

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК  
СЕКЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_Довбиш А.С.

\_\_\_\_\_2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Зі спеціальності 151 –

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Система керування БПЛА для моніторингу стратегічно  
важливих електромагістралей»

(Дипломний проект)

Дипломник:

Студент гр. СУ-71

Костюк О.О

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Суми – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК  
СЕКЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_ Довбиш А. С.

\_\_\_\_\_ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

До дипломного проекту:

«Система керування БПЛА для моніторингу стратегічно  
важливих електромагістралей»

Дипломник:

Студент гр. СУ-71

Костюк О.О

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Суми – 2021

1. Галузь застосування та назва:

БПЛА для моніторингу стану стратегічно важливих електромагістралей.

2. Підстави для проектування

Наказ ректора Сумського державного університету № 0543 ІІІ від “21” квітня 2020р.

3. Мета і призначення проекту:

- Підвищення оперативності виявлення аварійних ділянок та запобігання аварійних ситуацій на електромагістралях

- Зменшення витрат на моніторинг стану електромереж

4. Режими роботи об'єкта

Автоматичний режим польоту по заданим координатам, політ у ручному режимі за участі оператора.

- Час польоту до 55 хв.

- Радіус польоту до 15 км.

5. Умови експлуатації для БПЛА з урахуванням вибраної платформи:

- Швидкість вітру до 15 м/с.

- Температура навколишнього середовища від – 20 °С (з урахуванням підігріву акумуляторів) до + 50°С.

6. Показники призначення

Робота у автоматичному та ручному режимі

Трансляція даних у реальному часі до оператора

Обробка частини даних у реальному часі для автоматичного польоту

Час запуску системи - не більше 20 хв.

## 7. Стадії та етапи проектування

| № етапу | Зміст етапу проектування                                 | Термін виконання        |
|---------|--|-------------------------|
| 1       | Розробка ТЗ  | 21.02.2021 – 01.03.2021 |
| 2       | Розробка інформаційно-матеріальних потоків               | 02.03.2021-16.04.2021   |
| 3       | Розробка функціональної схеми                            | 18.04.2021-19.04.2021   |
| 4       | Вибір засобів автоматизації                              | 20.04.2021-25.04.2021   |
| 5       | Розробка та проектування електричної плати та документів | 24.04.2021- 07.05.2021  |
| 6       | Технічне оформлення проекту                              | 06.05.2021-30.05.2021   |

# ЗМІСТ

## 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ

### 1.1 Методи оцінки та моніторингу ЛЕП

### 1.2 Технічний аналіз БПЛА

#### 1.2.1 Літаковий тип

#### 1.2.2 Мультироторний тип

### 1.3 Отримання результативної інформації під час польоту та методи зберігання та обробки інформації

## 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Контур навігації у просторі та на місцевості

#### 2.1.1 Система GPS

#### 2.1.2 Інерціальна система навігації

#### 2.1.3 Задача польоту по декільках точках

#### 2.1.4 Задача польоту по заданій траєкторії

#### 2.1.5 Політ за ручним керуванням

#### 2.1.6 Утримання у повітрі та стабілізації

### 2.2 Контур аерофотозйомки, супроводження заданої траєкторії камерою

#### 2.2.1 Польотна камера

#### 2.2.2 ІЧ-камера

#### 2.2.3 TOF(time of flow) – камера

#### 2.2.4 Гіростабілізована платформа

#### 2.2.5 Супроводження заданої траєкторії камерою

### 2.3 Процеси обробки даних

#### 2.3.1 Передача даних у реальному часі

#### 2.3.2 Зберігання та логування даних

### 3. ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Вибір літального апарату

#### 3.2 Система GPS

#### 3.3 Система ІНС

#### 3.4 Вибір польотної, ІЧ та TOF камер

##### 3.4.1 TOF камера

##### 3.4.2 Вибір ІЧ камери

#### 3.5 Радіозв'язок та зберігання даних

##### 3.5.1 Радіозв'язок

##### 3.5.2 Зберігання даних

#### 3.6. Пульт керування БПЛА

#### 3.7 Система опрацювання датчиків

### 4. Компоновка схеми

## **Список скорочень:**

CAM - камера

INR - інерційна система навігації

G - гіроскоп

IN - інклінометр

M - мотор

BMC - контроллер обертів безколекторного двигуна

A - антена

GY - гіростабілізована платформа

GPS - глобальна система позиціонування

БПЛА - безпілотний літальний апарат

FPV - first person view

TOF - time of flow





## ВСТУП

Лінія електропередачі - це компонент електромережі, побудований і спроектований для передачі електроенергії. Під впливом зовнішніх факторів лінії електропередач можуть пошкоджуватися або деформуватися. Ця проблема зачіпає як опори, так і ізолятори та електропровода. Змінювати або пошкоджувати ЛЕП можуть не тільки зовнішні фактор, що були викликані погодними умовами або природними стихіями, а також несанкціоноване втручання людини.

Для того, щоб контролювати і вчасно помічати будь-які зміни на лінії ЛЕП проводиться її моніторинг.

Є два основних варіанти проведення моніторингу ЛЕП.

1. Команда робітників здійснює обстеження у ручному режимі. Для цього бригада робітників повинна фізично знаходитись близько опор та ліній ЛЕП. Збирається інформація про стан деформації опор, проводів та ізоляторів.
2. Обстеження ведеться за допомогою БПЛА у ручному, автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Результатом обстеження ЛЕП за допомогою БПЛА повинна бути інформація, що дасть можливість оператору оцінити стан ЛЕП.

Використання БПЛА для моніторингу ЛЕП може значно скоротити витрати на процес отримання результативної інформації про стан ЛЕП, значно оптимізувати витрачений час та людино-ресурс та забезпечити максимальну безпеку для моніторингової бригади.

Ряд основних переваг БПЛА перед керованою авіацією призвело до активного розвитку цієї галузі. Основні переваги це відносно невисока вартість та ціна обслуговування, можливість швидко та високоточно досягати місць, що недоступні для людини або спецтехніки.

Успіх у використанні БПЛА насамперед пов'язаний з розвитком мікропроцесорної техніки, систем управління, навігації, передачі інформації.

Досягнення у цьому напрямку дають можливість здійснювати зліт-посадку та політ в автоматичному режимі від злету до посадки, вирішувати завдання моніторингулюбих типів поверхні, а БПЛА, призначені для військових, повинні забезпечувати розвідку, пошук та вибір і знищення цілі. Тому в більшості промислово розвинених країн широким фронтом ведуться розробки самих літальних апаратів (ЛА).

Подібний спосіб використання БПЛА для моніторингу ЛЕП в Україні практично не представлений.

Головною метою створення системи моніторингу ЛЕП є досягнення більшої продуктивності роботи бригад моніторингу ліній, здешевлення та автоматизація данного процесу.

## **1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ**

### **1.1 Методи оцінки та моніторингу ЛЕП**

Основною метою є отримання інформативної інформації для оператора, що включає в себе аерофотоплан усього польоту дрону, тривимірну карту відстаней (з точністю до 15 см) для накладення аерофотоплану, фотографії ключових точок ЛЕП у різних спектрах (ІЧ, УФ та видимому спектрі). БПЛА в автоматичному режимі виконує аерофотозйомку повітряних ЛЕП. Потім знімки з просторовими координатами прив'язки центрів фотографування і телеметричними даними автопілота завантажуються в фотограметричне програмне забезпечення, в

якому зображення автоматично трансформуються і об'єднуються в ортофотоплан.

Для підвищення якості та надійності визначення де дефектів повітряних ліній електропередачі при їх обстеженні за допомогою БПЛА, як корисного навантаження крім цифрових камер, що працюють в оптичному діапазоні, можуть бути використані і інші типи вимірювальної апаратури, що дозволяють отримувати відеозображення в режимі реального часу, знімки в інфрачервоному (ІЧ) і ультрафіолетовому (УФ) діапазонах, або хмари точок лазерних відображень (3D TOF).

Розглянемо докладніше особливості та можливості цієї апаратури дистанційного зондування повітряних ліній електропередачі. Обстеження ЛЕП за допомогою БПЛА літакового типу з передачею відеозображення в режимі реального часу на пульт оператора, в першу чергу, має сенс проводити для оперативного контролю стану повітряних ліній електропередачі, а також при виникненні надзвичайних ситуацій.

Однак більшість дефектів з висоти 200-220 м погано помітні, оскільки дозвіл зображень, одержуваних за допомогою відеокамери в форматі FullHD, становить усього 2 мегапікселя (1920x1080 пікселів), що в 12 разів менше, ніж у знімків, отриманих наприклад цифровою камерою Sony RX-1, що активно застосовується для фотозйомки з БПЛА. При цьому можливе відстань передачі відеозображення складе не більше 30 км, в іншому випадку БПЛА необхідно буде підняти вище для збільшення дальності передачі. Відеозйомка верхніх елементів опори ЛЕП може бути виконана за допомогою безпілотного літального апарату мультіроторного типу, обладнаного камерою типу GoPro, з відстані 3-5 м, і не потребує залучення підйомника або вертольота, а також відключення на напруги на лінії.

При ІЧ зйомці ЛЕП тепловізором одержувані зображення мають гарну чутливість (0,1-0,3 К), але невисоким розширенням (640x480 пікселів) (рис. 1).

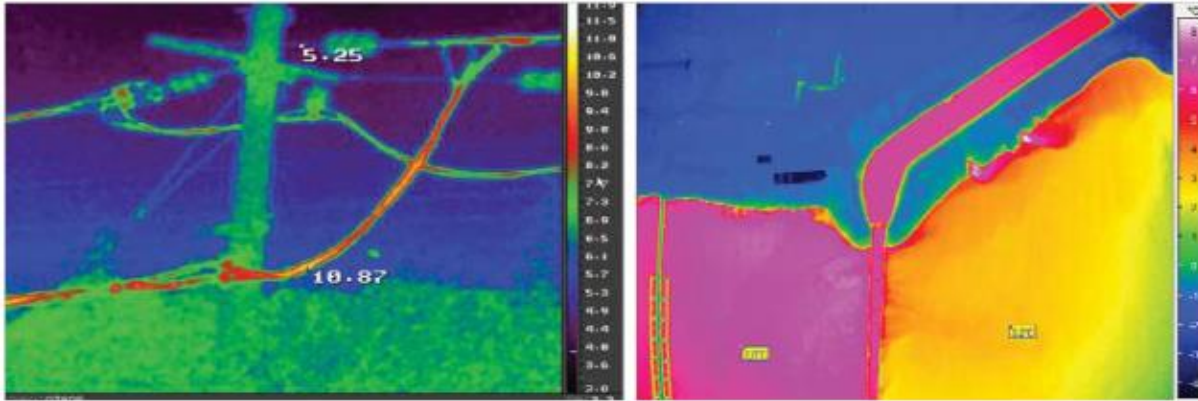


Рисунок 1.1 - Фотографія з ІЧ камери на відстані 6 метрів

Рисунок 1.2 - Фотографія з ІЧ камери на відстані 180 метрів

Як видно зі зображень, отриманих при висоті польоту 180 м за допомогою ІЧ-камери (тепловізора, встановленого на БПЛА літакового типу) можна виявляти такі порушення, як підтоплення в охоронних зонах, руйнування опор, нагрів значної площі наприклад, перегрів великих трансформаторів, пожежі.

Для виявлення порушень на площі менше 1м<sup>2</sup> дозволу цих зображень буде недостатньо. Зйомка елементів ЛЕП за допомогою тепловізора, встановленого на БПЛА, оптимальна, якщо її неможливо виконати наземними методами.

Зображення в ультрафіолетовому спектрі при обстеженні ЛЕП можуть бути отримані за допомогою УФ камери, яка працює в діапазоні

240-280 нм (UVc). У цьому діапазоні сонячна радіація поглинається атмосферним озоном, що робить можливим спостереження часткових поверхневих розрядів (корони) при природному освітленні. Деякі види дефектів можуть бути виявлені тільки в ході зйомки УФ-камерою (рис. 2).



Рисунок 2 – Фото ЛЕП УФ камерою для моніторингу розрядної активності

Для цього необхідно забезпечити експозицію обстежуваного ділянки протягом 5-10 с. За цей час лічильник імпульсів приладу зможе отримати приблизно усереднений показник розрядної активності. При постійній зйомці в русі на швидкості 70-90 км / год одні джерела розрядної активності залишаються непоміченими, а на інших - будуть зафіксовані пікові значення розрядної активності, на порядок перевищують середні значення. Проблема необхідності залишатися в одній точці під час експонування кадру може бути вирішена за рахунок застосування БПЛА, саме мультироторного типу, що дозволяють зависати в повітрі на довгий час.

Обстеження ЛЕП за допомогою БПЛА, оснащених повітряними лазерними сканерами, має ряд обмежень. Лазерні сканери з невеликою масою, випущені спеціально для використання на БПЛА, мають обмеження по дальності вимірювання - близько 100 м, до того ж з огляду на, що перетин дроту круглий і може розсіювати частина сигналу, зйомку краще виконувати з висоти 50 м, а це є неприйнятним для використання БАС літакового типу, але досить просто вирішується мультироторними БПЛА. (рис. 3).

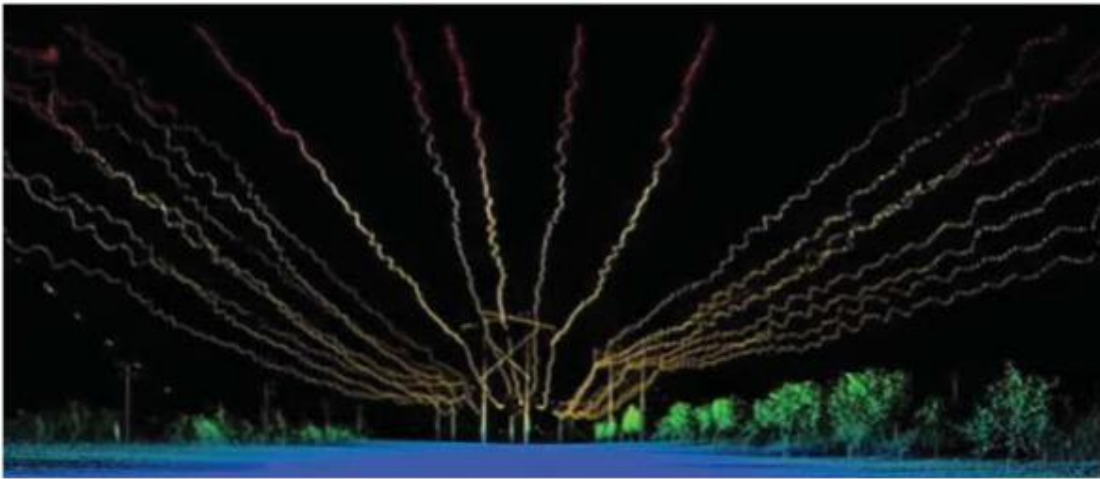


Рисунок 3 – Хмара точок лазерних відображень, отримане при зйомці ЛЕП

## 1.2 Технічний аналіз БПЛА

В залежності від типу, БПЛА можна поділити на дві основні групи - літакового та мультироторного типу.

