561792
File	driver.msi	Mon Sep 5 00:54:21 2022	6561792
Folder	gstreamer	--	--
Folder	stl	--	--
File	unpack_mp.sh	Wed May 27 11:01:37 2020	778
Folder	upgrade	--	--
File	vehicleinfo.py	Wed Jun 16 00:40:21 2021	17067

Рис. 3.3.1 Сторінка з файлами інсталяції ПЗ [11].

Після встановлення найновішої версії програми ми можемо починати роботу з ПК. Дана версія необхідна для того, щоб підтримувати усі поправки в програмному коді, покращувати оптимізацію та роботу контролера, підтримувати усі функції. Підключаємось до USB входу ПК. Чекаємо підвантаження драйверів та ініціалізації.

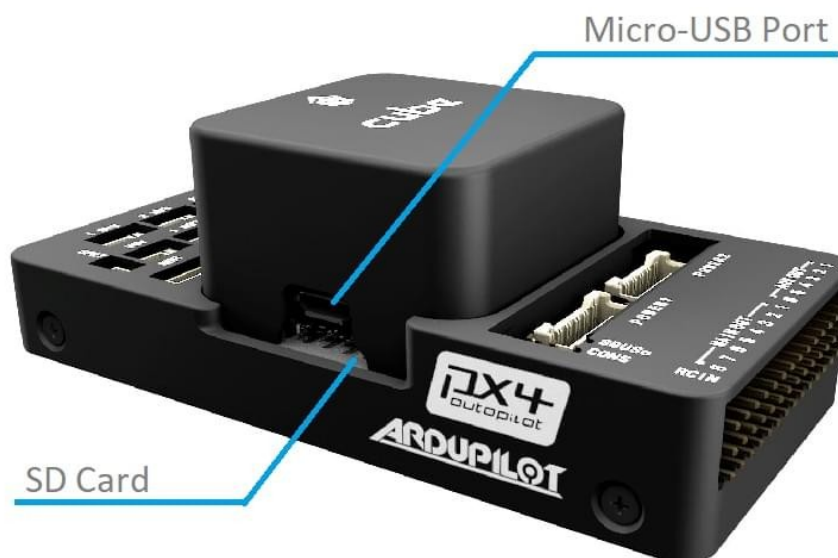


Рис. 3.3.2 Підключення комп'ютера до контролера [10].

Потім він з'являється як послідовний COM – порт. Вибираємо той, який з'явився, підключаємось із частотою 115200.

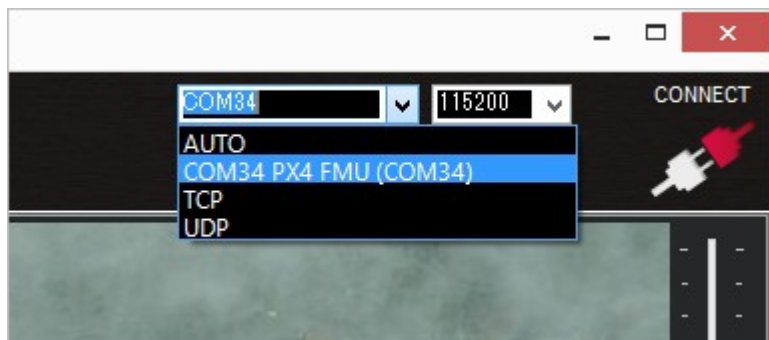


Рис. 3.3.3 Вибір COM – порту та частоти обміну даними[11].

Далі обираємо необхідну нам прошивку – в нашому випадку це буде ArduCopter Octa. Саме та, яка позначена із 4-ма променями.

