

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор СИНЕГЛАЗОВ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
“БАКАЛАВР”

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і  
виробництва»

**Тема: Пілотажний комплекс малого безпілотного літального апарата на основі  
прошивки ArduPilot**

Виконавець: студент групи КП-324Бстн Балабан Ілля Олегович

Керівник: кандидат технічних наук, доцент Смірнов Олег Ігорович

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Філяшкін М.К.

(підпис)

Київ-2024

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор СИНЄГЛАЗОВ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи студента

Балабана Іллі Олеговича

**1.Тема роботи:** Проектування легкого розвідувального БПЛА на основі системи ArduPilot

**2.Термін виконання проекту (роботи):** з 29 04 2024р. до 3 06 2024р.

**3.Вихідні дані до роботи:** Розробка структурної та функціональної схем системи контролю БПЛА. Розробка моделі фюзеляжу БПЛА. Налаштування системи автоматичного пілотування БПЛА. Випробування системи комплексу БПЛА на полігоні.

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):** 1.Огляд існуючих БПЛА для цілей розвідки; 2.Постановка задачі; 3. Розробка системи керування БПЛА; 3.Підбір типу фюзеляжу БПЛА; 4. Підбір компонентів системи керування та зв'язку для БПЛА; 5. Вибір системи автопілоту БПЛА; 6.Підбір елементів системи керування БПЛА; 7. Адаптація фюзеляжу до вимог системи керування; 8. Налаштування системи керування під будову фюзеляжу; 9. Збірка та встановлення системи керування на БПЛА; 10. Випробування системи комплексу БПЛА на полігоні.

**5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:**

1.Схема підключення до польотного контролера МАТЕК F405 WTE; 2. Схема розміщення компонентів; 3. 3d Модель фюзеляжу.

#### 6. Календарний план-графік:

Етапи виконання дипломного проекту (роботи)		Примітка
Підбір літератури	29.04	Вик.
Технічне завдання	01.05	Вик.
Вступ	01.05	Вик.
Реферат	01.05	Вик.
Список скорочень	01.05	Вик.
1. Огляд доступних розвідувальних БПЛА	02.05	Вик.
2. Постановка задачі	06.05	Вик.
3. Підбір типу фюзеляжу	06.05	Вик.
4.1 Вибір системи автопілоту	11.05	Вик.
4.2 Підбір елементів системи керування	11.05	Вик.
5. Адаптація фюзеляжу.	12.05	Вик.
6. Налаштування системи	18.05	Вик.
7. Збірка та встановлення системи керування БПЛА	18.05	Вик.
8. Польові випробування	23.05	Вик.
Висновки	25.05	Вик.
Оформлення пояснювальної записки	27.05	Вик.

7.Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 29.04.2024 \_\_\_\_\_

Керівник: \_\_\_\_\_ Смірнов О.І.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Балабан І.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи : «Проектування легкого розвідувального БПЛА на основі системи ArduPilot» 53 с., 23 рис., 10 джерел БПЛА, АВТОПЛОТ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, МІСІЯ, РЕЖИМ ПОЛЬОТУ, ARDUPILOT, MISSION PLANNER.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи : «Проектування легкого розвідувального БПЛА на основі системи ArduPilot» 53 с., 23 рис., 10 джерел БПЛА, АВТОПЛОТ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, МІСІЯ, РЕЖИМ ПОЛЬОТУ, ARDUPILOT, MISSION PLANNER.

Об'єкт дослідження – БПЛА на основі системи автопілоту ArduPilot;

Предмет дослідження – автопілот ArduPilot та фюзеляж БПЛА;

Мета кваліфікаційної роботи – розробка легкого та простого у виробництві та використанні комплексу БПЛА для цілей розвідки;

Метод дослідження – порівняльний аналіз, обробка літературних джерел.

Теоретичні дослідження склалися з пошуку та підбору компонентів системи керування БПЛА, дослідження функціоналу ArduPilot та MISSION PLANNER, дослідження роботи компонентів, взаємодії з контролером. Дослідження можливих будов БПЛА з метою досягнення максимальної простоти виробництва. Запропоновану простий комплекс БПЛА, з вбудованими алгоритмами виконання місій, системами відеопередачі та фіксації, дситанційного керування та моніторингу.

Результати досліджень та випробувань показали, що комплекс здатний виконувати розвідувальні завдання як автоматично так і в режиму ручного контролю, передавати відеосигнал та записувати його на зовнішній накопичувач. Розгортання та запуск комплексу займає мінімум часу та додаткових засобів.

Результати роботи рекомендовано використовувати під час проведення досліджень та в практичній діяльності фахівців-конструкторів систем автопілоту та БПЛА.

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ЛА – літальний апарат;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

VTX - відео трансміттер;

ESC – електронний регулятор ходу;

PDB – плата розподілу живлення;

ELRS – ExpressLRS;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

VTX - відео трансміттер;

ESC – електронний регулятор ходу;

PDB – плата розподілу живлення;

ELRS – ExpressLRS;

FC – польотний контролер;

## Зміст

Вступ.....	8
1. Огляд існуючих БПЛА для цілей розвідки.....	10
2. Постановка задачі.....	22
3. Підбір фюзеляжу для комплексу БПЛА.....	23
4. Підбір системи керування та зв'язку.....	28
4.1 Вибір автопілоту для БПЛА.....	28
4.1.1. Архітектура та філософія розробки.....	28
4.1.2. Підтримка апаратного забезпечення.....	29
4.1.3. Функціональні можливості.....	30
4.1.4. Спільнота та підтримка актуальності.....	30
4.1.5. Інтерфейс планування місій для БПЛА.....	31
4.1.6. Команди місій.....	32
4.1.7. Збереження та завантаження місій.....	33
4.1.8. Моніторинг та управління місією.....	33
4.1.9. Аналіз польотів по log-файлам.....	34
4.1.10. Додаткові можливості налаштувань.....	34
4.2 Підбір елементів системи керування.....	35
5. Адаптація фюзеляжу під вимоги системи керування.....	47
6. Налаштування системи керування під будову фюзеляжу.....	50
6.1 Завантаження та встановлення необхідного програмного забезпечення...50	

6.2 Калібровка системи керування.....	51
7. Польові випробування БПЛА.....	57
Висновки.....	60
Список джерел.....	61

## ВСТУП

В останні десятиліття розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) значно прискорився, спричинивши революцію у багатьох галузях, включаючи військову, сільськогосподарську, екологічну, інфраструктурну та багатьох інших. Сьогодні БПЛА використовуються для моніторингу, розвідки, доставки вантажів, картографування та виконання рятувальних операцій. Одним з ключових факторів, що впливають на функціональність та ефективність БПЛА, є програмне забезпечення, яке використовується для управління польотом і виконання місії.

Об'єктом дослідження є процес розробки та впровадження легкого розвідувального БПЛА, а предметом - система автопілота ArduPilot як основна технологічна складова цього апарату. Результати цього дослідження сприятимуть подальшому розвитку та вдосконаленню безпілотних розвідувальних систем з метою забезпечення ефективного використання в різних сферах діяльності.

Для виконання обраного завдання вибрано систему автоматичного керування ArduPilot, завдяки його гнучкості, легкодоступності прошивки під більшість стандартних контролерів, надійності та можливості подальшого поліпшення системи у майбутньому без потреби глобальних змін в системі.

ArduPilot – це “opensource” проект який підтримується багатьма розробниками та ентузіастами з усієї планети протягом вже 17 років що дозволило опрацювати величезну кількість систем їх варіацій та дало цій системі достатню репутацію для того щоб крупні виробники модулів та контролерів для RC систем вернути увагу та розробляти стандартизовані прошивки під власну продукцію, що практично гарантують надійну взаємодію між модулями.

Великі виробники як MATEK, SpeedyBee, MAMBA, TUF, Generic виробляють практично усі можливі модулі широкого використання які вже розраховані під використання в одній системі, але не блокує можливості використання модулів іншого виробника завдяки зміні буквально 2-3 параметрів системи. У конкретному випадку

обрано МАТЕК як доступного в Україні та непогано себе зарекомендуваного виробника з більш-менш стабільним забезпеченням попиту ринку.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ БПЛА ДЛЯ ЦІЛЕЙ РОЗВІДКИ

На сьогодні більшість українських розвідувальних дронів представляють собою комплексні системи що вимагають багато часу та ресурсів для розробки та побудови, що стає значною проблемою у масштабних військових діях адже вони потрібні вже і зараз в багатьох місцях фронту, на сьогодні чітко видно, що виробництво не здатне забезпечити достатню кількість та різноманіття розвідувальних дронів здатних вести тривале спостереження усюди.

Розглянемо декілька прикладів розробок, що вже активно використовуються ЗСУ:

**PD-2** (скорочення від англійського People'sDrone — «народний дрон») — це український багатоцільовий безпілотний літальний апарат, розроблений компанією Ukrspesystems. Він призначений для проведення повітряної розвідки та може використовуватися як носій бомбового навантаження з бойовою частиною вагою до 3 кг. PD-2 здатен злітати зі злітної смуги, а також може бути оснащений модулями для вертикального зльоту та посадки (VTOL), що дозволяє йому здійснювати вертикальні зліт і приземлення.