**1.2.1 Літаковий тип** має несучий планер, основний маршевий двигун та систему керування тангажем, ристаньом та креном літального апарату. Основний принцип польоту - різниця у швидкості набігання

потоків повітря над і під крилом, що забезпечуються рухом вперед за допомогою маршового двигуна.

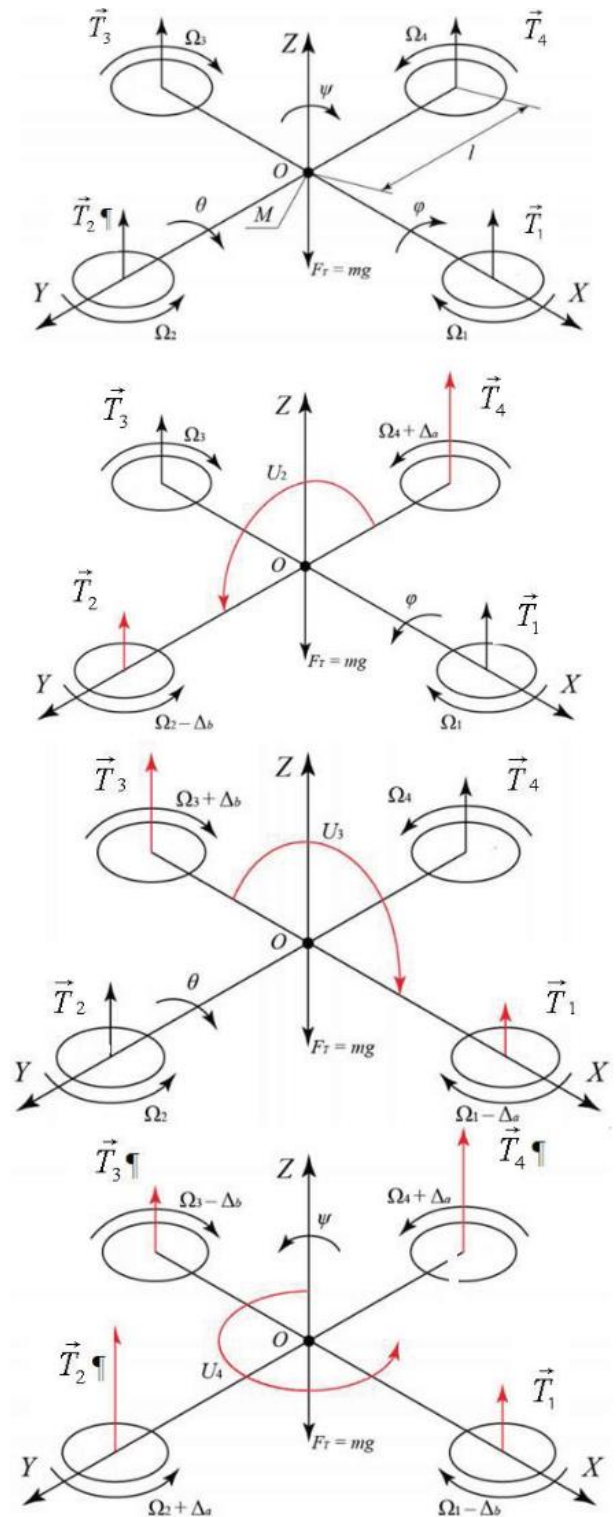
Основні переваги такого типу - більший час знаходження у повітрі, ніж любий інший тип літального апарату, відносна простота конструювання та керування. Зазвичай енергоозброєність літального апарату, що зконструйований за такою схемою  $<1$ , тому подібний літальний апарат не може виконувати вертикальний зліт та посадку і, найголовніше - зависання на одному місці, що критично важливо для створення якісного аерофотоплану на льоту.

**1.2.2 Мультироторний тип (мультикоптер)** - не є літальним апаратом з фіксованим крилом та не має планеру, та має 3 або більше двигунів.

Рисунок 4 - Трьовимірна схема квадрокоптера

Мультикоптер мають 3 або більше гвинтів постійного кроку (автомата перекоосу, на відміну від одно- і двухгвинтових апаратів, немає). Кожен гвинт приводиться в рух власним двигуном. Половина гвинтів обертається за годинниковою стрілкою, половина - проти, тому рульовий гвинт мультикоптеру не потрібен. Маневрують мультикоптери шляхом зміни швидкості обертання гвинтів. наприклад:

1. прискорити всі гвинти - підйом;
2. прискорити гвинти з одного боку і уповільнити з іншого - рух в сторону;
3. прискорити гвинти, що обертаються за годинниковою стрілкою, і уповільнити обертаються проти - поворот в площині.



Мікропроцесорна система переводить команди радіокерування в команди керування в кроки двигунів. Щоб забезпечити стабільне зависання,



мультикоптер в обов'язковому порядку забезпечують трьома гіроскопічними системами, що фіксують кут нахилу апарату, відносно землі. Іноді, також використовується акселерометр, дані від якого дозволяють процесору встановлювати абсолютно горизонтальне положення, і барометричний датчик, який дозволяє фіксувати апарат на потрібній висоті. Також, застосовують сонар або лазерний дальномір для автоматичної посадки і утримання невеликої висоти.

Вимоги до БПЛА.

- Швидкість вітру до 15 м/с.
- Температура навколишнього середовища від  $-20^{\circ}\text{C}$  (з урахуванням підігріву акумуляторів) до  $+50^{\circ}\text{C}$ .
- Час польоту до 55 хв.
- Радіус польоту до 15 км.
- Можливість нести до  $\sim 3$ кг корисного навантаження.

До корисного навантаження БПЛА входять

- ТОФ-камера
- Камера видимого спектру на гіростабілізованій платформі
- ІЧ та УФ камери
- Радіоапаратуру зв'язку на телеметрії
- Акумуляторну батарею (потенційно з термочохлом для роботи за низьких температур)

Виходячи з пункту 1.1 та 1.2.2- стає очевидним, що для виконання задачі аерофотографування з урахуванням зйомки з усіх типів камер - найкраще підходить мультикоптер, виготовлений за quadro- або гекса-мультироторний коптер, т.к ми задовольняємо усі вимоги, а саме - можливість зависання, високоточного польоту без здійснення обльотної дуги та висока енергоозброєність.

БПЛА включає в себе дві підсистеми: бортову підсистему (БП), розміщену на борту БПЛА, і стаціонарну підсистему (СП), розміщену на стаціонарному пункті управління (ПУ).

БП умовно можна розділити на базову резидентну частину і набір змінних модулів. При цьому резидентна частина є максимально уніфікована зі сторони коптера і включає до свого складу три основні системи: управління, зв'язку та навігації.

СП спочатку є резидентною і включає до свого складу системи зв'язку - відображення та управління.

Системи зв'язку (бортова і стаціонарна) забезпечують перешкодостійкий прийом і передачу даних між БПЛА і пунктом управління. При цьому канал зв'язку між БПЛА і ПУ повинен забезпечувати безпеку передачі інформації. Для цього необхідно виконання наступних умов: шифрований обмін інформацією; стиснення інформації, що передається з борту БПЛА на ПУ; стійкість каналу до перешкод.

Стаціонарна система відображення призначена для забезпечення інтерфейсу оператора при управлінні, контролі БПЛА, а також отриманні інформації від бортових засобів.

Бортова система навігації складається з інерційної і супутникової підсистеми і призначена для забезпечення формування навігаційної інформації для управління БПЛА.

Бортова і стаціонарна керуючі системи забезпечують обробку одержуваної інформації, формування команд управління польотом і режимами роботи БПЛА, контроль функціонування апаратури. У разі відсутності доступу до каналів зв'язку БПЛА повинен мати можливість використовувати дані інерційної підсистеми і результати аналізу інформації від різних датчиків для забезпечення автономності польоту.

З огляду на істотний вплив керуючої системи на ефективність виконання завдання представляється необхідним забезпечення раціонального розподілу функцій управління між керівниками системами БПЛА.

При цьому слід враховувати, що, в залежності від зовнішніх умов і характеру вирішуваних завдань, положення оптимуму буде змінюватися. При вирішенні завдання моніторингу в умовах низької доступності каналів зв'язку цей оптимум буде зміщуватися в бік більшої автономності. Досягти більшого рівня автономності БПЛА дозволить підвищення можливостей бортової системи управління по обробці видобутої інформації, що, в свою чергу, знизить навантаження на систему зв'язку, так як передаватися в цьому випадку будуть вже оброблені дані.

Підвищення кількості і якості завдань, що вирішуються бортовою системою управління, підлягає оптимізації. Можна зробити повністю БПЛА, який буде вирішувати всі завдання самостійно в автоматичному режимі. Але, без сумніву, в умовах наявності сильних перешкод, зросте кількість помилок в діях БПЛА. Крім того, запрограмувати всі можливі ситуації (навчити нейронну мережу на множинах різних навчальних вибірок) являє собою нетривіальну задачу.

### **1.3 Отримання результативної інформації під час польоту та методи зберігання та обробки інформації**

Системи зв'язку (бортова і стаціонарна) забезпечують перешкодостійкий прийом і передачу даних між БПЛА і пунктом управління. При цьому канал зв'язку між БПЛА і ПУ повинен забезпечувати безпеку передачі інформації. Для цього необхідно виконання наступних умов: скритність обміну інформацією; стиснення інформації, що передається з борту БПЛА на ПК; стійкість каналу до активним перешкод.

Стаціонарна система відображення призначена для забезпечення інтерфейсу оператора при управлінні, контролі БПЛА, а також отриманні інформації від бортових засобів.

Бортова система навігації складається з інерційної і супутникової підсистеми і призначена для забезпечення формування навігаційної інформації для управління БПЛА.

Бортова і стаціонарна керуючі системи забезпечують обробку одержуваної інформації, формування команд управління польотом і режимами роботи БПЛА, контроль функціонування апаратури. У разі відсутності доступу до каналів зв'язку БПЛА повинен мати можливість використовувати дані інерційної підсистеми і результати аналізу інформації від різних датчиків для забезпечення автономності польоту.

Підвищення кількості і якості завдань, що вирішуються бортовою системою управління, підлягає оптимізації. Можна зробити повністю БПЛА, який буде вирішувати всі завдання самостійно в автоматичному режимі. Але, без сумніву, в умовах наявності сильних перешкод, зросте кількість помилок в діях БПЛА.

**Джерелом корисної інформації для оператора є аерофотоплан у декількох спектрах, накладений на карту глибин в прив'язках до GPS координат.**

Дані аерофотоплану не призначені для аналізу самим дроном, а лише кваліфікованим оператором - отже відпадає необхідність в додатковій обробці отриманих даних, що додатково спрощує керування дроном.

Комерційне застосування дронів зазвичай вимагає автономного польоту, а не ручного управління. Пов'язано це з тим, що часто комерційні польоти треба виконувати регулярно в одному і тому ж місці і по одному і тому ж польотним планом, який можна запрограмувати і знизити витрати на пілота. Але функція ручного управління необхідна для отримання

даних у реальному часі для максимально швидкої реакції оператора. Тому основним режимом для даної системи є автоматичний режим польоту за заданими координатами, а ручний - для специфічних випадків, що обробляються оператором.

Для автономного управління дрону треба як мінімум знати з високою точністю свої координати в просторі.

Тут використовують одновимірні сонари, лідари, двовимірні лідари, 3D-лідари і камери глибини. На борту дрона повинен бути встановлений додатковий обчислювач, який в реальному часі буде зчитувати дані з цих сенсорів, будувати 3D-модель навколишнього простору і планувати в ньому безпечний маршрут.

Всю інформацію, що приймається чи відправляється БПЛА можна розділити на декілька типів

- Телеметрія (висота над рівнем моря, швидкість, напрямок, координати GPS, стани підсистем)
- Сигнал керування положенням БПЛА
- Сигнал керування гіростабілізованою платформою для наведення камер
- Відеосигнал з камер у реальному часі

Також інформацію можна розділити за типом збереження.

До інформації, що потребує логування та збереження відноситься сигнал з відеокамер та телеметрія.

#### **1.4 Формування задачі обльоту**

Кінцевою задачею аерофотозйомки з БПЛА - є побудова аерофотоплану місцевості з накладеними на неї фото та відеоматеріалом, що дає змогу дати оцінку стану ЛЕП. Виходячи з пункту 1.1-1.3, можемо сформуванати список задач, що повинна вирішувати система.

1. Підйом та утримання висоти, що задає оператор.
2. Побудова маршруту польоту у автоматичному чи ручному режимі
3. Вертикальний зліт з необладнаного ґрунтового участку.
4. Вибір режиму зйомки (ручний чи автоматичний), перевірка правильності вибору оператором у дистанційному режимі
5. Старт польоту та початок зйомки на основні камери
6. Зупинка біля опор ЛЕП для детальної картографії та зйомки з потрібних ракурсів
7. Підтвердження проходження точки
8. Політ до наступної вибраної точки з повторенням пунктів 5-7.
9. Повернення до базової точки у разі завершення обльоту чи виникнення помилки.

## **2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Призначення:

- Аерофотозйомка та побудування аерофотоплану
- Політ по заданному маршруту у режимі, вибраного оператором
- Прив'язка знімків до реальних координат

Якісні показники:

- Проведення аерофотозйомки з висот 5 - 180 м на відстані до 15 км.

Техніко-експлуатаційні вимоги і показники:

- Максимальне корисне навантаження – 3,5 кг.
- Силова установка – група електричних двигун безколекторного типу.
- Трансляція відео з курсової камери до 15 км
- Система зльоту/посадки - на необладнаний участок ґрунту
- Запис та логування інформації впродовж не менше 2 год.
- Керування БПЛА за заданими точками, автоматичне, та ручне
- Ресурс системи - не менше 520 год.