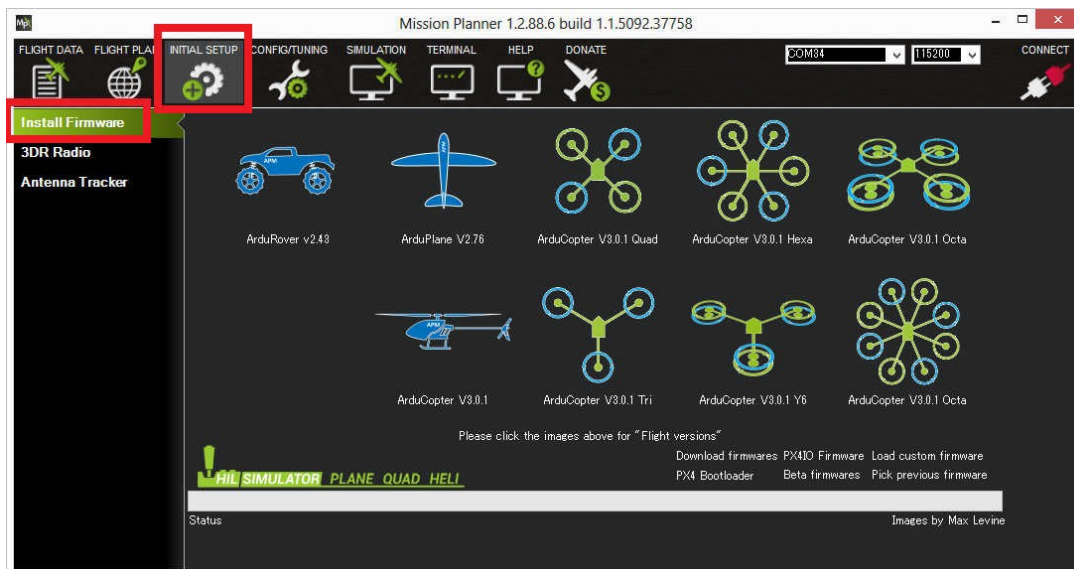


Рис. 3.3.4 Вибір типу літального апарату, прошивка ПК[11].

Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата

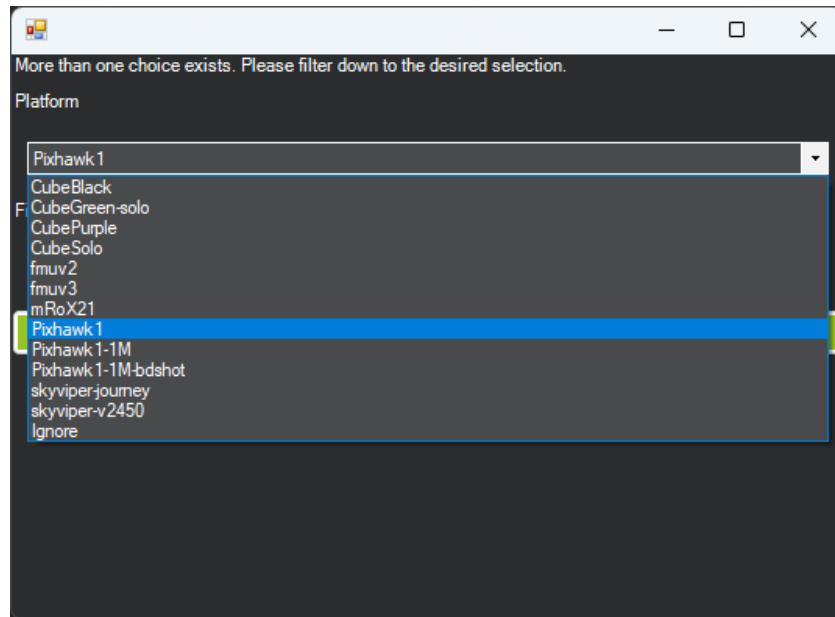


Рис. 3.3.5 Вибір типу платформи ПК[11].

У виборі платформи вибираємо «Cube Orange» та проводимо інсталяцію. Після успішної інсталяції ми зможемо підключити автопілот та почати використовувати всі його функції.

3.3.2 Базові налаштування ПК під даний тип рами та гвинто-моторної групи

Тепер нам необхідно провести першочергове налаштування, а саме вибрати тип рами та розташування моторів. Обираємо клас рами Quad, а тип – X. Обираємо там октокоптер із співвісними двигунами.