#### Загальні характеристики

- Екіпаж: немає
- Вантажопідйомність: до 19 кг
- Розмах крил: 5 м (16 футів 5 дюймів) (у конфігурації з СВЗП)
- Максимальна злітна вага: 55 кг (121 фунт) (у конфігурації з СВЗП)
- Повітряний гвинт: 2-лопатевий

#### Льотні характеристики

- Максимальна швидкість 140 км/год (87 миль/год; 76 вузлів)
- Крейсерська швидкість 100 км/год (62 миль/год; 54 вузли)
- Швидкість звалювання 65 км/год (40 миль/год; 35 вузлів)
- Дальність польоту 1 000 км (621 миля; 540 морських миль)
- Тривалість польоту 12 годин (без СВЗП)

- Практична стеля 5 000 м (16 404 фути)
- Швидкопідйомність 3 м/с (590 футів/хв)
- Швидкість зниження 3 м/с (590 футів/хв)
- Інше: дальність зв'язку — 220 км

**Raybird-3 (ACS-3)** — український безпілотний авіаційний комплекс класу «малий тактичний» (згідно з класифікацією ЗСУ, зі злітною масою до 150 кг) для виконання різних довготривалих місій та пошуково-рятувальних операцій, включаючи аерофотозйомку та відеоспостереження вдень і вночі за об'єктами на земній та водній поверхні.

Створений компанією АВК «Скаетон». З 2016 року допущений до експлуатації в Збройних силах України. Назва Raybird-3 використовується для цивільного використання, тоді як ACS-3 — для військової версії.

Авіаційний комплекс Raybird-3 складається з безпілотного літального апарату, переносної наземної станції керування, антени та катапульти. Весь комплекс транспортується в чотирьох контейнерах і готовий до запуску менш ніж за 20 хвилин.

Силова установка БПЛА — одноциліндровий чотиритактний бензиновий двигун GF40 інжекторного типу об'ємом 40 куб. см (виробництво OS Engines), який приводить у дію гребний пропелер. Двигун працює в умовах температури від -25 до +45 °С, потужність становить 3,8 к.с. (2,8 кВт).

Літак запускається за допомогою механічної катапульти зі стартовою швидкістю 55 км/год. Приземляється на парашуті.

БПЛА не потребує ручного введення координат, літає за заздалегідь запрограмованим маршрутом та самостійно повертається до оператора.

Оператор безпосередньо керує БПЛА на відстані до 240 км. В автономному режимі Raybird-3 літає 2,5 тис. км при максимальному радіусі 1 тис. км. До станції керування можна підключити будь-яку кількість літаків, а до одного літака можна під'єднати будь-яку кількість операторів.

### **Тактико-технічні характеристики Raybird-3 (модифікація ACS-3M):**

- Розмах крила: 2960 мм
- Висота польоту: до 3,5 км
- Тривалість польоту: 18-28 год
- Швидкість (max / крейсерська / min): 140 / 110 / 80 км/год
- Максимальна злітна маса: 23 кг
- Корисне навантаження: до 5 кг

**RAM II UAV** — український дрон-камікадзе, створений на базі корпусу БПЛА «Лелека-100» компанією DEVIRO. Система призначена для нанесення точних ефективних ударів по ворожих силах та мінімізації супутнього збитку при використанні в міській місцевості. Запуск комплексу здійснюється з мобільної катапульти.

Головною особливістю RAM II UAV є активна система візуального відстеження об'єкта, що дозволяє зафіксувати ціль за допомогою відео, яке передається в реальному часі з бортової відеокамери, і стежити за ціллю до удару. Оператор може виявляти цілі за допомогою гіростабілізованої камери Full-HD з 10-кратним оптичним збільшенням.

БПЛА працює від електричного двигуна з низьким рівнем шуму. Повністю заряджений БПЛА з 4-кг бойовою частиною може діяти на відстані 30 км від місця запуску і виконувати як спостереження, так і бойові завдання.

Презентація першої моделі RAM UAV відбулася у лютому 2018 року на виставці в Абу-Дабі, після чого вона була доопрацьована та представлена як друга версія — RAM-II-UAV.

### **Технічні характеристики RAM II UAV:**

- Крейсерська швидкість: 70 км/год
- Бойовий радіус: до 30 км

- Дальність польоту: до 60 км
- Тривалість польоту: 1 год
- Практична стеля: 1000 м
- Довжина: 1,45 м
- Висота: 0,349 м
- Розмах крила: 2,584 м
- Споряджена маса: 9,8 кг
- Двигуни: електричні
- Боезапас: осколковий, термобаричний, кумулятивний

**SHARK (укр. «ШАРК»)** — розвідувальний безпілотний комплекс, створений компанією Ukrspesystems для спостереження та коригування вогню.

Безпілотний літальний апарат обладнано високонадійним модулем зв'язку із шифруванням AES256, що дозволяє йому проникати у тил противника до 80 км навіть в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ). Оптико-електронний комплекс спостереження з роздільною здатністю Full HD, 30-кратним оптичним збільшенням і додатковим 3-кратним цифровим зумом дає змогу вести спостереження на відстані до 5 км від безпілотника до об'єкта.

«ШАРК» поєднує випробувані війною технології та досвід використання в бойових умовах більших оперативно-тактичних безпілотників серії PD-1 та PD-2. БПЛА запускається з катапульти та має оперативну дальність до 80 км, здіймаючись на висоту до 3000 метрів. Його максимальна швидкість становить 130 км/год, крейсерська — 75 км/год, а швидкість звалювання — 60 км/год. Посадка здійснюється за допомогою парашуту.

БПЛА здатні протягом тривалого часу коригувати крупнокаліберну артилерію, стійкі до засобів РЕБ та складних погодних умов. З однієї станції можна керувати одразу кількома БПЛА.

До складу комплексу БПЛА «Шарк» входять:

- 3 БПЛА
- Наземна пускова установка
- Додаткове обладнання

#### **Основні технічні характеристики SHARK UAS:**

- Дальність зв'язку: 80 км
- Крейсерська швидкість: 75 км/год
- Максимальна швидкість польоту: 130 км/год
- Максимальна дальність польоту: ~300 км
- Швидкість звалювання: 60 км/год
- Практична стеля: 3000 м
- Вага апарату: 12,5 кг
- Розмах крил: 3,4 м
- Робоча температура: від -15°C до +50°C

**БпАК-МП-1 «Spectator» (укр. «Спостерігач»)** — український безпілотний авіаційний комплекс, призначений для розвідки, розроблений і вироблений ВАТ «Меридіан» імені С. П. Корольова.

#### **Склад комплексу:**

- Наземна станція керування
- Три безпілотні літальні апарати (БпЛА)

#### **Характеристики БПЛА:**

- Розмах крила: 3000 мм
- Довжина: 1295 мм

- Швидкість польоту: 40-140 км/год (максимальна швидкість — 200 км/год)
- Максимальна висота польоту: 2000 м
- Тривалість польоту: до 2 годин (120 хв)
- Вага без корисного навантаження: 2 кг
- Маса корисного навантаження: 1,5 кг
- Максимальна злітна вага: 5,5 кг
- Тип силової установки: електрична (низький рівень шуму)
- Запуск: з руки
- Приземлення: на парашуті
- Радіус дії: 30 км (може досягати 50 км)
- Робочий діапазон: 20 км
- Режим керування: автоматичний, напівавтоматичний, ручний

#### **Особливості та обладнання:**

- Не потребує спеціальних вимог до стартового майданчика та додаткових пристроїв для зльоту.
- Може бути оснащений камерою денного/нічного бачення із 10-кратним збільшенням, тепловізійною і мультиспектральною камерами, фотокамерою високої роздільної здатності, датчиком радіаційного фону та іншим обладнанням.
- Здатен розвідувати та проводити моніторинг водних й лісових масивів, нафто- і газопроводів, державного кордону, здійснювати аерофотозйомку та задіюватись у пошуково-рятувальних операціях.

#### **Наземна станція керування:**

- Забезпечує прийом і передачу сигналів на безпілотник на відстані до 30 км.

- Командно-телеметричний канал передає інформацію про положення, параметри польоту і координації цілей, а також забезпечує програмування системи автоматичного керуванням БПЛА.
- Канал радіо-керування контролює БПЛА при придушенні системи супутникової навігації та керування цільовим навантаженням.
- Канал передачі відеосигналу передає зображення з цільового навантаження на наземну станцію керування.

**UJ-22 Airborne** — багатоцільовий безпілотний авіаційний комплекс виробництва українського підприємства «УкрДжет». Здатний нести некеровані авіаційні бомби (82-мм міни) для ураження живої сили, бронетехніки та наземних об'єктів. Вперше був представлений 16 червня 2021 року на міжнародній виставці озброєнь «Зброя та безпека — 2021».

#### **Технічні характеристики:**

- Радіус дії з передачею даних в режимі реального часу: 100 км
- Максимальний радіус дії (в автономному режимі): 800 км
- Максимальна злітна вага: 85 кг
- Загальна довжина: 3300 мм
- Розмах крил: 4600 мм
- Двигун: бензиновий двотактний
- Швидкість БПЛА (км/год):
  - Крейсерська: 120 км/год;
  - Максимальна: 160 км/год;
  - Мінімальна: 90 км/год;
- Мінімальна висота польоту: 50 м;

- Максимальна висота польоту: 6000 м;
- Максимальна тривалість польоту: 7 год;
- Максимальна тривалість роботи наземної станції управління (НСУ): 24/7 год;
- Діапазон робочих температур: -40/+50°C;
- Вага корисного навантаження: до 20 кг;
- Зліт та посадка з майданчиків з різним типом покриття: так;
- Метеоумови використання: прості та складні
- Зовнішній екіпаж: 4 особи

**Безпілотний літальний апарат «ГОР»** — розвідувальний безпілотний літальний апарат, створений компанією «Ейрлоджикс» після початку повномасштабного вторгнення Російської Федерації в Україну. Він призначений для спостереження та коригування вогню в режимі реального часу.

#### **Особливості:**

- Зв'язок: Обладнано високонадійним модулем зв'язку (AES256), що дозволяє йому заглибитися у тил противника до 40 км навіть в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ). Система зв'язку має основний (700 МГц) та дубльований канал (80 МГц), які використовують ППРЧ для захисту від РЕБ. У разі придушення основного каналу, система автоматично перемикається на запасний, дозволяючи оператору вивести БПЛА з зони дії РЕБ.
- Камери: Камерна система з роздільною здатністю Full HD, з 40-кратним оптичним збільшенням і додатковим 2x цифровим зумом для денної камери та 8-кратним цифровим зумом для нічної камери.