Виходячи з перерахованих вище завдань можна окреслити наступні пункти на підпункти функціональних завдань автоматизації.

#### 1. Контур навігації у просторі та на місцевості

- Задача польоту по декільках точках
- Задача польоту по заданій траєкторії
- Політ у ручному режимі
- Утримання у повітрі

#### 2. Контур аерофотозйомки, супроводження заданої траєкторії камерою

#### 3. Контур зв'язку у реальному часі. Логування телеметрії, запис та зберігання даних.

### **2.1 Контур навігації у просторі та на місцевості**

Навігація БПЛА у просторі є однією з основоположних задач при моніторингу ліній електропередач. Оскільки БПЛА є об'єктом, що переміщається у 3-х вимірах з великою швидкістю - система керування повинна реалізувати навігаційну задачу в мінімальні часові рамки та з мінімальною ймовірністю отримання некоректних даних.

Для цього було вирішено використовувати дві основні системи навігації, а саме ІНС (інерціальну навігаційну систему) та GPS (Global Positioning System).

#### **2.1.1 Система GPS**

GPS, Система глобального позиціонування — сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні або в атмосфері. Місцезнаходження цілі обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймач, який обробляє та приймає сигнали супутників GPS-системи. Для визначення точних параметрів орбіт супутників та керування GPS-системою вона в своєму складі має наземні центри управління.

GPS-приймач обчислює власне місцезнаходження, вимірюючи час проходження сигналу від GPS-супутників.

**Основними недоліками GPS системи є те, що приймаємий сигнал має зазвичай невисоку проникну здатність та потужність. Тобто сигнал GPS може бути затриманий чи сильно ослаблений перешкодами, аж до того, що в умовах міста сигналу може не бути. Також сигнал GPS може втрачати частину інформативності, якщо поряд є сигнали на частоті 1200МГц.**

### **2.1.2 Інерціальна система навігації**

Інерціальна навігація — метод навігації (визначення координат і параметрів руху різних об'єктів — кораблів, літаків, ракет та ін) і управління їх рухом, що ґрунтується на властивостях інерції тіл, який є автономним, тобто не вимагає наявності зовнішніх орієнтирів або сигналів, що надходять ззовні.

Сутність інерціальної навігації полягає у визначенні прискорення об'єкта і його кутових швидкостей за допомогою встановлених на рухомому об'єкті приладів і пристроїв, а за цими даними — місцеположення (координат) цього об'єкта, його курсу, швидкості, пройденого шляху та ін, а також у визначенні параметрів, необхідних для стабілізації об'єкту і автоматичного керування його рухом. Це здійснюється за допомогою:

1. Датчиків лінійного прискорення (акселерометрів);
2. Гіроскопічних пристроїв, що відтворюють на об'єкті систему відліку (наприклад, за допомогою гіростабілізованої платформи) і дозволяють визначати кути повороту і нахилу об'єкта, використовувані для його стабілізації та управління рухом.
3. Обчислювальних пристроїв (ЕОМ), які за прискореннями (шляхом їх інтегрування) знаходять швидкість об'єкту, його координати і інші параметри руху;



Основними недоліками БІНС є висока ціна в порівнянні з GPS, але це компенсується відсутністю прив'язки до зовнішніх орієнтирів.

### 2.1.3 Задача польоту по декільках точках

При перемиканні в даний режим літальний апарат встановлює точку зльоту як бажану на даний момент і починає політ до неї. З незначними змінами

алгоритми навігації в цьому режимі ґрунтуються на утримуванні позиції.

На рисунку представлена траєкторія польоту при поверненні апарату на точку старту. Доопрацювання алгоритму полягає в тому, що при наближенні до точки тиску на заздалегідь задану відстань, яке називається радіус контрольної

точки, відбувається установка наступної точки маршруту в якості бажаної.



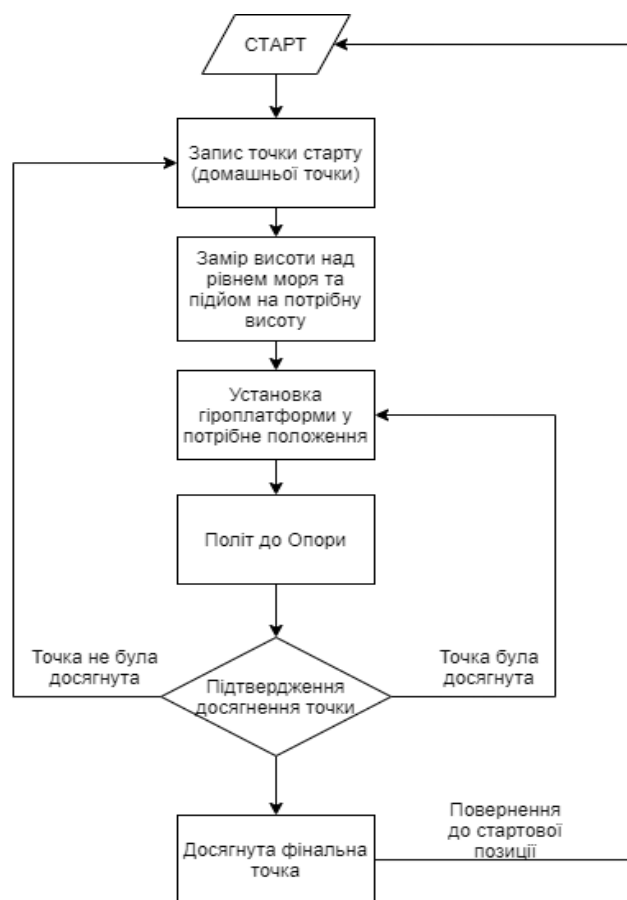
Рисунок 5 - Обліт БПЛА заданих точок

Стрілками відзначені місця активації режиму повернення і напрямок польоту.

## Формування задачі керування

Для організації автономного управління дроном необхідно вирішити чотири завдання.

- Визначити координати дрона в просторі. Використовувати для цього GPS-приймач або обчислювати на борту координати, обробляючи відеопотік алгоритмом SLAM. А краще використовувати обидва підходи, щоб знати як глобальні, так і локальні координати дрона
- Побудувати карту оточення дрона за допомогою сенсорів типу стерео камер, камер глибини, лідарів.
- Побудувати шлях до наступної точки і сформуванати коректне завдання для системи керування дроном.
- Після досягнення підйом на безпечну висоту та політ до точки “Додому”



## Рисунок 6 - Алгоритм польоту по точкам

Приклад 1. Дані точки 7 опор ЛЕП 330кВ з заданими координатами опор на карті без перешкод, що можуть займати польоту дрону.



Рисунок 6 - Аерофотоплан 7-х опор на карті

Точка 1 - точка старту, точка 7 - точка фінішу. Початковою задачею є підняття на задану висоту ЛЕП, що вводиться оператором і підтримується дроном протягом польоту з урахуванням висоти над землею. Для кожної ЛЕП є певна висота опори.

|             |       |         |       |           |
|-------------|-------|---------|-------|-----------|
| 0,4-1<br>кВ | 0,5   | 40-50   | 8-9   | 6-7       |
| 6-10<br>кВ  | 1     | 50-80   | 10    | 6-7       |
| 35 кВ       | 3     | 150-200 | 12    | 6-7       |
| 110 кВ      | 4-5   | 170-250 | 13-14 | 6-7       |
| 150 кВ      | 5,5   | 200-280 | 15-16 | 7-8       |
| 220 кВ      | 7     | 250-350 | 25-30 | 7-8       |
| 330 кВ      | 9     | 300-400 | 25-30 | 7,5-8     |
| 500 кВ      | 10-12 | 350-450 | 25-30 | 8         |
| 750 кВ      | 14-16 | 450-750 | 30-41 | 10-12     |
| 1150<br>кВ  | 12-19 | -       | 33-54 | 14,5-17,5 |

Рисунок 7 - висота опори ЛЕП в залежності від напруги



Рисунок 8 - Вид з дрону на лінію ЛЕП 330 кВ

#### 2.1.4 Задача польоту по заданій траєкторії

Задача польоту по заданій траєкторії практично не відрізняється від задачі польоту за точками за виключенням того, що при польоті за заданою траєкторією можливо летіти не тільки по ламаній кривій, що з'єднує точки маршруту, а також з урахуванням більш складних маневрів.

### **Формування задачі керування**

Для організації автономного управління дроном необхідно вирішити п'ять завдань.

- Визначити координати дрона в просторі. Використовувати для цього GPS-приймач або обчислювати на борту координати, обробляючи відеопотік алгоритмом. А краще використовувати обидва підходи, щоб знати як глобальні, так і локальні координати дрона
- Побудувати карту оточення дрона за допомогою сенсорів типу стерео камер, камер глибини, лідарів.
- Побудувати шлях до наступної точки і сформуванати коректне завдання для системи керування дроном, а також побудувати карту глибин для польоту по 3-х вимірної траєкторії.
- Після досягнення підйом на безпечну висоту та політ до точки “Додому”

#### **2.1.5 Політ за ручним керуванням**

В даному режимі польоту відбувається лінійна конвертація величини відхилення джойстиків крену, тангажу і ристання пульта управління в різницю числа оборотів відповідних двигунів, середнє значення яких відповідає сучасному стану джойстика газу. У ручному режимі керування задачу керування вирішує сам оператор і через взаємодію з пультом керування дроном і завдяки трансляції відео з курсових камер може вирішувати задачу навігації та управління. Задача цього режиму - вирішити ті задачі навігації та польоту, що не може вирішити автоматика

дрону у реальному часі або виправити помилки, що були вчинені автоматикою.

### 2.1.6 Утримання у повітрі та стабілізації

В якості алгоритму автоматичної стабілізації кутів літального апарату використовується пропорційно-інтегральний PI-каскад, застосований до кожної з осей обертання (крен, тангажу, ристання), схема представлена на

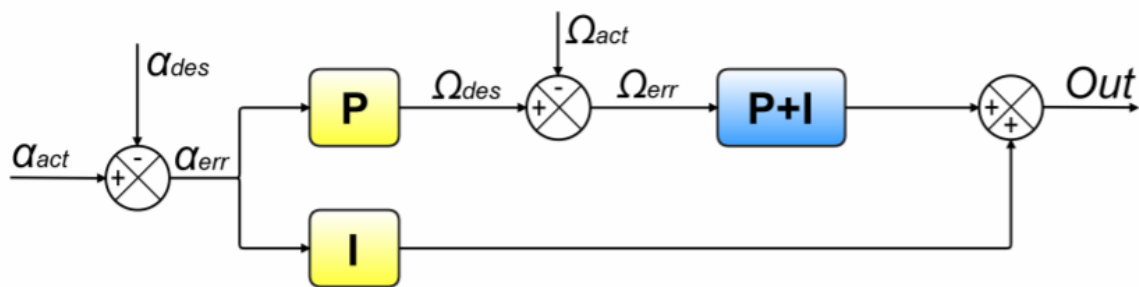


Рисунок 9 - PI каскад для реалізації режиму стабілізації

$\alpha_{act}$  - поточний кут, що надходить з ІВС в градусах;

$\alpha_{des}$  - бажаний кут в градусах;

$\Omega_{act}$  - поточна кутова швидкість обертання навколо осі  $\alpha$  в градусах / с;

$\Omega_{des}$  - бажана кутова швидкість обертання навколо осі  $\alpha$  в градусах / с;

$\alpha_{err} = \alpha_{des} - \alpha_{act}$  - поточна помилка кута  $\alpha$  в градусах;

$\Omega_{err} = \Omega_{des} - \Omega_{act}$  - поточна помилка кутової швидкості обертання навколо осі  $\alpha$

$t_{out}$  - вихідний сигнал ШИМ (мс), що подається на мікшер сигналів відповідно

з конфігурацією літального апарату (число двигунів, наприклад, 3, 4 або 6).

Далі вчислюється бажана загальна швидкість повернення для даної помилки угла по формулі

$$\Omega_{des} = k_a \alpha_{err},$$

де  $K$  - пропорційний коефіцієнт посилення по углу. Бажана кутова швидкість порівнюється з поточною та вихисляється помилкою повної швидкості.

Режим утримання потрібен для фото/відеозйомки з деякою витримкою кадру. Це потрібно для наступних випадків:

- УФ камери, щоб отримати середнє значення кадру, а не моментальне
- Зйомки панорами опори
- Зависання для того, що оператор мав час проаналізувати трансляцію відео у реальному часі.

Утримання в повітрі мультикоптера відбувається завдяки обертанню всіх моторів з однаковою швидкістю. У даному режимі також використовується пропорційно-інтегральний PI-каскад, за виключенням того, що у якості тепер виступає висота  $h$ , а у вашому  $\Omega$  виступає вертикальна швидкість  $\dot{h}$ .

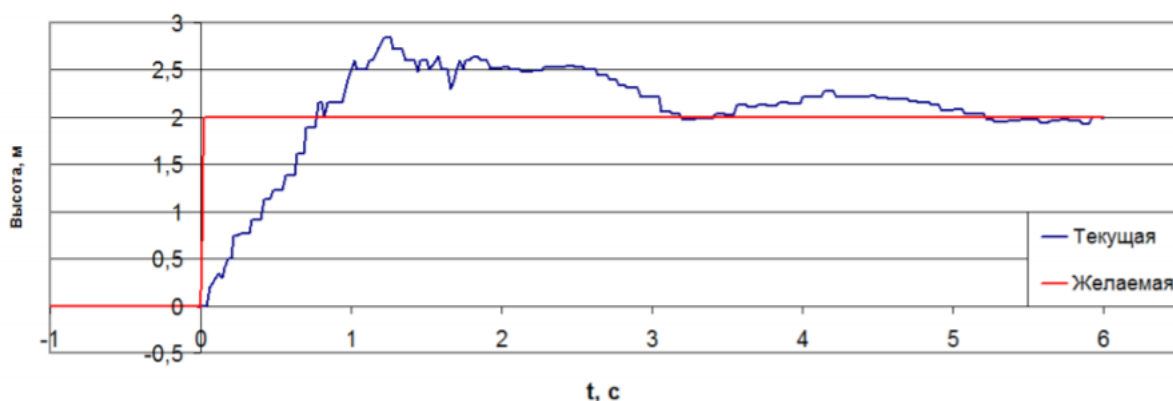


Рисунок 10 - графік стабілізації дрону по висоті

Положення та нахил кожної частини квадрокоптера відстежується за допомогою гіроскопів. Задача гіроскопа - показати нахил та кут відносно нульової точки в момент польоту БПЛА.