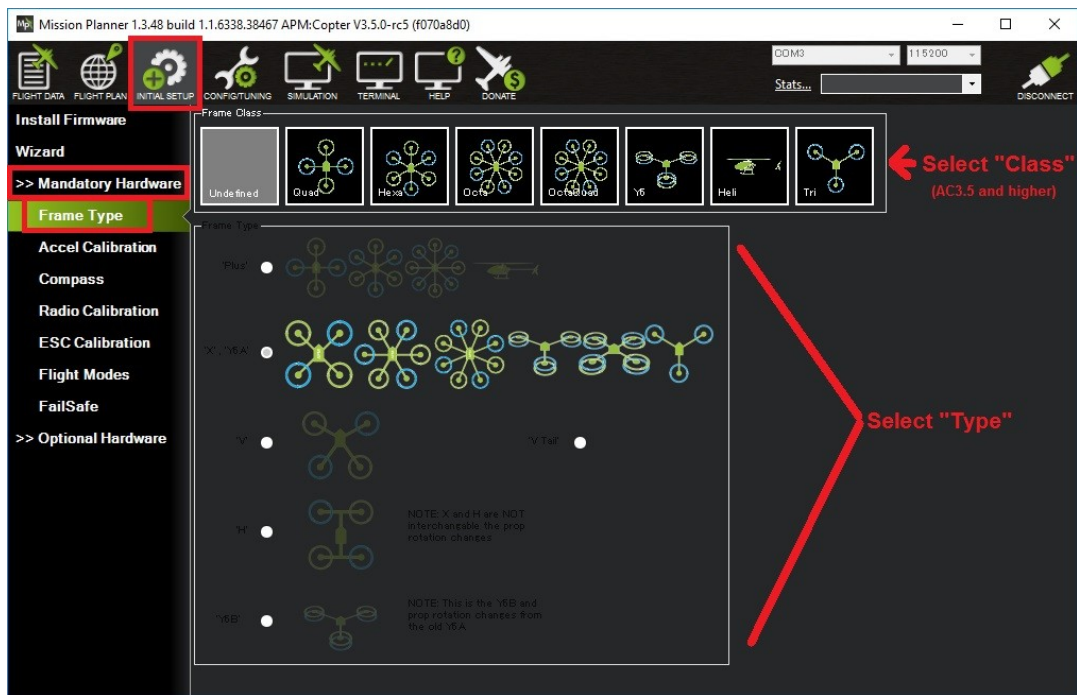


Рис. 3.3.6 Вибір типу конструкції БПЛА[12].

Переходимо в вкладення первісного налаштування PID – регулятора. Вводимо дані про розмір пропелерів (в дюймах) та кількість елементів живлення в батареї, її тип. Автопілот автоматично підбере параметри піддану конфігурацію.

Також після даної дії нам необхідно провести калібрування таких датчиків, як: акселерометр (на рівній поверхні), калібрування компасу (подалі від металевих об'єктів), калібрування каналів радіокерування, електронних регуляторів безколекторних двигунів. Потім проводяться налаштування серво-виходів, польотних режимів та дій при втраті зв'язку.