#### **Технічні характеристики:**

- Крейсерська швидкість: 80 км/год
- Максимальна швидкість: 108 км/год

- Бойовий радіус: до 40 км
- Дальність польоту: приблизно 160 км
- Тривалість польоту: 2,5 год
- Практична стеля: 3500 м
- Швидкопідйомність: 3 м/с
- Довжина: 1,6 м
- Висота: 0,49 м
- Розмах крила: 2,645 м
- Максимальна злітна вага: 11,6 кг
- Двигуни: Електричні

Безпілотний літальний апарат «ГОР» забезпечує високу ефективність у проведенні розвідки та коригуванні вогню, здатен працювати в умовах радіоелектронної боротьби та має тривалу автономність польоту.

**Безпілотний літальний апарат "Лелека-100"** - /розроблено для виконання завдань з аеророзвідки, патрулювання та картографування місцевості з можливістю передачі оперативної інформації у реальному часі. Особливу увагу при розробці приділено безпеці та надійності, а також забезпеченню стійкості проти радіоелектронного перешкодження. Давайте підсумуємо технічні характеристики:

#### **Основні характеристики:**

- Розміри: 1980 мм у довжину, 1135 мм у ширину.
- Злітна маса:  $5 \pm 0,5$  кг.
- Матеріал: Композит скло-вугле волокно.
- Мотоустановка: Електрична.
- Максимальна висота польоту: 1500 м.

- Температурний діапазон: Від -20°C до +40°C.
- Спротив вітру: До 20 м/с.
- Крейсерська швидкість: Від 60 до 70 км/год.
- Гарантована довжина маршруту: 100 км.
- Максимальна швидкість: 120 км/год.
- Час знаходження у повітрі: Від 1.5 до 4 годин.
- Керування: 30-50 км двосторонній цифровий канал із шифруванням.
- Програмування: Візуальний режим по супутникових мапах.
- Система забезпечення польоту: Автопілот з автоматичним режимом польоту та навігації.
- Система протидії засобам РЕБ: Спеціальна система DeViro.
- Запуск: Ручний або з катапульті.
- Приземлення: Парашутне або на живіт.

"Лелека-100" оснащена високоякісною камерною системою та передачею відеосигналу у кодованому вигляді, що робить його недоступним для перехоплення стандартними відеоприймачами. Також важливо зазначити, що апарат володіє можливістю автономного повітряного руху навіть у разі придушення радіоканалу або систем супутникової навігації.

**Безпілотний авіаційний комплекс АСУ-1 «Валькірія»** призначений для виконання завдань моніторингу, розвідки, відеоспостереження та корегування артилерійського вогню як у денний, так і у нічний час. Давайте розглянемо його основні характеристики:

**Склад комплексу:**

- Два безпілотних літальних апарати.
- Денне та нічне корисне навантаження.
- Наземна станція управління з захищеним ноутбуком.
- Антени.
- Додаткове обладнання.

### **Основні технічні характеристики:**

- Тип: Літаюче крило.
- Матеріали: EPP, каркас із карбону, композит.
- Максимальна злітна вага: 3,5 кг.
- Розмах крил: 1,6 м.
- Силова установка: Електричний двигун з живленням від Li-pol акумулятора.

### **Експлуатаційні показники:**

- Радіус дії: До 34 км.
- Час польоту: Приблизно 120 хвилин у нормальних метеоумовах.
- Крейсерська швидкість: 60 км/год.
- Максимальна швидкість: 108 км/год.
- Практична стеля: 2000 м.
- Спосіб зльоту: Автоматичний з рук або леєра.
- Спосіб посадки: Автоматична, аналогічна посадці літака.
- Температура застосування: Від -20 °С до +40 °С.

Технічні рішення, такі як шифрований цифровий телеметричний зв'язок та автопілотна система на відкритій апаратній платформі, гарантують надійність і ефективність у різних умовах експлуатації.

У сучасному світі розвиток безпілотних літальних апаратів швидко набуває обертів. Більшість зусиль вчених і інженерів спрямована на створення складних та технологічних комплексів БПЛА, що мають велику функціональність та високу вартість. Проте ця орієнтація може викликати проблеми доступності для багатьох військових чи цивільних підрозділів розвідки. Наприклад комплекс «Валькірія» станом на 2022 рік мав ціну близько 800 000 грн, хоч і ціна є виправданою, але все одно обмежує доступність комплексу до використання на фронті.

Зараз, у епоху швидкого розвитку технологій, безпілотні літальні апарати стають не лише перспективним напрямком, а й важливим інструментом у багатьох сферах діяльності. Від військових операцій до агропромислового сектора, вони

знаходять своє застосування завдяки своїм унікальним можливостям розвідки, моніторингу та збору інформації.

Однак, багато існуючих розробок БПЛА занадто складні і дорогі для багатьох користувачів. Вони вимагають значних витрат на виробництво, установку та обслуговування, що робить їх недосяжними для багатьох військових чи цивільних підрозділів.

Тому, метою даної роботи є створення БПЛА, який був би доступним та мав би низьку вартість. Такий підхід дозволить розширити коло користувачів і забезпечити доступні інструменти для тривалої розвідки для максимальної кількості підрозділів розвідки, як у військових, так і у цивільних сферах.

Мета роботи - не лише зменшити витрати на створення та експлуатацію БПЛА, але й забезпечити їхню ефективність і надійність. Ми прагнемо розробити апарат, який би був простим у використанні, але водночас функціональним і дієвим у виконанні своїх завдань. Такий БПЛА стане доступним інструментом для вирішення різноманітних завдань розвідки та нагляду на широкому спектрі територій і в умовах різних погодних умов.

Робота базується на концепції доступності та ефективності. Проект базується на прагненні забезпечити найбільш економічне та оптимальне рішення для розвідки, дозволяючи підрозділам розвідки здійснювати тривалу моніторингову діяльність без значних витрат часу і коштів на впровадження та експлуатацію. Такий підхід буде сприяти підвищенню ефективності розвідувальних операцій та забезпечить зростання безпеки та захищеності наших підрозділів.

## РОЗДІЛ 2

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Результат роботи має відповідати таким критеріям:

- Матеріали використані у збірці фюзеляжу мають бути легкодоступні та легко й швидко оброблятися;
- Система керування має бути гнучкою та простою з доступними чи замінюваними елементами;
- Фюзеляж має витримувати швидкість до 80 км/г та висоту до 300м;
- Система контролю та передачі відео повинна мати дальність передачі до 5км;
- Літак має потребувати мінімально можливої кількості обслуговування для підтримки працездатності;
- Підготовка та запуск комплексу має бути не довше ніж 10 хв;
- Комплекс має бути простим у використанні;
- БПЛА має автономно працювати не менше ніж 2 години;
- Запуск має відбуватися без допоміжних інструментів.(Запуск з руки).

## РОЗДІЛ 3

### ПІДБІР ФІОЗЕЛЯЖУ ДЛЯ КОМПЛЕКСУ БПЛА

В процесі дослідження було розглянуто декілька варіантів будови БПЛА, а саме:

- Планер;
- Літуче крило;
- Літуче крило з елеватором.



Рис 1.1 – приклад корпусу БПЛА класу «Планер»

Першим з розглянутих варіантів був планер. Завдяки його будові та мінімальній вазі така модуль дозволяє довго триматися у повітрі навіть без роботи двигуна, що дозволило б економити заряд акумулятора таким чином подовживши час безперервної роботи.

Проте така будова має декілька сильних недоліків:

- Витягнута та довга форма корпусу погано переносить перевезення без додаткового захисту чи упакування;
- Значні обмеження по вазі БПЛА та складність роботи для людей без досвіду;

- Корпус через особливості побудови має слабку ударостійкість та складно ремонтується;
- Запуск вимагає гарних погодних умов, особливо вітру задля взльоту.

Недоліки значно перебільшують переваги, через що, було прийняте рішення відмовитися від такого корпусу та продовжити пошук фюзеляжу відповідаючого потребам проекту.

Наступний варіант розглянутий під час досліджень – літаюче крило. Яскравим прикладом БПЛА такого класу буде – «Валькірія».



Рис 1.2 – БПЛА АСУ- 1 «Валькірія»

До переваг такого фюзеляжу можна віднести:

- Просту будову, що забезпечує легкий ремонт у випадку пошкодження;
- Гарна грузопідйомність відносно ваги самого БПЛА;

- Хороші аеродинамічні показники за рахунок невеликого розміру та мінімальної кількості керуючих елементів;
- Відносно малі габарити та пласка форма забезпечує легке транспортування БПЛА.

Серед недоліків:

- Вибагливість фюзеляжу до розміщення елементів через чутливість до переважування;
- Складність запуску без допоміжних інструментів;
- Ускладнене керування у напівавтоматичному та ручному режимах через виконання двома елеронами також функцій елеватора;
- Розміщення двигуна та пропелера позаду, робить практично неможливим безпечний ручний запуск БПЛА.

Хоча такий варіант виглядає значно краще порівняно з планером, все таки було прийняте рішення від нього відмовитись в першу чергу через складність запуску подібних БПЛА без допоміжних інструментів, в той час як використання допоміжних засобів збільшило час запуску, та ускладнило б його процес, добавивши більшу кількість змінних у рівняння запуску БПЛА. Наприклад якщо будувати катапульти, що запускатиме БПЛА виникають такі складнощі – в першу чергу проектування та побудова самої катапульти, а після цього ще її обслуговування та перевезення разом з БПЛА, що буде обмежувати мобільність групи розвідки. Якщо ж використовувати запуск з резинки, це, хоч і не буде так обмежувати мобільність групи, накладе значні обмеження по місцевості де можливий запуск через потребу у великій вільній площі та можливості закріпити якій від самої резинової тяги.