## 2.2 Контур аерофотозйомки, супроводження заданої траєкторії камерою

Контур аерофотозйомки складається з набору камер для конкретного випадку, розміщених на гіростабілізованій платформі.

### 2.2.1 Польотна камера



Рисунок 11 - Вид з First Person View камери

В цьому випадку здійснюється не тільки керування авіамоделлю за радіоканалом системи радіокерування, а й прийом сигналу та інформації з моделі по додатковому відеорадіоканалу в режимі реального часу.

Пілот, керуючи авіамоделлю, спостерігає не за нею, а бачить зображення, що отримується з відеокамери, за допомогою пристроїв відображення,



наприклад моніторів, телевізорів, відеоокулярів. Таким чином досягається ефект присутності пілота в кабіні літака.

Розділяють два напрямки оснащення апаратурою: Low Range FPV і Long Range FPV. У першому випадку використовують стандартний набір для FPV, що включає малопотужний передавач відеосигналу, який дозволяє літати в зоні дії стандартного передавача радіокерування. Для польотів на більшу відстань використовують підсилювачі потужності або потужніші передавачі (як для апаратури керування, так і для передачі відеосигналу з моделі). Деякі аматори досягають дальності FPV-польоту до 40—100 км.

Часто при польотах Long Range FPV використовують наземні станції.

Вони зазвичай складаються зі штатива, на якому закріплена вузькоспрямована антена, що передає літальному апарату команди з пульта керування, і різнонаправленої антени, що приймає сигнал з радіопередавача.

Можливе також використання додаткового підсилювача сигналу з передавача апаратури радіоуправління перед подачею на вузькоспрямовану антену, що дозволяє значно збільшити дальність сигналу радіокерування. Недоліком такого методу є сам принцип роботи вузькоспрямованих антен — доводиться відволікатися від пілотування, щоб направити її в сторону літального апарату. Для усунення цього недоліку використовують трекінгові антенні системи (FPV Antenna tracker). Деякі користувачі також встановлюють на такі станції невеликі контрольні монітори, які підключають безпосередньо до приймача відеосигналу.

### **2.2.2 ІЧ-камера**

Тепловізор (інфрачервона камера) — оптико-електронний прилад для візуалізації температурного поля та вимірювання температури. Переважно працює в інфрачервоній частині електромагнітного спектру — теплові зображення утворюються завдяки зміщенню максимумів спектрів власного випромінювання тіл під час їх нагрівання у короткохвильову область.

Принцип дії тепловізора базується на перетворенні випромінення інфрачервоного спектру в видимий діапазон світлового випромінення. Спектральний діапазон, в якому працюють тепловізори, визначається інтервалами довжин хвиль в області максимуму енергії випромінення об'єктів спостереження в відповідних параметрах прозорості атмосфери. Зазвичай це інтервали довжин хвиль від 3,5 до 5,5 мкм або від 8 до 13,5 мкм. Сучасні тепловізори дозволяють виявити об'єкти, які мають температурні контрасти до десятих і навіть до сотих долей градусів, і формують зображення високої якості. Вигнута лінза Френеля фокусує інфрачервоне випромінювання на піросенсор датчика, після чого сигнал оброблюється мікропроцесором, перетворюючись на цифрові дані для подальшої обробки.

### **2.2.3 TOF(time of flow) – камера**

Time-of-flight камера (англ. Time-of-flight camera (ToF camera)) — відеокамера, що формує так зване дальностне зображення.

Використовуються для формування двовимірного зображення, яке в якості пікселей містить відстань від екрану до конкретних точок спостереження.

Розрахунок глибини і відстані забезпечується за допомогою технології вимірювання "часу польоту" (ToF), що подібна до алгоритмів, які використовуються в радарах. Завдяки цьому формується дальностне зображення, яке схоже на зображення радіолокатора, за винятком того, що для його побудови задіяно світловий імпульс замість радіочастотної хвилі.

ToF-лазерна камера із швидким стробуванням дозволяє оцінювати глибину із субміліметровою роздільною здатністю (точністю). За допомогою цієї техніки короткий лазерний імпульс освітлює сцену, а надчутлива ПЗЗ-камера відкриває свій швидкий затвор лише на кілька сотень пікосекунд. Тривимірна сцена обчислюється із послідовності двовимірних зображень, що реєструються при збільшенні затримки між імпульсом лазера і відкриттям затвору

#### **2.2.4 Гіростабілізована платформа**

Гіростабілізований підвіс - це пристрій стабілізації становища деякого переноситься об'єкта щодо положення носія. Часто Гіростабілізований підвіс застосовується для стабілізації відео або фотокамери. Такі підвіси ще називають стедікам (steadicam).

Датчик положення, який знаходиться в тій же частині пристрою, що і камера, фіксує поточний кут нахилу відносно горизонту. Мікроконтролер управляє моторами гіроподвеса, повертаючи камеру (і датчик разом з нею) в задане положення. Ці дії відбуваються безперервно багато разів в секунду. У підсумку, оператор може як завгодно пересувати і повертати стедікам в просторі, а камера при цьому завжди буде дивитися строго уздовж горизонту.



Рисунок 12 - Типовий гіростабілізований підвіс для камери

Гіростабілізовані платформи є двох основних типів - на шагових та безколекторних двигунах. Основним плюсом шагових гіростабілізованих платформ є низька ціна та можливість стабілізації важких об'єктів, але це компенсується дуже низькою швидкістю реакції на коливання. Платформи на безколекторних двигунах вносять корективи у своє положення сотні раз у секунду, мають дуже велику швидкість реакції на коливання та хитання. Тому для цієї цілі найкраще всього підходить саме цей варіант.

### **2.2.5 Супроводження заданої траєкторії камерою**

Під час польоту основною задачею БПЛА, що використовується для моніторингу ЛЕП є утримання цільового об'єкту (опор, дротів) у полі зору камери під заданим кутом. Усі режими супроводження цілі можна розділити на інтелектуальні та неінтелектуальні, за принципом можливості внесення корективки у положення камери під час аерофотозйомки.

До неінтелектуальних методів супроводження траєкторії камерою можна віднести жорстку фіксацію камери під певним кутом до землі, як це часто роблять на БПЛА літакового типу, чи фіксацію камери у напрямленні курсового руху. Основною перевагою є надійність системи, відсутність потенційних поломок системи стабілізації та простота розміщення. Але переваги супроводжуються і критичними недоліками, такими як неможливість повороту камери та висока залежність якості відзнятого кадру від погодних факторів, що порушують стабілізацію картинки.

До інтелектуальних методів супроводження можна віднести

- Трекінг за рухомою візуальною міткою з використанням технологій обробки зображення
- Політ по колу з заданим радіусом з фіксацією камери на одній точці.

Є три основних варіанти управління камерою, що знаходиться на гіростабілізованій платформі.

#### 1. Управління камерою по машинним алгоритмам відстежування

На даний момент існують програмні засоби обробки відеопотоку з розпізнаванням вмісту відео та пошуком візуальних паттернів, що відповідають деяким об'єктам.

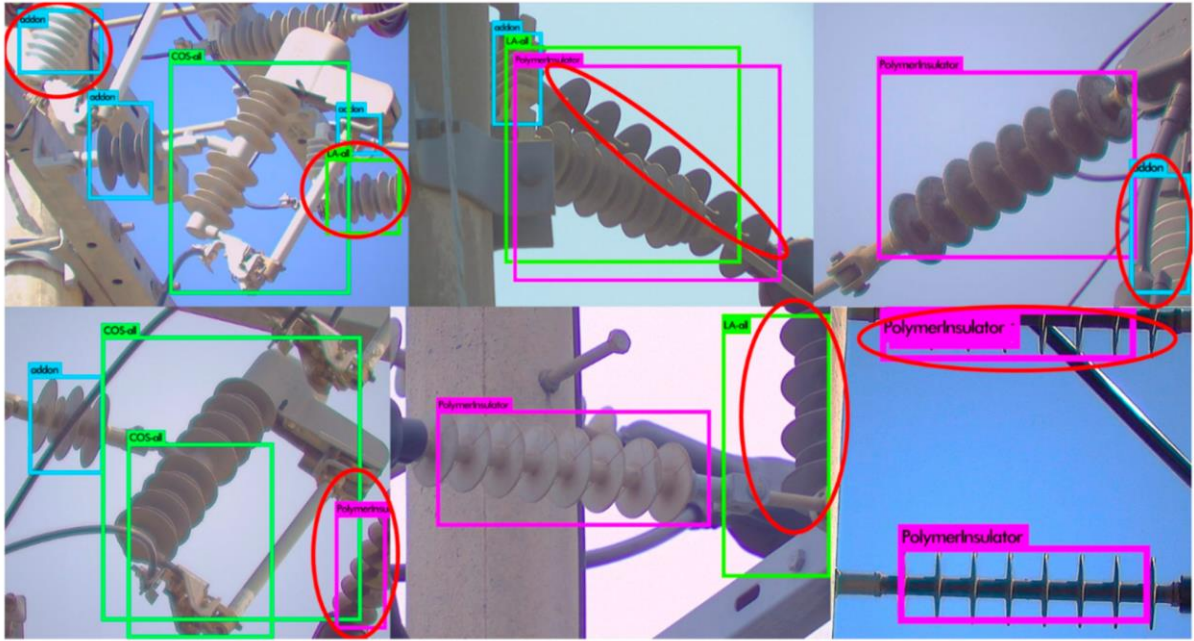


Рисунок 13 - автоматичне розпізнавання деталей ЛЕП за допомогою технологій машинного зору

Найбільший плюс використання технологій машинного зору - висока швидкість пошуку точки для фотографування без участі оператора та повністю автоматичний режим розпізнавання видимого об'єкту.

Оскільки обробка відеопотоку у реальному часі є ресурсоємною задачею, що потребує високотехнологічних апаратних засобів, а саме:

- Одна чи декілька камер (цифрових або аналогових) з оптикою, що підходить до конкретного випадку
- Програмне забезпечення для генерації кадрів для аналізу
- Процесор, що може опрацьовувати великі об'єми даних за стислий проміжок часу. Для цього використовують DSP (цифрові сигнальні процесори) чи процесори загального вжитку с великою кількістю уніфікованих ядер.
- Специфічні джерела підсвітки, для мінімізації втручання сонячного світла

Управління камерою на платформі у режимі інтелектуального керування здійснюється вздовж ліній дротів, що відстежуються з блоку камер. При дольоті до кожної опори БПЛА скидає швидкість і проводить відео/фотозйомку опори, ізоляторів, що виявляються завдяки розпізнаванню кожного із об'єктів завдяки машинному зору.



Рисунок 14 - Виділення ключових частин для аерофотографування за допомогою машинного зору

## 2. Управління камерою по інерціальній системі навігації

При управлінні камерою по інерціальній системі навігації точкою відліку є сам БПЛА. Завдяки TOF камері ми маємо відстань до землі та до близьких об'єктів. Для навігації по ІНС потрібна система датчиків, що зможе забезпечити коректне та швидке отримання відстаней до точки фіксації, відстань до землі та інклінометр.

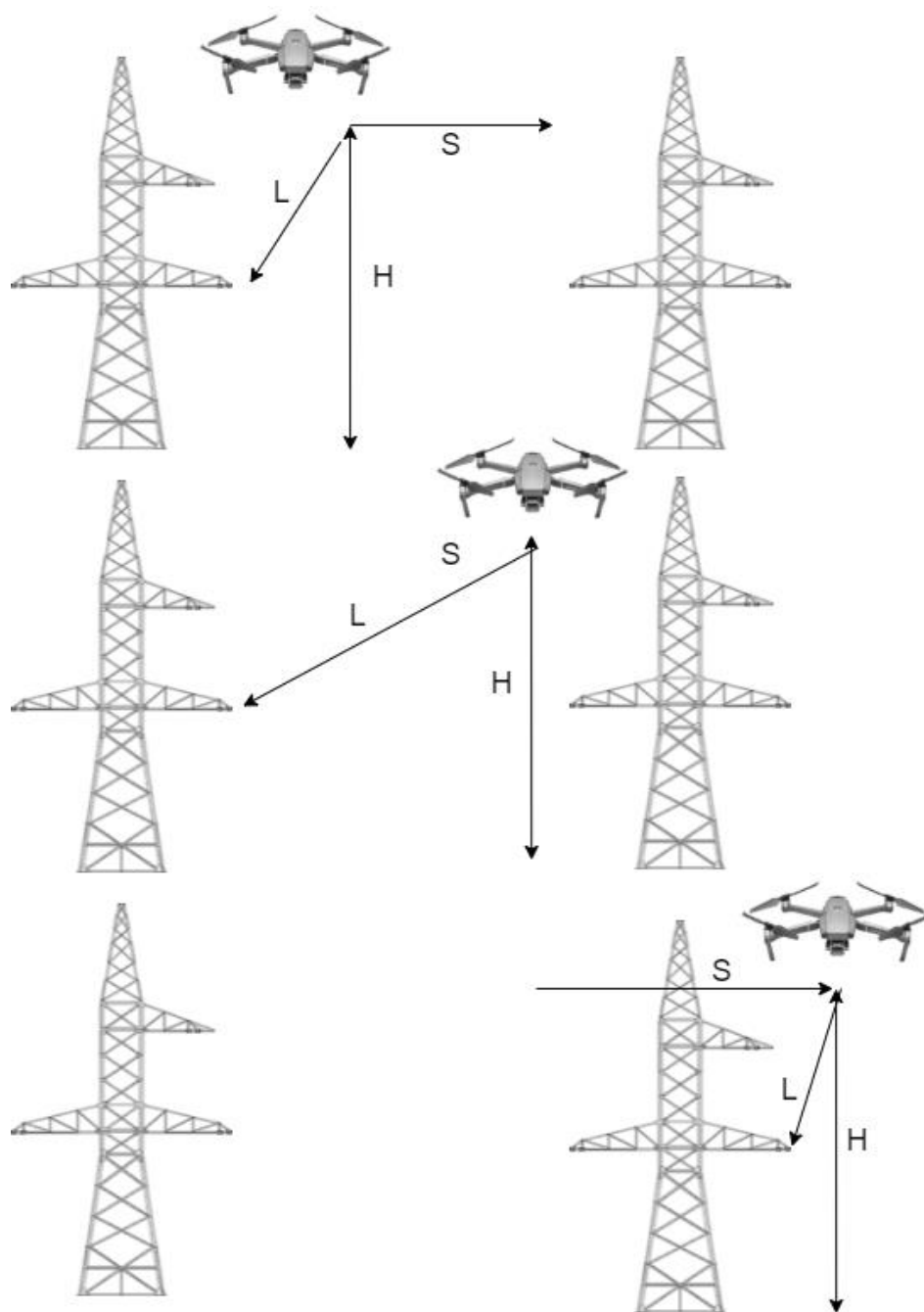


Рисунок 15 - Політ БПЛА з фіксацією точки, заданною оператором

H - висота, отримана від датчика висоти

S - зміщення БПЛА відносно опори

L - відстань до опори, отримана з TOF камери



Важливою частиною для польоту БПЛА з фіксацією по точці є інклінометр, що задає точку відліку для дрону в умовах польоту під кутом до землі. Отже фінальний кут отримуємо з співвідношення  $L$  та  $H$  з урахуванням зміщення по вектору  $S$ . Отриманий кут формується не від нахилу коптера до землі, а від неузгодженості сигналу інклінометра та отриманого кута.