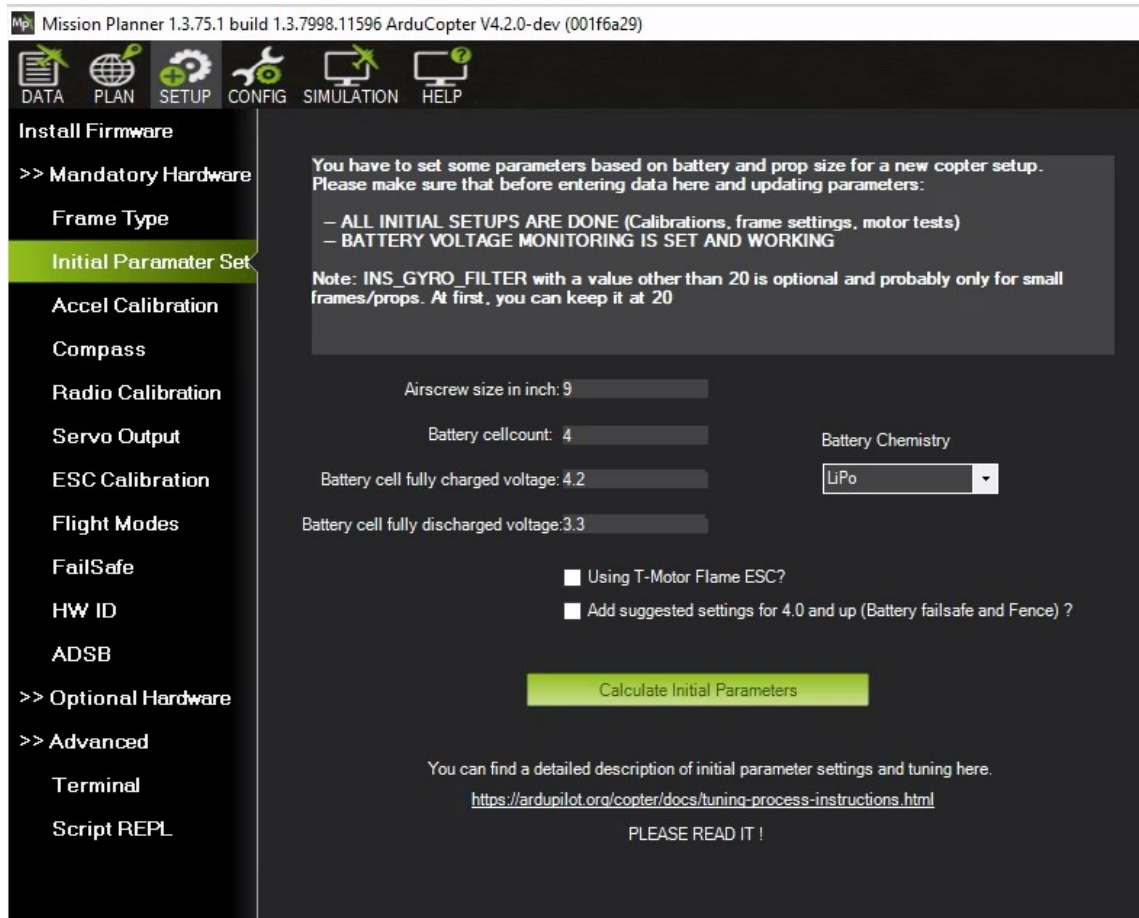


Рис. 3.3.7 Калькуляція вхідних параметрів для БПЛА з даних про його ГМГ [13].

3.3.3 Інтегрування та налаштування електрогенераторної установки в екосистемі ПК БПЛА

При встановленні генератора нам необхідно підключити лінії обміну даними генератора з польотним контролером. Для цього ми використаємо один із Serial портів та один Servo-вихід. Серво вихід передаватиме PWM-сигнал для керування автоматичним запуском установки.

Опісля підключаємо ПК до нашого комп'ютера та налаштовуємо наступні параметри [14]:

GEN_TYPE = 3 (RichenPower)

SERIAL2_PROTOCOL = 30 (Generator)

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата					

АЛ9101.10.02.00.00ПЗ

SERIAL2_BAUD = 9 (9600)

RC9_OPTION = 85 (Generator)

SERVO9_FUNCTION = 42 (Generator Control)

Опісля додаємо до нашої робочої панелі вікно з статусом та параметрами електрогенераторної установки – тепер тут відобразитиметься вихідний вольтаж, вихідна потужність, кількість обертів та часу, який двигун перебуває в роботі.



Рис. 3.3.7 Телеметрійні дані генератора [14].

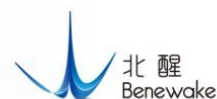
3.3.4 Налаштування системи лідарів для відстежування рельєфу місцевості за траєкторією слідування

					Арк.
					9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата	

Для відстежування рель'єфу ми використовуватимемо лідари фірми Benewake TF03-100 з можливістю відслідковування рел'єму на висоті до 100м.

TF03-100 LiDAR (Long-range distance sensor)

Product datasheet V1.2.1



■ WIRING

Since the product upgrade in Aug. 2020, TF03's wiring has also been upgraded.

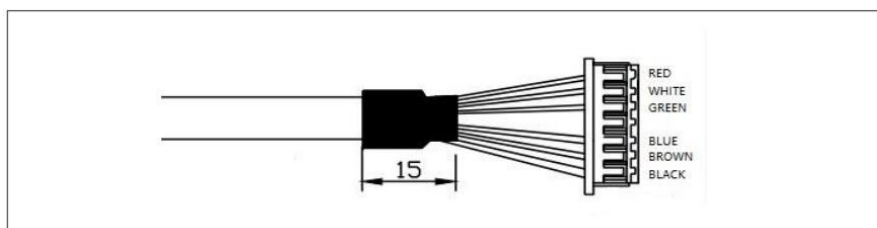


Figure 2 Wiring of new version TF03-100

Below is new version TF03's pin definition and function description.