Останній варіант розглянутий під час досліджень - летуче крило з окремим елеватором.



Рис 1.3 – приклад фюзеляжу по типу «летуче крило» з окремим елеватором.

Такий варіант був обраний через декілька значних переваг:

- Проста будова передбачає простий ремонт та мінімальне обслуговування;
- Будова передбачає можливість розбірності моделі, що ще спрощує ремонт та перевезення;

- Велика площа крила дає стабільність у повітрі та утримання висоти;
- У даному фюзеляжі передбачене розміщення усієї системи керування та живлення в центрі тяжіння БПЛА, що майже гарантує гарний розподіл ваги;
- Окремі два елерони та елеватор забезпечує простоту керування як в автоматичному так і в ручному режимі;
- Переднє розміщення двигуна дає можливість безпечного ручного запуску.

До недоліків можна віднести:

- Досить високу ймовірність пошкодження двигуна при невдалій посадці чи падінні;
- Обмеження по силі вітру в момент запуску, якщо вітер буде сильний та поривистий то БПЛА може перевернутись від час злету;
- Обмеження по місцю для розміщення системи керування та зв'язку.

## РОЗДІЛ 4

### ПІДБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЗВ'ЯЗКУ

#### 4.1 Вибір автопілоту для БПЛА

Першим кроком у підборі системи керування є вибір системи автопілоту, серед них чітко виділяються два варіанти – INAV та ArduPilot. Ці автопілоти найширше використовуються по всьому світу за рахунок чого мають відпрацьовані інструменти роботи та високу надійність.

INAV та ArduPilot є двома популярними програмними платформами для керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) і мають деякі суттєві відмінності у своїй функціональності, філософії розробки та застосуванні. Ось детальний огляд їх відмінностей:

##### 4.1.1. Архітектура та філософія розробки

INAV:

- Спадщина Cleanflight/BetaFlight: INAV базується на Cleanflight, що є популярним програмним забезпеченням для гоночних дронів. Cleanflight, у свою чергу, походить від BetaFlight.

- Простота та ефективність: INAV орієнтований на простоту налаштувань та використання, і зосереджений на забезпеченні базової стабілізації та навігації для літаючих крил, літаків та квадрокоптерів.

- Розширені можливості для літаючих крил: INAV пропонує потужні можливості для літаючих крил, включаючи автопілот, повернення додому, трекінг польотів та інші навігаційні функції.

ArduPilot:

- Універсальність: ArduPilot є надзвичайно універсальною та потужною платформою, яка підтримує різноманітні типи БПЛА, включаючи літаки, коптери, роверів, човни та інші.

- Спільнота та розвиток: ArduPilot розвивається великою спільнотою розробників та користувачів. Проект активно підтримується та регулярно оновлюється.

- Гнучкість та масштабованість: ArduPilot пропонує широкий спектр можливостей та налаштувань, які дозволяють адаптувати систему до дуже складних сценаріїв та вимог.

#### **4.1.2. Підтримка апаратного забезпечення**

INAV:

- Контролери польотів: INAV підтримує більшість популярних контролерів польотів, таких як F4, F7, H7 та деякі моделі F3.

- Датчики: INAV працює з більш обмеженим набором датчиків порівняно з ArduPilot, але достатньо для основних потреб у стабілізації та навігації.

ArduPilot:

- Широкий спектр апаратних платформ: ArduPilot підтримує значно більше різноманітних контролерів польотів, включаючи Pixhawk, CubePilot, Matek та багато інших.

- Підтримка датчиків: ArduPilot підтримує широкий спектр датчиків, включаючи GPS, LiDAR, камери, сонари та інші спеціалізовані сенсори.

### **4.1.3. Функціональні можливості**

INAV:

- Основні режими польоту: INAV підтримує різноманітні режими польоту, такі як стабілізація, GPS-утримання, повернення додому та автоматичний політ по маршруту.

- Легка налаштування: INAV забезпечує простий інтерфейс налаштування та конфігурації, що робить його доступним для новачків та користувачів із меншою технічною підготовкою.

ArduPilot:

- Розширені можливості автопілота: ArduPilot пропонує більш просунуті можливості автопілота, включаючи автоматичне зльотування та посадку, обліт точок маршруту, складні місії та багато інших функцій.

- Інтеграція з іншими системами: ArduPilot може інтегруватися з різними наземними станціями управління (GCS), такими як MissionPlanner, QGroundControl, та інші, що забезпечує гнучке управління та моніторинг.

- Підтримка безпеки: ArduPilot має розширені функції безпеки, включаючи обхід перешкод, аварійні режими та резервні системи.

### **4.1.4. Спільнота та підтримка актуальності**

INAV:

- Активна спільнота: INAV має активну спільноту користувачів, особливо серед ентузіастів гоночних дронів та літаючих крил.

- Документація та ресурси: INAV пропонує велику кількість ресурсів, включаючи форуми, відеоуроки та документацію, хоча вона може бути менш повною порівняно з ArduPilot.

ArduPilot:

- Широка спільнота та підтримка: ArduPilot має одну з найбільших спільнот у світі безпілотників, з великою кількістю ресурсів, включаючи офіційні форуми, вичерпну документацію, відеоуроки та професійну підтримку.

- Професійне використання: ArduPilot часто використовується у професійних і комерційних проектах завдяки своїй гнучкості та надійності.

INAV та ArduPilot мають свої унікальні переваги та обмеження. INAV більш підходить для користувачів, які шукають простоту налаштування та використання, зосереджуючись на літаючих крилах та гоночних дронах. ArduPilot, з іншого боку, пропонує більш широкий спектр можливостей та гнучкість, що робить його ідеальним вибором для складних та професійних застосувань у різних типах безпілотних систем.

Враховуючи сказане вище, мій вибір пав на ArduPilot через більш повну документацію, більшу гнучкість системи та найголовніше – систему місій у MissionPlanner.

Система місій у MissionPlanner (MP) є однією з найважливіших функцій для планування та виконання автономних польотів безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які використовують платформу ArduPilot. MissionPlanner дозволяє створювати, редагувати та завантажувати місії до автопілота, а також здійснювати моніторинг і управління польотом у реальному часі. Ось докладний огляд функціональності системи місій у MissionPlanner:

#### **4.1.5. Інтерфейс планування місій для БПЛА**

Графічний інтерфейс:

- Карта: Основний робочий простір MissionPlanner складається з інтерактивної карти, де користувачі можуть створювати та редагувати точки маршруту (waypoints).

- Інструменти для планування: У верхньому меню доступні різні інструменти для створення точок маршруту, встановлення параметрів та налаштування місії.

Точки маршруту (Waypoints):

- Додавання точок: Користувачі можуть додавати точки маршруту, просто клікаючи на карту. Кожна точка має набір параметрів, таких як висота, швидкість та інші команди.

- Редагування: Точки можна переміщати, редагувати або видаляти, змінюючи маршрут за необхідністю.

#### **4.1.6. Команди місії**

Команда місії – основний структурний елемент побудови місії, що являє собою конкретну дію, яку має виконати БПЛА в ході певного етапу місії згідно заданим параметрам.

Типи команд:

- Навігаційні команди: До навігаційних команд належать основні точки маршруту (WAYPOINT), точка повернення додому (RTL), та посадка (LAND).

- Спеціальні команди: ArduPilot підтримує різноманітні спеціальні команди, такі як фотографування (DO\_DIGICAM\_CONTROL), запуск відеозапису (DO\_VIDEO\_START\_CAPTURE), розгортання парашута (DO\_PARACHUTE) та інші.

Налаштування команд:

- Параметри команд: Кожна команда має свої параметри, які можна налаштовувати. Наприклад, для команди WAYPOINT можна встановити висоту, затримку, швидкість та інші параметри.

- Умовні команди: Деякі команди можуть бути виконані лише за певних умов, наприклад, DO\_JUMP, яка дозволяє перескочити до іншої точки маршруту за виконання певних умов.

#### **4.1.7. Збереження та завантаження місій**

Збереження місій:

- Локальне збереження: Користувачі можуть зберігати створені місії на своєму комп'ютері у вигляді файлів з розширенням `.waypoints` або `.mission`.
- Хмарне збереження: MissionPlanner також підтримує збереження місій у хмарних сервісах, таких як Dropbox або GoogleDrive.

Завантаження місій:

- Завантаження до автопілота: Після створення місії її можна завантажити до автопілота БПЛА через USB або телеметричне з'єднання.
- Редагування завантажених місій: Завантажені місії можна редагувати у реальному часі, вносячи зміни безпосередньо під час польоту.

#### **4.1.8. Моніторинг та управління місією**

Режими моніторингу:

- Реальний час: MissionPlanner дозволяє відслідковувати виконання місії у реальному часі, використовуючи карту та дані телеметрії.
- Телеметрія: Показники телеметрії, такі як висота, швидкість, стан батареї, положення БПЛА, відображаються у спеціальних панелях інтерфейсу.

Управління місією:

- Коригування маршруту: Користувачі можуть змінювати маршрут або додавати нові команди під час польоту, якщо це необхідно.
- Виконання команд вручну: Деякі команди можна виконати вручну, наприклад, примусове повернення додому (RTL) або негайна посадка (LAND).

#### **4.1.9. Аналіз польотів по log-файлам**

Збір даних:

- Логи польотів: MissionPlanner дозволяє зберігати логи польотів для подальшого аналізу. Логи містять велику кількість даних, включаючи телеметрію, команди місії та інші параметри польоту.

Інструменти аналізу:

- Графіки та діаграми: MissionPlanner має вбудовані інструменти для аналізу даних польоту, включаючи побудову графіків та діаграм для візуалізації параметрів польоту.