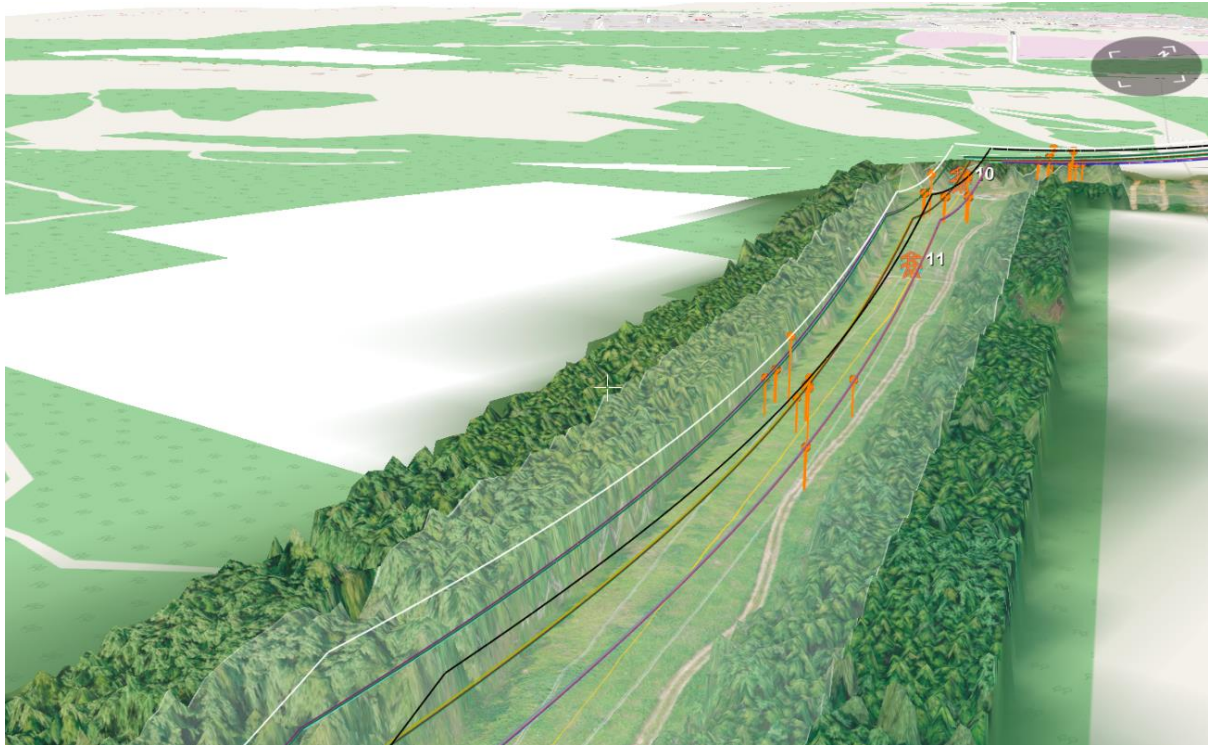


Рисунок 16 - Карта глибин з відмітками доступних точок фіксації

### 3. Ручний режим управління камерою

Ручний режим управління камерою здійснюється оператором у реальному часі з пульта керування, де відбувається лінійна конвертація величини відхилення джойстиків пульта управління в конкретне положення гіростабілізованої платформи. У ручному режимі керування задачу керування вирішує сам оператор і через взаємодію з пультом керування дроном і завдяки трансляції відео з курсових камер може вирішувати задачу навігації та управління. Задача цього режиму - вирішити ті задачі

навігації та польоту, що не може вирішити автоматика дрону у реальному часі або виправити помилки, що були вчинені автоматикою.

### **2.3 Процеси обробки даних**

Під час польоту БПЛА генерує велику кількість даних, що можна розділити на телеметричні, аварійні, сигнальні та дані зйомок з камер.

Обробка даних для створення фотоплану здійснюється оператором, а не самим дроном, отже під час польоту не має сенсу перевантажувати розрахункові потужності бортового комп'ютера. Основні операції, що проходять з даними під час польоту - це передача даних у реальному часі до оператора, зберігання даних та обробка даних з TOF камери для можливості автономного управління та навігації самим БПЛА.

За обробку даних для автопілота у реальному часі відповідає бортовий мікрокомп'ютер.

#### **2.3.1 Передача даних у реальному часі**

Пілот, керуючи БПЛА бачить зображення, що отримується з відеокамери, за допомогою пристроїв виведення відео, наприклад моніторів, телевізорів, відеоокулярів.

Є два типи такої апаратури FPV та LongRange FPV. Для варіанту 1 використовують стандартний набір для FPV, що включає передавач відеосигналу малої потужності, що дає змогу здійснювати політ в зоні дії стандартного передавача радіокерування. Для польотів на більшу відстань використовують підсилювачі потужності або потужніші передавачі (як для апаратури керування, так і для передачі відеосигналу з моделі). При гарних умовах та достатньої потужності передавача можна досягати дистанції передачі 42-100км.

Часто при польотах Long Range FPV використовують наземні станції.

Вони зазвичай складаються зі штатива, на якому закріплена

вузькоспрямована антена, що передає літальному апарату команди з пульта керування, і різнонаправленої антени, що приймає сигнал з відеопередавача.

Можливе також використання додаткового підсилювача сигналу з передавача апаратури радіоуправління перед подачею на вузькоспрямовану антену, що дозволяє значно збільшити дальність сигналу радіокерування. Недоліком такого методу є сам принцип роботи вузько спрямованих антен — доводиться відволікатися від пілотування, щоб направити її в сторону літального апарату. Для усунення цього недоліку використовують трекінгові антенні системи (FPV Antenna tracker).

Є декілька основних частот, що підходять для трансляції відеосигналу у реальному часі і дозволені для використання у цивільних цілях.

|        |   |   |   |
|--------|---|---|---|
| 900МГц | Низькочастотний сигнал краще долає перешкоди                    | Великий розмір антени, може конфліктувати з GPS | Для середнього діапазону                                |
| 1.2ГГц | Висока дальність прийому/передачі                               | Відносно невелика пропускна спроможність        | Для дальнього діапазону                                 |
| 2.4ГГц | Велика пропускна спроможність, найчастіше використовується      | Невисока проникна здатність в складних умовах   | Для середньої дистанції або далекої зі звичними умовами |
| 5.8ГГц | Найбільша з доступних пропускних спроможностей, невеликі антени | Низька проникна здатність в складних умовах     | Для близької та середньої дистанції                     |

Для вирішення проблеми зв'язку було обрано системи 2.4 ГГц та 5.8 ГГц, як достатні для вирішення поставлених задач.

### **2.3.2 Зберігання та логування даних**

Для зберігання даних з камер, логування телеметрії та сервісної інформації потрібно мати швидке та надійне сховище для даних. На даний момент є два способи записати велику кількість інформації у двійковому вигляді, це жорсткі диски та твердотільні накопичувачі (SSD). Недоліками жорстких дисків є висока механічна вразливість, що не є проблемою для SSD які можуть витримувати до 600G+ перевантажень.

У системі є 3 камери з розгорткою 2048x1536 та частотою знімання у 30к/с. Тобто для записування 1 години відео нам потрібно 204.5ГБайт пам'яті, без урахування логування, сервісної інформації та операційної системи і при максимальному навантаженні мати пропускну спроможність 42.40 Мб/с.

Виходячи з двох параметрів, що були описані вище оптимальним вибором є SSD з ємністю не менше 1ТВ.

## **3. ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Комплекс перерахованих датчиків здатен представити положення і швидкість переміщення БПЛА у тривимірному просторі.

1. Гіроскоп
2. Акселерометр
3. Барометр (Альтметр)
4. GPS-модуль
5. Інклінометр

Принципова схема БПЛА представлена у Додатку.

Виходячи с пункту 2. Функціональні задачі автоматизації можна вибрати засоби автоматизації, що підходять до виставлених параметрів.

### **3.1 Вибір літального апарату**

Виходячи з поставленого завдання до системи керування був проведений аналіз готових комерційних платформ, що доступні на ринку. Було обрано дві платформи.

#### **1. MATRICE 300 RTK**

Matrice 300 RTK - комерційна розробка компанії DJI. Основною перевагою цієї платформи є те, що вона готова до установки користувацького обладнання та взаємодії з сторонніми модулями. БПЛА позиціонується як універсальна професійна платформа.

Макс. передача сигналу: 15 км

Макс. час польоту: 55 хв

Маса 18.5 кг

Максимальна злітна вага 27 кг

Робоча температура: -20 ° С ... + 50 ° С

Гаряча заміна акумуляторів

Система управління станом БПЛА

Дальність передачі сигналу 15 км

Триканальна передача відео 1080p

Автопереключення в режимі реального часу 2.4 / 5.8ГГц

Макс. час польоту 50 хв

Макс. швидкість зниження 7 м / с

Висота польоту 7000м

Допустима швидкість вітру 12 м / с

Макс. швидкість 23 м / с



Рисунок 17 - зовнішній вигляд MATRICE 300 RTK

## **2.DJI AGRAS T20**

DJI AGRAS T20 - комерційна розробка компанії DJI. Основною перевагою цієї платформи є те, що вона готова до установки користувацького обладнання та взаємодії з сторонніми модулями, а також може нести на собі вагу, рівну самому БПЛА. БПЛА позиціонується як платформа для сільськогосподарських дронів.

Макс. передача сигналу: 15 км

Макс. час польоту: 55 хв

Маса 24.5 кг

Максимальна злітна вага 38 кг

Позиціонування та виявлення в 6 напрямках

Захист рівня IP45

Робоча температура: 0 ° C ... + 50 ° C

Гаряча заміна акумуляторів

Дальність передачі сигналу 15 км

Триканальна передача відео 1080р

Автопереключення в режимі реального часу 2.4 / 5.8ГГц

Макс. час польоту 50 хв

Макс. швидкість зниження 4 м / с

Висота польоту 2000м

Допустима швидкість вітру 10 м / с

Макс. швидкість 8 м / с



Рисунок 18 - зовнішній вигляд DJI AGRAS T20

Виходячи з поставлених задач у пунктах 1 та 2 оптимальним вибором став MATRICE 300 RTK, так як має значно більший час знаходження у повітрі та більш зручне розташування камер.

### **3.2 Система GPS**

Для реалізації системи GPS був вибраний датчик АПМА.467855.028 українського виробництва, що сертифікований для використання в БПЛА.

Приймач призначений для безперервного визначення поточних навігаційних параметрів об'єкта навігації за сигналами, прийнятими від супутникових навігаційних систем ГЛОНАСС, GPS та їх функціональних доповнень SBAS, та видачі їх в апаратуру споживача.

Приймач забезпечує такі функції за призначенням:

- приймання та оброблення сигналів СНС:

- 1- GPS/SBAS, L1 (C/A-код);

- 2- ГЛОНАСС L1 (СТ-код);

- автоматичне безперервне визначення трьох координат (широти, довготи, висоти), часу, курсу та швидкості;

видачу в апаратуру споживача поточних координат в системі координат WGS-84, ПЗ-90, СК-42, СК-95;

- видачу навігаційних даних з частотою 1, 2, 5, 10 Гц;

- оцінювання точності визначення координат;

- Інтерфейс - RS-232



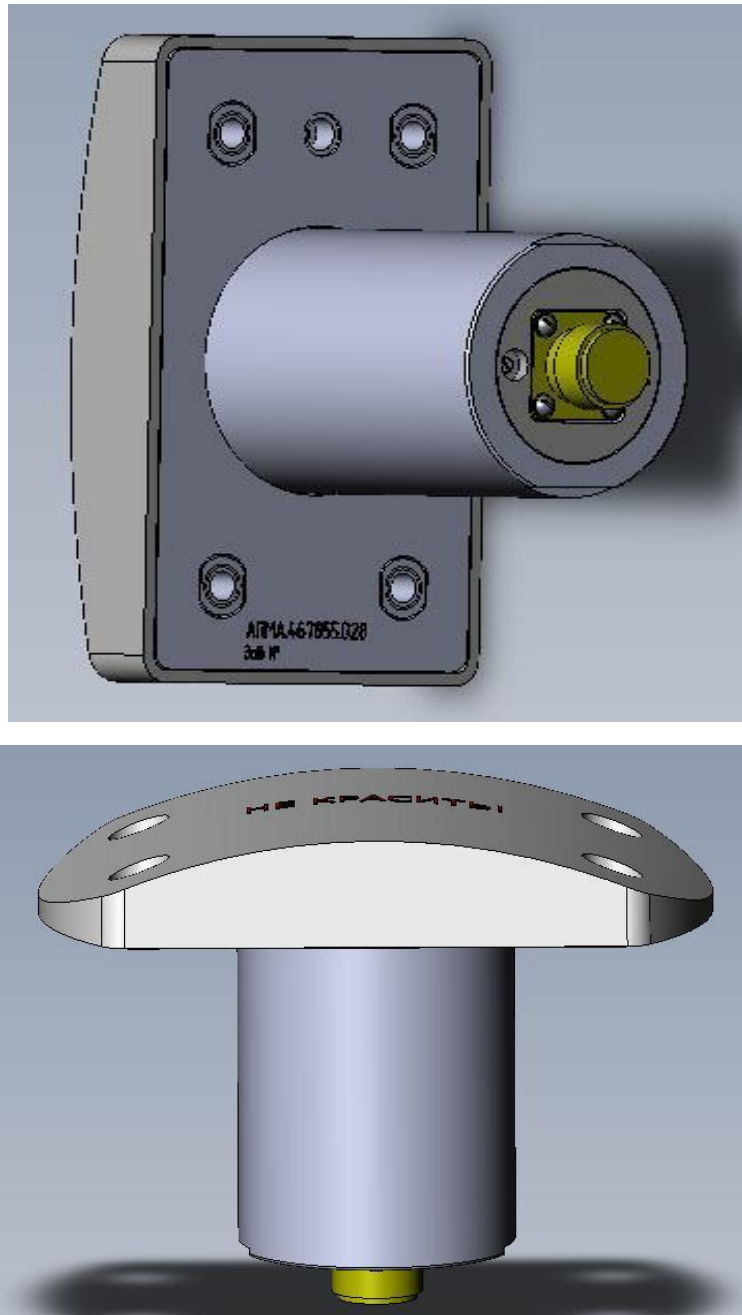


Рисунок 19 - GPS прийомник

### 3.3 Система ІНС та система стабілізації БПЛА

Для реалізації системи ІНС був вибраний високоефективний інерційний модуль STIM300 (розробка компанії Sensor AS), що підтримує SPAN технологію компанії NovAtel Inc. (Калгарі, Канада) - технологію комплексування інерційних і супутникових систем. STIM300 містить три

прецизійних MEMS гіроскопа, три високостабільних акселерометра і 3 інклінометра.