No.	Color	Standard version		RS485 version	
		PIN definition	Function	PIN definition	Function
1	Red	VCC	Power supply	VCC	Power supply
2	White	CAN_L	CAN_L	RS485-B/RS232-RX	RS485-B/RS232 receive
3	Green	CAN_H	CAN_H	RS485-A/RS232-TX	RS485-A/RS232 transport
4	/	/	/	/	/
5	Blue	UART_RX	UART receive	UART_RX	UART receive(debug) ⁷
6	Brown	UART_TX	UART transport	UART_TX	UART transport(debug)
7	Black	GND	Ground	GND	Ground

■ CERTIFICATIONS



Benewake (Beijing) Co., Ltd

Address: No.28, information road, Haidian District, Beijing

Phone: +86 010 5745 6983

Email: bw@benewake.com

Technical support: support@benewake.com

⁷ The UART interface of TF03-100 RS485 version is debugging interface. It cannot be used to read detection data.

Рис. 3.3.8 Схема контактів для підключення даного лідара [15].

Після підключення відносно схеми до порту SERIAL ПК, потрібно провести налаштування цього порту. Нижче наведені параметри, які

									Арк.
									9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата	АЛ9101.10.02.00.00ПЗ				

необхідно

ВВЕСТИ.

SERIAL4_PROTOCOL = 9 (Lidar)

SERIAL4_BAUD = 115 (115200 baud)

RNGFND1_TYPE = 20 (Benewake-Serial)