- Пошук та діагностика: Аналіз логів допомагає виявляти проблеми або відхилення в роботі системи, що дозволяє поліпшувати налаштування та забезпечувати безпеку польотів.

#### **4.1.10. Додаткові можливості налаштувань**

Симуляція місій:

- Симулятори: MissionPlanner підтримує інтеграцію з різними симуляторами польотів, що дозволяє тестувати місії без ризику для реальних БПЛА.

- Віртуальні місії: Користувачі можуть створювати та тестувати місії у віртуальному середовищі перед їх виконанням у реальному світі.

Інтеграція з іншими системами:

- Інтерфейси API: MissionPlanner підтримує різні API для інтеграції з іншими системами управління польотами та автоматизації.

- Додаткові модулі: Існують різноманітні плагіни та додаткові модулі, які розширюють функціональність MissionPlanner, додаючи нові можливості та покращення.

MissionPlanner є потужним та гнучким інструментом для планування, виконання та аналізу місії безпілотних літальних апаратів. Він надає користувачам широкі можливості для налаштування та управління місіями, забезпечуючи інтуїтивний інтерфейс та великий набір функцій для професійного та аматорського використання. Завдяки постійній підтримці та розвитку, MissionPlanner залишається одним із найпопулярніших інструментів у сфері безпілотних технологій.

## 4.2 Підбір елементів системи керування

Систему керування БПЛА можна умовно поділити на декілька частин:

- Контрольна частина;
- Рухома частина;
- Система зв'язку.

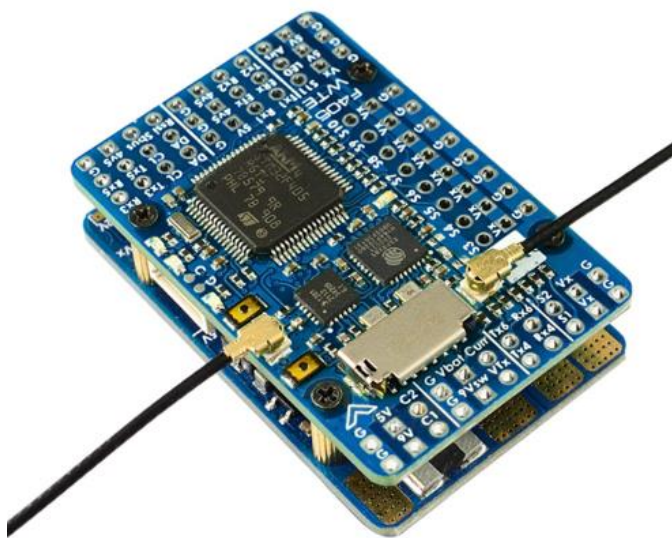


Рис 4.1– контролер МАТЕК f405 WTE

Центром будь якої системи керування на основі автопілоту є контролер в цьому випадку обрано було MatekF405-WTE,

за рахунок його доступності, надійності та гнучкості у використанні та мого власного та не тільки досвіду користування він став першим претендентом на місце контролера, хоча також варто зазначити гідні аналоги:

- SpeedyBee F405 WING – трохи дешевший аналог Matek, з схожими характеристиками, в цілому буде непоганою альтернативою хоча більше більше розрахований під INAV.



Рис 4.2 – контролер SpeedyBee F405 WING

- Pixhawk 4 – дорожчий аналог МАТЕК проте за свою ціну пропонує ширший вибір функціоналу більшу робочу частоту та більше флешпам'яті. Розрахований на більш комплексні системи тому його використання не дуже доцільне, але у крайньому випадку свою справу зробиць.



Рис 4.3– контролер Pixhawk 4

В кожному контролері є обмежена кількість різних типів підходів для підключення різних модулів декількох основних форматів.

Повна характеристика МАТЕК f405 WTE являє собою такий список:

### **FC Specifications**

- MCU: STM32F405RGT6, 168MHz , 1MB Flash
- IMU: ICM42688-P
- Барометр: SPL06-001
- OSD: AT7456E
- Blackbox: MicroSDcardslot
- ESP WiFiTelemetry(MAVLink, 14dBm)
- ExpressLRS 2.4G receiver(CRSF protocol, Telemetry 12dBm)
- 6x UARTs, 1x Softserial\_Txoption(INAV)
- 12x PWM виходи
- 1x I2C
- 4x ADC (VBAT, Current, RSSI, Airspeed)
- USB/BeepExtenderwithType-C(USB2.0)
- DualCameraInputswitch
- 9V(12V) for VTX powerswitch

### **Доступні прошивки**

- ArduPilot: MatekF405-TE
- INAV: МАТЕКF405TE\_SD (недоступні для INAV 4.x)

## **PDB**

- Вхідна напруга: 6.8~30V (2~6S LiPo)
- 1x ESC подача живлення
- BatteryVoltageDivider 1K:20K (Scale 2100 in INAV, BATT\_VOLT\_MULT 21.0 inArduPilot)
- Амперметр: 220A, 3.3V ADC (Scale 150 in INAV, 66.7 A/V inArduPilot)
- Senseresistor: 90A continuous, 220A peak

## **BEC 5V виходи**

- Розраховані дляПолітного контролера, приймача, OSD, камери, Buzzer, 2812 LED\_Strip, Buzzer, GPS модуля, AirSpeed сенсора
- Безперервний струм: 2 А, макс.3А

## **BEC 9V /12V виходи**

- Розраховані дляВідео трансмітера, камери.
- Безперервний струм: 2 А, макс.3А

## **BEC Vx виходи**

- Розраховані для сервоприводів
- Регульована напруга, 5V Default, 6V or 7.2V через джампер
- Безперервний струм: 8 А, Мах.10А

## **BEC 3.3V виходи**

- Розраховані для барометра / модуля компаса та зовнішньої 3.3V периферії
- Лінійний регулятор
- Безперервний струм: 200mA

Другим елементом контрольної частини буде регулятор ходу, також відомий як ESC (electronicspeedcontroller). В комплектації даного БПЛА обраний HobbyWing Flyfun-40A.



Рис 4.4– регулятор ходу HobbyWing Flyfun-40A

Це добре себе зарекомендувавший контролер невеликої потужності, який легко знайти та купити. ESC має такі заявлені характеристики:

#### **Характеристики:**

- Тип: Безколекторний
- Живлення: 11.1-22.2
- Номінальний струм: 40 А
- Піковий струм: 60 А
- Наявність ВЕС: Імпульсний, 5.2-6-7.4, 8-20 А
- Вологозахист: Ні
- Сенсорний: Ні
- Охолодження: Пасивне
- Призначення: Авіамоделі
- Розміри: 47 x 28 x 14 мм
- Вага: 44 г

Далі розглянемо рухому частину системи – вона складається з двигуна та сервоприводів.

Двигуном в БПЛА обрано T-Motor AT2321 KV1250 700W з такими характеристиками:

- Модель: AT2321
- Тип: безколекторний
- Вигляд: Outrunner
- Призначення: Авіамоделі
- Розмір: 2321
- KV 1250
- Макс. тяга: 2203 – 2533 г
- Напруга живлення: 7.4 – 14.8 В
- Номінальний струм: 8.5 А
- Піковий струм: 40 А
- Струм спокою: 1.8 А
- Макс. тривалий струм: 45 А
- Макс. тривала потужність: 700 Вт
- Вал: Гладкий вал
- Діаметр валу: 4 мм
- Конфігурація: 12N14P
- Довжина дроту: 100 мм
- Кріплення двигуна: 16x19 мм; 34x34 мм
- Пропелери, що рекомендуються: 9-10"

- Розміри: 56x28.4x28.4 мм
- Вага: 94 г



Рис 4.5 – мотор T-Motor AT2321 KV1250 700W

Сервоприводи використовуються для руху елеронів та елеватора, на таку систему рекомендується ставити такі:



Рис 4.6 – сервопривод Power HD TR-5 8кг з вологозахистом

- На елерони Сервопривод міні 35г Power HD TR-5 8кг з вологозахистом
- На елеватор буде досить менш потужного привода, а саме -Сервопривод мікро 16г Power HD TR-4 2,2кг з вологозахистом



Рис 4.7 – сервопривод Power HD TR-4 2,2кг з вологозахистом

Сервоприводи можуть бути замінені на інші з подібними характеристиками, не обов'язково використовувати саме наведені вище.

Далі розглянемо систему зв'язку, вона включає:

- Систему керування та телеметрії;
- Система передачі відео та фіксації;
- GPS модуль.

Першої розглянемо систему керування, в нашому випадку – ELRS (ExpressLRS), система зв'язку заснована на протоколі CrossFire, що давно зарекомендувала себе як гнучкий та надійний інструмент у сфері безпілотних систем, відрізняється від аналогів найбільшою робочою відстанню з зберіганням мінімальної затримки відгуку. На даний комплекс обрано приймач BetaFPV NanoReceiver ELRS 915MHz.

### Характеристики:

- Вага: 0,7 г (тільки приймач)
- Розмір: 12 мм × \*\*\*\*19 мм
- Потужність телеметрії: 20 дБм (100 мВт, версія 2.4G)
- Діапазони частот: 915MHz FCC
- Вхідна напруга: 5В
- Антенний роз'єм: IPEX MHF



Рис 4.8 – приймач BetaFPV NanoReceiver ELRS 915MHz

Такі модулі працюють у парі з трансмітером, рекомендовано використання зовнішнього модуля для пульта керування BetaFPV ELRS 915MHz Micro TX Module.



Рис 4.9 – зовнішній модуль для пульта керування BetaFPV ELRS 915MHz Micro TX Module

Наступною розглянемо систему відеопередачі, вона складається з відеопередавача(VTX) відеоприймача, камери та дисплею поверх відео(OSD).