Характеристики:

- Напруга живлення від 18 до 30В.
- Інтерфейс - RS-232
- Комерційного класу гіроскопи і акселерометри з низьким рівнем шуму
- Малі габарити і вага: 39 x 45 x 22 мм - довжина, висота і ширина; 55 грам
- Широкий діапазон вхідного харчування: 5В постійного струму
- Темп виходу даних до 125 Гц (125 раз в секунду)
- Висока надійність системи: тривале середній час напрацювання на відмову

Інерційний модуль SPAN STIM300 використовує протокол комунікації RS-232 та має систему калібрування “дрейфу нуля”.



Рисунок 20 - датчик інклінометру STIM 300

### 3.3.1 Гіроскоп

Основними вимогами до гіроскопа у розглядаємій системі управління стабілізацією є:

- Мала вага
- Висока швидкість реакції на зміну кута
- Уніфікований інтерфейс (RS-232, Ethernet)
- Точність вимірювання  $<0.5\%$
- Роздільна здатність не менше 12 біт

Для вирішення цієї задачі був обраний 3-х осьовий гіроскоп **Gauī GUEC GU-344**.

Характеристики:

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Інтерфейс -                 | RS-232                 |
| Вага                        | 35 грам                |
| Робоча напруга -            | 4-6В                   |
| Роздільна здатність         | 14 біт                 |
| Дрейф нуля                  | не більше 0.39 за 60хв |
| Діапазон робочих температур | від -40 до +80 °С      |

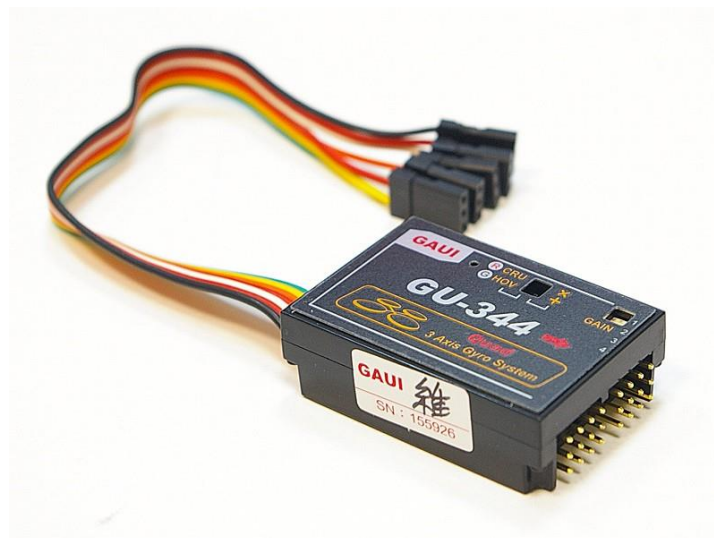


Рисунок - гіроскоп **GU-344**

### 3.3.2 Акселерометр

Датчик акселерометра для стабілізації БПЛА потрібен для оцінки прискорення для формування коректного керуючого завдання на кожен з моторів.

У даній системі акселерометр роздивляється як невід'ємна частина польотного контролера DJI A3, тому вибір додаткового акселерометра не має сенсу.

### 3.3.3 Інклінометр

Задача інклінометра в системі - утримання абсолютного нуля, заданного системі. Тобто гіроскоп та компенсуючий гіроскоп показують кут відносно квадрокоптера, а для прокладання рівного шляху паралельно до землі і компенсації похибок гіроскопів використовується інклінометр.

Для вирішення цієї задачі був обраний інклінометр **ZET 7154**.

Характеристики:

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Інтерфейс -                 | RS-232                  |
| Вага                        | 315 грам                |
| Діапазон робочих температур | від -40 до +80 °C       |
| Робоча напруга -            | 9-24В                   |
| Діапазон вимірювань         | 15° до +15°             |
| Дрейф нуля                  | не більше 0.045 за 60хв |



Рисунок - Інклінометр ZET 7154

### **3.4 Вибір польотної, ІЧ та TOF камер**

Основною вимогою до всіх камер є підключення через інтерфейс Ethernet. Це потрібно для того, щоб в реальному часі передавати дані з камер до головного комп'ютера, де проходить трансляція даних по радіоканалу до оператора.

#### **3.4.1 TOF камера**

Вибір TOF камери оснований на двох основних параметрах — ціна камери та дальність розгортки карти глибин, яку вона може забезпечити.

Технологія 3D TOF працює за наступним принципом - випромінювач робить засвітку об'єкта випроміненням певного спектру, а матриця приймачів фіксує час, за який хвиля повернулась від об'єкту.

Знаючи швидкість світла у повітрі та час ми можемо знайти відстань до об'єкта, що відбиває світло.

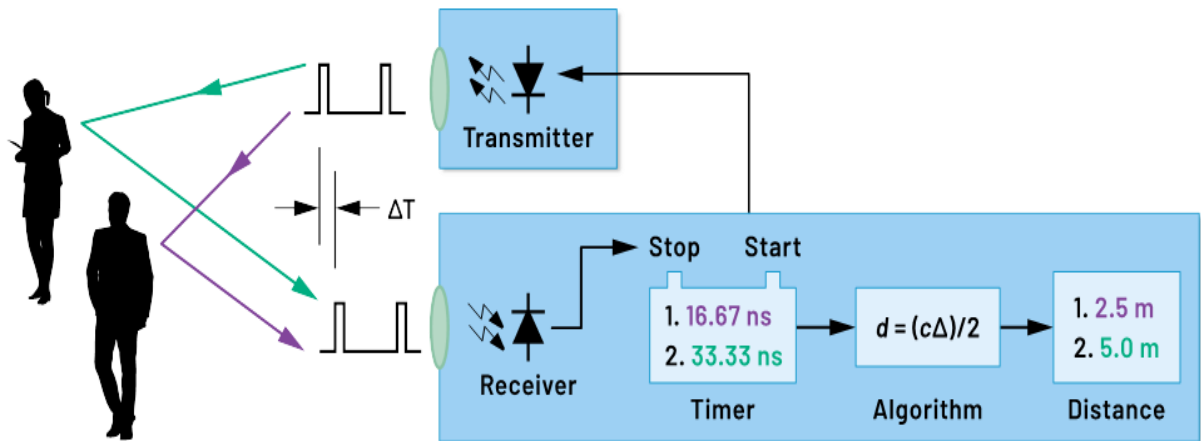


Рисунок 21 - принцип роботи TOF сенсору

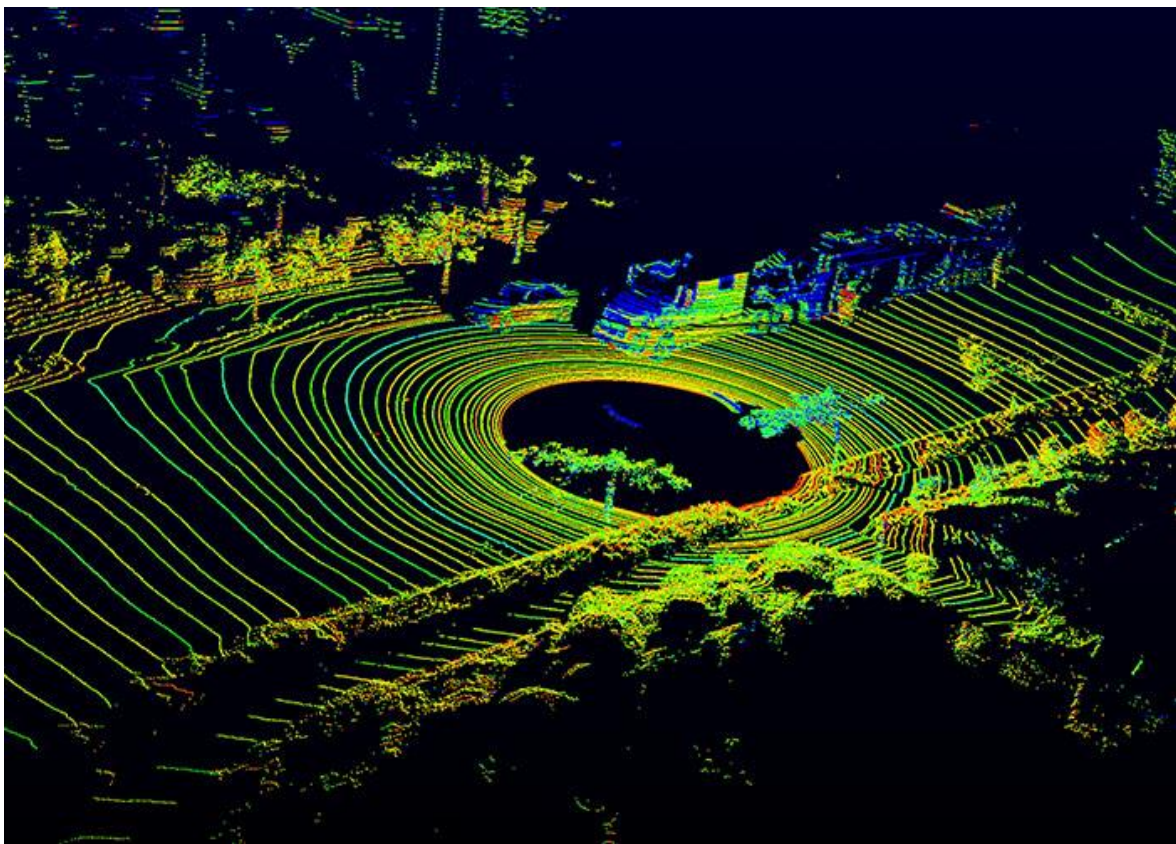


Рисунок 22 - карта глибин отримана 3x-вимірною камерою

Провівши аналіз доступних камер за ціною до 2000\$ були вибрані два варіанти:

### AD-96TOF1-EBZ

1. Інтерфейс - Ethernet
2. Діапазон: <6 м

3. Кут огляду:  $90^{\circ} \times 69,2^{\circ}$
4. Довжина хвилі 940 нм
5. Режим поруч: 25 см - 80 см
6. Режим середній: 30 см - 4,5 м
7. Режим далекий: 3-20 м
8. Точність  $<2\%$  для всіх діапазонів
9. Частота кадрів: не більше 30 кадрів в секунду (в залежності від процесора додатки, ОС і інтерфейсу з головним комп'ютером)
10. Роздільна здатність: 640 x 480 пікселів
11. Кілька варіантів інтерфейсу для ПК (USB, ETH, WiFi)

### **TOF640-20gm\_850nm**

1. Інтерфейс - Ethernet
2. Виробник сенсора Panasonic
3. Роздільна здатність: 640px x 480px / VGA
4. інтерфейс GigE
5. Поле огляду (Г x В)  $57^{\circ} \times 43^{\circ}$
6. Робочий діапазон 0 м - 33 м
7. Точність +/- 1cm
8. Частота кадрів 20 fps
9. Кріплення об'єктива

Після порівняння двох варіантів оптимальним вибором стала камера **TOF640-20gm\_850nm**, так як має відстань отримання карти відстаней до 33м



Рисунок 23 - камера **TOF640-20gm\_850nm**

### **3.4.2 Вибір ІЧ камери**

Вибранною ІЧ камерою стала Pulsar Helion XQ50F тому що має наступні особливості:

Тепловізор оснащений далекоміром, який дозволяє максимально точно розраховувати відстань до об'єктів в залежності від їх висоти. Є можливість поступового 16,4-кратного оптичного збільшення, а також 2-4-8 приближення. Калібрування датчика монокуляра може виконуватися трьома способами, серед яких повністю автоматичний, напівавтоматичний. Крім того, встановлено 8 різних колірних схем спостереження, що дає можливість підібрати найбільш оптимальну схему незалежно від умов спостереження і особистих переваг користувача.

В якості елемента живлення в монокуляра використана літій-іонна батарея типу В-Pack IPS5, що забезпечує до 16 годин безперебійно передачі відео по каналу Wi-Fi та 2.4ГГц. Також виробник передбачив можливість використання більш потужної батареї IPS10. З метою економії заряду батареї дисплей тепловізора може бути відключений при збереженні активності всіх інших функцій.

- Інтерфейс - Ethernet
- 8 Гб внутрішньої пам'яті для запису фото і відео;
- Наявність відеовиходу для проводового з'єднання з периферійними пристроями;
- Бездротової пульт ДУ, що повністю дублює функції основних органів управління;

### **3.5 Радіозв'язок та зберігання даних**

#### **3.5.1 Радіозв'язок**

Оскільки була вибрана платформа MATRICE 300 RTK - радіозв'язок забезпечується технологічними можливостями платформи. До комплексу входять

- Радіотракт 2.4ГГц (передатчик та приймач)
- Радіотракт 5.8ГГц (передатчик та приймач)



- Антени для обох діапазонів
- Пульт керування

### **3.5.2 Зберігання даних**

У пункті 2.3.2 були висунуті вимоги для сховища даних, тому для системи можна вибрати любий твердотільний накопичувач з ємністю більше 1ТВ та швидкістю запису/считування більше ніж 250мб/с.