RNGFND1_MIN_CM = 10

RNGFND1_MAX_CM = 10 000

RNGFND1_GNDCLEAR = 10

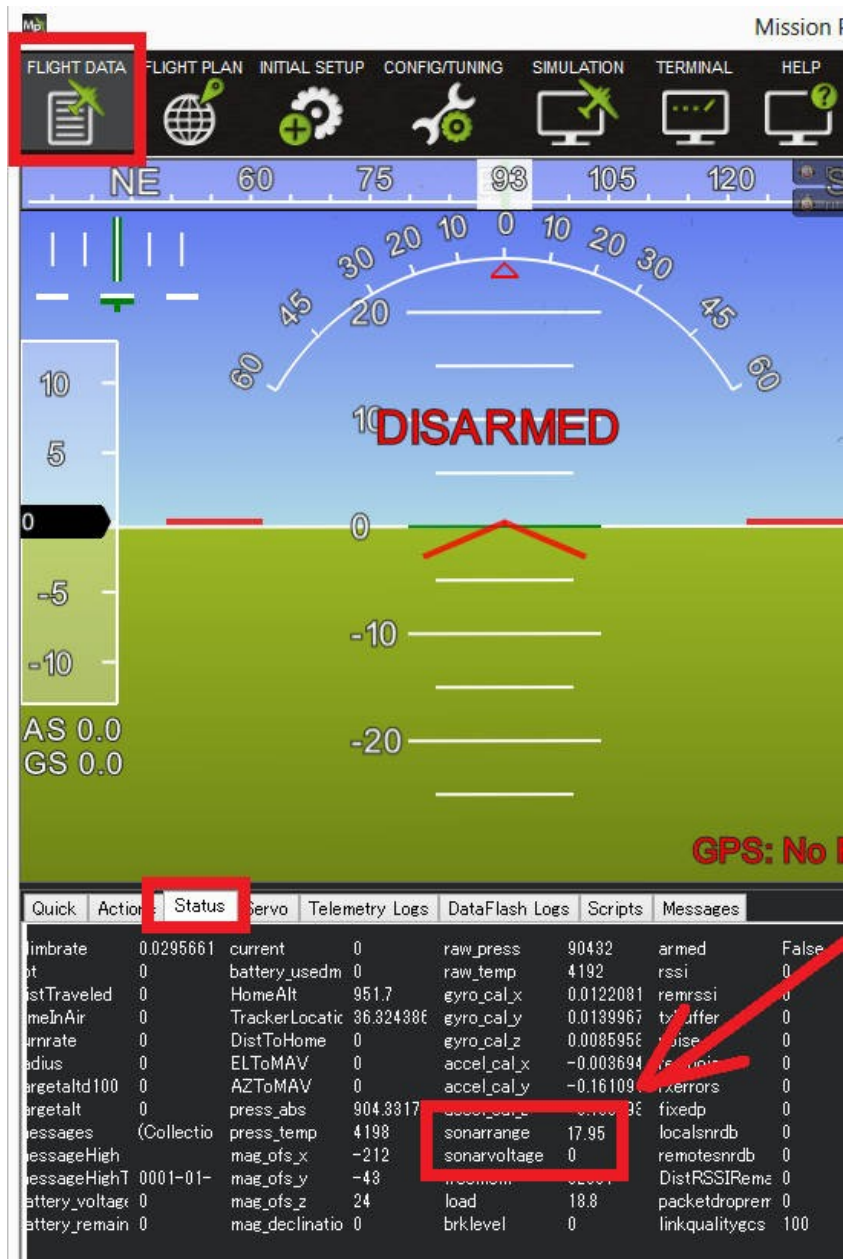


Рис. 3.3.9 Проведення перевірки працездатності лідара [16].

Опісля продовжуємо налаштування функції відслідковування рельєфу

[17].

Активуємо

параметри:

TERRAIN_ENABLE=1

TERRAIN_FOLLOW=1

WPNAV_RFND_USE=1

Перезавантажуємо польотний контролер. Випробовуємо на попередньо сформованій місії, яка має в налаштуваннях використання відслідковування рель'єфу з лідару та підвантаження даних із барометричної карти висот на польотний контролер.

3.4 Висновки по розділу

В цьому розділі було описано вибір політного контролера для мультикоптера, методи його прошивки і налаштування для використання із генератором та лідаром.

ВИСНОВОК

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті виконання дипломного проекту було пропрацьовано технологічний процес підбору необхідних компонентів для створення мультикоптера із гібридною силовою установкою, який зможе переносити вантаж масою 25кг впродовж 1 години 36 хвилин.

Оцінено характеристики усіх елементів, умови їх застосування.

Створено порядок налаштувань польотного контролера для роботи із електрогенераторною установкою, отриманням телеметрійних даних з неї. Проведено підбір та налаштування лідача для відстежування рельєфу місцевості при польоті на висотах від 20 до 100 метрів.

У даній роботі було використано набутий досвід із 4-х річного університетської діяльності, роботах з БПЛА по власній ініціативі та з пару сотень годин проведених при налаштуванні програмного забезпечення даного автопілота.

Список використаної літератури

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Hexacopter Foxtech Thor 210 Hybrid [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.foxtechfpv.com/foxtech-thor-210-hybrid-hexacopter.html#yt_tab_products1
2. Yangda 1600L Hybrid [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.yangdaonline.com/yangda-docs/multicopter-user-manual/yd6-1600l-gas-electric-hybrid-hexacopter/specification>
3. DJI Matrice 30T [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://store.quadro.ua/ru/multicopter-dji-matrice-30t/>
4. DJI Agras T16, сільськогосподарський гексакоптер [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/t16>
5. Октокоптер DJI Agras MG1-P [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/mg-1p>
6. Octo-quad DJI Agras T40 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/t40>
7. Foxtech Halo-6000 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-halo-6000-efi-generator-for-hybrid-drone.html>
8. Генератор G12000 для гібридних БПЛА [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.alibaba.com/product-detail/G12000-48V-60V-14S-24S-High_1600663952842.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.37cd60d3mUMfjq
9. Pixhawk 2.4.8 БПЛА [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.magnits.com.ua/6150-poletniy-kontroller-ardupilot-pixhawk-248-ne-original-kopiya.html>
10. Cubepilot Cube Orange [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://docs.px4.io/main/en/flight_controller/cubepilot_cube_orange.html
11. ПЗ Mission Planner [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://firmware.ardupilot.org/Tools/MissionPlanner/>

						<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
							9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата			

12. Frame type configuration [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/frame-type-configuration.html>

13. Setting up UAV for tuning configuration [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/setting-up-for-tuning.html>

14. UAV Generator setup [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-richenpower-generator.html>

15. Лідар Benewake TF03-100 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.alibaba.com/product-detail/Benewake-TF03-100-100m-UART-LiDAR_1600743188090.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.3.6a953e5f6g6Y7o

16. Benewake TF03 setup [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-benewake-tf02-lidar.html>

17. Terrain following function [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/terrain-following.html>

					<i>АЛ9101.10.02.00.00ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм	Ар	№ докум.	Підпис	Дата		