Першим елементом розглянемо VTX, в цей комплекс обрано - RushFPV RUSH TANK SOLO 5.8GHz 1600mW, обраний після рекомендацій від професійних гонщиків на квадрокоптерах зарекомендував себе як стабільний та надійний модуль для роботи на великі відстані.



Рис 4.10 – відеопередавач RushFPV RUSH TANK SOLO 5.8GHz 1600mW

### **Характеристики:**

- Вхідна напруга: 7-36 В постійного струму
- Вихідна напруга: 5В 1А
- Канали: 48CH RaceBand / LowRace
- Потужність: PIT/25/200/400/800/MAX мВт
- Мікрофон: вбудований високоякісний мікрофон з АРУ
- Протокол керування: TBS SmartAudio
- Аудіо: Підтримка аудіовходу
- Роз'єм для антен: MMCX
- Формат відео: NTSC / PAL
- Розміри: 37х24х6,7 мм
- Вага: 12 г

Наступним елементом буде камера - FPV FoxeerNightCat 3 Micro 1/3" 1200TVL M12 L2.1



Рис 4.11 – камера FPV FoxeerNightCat 3 Micro 1/3" 1200TVL M12 L2.1

### **Характеристики:**

- Матриця: Sony 1/3" CMOS
- Дозвіл: 1200TVL

- Формат: 4:3/16:9 переключається
- ТБ система: PAL/NTSC, що перемикається
- ІЧ-світло: працює з ІЧ-світлом 850 нм
- Об'єктив: M12 2,1 мм F1.4 Об'єктив для слабкого освітлення
- Кут огляду: 4:3 FOV-H: 100° / FOV-D: 125°
- Кут огляду: 16:9 FOV-H: 100° / FOV-D: 115°
- Витримка: PAL 1/25 ~ 1/10000 сек; NTSC 1/30 ~ 1/10000 сек
- Відеовихід: CVBS
- Мінімальне освітлення: 0.00001Lux
- Баланс білого: авто
- DNR: 3DNR
- WDR: 100dB

Наступний компонент це OSD, він може бути як зовнішнім так і встановлений на контролері, у випадку МАТЕКF405-WTE він вбудований, тому у зовнішньому модулі потреби немає, на більшості контролерів він так само присутній тому відео пропускається через нього, що також дає можливість зберігання як фото так і відео на зовнішньому зберігачі, наприклад SD-карті, під яку є окремий слот також встановлений на контролері.

Також, для постачання живлення на систему буде використано збірний акумулятор на основі LiPO(Літій-полімерних) акумуляторів формату 18650, зібраний у вигляді 4s4p—що можна уявити як чотири паралельно підключені батарейки, що з'єднані послідовно з трьома такими ж блоками.

## РОЗДІЛ 5

### АДАПТАЦІЯ ФЮЗЕЛЯЖУ ПІД ВИМОГИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Для даного проекту спеціально отриманий дозвіл на використання фюзеляжу розробленого як тренувальний БПЛА для навчання основам експлуатації безпілотних систем.

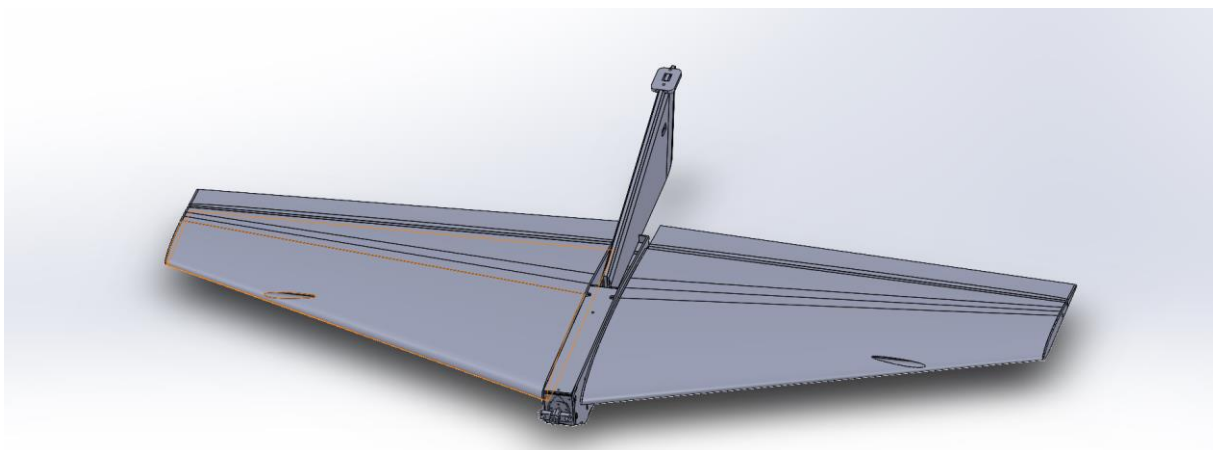


Рис 5.1– 3D модель фюзеляжу створена у SolidWorks

Дана модель являє собою простий БПЛА без можливості відеоспостереження та передачі, за рахунок простої будови легко збирається та має такі характеристики:

- Максимальна швидкість – 60км/год;
- Час у повітрі: - 50-60хв, в залежності від маршруту;
- Дистанція керування - 1км;
- Підйомна вага – до 3.5 кг;
- Максимальна висота – 150м;

Дана модель буде слугувати основою з якої буде розроблено модифікований фюзеляж, відповідний до заданих вище умов. В моделі БПЛА були введені такі зміни:

- В крило була вбудована додаткова композитна арматура 6мм

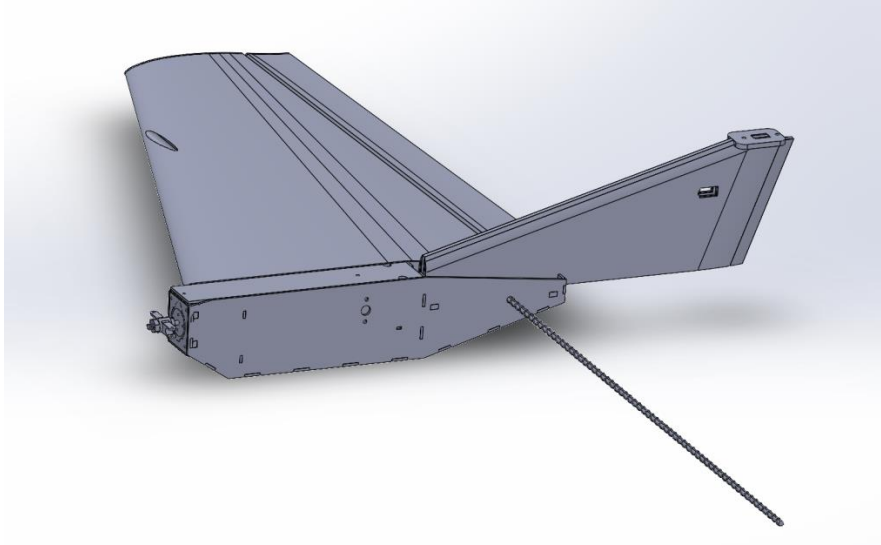


Рис 5.2– 3D модель фюзеляжу з додатковою арматурою

- Задля збереження центру мас хвіст було полегшено також оскільки фюзеляж в своєму початковому варіанті не передбачає встановку відеосистеми, її розміщено у хвіст, нижче він зображений в розрізі

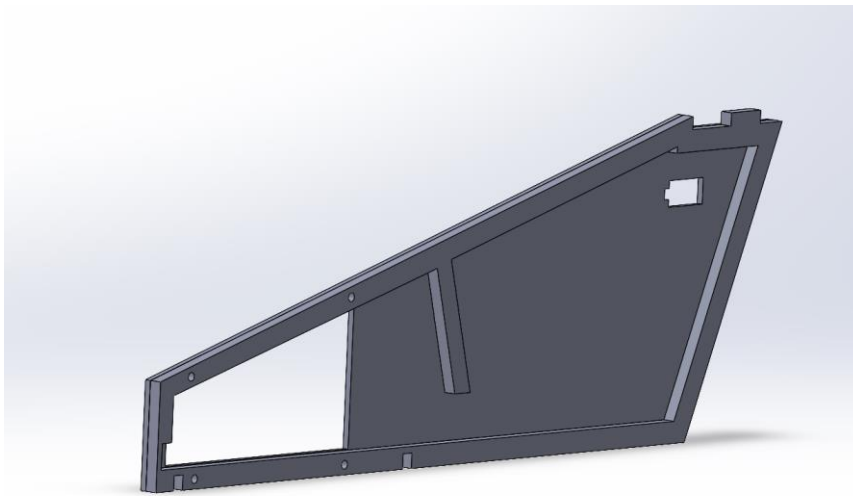


Рис 5.3– 3D модель переробленого хвоста

- Також на цьому фюзеляжі не передбачене встановлення камери, тому на носі фюзеляжу встановлюємо стандартне кріплення для камери, що завжди є в комплекті з самою камерою

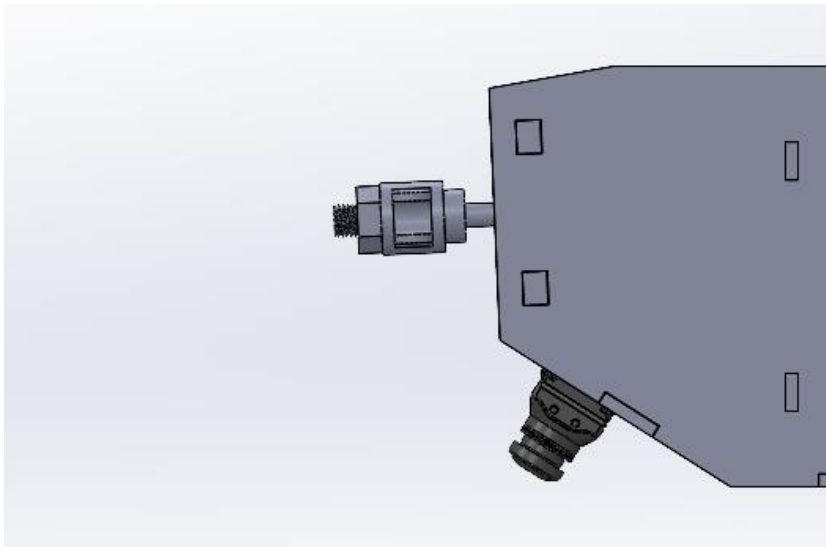


Рис 5.4 – кріплення камери на 3D моделі

На цьому основні зміни в конструкції завершено, розглянемо зміни у використаних матеріалах:

- Замість пластику, що використовувався для збірки корпусу, використаємо фанеру товщиною 3 міліметри, це надасть більшу міцність та жорсткість структурі корпусу;
- Замість пінопласту з якого вирізалися крила, використаємо стеродур, також відомий як екструдований пінополістирол – пінистий матеріал, що використовується для утеплення в будівництві, він має більш щільну структуру і може витримувати більше навантаження;
- Замість ПВХ, з якого зроблений звіт використаємо також фанеру, що надасть більшої стабільності у польоті через більшу міцність матеріалу, та зробить його легшим.

## РОЗДІЛ 6

### НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІД БУДОВУ ФЮЗЕЛЯЖУ

Першим етапом налаштування системи буде встановлення прошивки ArduPilot.

#### **6.1 Завантаження та встановлення необхідного програмного забезпечення**

##### **1.Завантаження MissionPlanner:**

- Відвідайте офіційний сайт ArduPilot та завантажте останню версію MissionPlanner для вашої операційної системи.
- Встановіть програму, слідуючи інструкціям на екрані.

##### **2. Підготовка контролера**

- Підключіть ваш контролер до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Зазвичай система автоматично визначає пристрій та встановлює необхідні драйвери.

##### **2. Встановлення прошивки**

- Відкрийте програму MissionPlanner.
- Перейдіть на вкладку "InitialSetup". Натисніть на кнопку "InstallFirmware" або "Firmware".
- У вікні, що відкрилося, оберіть тип вашого літального апарату (наприклад, ArduCopter для квадрокоптера, ArduPlane для літака, ArduRover для наземного транспортного засобу тощо).
- Натисніть на відповідну кнопку, щоб завантажити останню версію прошивки для вашого типу апарату.
- MissionPlanner автоматично завантажить та прош'є контролер.

- Під час цього процесу, дотримуйтесь інструкцій на екрані. Наприклад, вам може бути запропоновано відключити та знову підключити контролер до USB, щоб увійти в режим завантаження.
- Після успішного прошивання ви побачите повідомлення про успішне завершення процесу.

Після встановлення прошивки проводиться калібрування та налаштування портів контролера.

Початкова калібровка контролера за допомогою MissionPlanner є важливим етапом підготовки апарату до польоту. Процес калібровки включає в себе налаштування основних параметрів, таких як акселерометри, компас, передавач, та інші системи. Нижче наведено детальний опис цього процесу.

## **6.2 Калібровка системи керування**

Переконайтеся, що всі підключення виконані правильно:

- Підключіть контролер до комп'ютера за допомогою USB-кабелю.
- Переконайтеся, що батареї вашого апарату заряджені, але поки не підключайте їх.

### **1. Запуск MissionPlanner:**

- Відкрийте програму MissionPlanner.
- У верхньому правому куті виберіть відповідний COM-порт і натисніть кнопку "Connect".

### **2. Калібровка акселерометрів**

- Перейдіть до вкладки "InitialSetup".
- У підменю виберіть "MandatoryHardware" і натисніть на "AccelCalibration".

## **1. Початок калібровки:**

- Натисніть кнопку "CalibrateAccel".
- Слідуйте інструкціям на екрані, щоб розмістити апарат у різних положеннях (плоско, на бік, на спину тощо). Програма попросить вас натискати кнопку "Calibrate" після кожного нового положення.

## **2. Калібровка компаса**

- Після завершення калібровки акселерометрів перейдіть до "Compass" у розділі "MandatoryHardware".
- Переконайтеся, що опція "Use this compass" увімкнена для компаса, який ви хочете використовувати.
- Натисніть кнопку "LiveCalibration".
- Обережно обертайте апарат у всіх напрямках, доки прогрес-бар не заповниться і програма не повідомить про завершення калібровки.

## **3. Калібровка радіопередавача**

- Перейдіть до вкладки "RadioCalibration".
- Ввімкніть передавач.
- Натисніть кнопку "CalibrateRadio".
- Слідуйте інструкціям на екрані: переміщуйте всі стики (ручки керування) та перемикачі до їх крайніх положень.
- Після завершення натисніть кнопку "ClickwhenDone".

## **4. Налаштування режимів польоту БПЛА**

- Перейдіть до вкладки "FlightModes" у розділі "MandatoryHardware".
- Для кожного положення перемикача режимів на передавачі оберіть бажаний режим польоту (наприклад, Stabilize, AltHold, Loiter).

- Рекомендовані режими польоту – auto, FBWA, takeoff/land;
- Збережіть налаштування, натиснувши кнопку "SaveModes".

## **5. Налаштування сервовиходів**

- Перейдіть до вкладки «Servo output»;
- В першій позиції обираємо “throttle”;
- В третій обираємо “aileron”;
- В четвертій також обираємо “aileron”;
- В п'ятій обираємо “elevator”.

## **6. Збірка та встановлення системи керування БПЛА**

Збір системи відбувається за стандартною схемою забезпеченою виробником контролера, в нашому випадку MATEK. Єдині зміни в схемі, це те що в нашому випадку ми використовуємо лише одну ESC та те що в нашій системі не встановлюється ASPDмодуль, але оскільки це не потребує змін, його можна просто ігнорувати. Важливо також зазначити що в нашій системі використовується протокол CRSF тому приймач ми підключаємо до входів 4v5, Gta Tx2, Rx2 які за замочуванням налаштовані для прийому сигналів керування. Сервоприводи підключаються згідно розмапуванню у пункті 6 налаштувань системи.

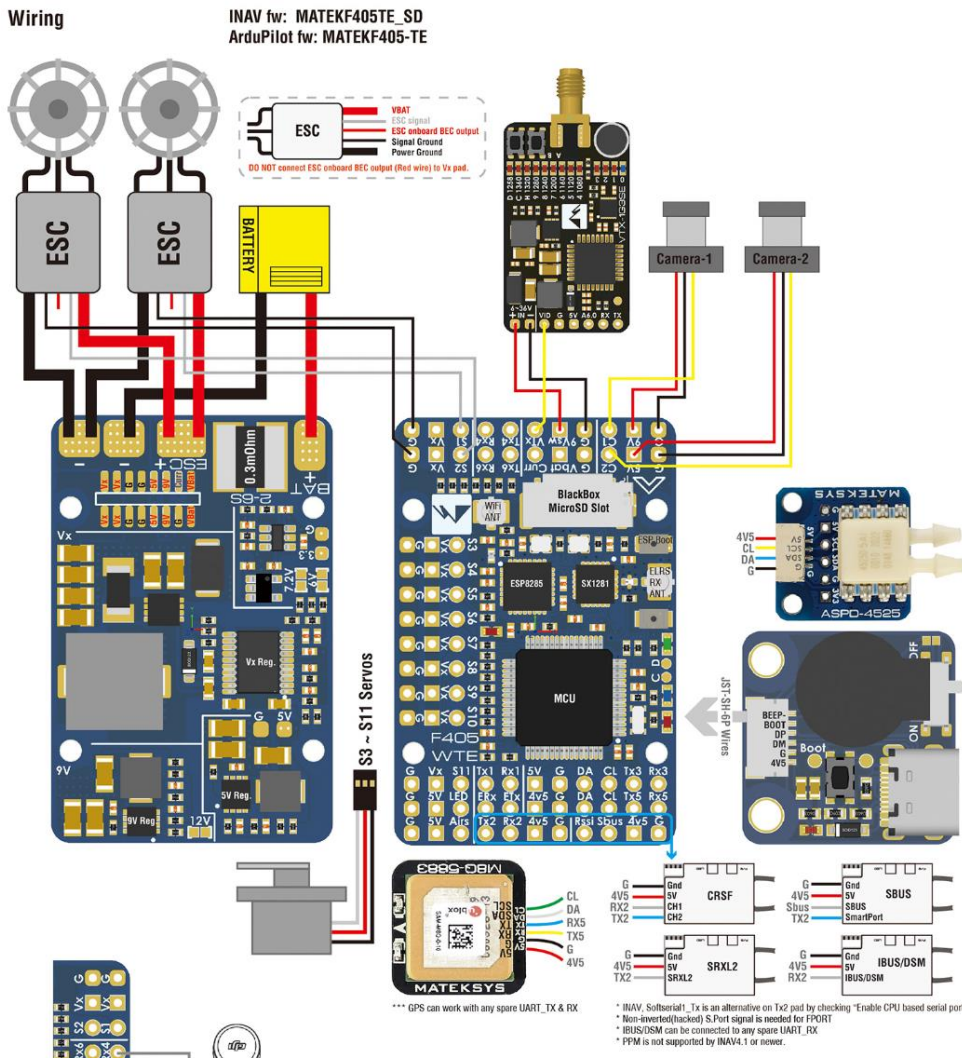


Рис 6.1 – схема підключення компонентів до контролера

Підключення компонентів системи відбувається згідно схеми, наданої виробником контролера, якщо інструкції з налаштування виконані правильно, система автоматично при включенні встановить контакт з елементами та підключиться до кожного про що сповістить подвійний писк, у інших випадках це означає що інструкції виконані невірно.

Наступний етап - встановлення системи на БПЛА, схема того як це має виглядати надана нижче.

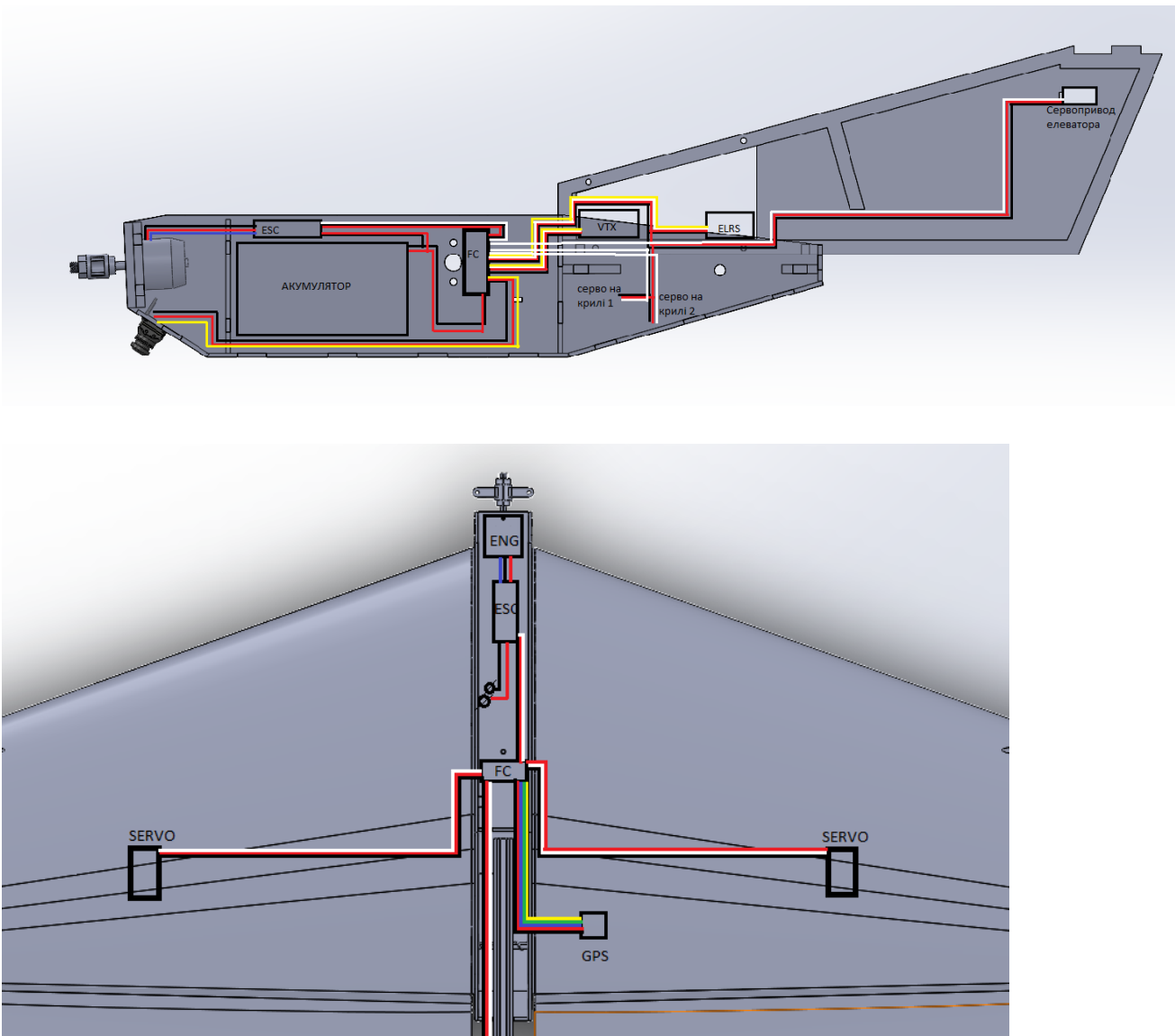


Рис 6.2 та 6.3 – схеми підключення та розташування компонентів системи у БПЛА

В першу чергу встановлюється двигун, розміщений на носі фюзеляжу, таким чином щоб, контакти ,що виходять з нього розміщені зверху. Після завершення встановки двигуна та перевірки надійності кріплення. Ставиться під ним камера, завдяки кріпленню, що йде у комплекті з камерою можна встановити бажаний кут огляду у межах 120 градусів починаючи від повністю горизонтального положення, до 90градусів відносно рівня землі.

Далі вставляється акумулятор та обладується пом'якшувальними прокладками, задля щільності розміщення та додаткового захисту. На нього також кладеться прокладка, на якій вже буде розміщений ESC стороною відповідною до контактів двигуна, розміщений вперед, сервоприводи вставляються в крила й хвіст, та за допомогою подовжувачів підключаються до контролера у сервоконтакти, модулі зв'язку(ELRS) та відеопередачі(VTX) розміщені у хвості також під'єднуються до контролера у відповідні входи.

Останній компонент – GPS модуль, встановлюється на крило у виріз зроблений під нього. Таке положення обране після тестування розміщення у хвості, під ним та у кришці. Обраний варіант дав найкращі результати з точки зору зручності. Розміщений у хвості, модуль мав проблеми з перебоями зв'язку, через перешкоди що створювали VTX та ELRS. Розміщений у кришці, він заважав її знімати та через сильно зношувались контакти передачі даних, що сприяло на роботу модуля.

## РОЗДІЛ 7

### ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ БПЛА

Після збірки комплексу БПЛА та перевірки його роботи в лабораторних умовах, наступний етап це вже реальні запуски та перевірка роботи комплексу вже в дії. Для таких цілей було зібрана група бажаючих, та отримано дозвіл на тестові польоти на полігоні.

Безпосередньо перед запуском була прописана місія:

1. Виліт;
2. Набір висоти в 100 метрів;
3. Розворот в сторону першої точки маршруту;
4. Проходження маршруту з змінами по висоті польоту;
5. Поступове зменшення висоти;
6. Автоматична посадка.

Перші декілька запусків були невдалі через недостатню досвідченість та практику групи. Проте після зміни затримки запуску з руки з 0.4 секунди до 0.2 запуск відбувся успішно.

Шляхом спроб та польових тестів, на власну думку найкращий набір режимів польоту – auto, FBWA tatakeoff(можна обрати до трьох режимів для швидкого переключення.

Auto – режим повністю незалежного польоту по заданій місії, включає в себе стабілізацію, зміну висоти, пряму, посадку, зліт та багато іншого, що дає можливість для БПЛА виконувати задачу повністю незалежно від оператора.

FBWA – (flybywireA) режим напіваавтоматичного польоту, являє собою покращений ручний режим, який просто включає в себе автоматичну стабілізацію та підтримку курсу руху.

Takeoff – режим відведений саме на зліт без втручання оператора, зображений на відео у презентації, система дає максимальний заданий газ та напрямляючи БПЛА

до гори під кутом 20-25 градусів набирає висоту до поки не буде переведений в інший режим.



Рис 6.4 та 6.5 – фото з польових випробувань БПЛА

За допомогою передачі телеметрії, через ELRS модуль, під час польоту можна спостерігати за рівнем заряду акумулятора, положенням відносно горизонту, процесом виконання місії та багато іншого.

За отриманими даними можна розрахувати такі характеристики:

- Найдовший тестовий політ був близько 15 хвилин за час цього польоту акумулятор втратив 0.4V напруги, таким чином якщо за низ акумулятора брати стандартне значення 3.3V, у нашому випадку 13.2V(4 послідовні блоки, звідки напруга додається), можна розрахувати, що на подібному акумуляторі максимальний час польоту сягає двох годин;
- Максимальна швидкість зафіксована за час польоту – 22.6 м/с, що в переводі на км/год буде – 79.2;
- Дистанція зв'язку ELRS близько 4.3км;

- Дистанція відеопередачі близько 3.9 км, але завдяки можливості зберігати відео на внутрішньому накопичувачі, запуск навіть на більші дистанції має сенс;
- Час запуску комплексу в середньому командою з 2х людей відбувався за 7-8 хвилин, за потреби з тренуванням час можна довести до 5 хвилин;
- Вага самого БПЛА склала 2.832г;
- Додаткове обладнання необхідне для запуску це пульт, сумісний з ELRS та ноутбук для написання місії;

## **ВИСНОВКИ**

1. В дипломній роботі запропоновано систему доступного БПЛА з системою автопілоту з можливістю як передачі так і збереження відео;
2. Наведена інструкція збірки та налаштування простої системи автоматичного керування;
3. Проведені польові випробування та замір характеристик даного комплексу задля отримання максимально реальних даних.
4. Такий комплекс в теорії дасть можливість забезпечити достатню їх кількість для використання в цілях недалекої розвідки майже будь який потребуючий підрозділ, уникаючи значних грошових витрат та ризику для життя;

## Список літератури

1. <https://ardupilot.org/planner/index.html#mission-planner-home>
2. <https://ardupilot.org/planner/docs/common-loading-firmware-onto-chibios-only-boards.html>
3. <https://ardupilot.org/planner/docs/common-loading-firmware-onto-chibios-only-boards.html#upload-the-firmware-to-autopilot>
4. <https://ardupilot.org/planner/docs/common-mission-planning.html>
5. <https://ardupilot.org/planner/docs/common-connect-mission-planner-autopilot.html>
6. <https://ardupilot.org/plane/docs/arduplane-setup.html>
7. <https://ardupilot.org/plane/docs/common-when-problems-arise.html>
8. <https://ardupilot.org/plane/docs/common-logs.html>
9. <https://ardupilot.org/plane/docs/common-GCS.html>
10. <https://ardupilot.org/plane/docs/common-matekf405-te.html#matek-f405-te-family>