### **3.6. Пульт керування БПЛА**

Пульт управління промислового робота є частиною станції управління. Цей пристрій служить інтерфейсом між оператором роботизованого комплексу і станцією управління робота.

Так з пульта управління відбувається програмування робота в ручному режимі, на пульті відбувається візуалізація виконуваних команд і стану РТК (робототехнического комплексу).

На пульті змонтовані органи управління в т.ч. кнопки оперативних команд, джойстик, переміщення якого вказують напрямок руху та прискорення при виконанні руху маніпулятором в ручному режимі, кнопка аварійної зупинки, кабель з роз'ємом для підключення до станції управління та інші.



Рисунок 24 - Пульти керування наземним роботом

В основному всі моделі сучасних пристроїв забезпечені кольоровим РК монітором, часто типу touch screen (сенсорний екран).

Вони підрозділяються в першу чергу на стаціонарний клас (приміщення, бункер), на мобільний клас (система контролю і навігації разом з оператором знаходяться в фургоні, мобільному пересувному мінівені), на ручний клас (кейси, які швидко і легко можна розгорнути в повноцінній станції управління ).

До складу безпілотного комплексу входять наступні підсистеми регулювання, координації польотів (на прикладі комплексу Pioneer VMC США):

1. Сама станція зазвичай включає в себе наступні компоненти:

система прийому сигналів від БПЛА

система відправки сигналів судну

системи прийому і обробки зображення на моніторі

системи прийому тепловізійного, інфрачервоного зображення  
пульт управління зовнішнього пілота (включаючи системи  
програмування польотів і польотного завдання)

2. У комплекс підсистем управління на стороні БПЛА входять:  
пристрою отримання видової інформації  
системи для зв'язку через супутники (Глонас / GPS)  
пристрою телеметрії і передачі на пункт управління інформації про  
параметри положення судна в просторі, швидкості польоту, тривалості  
польоту і т.д.



Рисунок 25 - приклад пульта керування БПЛА

Командний модуль безпілотного повітряного комплексу призначений для розміщення:

- Устаткування для зв'язку і управління
- Оператора безпілотної повітряної системи і оператора корисного навантаження
- Устаткування для технічної підтримки безпілотної повітряної системи
- Всеспрямована антена для телеметрії та управління
- Всеспрямована антена для відео і даних



Рисунок 26 - базова станція для БПЛА

### **3.7 Система опрацювання датчиків**

Оскільки польотний контроллер не має необхідних інтерфейсів для роботи з датчиками, сервоприводами камер та їх підвісом - була створена плата узгодження.

Задача плати - обробка сигналів RS-232, їх опрацювання та відправка на головний комп'ютер. Основою плати узгодження був обраний контроллер STM32F091CBT6 та контроллер Ethernet Wiznet W5500.

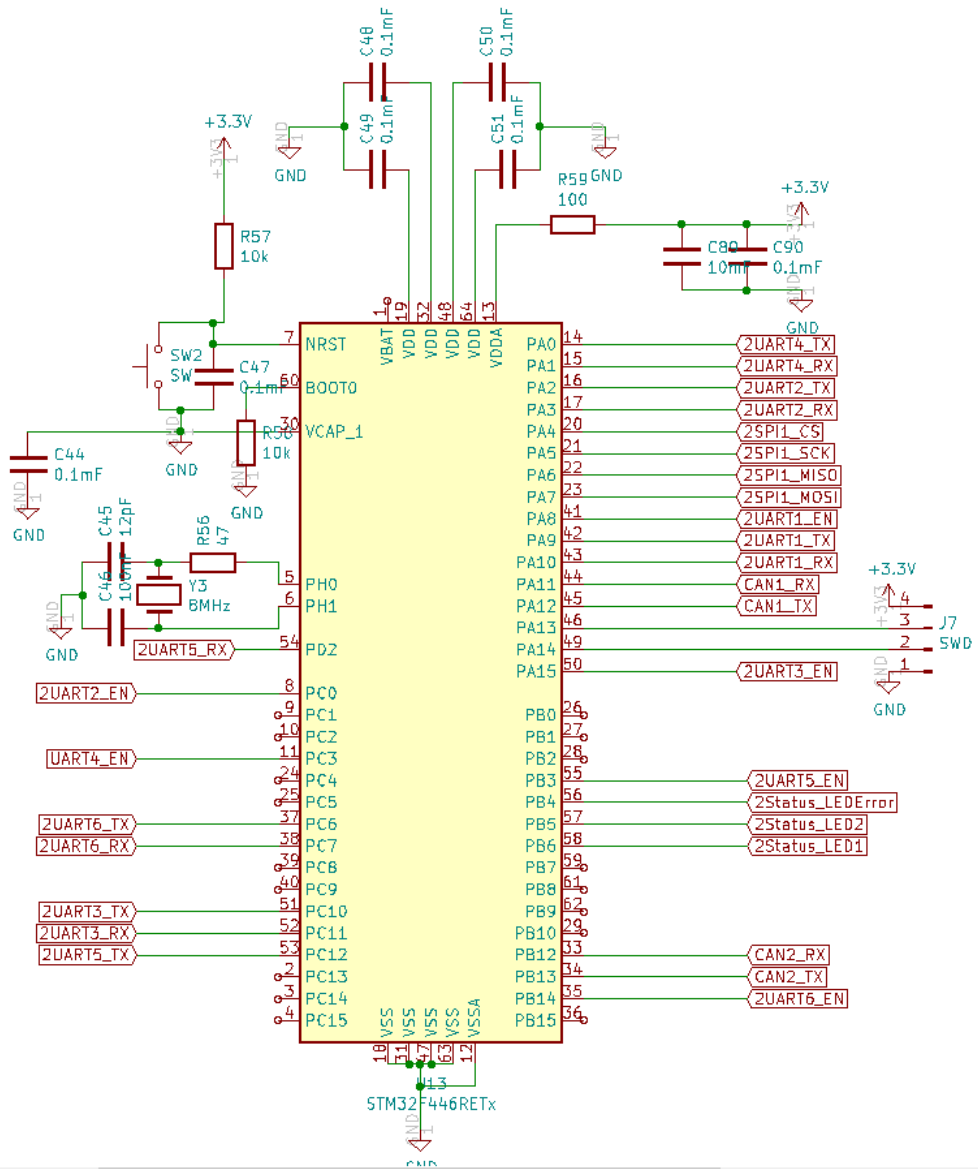


Рисунок 27 - принципова електрична схема MCU

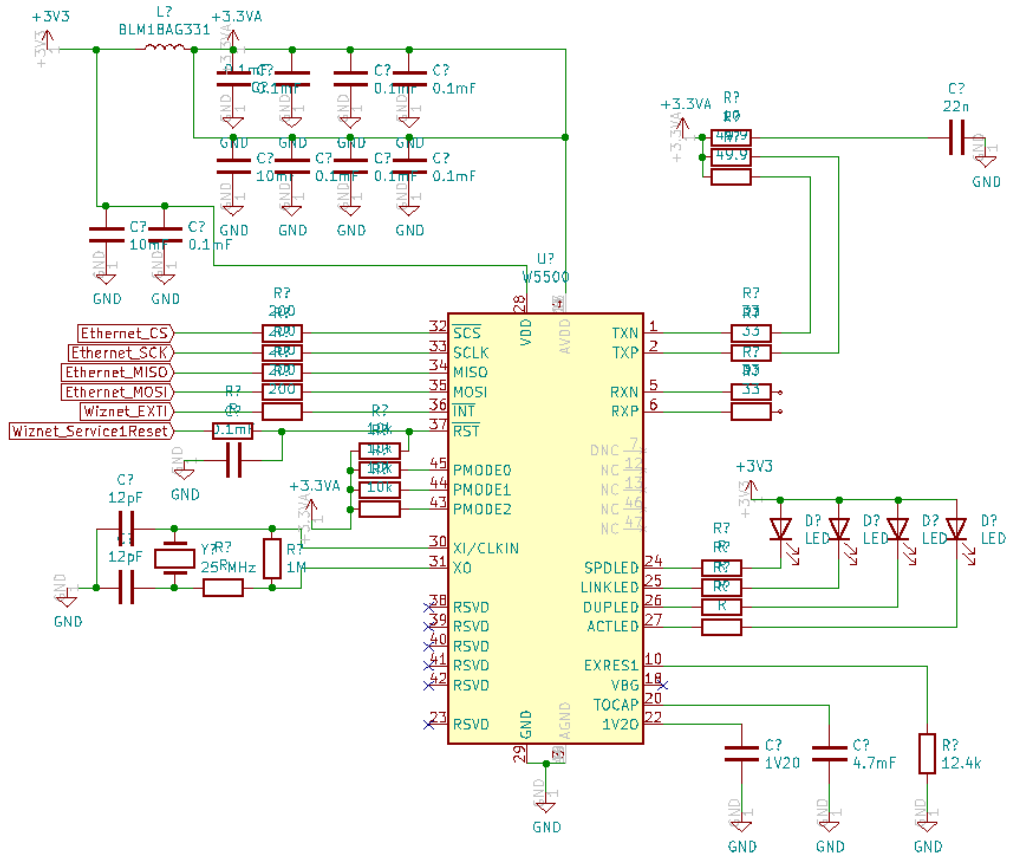


Рисунок 28 - Принципова електрична схема Ethernet

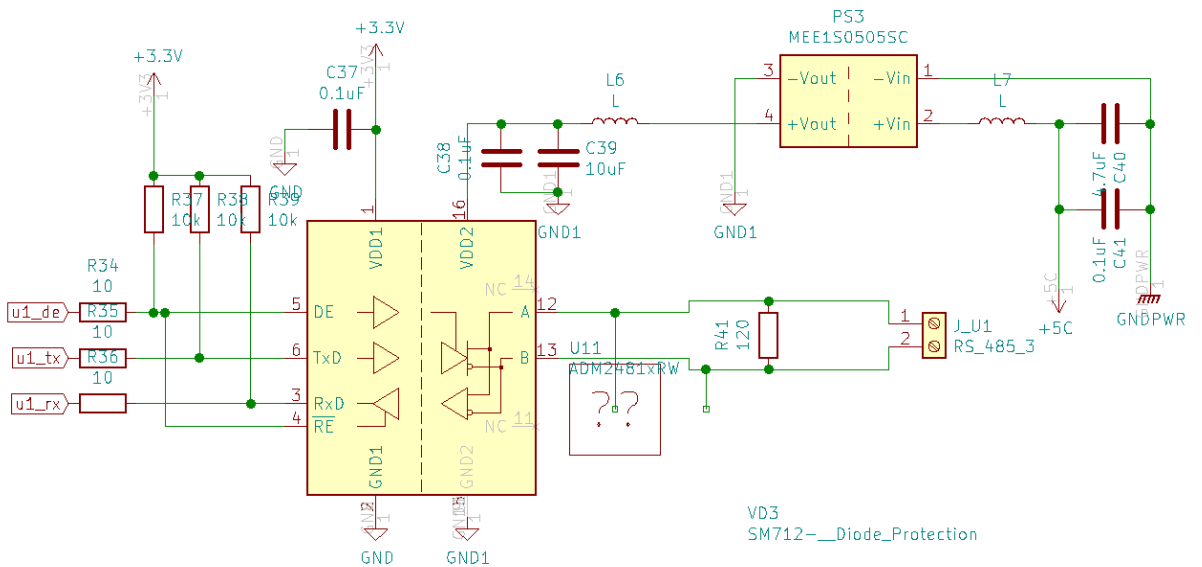


Рисунок 29 - типова схема гальванічно розв'язаного модуля UART

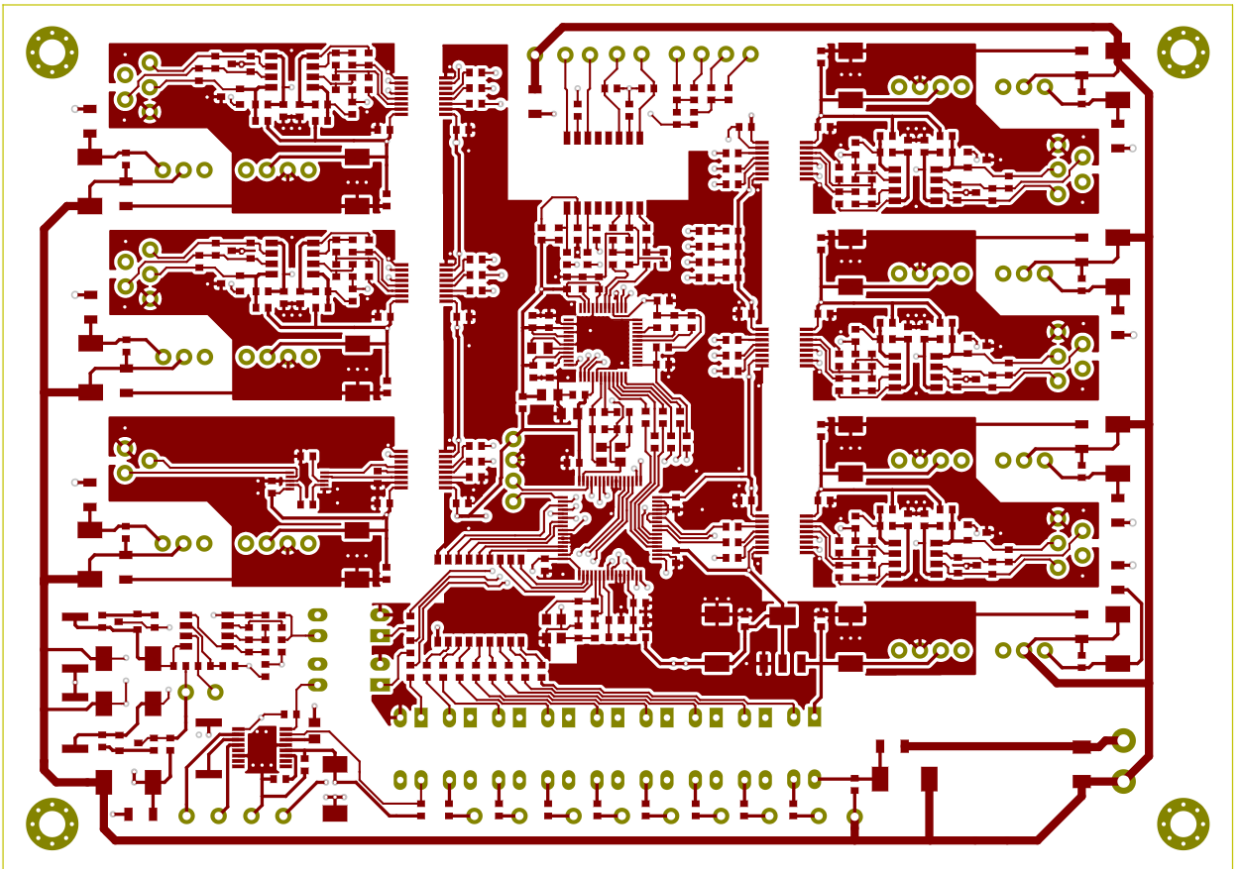


Рисунок 30 - Трасування плати, вигляд плати зверху

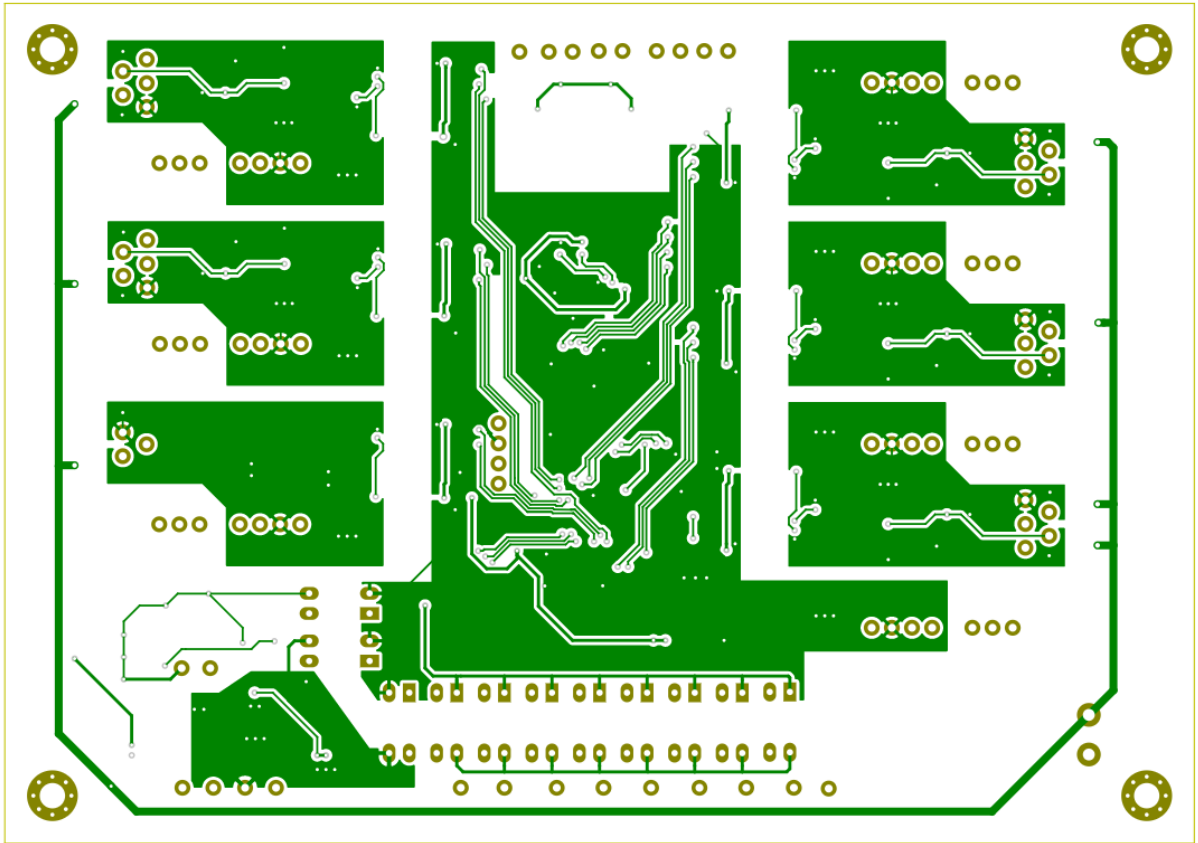


Рисунок 31 - Трасування плати, вигляд плати знизу



### 3.8 Побудування повної принципової схеми

Усю принципову схему можна розділити на декілька блоків, що відмічені на схемі.

1. Блок локальної та глобальної навігації
2. Блок управління моторами
3. Головний блок
4. Гіропідвіс
5. Блок камер
6. Радіомодулі
7. Акумуляторна батарея

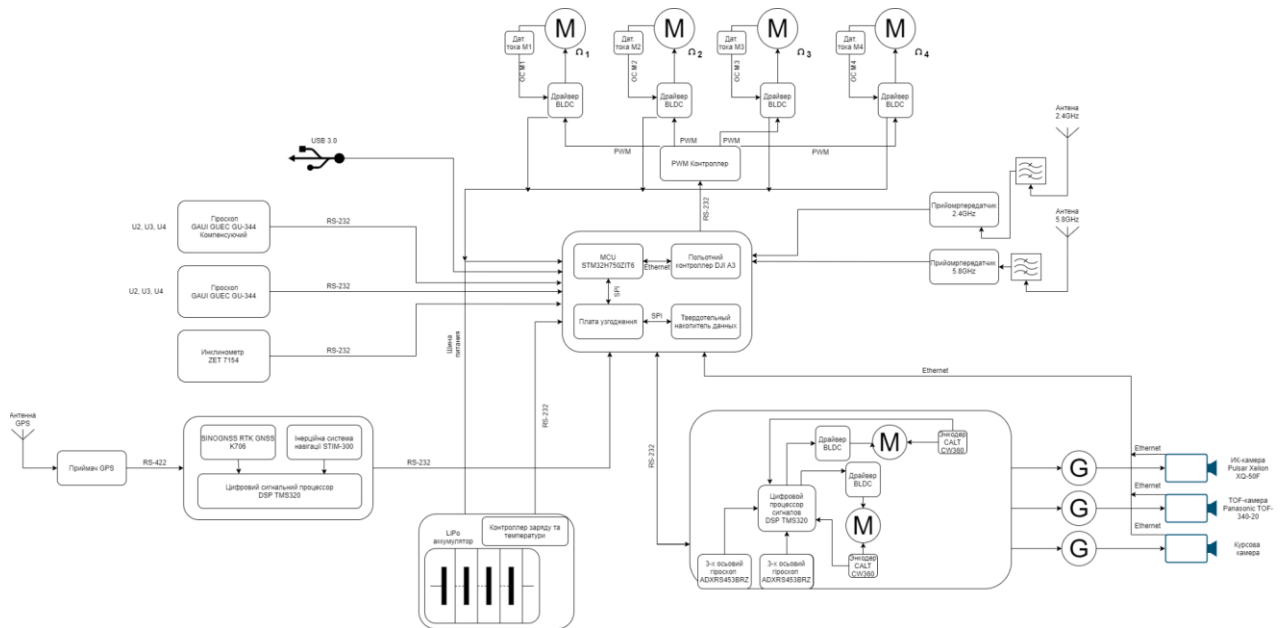


Рисунок - Принципова схема

#### 4. Компоновка БПЛА

|               |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
|---------------|----------------|----------|-------|------|--------------------------|--|--|--|--|--|-----------|--------|---------|
| Перв. примен. |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Справ. №      |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Подп. и дата  |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Инв. № дробл. |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Взам. инв. №  |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Подп. и дата  |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Инв. № подл.  |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |
| Изм.          | Лист           | № докум. | Подп. | Дата | БПЛА для мониторингу ЛЕП |  |  |  |  |  | Лит.      | Масса  | Масштаб |
| Разраб.       | Костюк О.О     |          |       |      |                          |  |  |  |  |  | Лит.      | Масса  | Масштаб |
| Пров.         | Кулінченко Г.В |          |       |      | Конструкція БПЛА         |  |  |  |  |  | Лист      | Листов | 1       |
| Т.контр.      |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  | СумДУ     |        |         |
| Н.контр.      |                |          |       |      | Копировал                |  |  |  |  |  | Формат А4 |        |         |
| Утв.          |                |          |       |      |                          |  |  |  |  |  |           |        |         |

## Список скорочень:

CAM - камера

IR CAM -

TOF - камера відстаней

BAT - акумуляторний блок

INR - інерційна система навігації

G - гіроскоп

IN - інклінометр

M - мотор

A - антена

GY - гіростабілізована платформа

GPS - глобальна система позиціонування

## 5.Висновок

Основна задача данного проекту – удешевлення та пришвидшення процесу моніторингу ліній ЛЕП, причому варіант використання БПЛА має ряд переваг у швидкості, точності та ціні ніж наземні бригади. Цей пристрій має використовуватись для обльоту ліній ЛЕП задля побудови аерофотоплану місцевості, фото та відеографії опор ЛЕП, за наступним збереженням даних.

Було виконано наступну роботу:

1. Розроблено принципову схему підключення блоків системи
2. Розроблено функціональну схему автоматизації
3. Підібрано необхідні інтерфейси
4. Реалізований підбір платформи для БПЛА та його оснащення
5. Розроблена схема компоновки та трасування плат
6. Опрацьовані принципи керування, описані основні алгоритми

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рубцова Н. Э. Обработка данных БПЛА в программе UASMaster// Геоматика. – 2014. №1. – С. 34 –44.
2. Синеглазов В. М. Оптимальный выбор устройств наблюдения для беспилотных аппаратов/ В. М. Синеглазов, Р. К. Кадем, А. Н. Мельниченко // Електроніка та системи управління. –2010. – №4(26) – С.46 –72.
3. Салычев О. С. Автопилот БПЛА с инерциальной интегрированной системой, основа безопасной эксплуатации беспилотных комплексов, ООО «Текнол».– Режим доступа до ресурсу:  
[http://teknol.ru/trash/uav\\_autopilot\\_salychev\\_2602182965.pdf](http://teknol.ru/trash/uav_autopilot_salychev_2602182965.pdf)
4. Попов В.М. Гиросtabilизация платформы беспилотного летательного аппарата для аэрофотосъемки и видеонаблюдения. "Crede Experto ".– № 2(13). –Режим доступа до ресурсу: <http://ce.if-mstuca.ru>)
5. Яровий О. В. Системи управління БПЛА для здійснення моніторингу наземних об'єктів. /Системи управління, навігації та зв'язку. –2018.– випуск 3(49).–С. 33–38. doi: 10.26906/SUNZ.2018.3.03
6. Мироненко Р.С. Электронная 3-х осевая система стабилизации видеокамеры/ Р.С. Мироненко, А.М. Исаев, М.А. Исаев //Международная конференция "Актуальные проблемы робототехники и автоматике". Белгород. –2015.– С.129-133
7. Татарников Е. В. Проектирование стабилизатора видеокамеры/Е. В. Татарников, Л. Б. Гурин // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума. –2016. –Томск. – Изд-во ТПУ. –С. 78-82
9. Жмудь В.А. Акселерометр и гироскоп MPU6050/ В.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев, В.Г. Трубин, М.В. Трубин// Автоматика и

программная инженерия. –2018. –№3(25). –С.9-22 Режим доступа до ресурсу: <http://www.jurnal.nips.ru>.

10. 3-Axis Digital Compass IC HMC5883. Режим доступа до ресурсу: <http://katus.ru/datasheets/pdf-data/3157690/HONEYWELL/HMC5883L.html>

11. Sensor module:3-axis accelerometer and 3-axis magnetometer LSM303DLM. Режим доступа до ресурсу: <https://www.st.com>

12. BMP180 Digital pressure sensor. Bosch Sensortec. Режим доступа до ресурсу: <https://www.bosch-sensortec.com>

13. Сушков А. А. Проектирование и разработка сервопривода для применения в БПЛА/А. А. Сушков, Н. М. Боев // Решетневские чтения.– 2015.–vol1. –№19. – С.50–52

14. Высоцкий В.А. Выбор двигателя для подвеса на мультикоптер // Современная техника и технологии. 2014. № 4 [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://technology.snauka.ru/2014/04/3447>

15. L6234 Three phase motor driver [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу:

[http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/78/44/47/d5/a8/63/4a/8e/CD00004062.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/78/44/47/d5/a8/63/4a/8e/CD00004062.pdf)

16. Матюшкин Н.В. Обзор готовых решений для автоматизированной информационной системы беспилотного летательного аппарата. 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу:

<http://www.penzgtu.ru/359/1080/1089/3628/>

17. APM2.x Wiring QuickStart. Режим доступа до ресурсу:

<http://ardupilot.org/copter/docs/connecting-the-apm2.html>

18. Микроконтроллер STM32F4 [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html>

19. Module Minim OSD[Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://3dr.com/wp-content/uploads/2017/03/FPVOSD-Kit-Manual-D.pdf>

20. М. С. Сапаев, Е. А. Борисова, Л. Э. Байжонова, ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

21. Компьютерные системы поддержки принятия решения в экологии / под ред. А. А. Мороза. Киев, 1991. 320 с.

22. Информационные системы анализа и прогнозирования загрязнения атмосферы стационарными источниками выбросов // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2000. № 2. С. 52–59.

23. SHT10 SENSIRION Давач: температури і вологості [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:<https://www.tme.eu/ua/details/sht10/datchiki-vologosti/sensirion/>

24. Давач углекислого газа CO<sub>2</sub> в воздухе MH-Z19B MH-Z19 инфракрасный [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:  
<https://freedelivery.com.ua/arduino-100/datchiki-130/datchik-uglekislogo-gaza-co2-v-vozduxe-mh-z19b-mh-z19-infrakrasnyj.html>

25. Давач пилу PM2.5 / качества воздуха PMS5003 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: [https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozduha-pm2\\_5](https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozduha-pm2_5)

26. Радио модуль NRF24L01 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:  
<https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/radio-modul-nrf24l01/>

27. СВІТОВИЙ ДОСВІД ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИКІВ,

Світлана Беловол, 2016 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28939.pdf>

28. Системи обробки даних, інформаційні системи та їх класифікація, [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:  
<https://buklib.net/books/23517/>

29. Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении1 К. С. Амелин, 2014 р. , [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу:

[https://www.math.spbu.ru/user/gran/soi10\\_2/Am10\\_2.pdf](https://www.math.spbu.ru/user/gran/soi10_2/Am10_2.pdf)

30. БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ РАДІАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, В. Я. Канченко, Р. В. Карнаушенко, О. О. Ключников, О. П. Мариношенко, М. Л. Чепур, 2015 р. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу:

<http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf>