

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:

«Моніторинг забрудненості простору з використанням БПЛА»

(Дипломний проект)

Дипломник:

Студент гр. СУ-71

Лелюх О.М.

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:

«Моніторинг забрудненості простору з використанням БПЛА»

Дипломник:

Студент гр. СУ-71

Лелюх О.М.

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

1. Назва і галузь застосування: Моніторинг забрудненості простору з використанням БПЛА.
 2. Підстави для проектування: Наказ ректора Сумського державного університету № 0185-VI від “14” квітня 2021р.
 3. Мета і призначення проекту: Збільшити результативність моніторингу екологічного стану повітря в районах міста та його межами. Створення екологічних карт для збільшення точності відображення забрудненості повітря, та формування бази даних для аналізу.
 4. Режим роботи об'єкта: автоматичний режим, для обльоту без участі пілота, та ручний режим для відбору даних, посадки, зльоту.
 5. Умови експлуатації БПЛА та прикладного обладнання: використання БПЛА можливе при відповідних погодних умов, а саме:
 - Швидкість вітру до 10 м/с.
 - Температура навколишнього середовища від – 10°C до + 40°C.
 - Час польоту до 1.5 год.
 - Радіус польоту до 10 км.
- Не можлива експлуатація під час несприятливих погодних умов (дощ, туман, снігопад та інше).

6. Технічні вимоги:

Модель БПЛА

Габаритні розміри	До 1 метри в довжину До 1.2 метри в ширину
Вага	До 7 кг.

Маршовий двигун

СУ має забезпечити керування на швидкості:	до 90 км/год
--	--------------

Вимоги до живлення

LiPo батарея має забезпечити:	до 1.5 год роботи системи
-------------------------------	---------------------------

Вимоги до метрологічного прикладного обладнання

Має забезпечити вимір температури	Від – 20 °C до + 50°C з точністю +-0.2°C
Має забезпечити вимір вологості	Від 0% до 100% з точністю +- 0.5 %
Має забезпечити вимір вмісту CO2	Від 0% до 0.6% з точністю +- 0.001%
Має забезпечити вимір забрудненості повітря	0 ~ 500 мкг / м ³

Вимір тиску	від 300hPa до 1100hPa
-------------	-----------------------

7.Засоби автоматизації: МК серії STM32 для опитування метрологічних давачів, радіообладнання для керування БПЛА (пульт, та ресивер).

9. 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	16.04.2021-19.04.2021
4	Вибір засобів автоматизації	20.04.2021-25.04.2021
5	Розробка та проектування електричної плати та документів	25.04.2021- 05.05.2021
6	Технічне оформлення проекту	06.05.2021-28.05.2021

10.Додатки: повинні включати в себе схеми ФСА та кінематичної моделі.

РЕФЕРАТ

Лелюх Олександр Миколайович. Звіт про проходження переддипломної практики на КСУ. Сумський державний університет. Суми, 2021 р.

Робота містить 57 аркуші, що включає 54 сторінок звіту, 17 креслення, 32 рисунки. При виконанні дипломного проекту було використано літературних джерел.

Розглянуті завдання, видані на проектування. У пояснювальній записці приведено конструктивно-технічний аналіз об'єкту керування – платформи безпілотного літального апарату (БПЛА). Обґрунтовано вибів давачів та виконавчих механізмів. Розроблена функціональна схема автоматизації, розглянуто засади побудови системи відображення даних.

Ключові слова: БПЛА, практика, автоматизація, стан атмосфери, забрудненість, моніторинг.

ABSTRACT

Lelyukh Alexander. Report on undergraduate practice at the CCU. Sumy State University. Sumy, 2021

The work contains 57 sheets, which includes 54 pages of the report, 17 drawings, 32 figures. Literary sources were used during the diploma project.

The tasks issued for designing are considered. The explanatory note provides a design and technical analysis of the control object - the platform of an unmanned aerial vehicle (UAV). The knocks of sensors and actuators are substantiated. The functional scheme of automation is developed, principles of construction of system of display of data are considered.

Key words: UAV, practice, automation, state of the atmosphere, pollution, monitoring.

РЕФЕРАТ

Лелюх Александр Николаевич. Отчет о прохождении преддипломной практики на КСУ. Сумской государственной университет. Сумы, 2021

Работа содержит 57 листов, включающих 54 страницы отчета, 17 чертежей, 32 рисунков. При выполнении дипломного проекта были использованы литературных источников.

Рассмотрены задачи, выданные на проектирование. В пояснительной записке приведены конструктивно-технический анализ объекта управления - платформы беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Обоснованно выбор датчиков и исполнительных механизмов. Разработана функциональная схема автоматизации, рассмотрены принципы построения системы отображения данных.

Ключевые слова: БПЛА, практика, автоматизация, состояние атмосферы, загрязнение, мониторинг.

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

До дипломного проекту:

«Моніторинг забрудненості простору з використанням БПЛА»

Дипломник:

Студент гр. СУ-71

Лелюх О.М.

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Суми – 2021

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	3
ВСТУП	4
1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ	5
1.1 Методи та засоби моніторингу екологічного стану атмосфери	5
1.2 Технічний аналіз БПЛА.	6
1.3 Методи обробки інформації	10
2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ	14
2.1 Технічні вимоги до БПЛА	14
2.2 Конструктивні особливості моделі БПЛА	14
2.3 Контур орієнтування у просторі.....	17
2.4 Контур керування силовою платформою БПЛА.	22
2.5 Контур радіозв'язку.	23
2.6 Формулювання завдань оператору БПЛА.....	24
2.6 Моделювання траєкторії польоту БПЛА.....	25
3. ОБГРУНТУВАННЯ І ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	28
3.1 Сенсорні перетворювачі	28
3.1.1 Акселерометри і гіроскопи	28
3.1.2 Магнітометр	30
3.2. Виконавчі механізми.....	34
3.3 Мікропроцесорні засоби керування	36
3.3.1 Польотний мікроконтролер.	36
3.4 Технічні засоби дослідження стану нижніх шарів атмосфери.	39
3.4.1 Давач температури та вологості.	39
3.4.2 Давач атмосферного тиску.....	41
3.4.3 Давач вмісту CO ₂	43
3.4.4 Давач забрудненості повітря	44
3.4.5 Радіомодуль.....	47
4. КОМПОНОВКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	48
ВИСНОВОК	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
Додаток А.....	56
Додаток Б	57

					СУ-71 6.151.01. ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лелюх О.М.			Пояснювальна записка	Літ.	Арки.	Аркушів
Перев.		Кулінченко Г.В.				3		
Реценз.						СумДУ СУ-71		
Н. Контр.								
Утверд.								

СКОРОЧЕННЯ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

АПЗ – апаратно-програмні засоби

ІНС – інерціальні навігаційні системи

ПЗЗ- матриця – прилад з зарядовим зв'язком

МЕМС – Мікро Електро Механічна Система

МК – мікроконтролер

ПЗ – програмні засоби

ПУ – пристрої управління

ПМС – пристрій метеорологічного спостереження

ВП - виконуючий пристрій

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

На сьогодні виникає глобальна проблема, яка зв'язана із забрудненістю навколишнього середовища. Підприємства гіганти, транспорт, техногенні катастрофи с кожним роком збільшують свій негативний вплив на екологічний стан планети. У зв'язку з цим класичні методи моніторингу екологічного стану повітря, такий як використання статичних станцій не дає змогу отримати достатню екологічну сітку місцевості, і тим самим ускладнює процес виявлення нових вогнищ забруднень.

Використання безпілотних літаючих апаратів дає змогу отримати уявлення про стан нижніх шарів атмосфери на великій території місцевості.

Безпілотні літаючі апарати (далі - БПЛА) в екології та метеорології, для отримання значень параметрів навколишньої середовища, значно знизило витрати на залучення пілотованої авіації, пришвидшило процес дослідження певних природних об'єктів [22].

Створення системи моніторингу забрудненості нижніх шарів атмосфери може бути визнано ефективним, при умові скорочення витрат на паливних матеріалах, часових ресурсах та впливу людського фактору.

БПЛА у сфері екології України не має широкого застосування, але світовий ринок має достатню кількість пропозицій. Так, в рамках проекту NASA ATTREX військовий дрон Global Hawk використовується для виміру вологості, концентрації озону та інших параметрів стратосфери для виявлення глобальних змін в земній атмосфері.

Основною метою створення системи моніторингу стану нижніх шарів атмосфери з використанням БПЛА, є досягнення ефективності, отримання екологічної сітки місцевості.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ

1.1 Методи та засоби моніторингу екологічного стану атмосфери

Екологічний моніторинг – це сукупність методів які мають за мету отримати достовірну інформацію.

В останні роки з'явилася тенденція на те, що основним забруднювачем повітря в містах є не стаціонарні об'єкти а пересувні джерела викидів, а саме транспорт. Щільність викидів у певних районах міста постійно змінюється, тому для проведення техніко-економічних впливів для запобігання забрудненості необхідно попередньо отримати статистичні дані про тенденцію зміни антропогенного стану певного району міста або місцевості.

Визначення концентрацій пилу в атмосферному повітрі виконують, як правило, лабораторними методами. Відбір проб атмосферного повітря є важливою складовою аналізу його якості і здійснюється двома основними методами, а саме: аспіраційним і методом заповнення посудин обмеженої ємності [20].

Відбір проб першим методом здійснюється шляхом аспірації певного об'єму повітря через поглинальний прилад, заповнений твердим або рідким сорбентом для вловлювання забруднювальної речовини (далі - ЗР), або через аерозольний фільтр, що затримує частинки, які містяться в повітрі. В результаті аспірації відбувається концентрування ЗР у поглинальному розчині чи на твердому сорбенті (сілікагель, алюмогель, подрібнене скло та ін.). Поглинальні прилади найчастіше мають U-подібну форму і виробляються з інертних матеріалів: скло, фторопласт. Для вловлювання з повітря зважених частинок (пилу, сажі) використовуються фільтри, виготовлені з паперу або з волокнистих полімерних матеріалів (поліхлорвінілу, полістиролу, ацетилцелюлози), а також мембранні і скловолокнисті. Фільтр встановлюється в металевому фільтроутримувачі з конусною насадкою. Параметри відбору проб, такі як витрата повітря і тривалість його аспірації через поглинальний прилад, тип поглинального приладу чи фільтра встановлюються в залежності від ЗР. Для достовірного визначення концентрації ЗР витрата повітря повинна складати десятки і сотні літрів за хвилину.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

Другий метод відбору проб атмосферного повітря – метод заповнення посудин обмеженої ємності – підрозділяють на: - вакуумний, коли з герметично закритої посудини відкачують повітря, а потім, безпосередньо в місці відбору проби посудину відкривають; - метод примусового продування посудини 10-кратним об'ємом повітря в місці відбору проби, після чого посудину герметизують; - спосіб витіснення попередньо залитої в посудину інертної рідини повітрям на місці відбору проби, після чого посудину герметизують. Як посудину використовують звичайні скляні ємності. Найчастіше ці методи використовують для визначення оксиду вуглецю або інших газоподібних домішок, тип і походження яких невідоме. Для зважених домішок застосовують тільки аспіраційний метод відбору проб повітря, а для газоподібних – обидва. Відбір проб повітря здійснюється на стаціонарних чи пересувних постах, укомплектованих пристроями для відбору проб або автоматичними газоаналізаторами для безперервного визначення концентрації ЗР, а також приладами для метеорологічних спостережень.

Також існують прилади для визначення забрудненості повітря без використання лабораторних методів. Лазерний газоаналізатор призначений для визначення концентрації вмісту СН₄ у повітрі. Молекули СН₄ поглинаються випроміненням з довжиною 3.39 мкм, джерелом якого є лазер. Це селективний газоаналізатор, який використовується дуже широко, якщо необхідно необхідно виявити метан у повітрі. Випромінення яке не поглинулось, перетворюється у фотострум і реєструється у вигляді показів вмісту метану, а може бути перетворене у світловий або звуковий сигнал [28].

1.2 Технічний аналіз БПЛА.

В залежності від завдань екологічних досліджень - площі території, маршрутів, використовуються БПЛА відповідного типу і класу. Існує ряд критеріїв, за якими класифікують БПЛА. Одними з основних таких критеріїв є масові та габаритні дані. Ці дані вибираються відповідно до радіусу та висоти польоту, його тривалості та злітної ваги. Саме злітна вага визначає можливості використання того чи іншого

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

обладнання, що забезпечує виконання основної функції. В Табл. 1 зображено основні типи БПЛА за масовим показником, також зображені сфери використання та регулювання правилами користування апаратів

Таблиця 1 – Типізація БПЛА за масовим показником

Тип БПЛА	Сфери використання	Регулювання використання
Маленькі, масою до 25 кг; Ціна – від 140 до 28 000 євро	Комерційне використання та дозвілля(наприклад: Спостереження, контроль, фотографії).	Регулюється окремими правилами в країні-учасниці ЄС.
Легкі, масою від 25 до 150 кг; ціна – від 55 000 до 420 000 євро	Геопросторова зйомка із широкою зоною спостереження. Потенційне використання: огляд трубопроводів, силових кабелів, обприскування зернових культур, пошуково-рятувальні роботи, контроль кордонів, моніторинг лісових пожеж.	Регулюється окремими правилами в країні-учасниці ЄС.
Великі, масою понад 150 кг; Ціна – від 670 000 євро	Поточне використання – у військовій та оборонній сфері. Потенційне використання – для перевезення вантажів і пасажирів.	Підпадають під Положення 216/2008 / ЄС і EASA, не можуть управлятися на державному рівні.

Оптимальним для цього завдання, можна вважати клас «Малорозмірні» безпілотні засоби за масою, та «Середньовисокі» за практичною стелею польоту. Це

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

дає більш конкретні технічні завдання, що стосуються габаритних та технічних параметрів безпілотного апарату [27].

Вимоги до БПЛА:

- Практична висота польоту: від 1 до 3 км.
- Час польоту: до 6 годин.
- Маса: до 30 кг.
- За правилами польоту: візуально-приладовий.
- Радіус роботи: до 10 км.

До складу корисного навантаження БПЛА входять:

1. Блок живлення;
2. Давачі параметрів навколишнього середовища;
3. Корпус, та віброзахисна система блока сенсорів .

Завдання, що вирішуються за допомогою БПЛА, потребують відповідного приладового оснащення. В зв'язку з цим ставиться задача оптимального вибору апаратури, її комплектування та розміщення на БПЛА

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Схема розміщення приладового оснащення представлена на Рис. 1. [2]

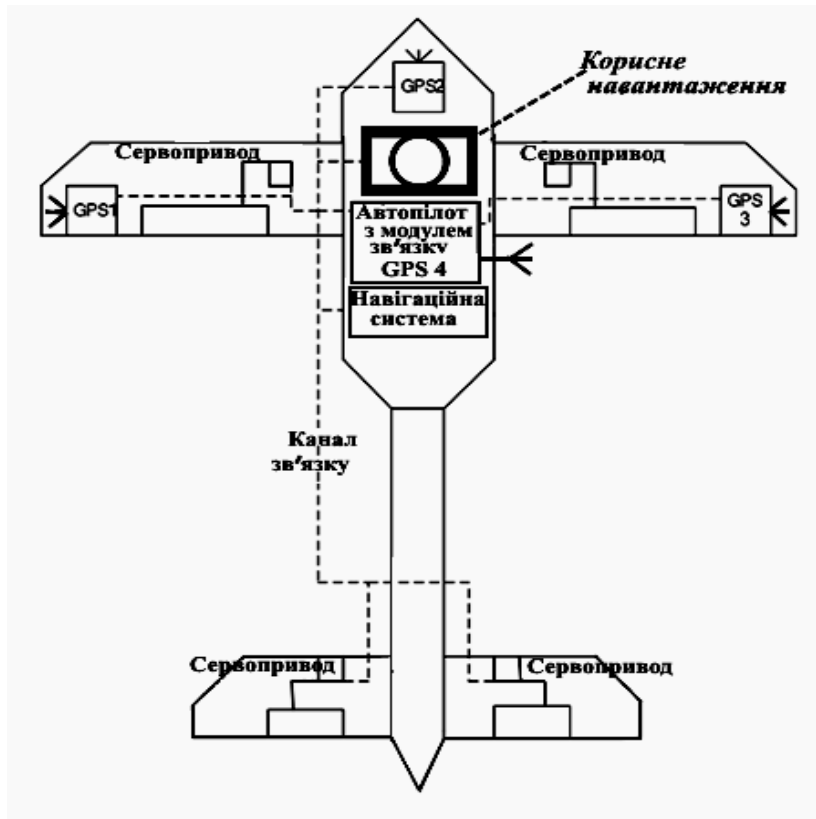


Рис. 1. Схема розміщення обладнання БПЛА

БПЛА включає в себе:

- Навігаційну систему GPS.
- Серводвигуни.
- Маршовий двигун.
- Систему метрологічних датчиків.
- Польотний контролер.
- Датчі для орієнтування у просторі, гіроскоп.

На основі схеми розміщення була створена функціональна схема (див. Додаток А) для системи безпілотного виміру стану навколишнього середовища в нижніх шарах атмосфери.

Для нормативного регулювання використання безпілотних апаратів визначаються наступні категорії :

										Лист
										9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- Дистанційно пілотовані авіаційні системи (ДПАС / RPAS) – системи, що містять: літальний апарат, який управляється пілотом з віддаленої пілотної станції (наприклад на землі або в будівлі); одну або кілька пов'язаних з ними віддалених станцій контролю, командування і управління зв'язку та інші компоненти, необхідні для роботи (наприклад злітний трамплін).

- Безпілотні автономні системи (БАС / UAS) – безпілотні авіаційні системи, які функціонують автономно і керуються за допомогою комп'ютера без втручання пілота після зльоту. БАС виключені з поля правового регулювання, оскільки на даний час вони заборонені для використання, а державні органи, у т. ч. в ЄС, не намагаються регулювати їхнє використання на даному етапі.

1.3 Методи обробки інформації

Система обробки даних (далі - СОД) - комплекс технічних та програмно-математичних засобів для вирішення класу проблем автоматизованим способом, тобто з допомогою засобів обчислювальної техніки.

Основні функції СОД полягають у зборі, видачі, накопиченні, збереженні та обробці великих об'ємів інформації. Збір інформації проводиться різного роду периферійними засобами, наприклад через канали зв'язку з допомогою модемів, локальні та глобальні комп'ютерні мережі, різного роду датчиків, а також з допомогою клавіатури та монітора. Накопичення та збереження інформації, забезпечується засобами збереження на жорстких магнітних, компакт лазерних і оптичних дисках. Обробка інформації виконується з допомогою мікропроцесорних пристроїв та програмного забезпечення.

Джерелом видової інформації є атмосферні параметри. Діапазон виміру датчик визначає обсяг інформації, що вимірюється в повітряному просторі. Треба враховувати, що видова інформація, яка зберігається на зовнішньому носії, не відрізняється від фізичних параметрів і повністю готова до використання та обробки. Отже немає ніякої необхідності в обробці отриманих даних, що призводить до збільшення продуктивності МК.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

Інформаційна система (далі - ІС) - система обробки даних в будь-якій предметній галузі із засобами накопичення, збереження, оновлення, пошуку та видачі інформації. Методи отримання інформації можна розрізнити в залежності від засобів вирішення інформаційної проблеми:

- ручні, в яких інформаційна проблема вирішується ручним способом. Наприклад, бібліотечна система, складається з каталогу, що містить впорядковану певним чином коротку інформацію про літературу та її місце збереження і власне сховище, де література знаходиться на вказаних в каталозі місцях, але пошук літератури її доставка виконується вручну;

- механізовані - інформаційна проблема виконується механічними пристроями. Наприклад, всі перші лічильні машини від машини Шиккарда до арифмометра, машина Жаккарда;

- автоматизовані, в яких інформаційна проблема виконується за участю системи та людини. Наприклад, інформаційні системи фінансові, банківські, економічні, медичні де система виконує багато рутинних проблем, але рішення приймає людина;

- автоматичні — де інформаційна проблема вирішується без участі людини [30]. Наприклад, поширені у військовій справі, системах протиповітряної оборони, системах управління балістичними ракетами тощо;

Що стосується збору інформації в екології, можна розрізнити наступні методи:

- Моніторинг за допомогою приладів;
- Моделювання;
- Експеримент;

Сучасні апаратно-програмні засоби (АПЗ) дозволяють скомплектувати бортовий процесор і лінії зв'язку як ядро системи, що забезпечує основні лінії зв'язку між бортовими давачами і наземною станцією, а також системи керування двигуном.

Перевагами використання БПЛА є:

- доцільність застосування на невеликих за площею територій (8-10км²);
- висока періодичність отримання параметрів;
- час підготовки до польоту - 15 хв;

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

- автоматичний обліт місцевості;
- моніторинг протяжних об'єктів ;
- відхилення положення БПЛА не впливає на досліджувані параметри;
- Отриманні даних у важкодоступних об'єктах (ліс, гори, болота);

Недоліки визначаються наступними характеристиками:

- вплив стійкості та надійності зв'язку БПЛА на режими польоту;
- обмеження площі моніторингу зумовлене технічними параметрами БПЛА;

Саме останні недоліки використання БПЛА для моніторингу еко-системи місцевості визначають актуальність даної роботи.

Для визначення поточної орієнтації системи та БПЛА з метрологічними блоками, та для показу розміщення двигунів підвісів і системи координат представлена кінематична схема (див. Додаток Б).

Основне функціональне завдання, це дослідження геологічних та антропогенних факторів, що впливають на забруднення навколишньої середовища.

Додаткові завдання, які повинен реалізовувати пристрій БПЛА:

- Просторово-часовий аналіз мінливості рівня забруднення повітряного простору.
- Комплексна оцінка забрудненості повітря в різних районах та на різних рельєфах місцевості.
- Дослідження впливу екологічних заходів на рівень забрудненості.
- Оцінка забрудненості повітря від роботи промислових об'єктів та машин за допомогою розрахункових методів.

Для більш результативного використання безпілотних засобів, дослідження повинні проводитися:

- Просторово;
- У різні моменти часу (вранці, в обід, у вечері);
- Сезонні;
- У різні роки;

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Стратегічна модель використання БПЛА для моніторингу нижніх шарів атмосфери базується на отриманні екологічної карти місцевості для статистичних зведень з метою виявлення нових джерел забруднень, аналізу тенденції забруднення місцевості [21].

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Технічні вимоги до БПЛА

Опираючись на вище сказані завдання, які були сформульовані для використання БПЛА для моніторингу забрудненості нижніх шарів атмосфери можна висунути наступні вимоги до БПЛА.

Призначення:

- Повітряний аналіз забрудненості повітря;
- Контроль якості отриманих результатів;
- Відбір показів в заданих координатах місцевості.

Якісні показники:

- Проведення пробозбір з висот 50 - 500 м на відстані до 5 – 10 км.

Техніко-експлуатаційні вимоги і показники:

- Максимальна злітна маса – 3,5 кг;
- Силова установка – електричний двигун безколекторного типу;
- Маса цільового навантаження (метрологічних пристроїв, апаратури) близько 1,0 кг;
- Радіометричний пристрій з окремим каналом радіокерування;
- Система зльоту – запуском з руки;
- Система посадки повинна забезпечувати приземлення на ґрунтову поверхню;
- Керування БПЛА – ручне та автоматичне, за заданою програмою;
- Керування при заборі аерозолі – автоматичне, за заданою програмою;
- Повний ресурс – не менше 250 год.

2.2 Конструктивні особливості моделі БПЛА

Багатофункціональні можливості, потреба в яких визначається обмеженнями ваги та потужності, досягаються завдяки високо інтегрованим конструкціям із фізичними компонентами, що виконують декілька функцій. Наприклад, крило може також виконувати функції антени або апертури давача. Джерело живлення може інтегруватись із конструкцією фюзеляжу.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

Основним обладнанням, що забезпечує виконання завдання збору інформації на БПЛА є сенсорна система.

Реалізація таких специфічних вимог, як моніторинг параметрів на різних висотах, маркування параметрів за часом та координатами, ускладнюють процес створення системи та призводять до збільшення його вартості.

Опираючись на технічні вимоги до БПЛА та розуміючи невелику вагу необхідного метрологічного додаткового обладнання (до 1 кг), під час вибору моделі БПЛА розглядатимуться найрозповсюджені моделі із стріловидною формою крила, та необхідними масо-габаритними розмірами для малого типу БПЛА.

Світова практика накопичила достатній досвід використання БПЛА для моніторингу екологічного стану, а ринок сенсорів мають широкий асортимент пристроїв з різними технічними характеристиками.

Технічні системи, реалізовані у вигляді систем давачів навколишнього середовища, можуть бути розміщені або безпосередньо в корпусі БПЛА і жорстко пов'язаними з його конструкцією або з допомогою віброзахисних платформ.

Віброзахисні платформи забезпечують захист, та швидкість встановлення блоку на БПЛА. Інтеграція пристрою в конструкцію БПЛА використовується для збільшення аеродинаміки планера, що призводить до збільшення площі обльоту, що зумовлене меншим тертям [3].

Використання віброзахисних виносних платформ з давачами забезпечує вирішення завдань легкого монтажу і захисту від похибок вимірювань при роботі БПЛА в польоті.

Похибка вимірювання є важливою характеристикою, оскільки від цього параметру залежить актуальність всієї системи та її ефективність. Слід зауважити, що деякі давачі можуть змінювати покази в залежності від висоти, так деякі біохімічні сенсори викривляють свої покази, так як на високій висоті вміст кисню менше, що призводить до зміни біохімічних процесів. Це стосується давачів, які використовують сенсори на основі хімічних процесів, тому під час вибору оснащення був зроблений

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

акцент на стабільність роботи в заданих умовах. Так як датчик забрудненості працює на принципі розсіювання лазерного опромінення у повітрі завислих частинок.

Основним завданням є моніторинг атмосферних параметрів в залежності від місцевості та висоти. Тому, ще одним важливим параметром є різниця висоти для початку отримання досліджуваних параметрів. Необхідно реалізувати в алгоритмі зворотний зв'язок за висотою, для створення керуючого сигналу для початку опитування давачів. Цей зв'язок реалізовано за рахунок показів барометра, та за рахунок програмних методів відбувається формування сигналу [1].

Метеорологічні платформи поступово набувають значимості в цільових навантаженнях БПЛА. Під метеорологічною платформою розуміється сукупність давачів, покази яких описують основні характеристики навколишнього середовища. Їх простота і багатофункціональність постійно збільшуються, зростає і вартість подібних пристроїв. Тому застосування метеорологічних рухомих станцій стає актуальною.

Для максимально точного виміру параметрів нижніх шарів атмосфери, необхідно враховувати технічні параметри давачів, їх особливості у використанні та розрахувати конструктивні особливості кріплення на БПЛА. Так, як давач температури який знаходиться поблизу елементів БПЛА що можуть нагріватися (акумулятори, регулятори, інше), призведе до викривлення параметрів, та хибних статистичних даних.

Тому, необхідно захистити модуль давачів від впливу:

- Температури, яку створюють елементи БПЛА;
- Віб्राції, що може призвести до похибок та пошкодження сенсорів;
- Можливих шумів, що створює двигун БПЛА;

Таким чином, вибір метеорологічних давачів для БПЛА залежить від багатьох факторів, що допускають рішення функціонального завдання.

При визначенні ефективності застосування метеорологічної системи враховуються такі умови:

- літальний апарат має швидкість польоту $V_{пол} > 0$;

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

- Максимальна висота польоту.
- час отриманні атмосферних параметрів, маж буди досить швидкий, що зумовлене переміщенням БПЛА у просторі і можливими змінами параметрів з часом, висотою та місцевістю.
- в теоретичних розрахунках максимальна площа території, та дальність польоту.

Для виконання всіх вищеперерахованих завдань БПЛА має:

- Відстежувати своє положення у просторі;
- Коректувати своє положення відносно заданих осей;
- Відстежувати власні внутрішні параметри, для попередження та запобігання виходу апарату або його частин із ладу;
- Проводити польоти по заданому маршруту;
- Зберігання атмосферних параметрів із заданим алгоритмом.

2.3 Контур орієнтування у просторі.

Для орієнтування у просторі апарат може використовувати групу сенсорів, а саме: магнітний компас, акселерометр, гіроскоп та GPS. Отриманні дані потрапляють до обчислювального пристрою, найчастіше це бортовий мікроконтролер, який в свою чергу робить обробку даних та створює керуючий сигнал для органів керування. Отриманий сигнал по лінії зв'язку потрапляє до виконуючий органів та пристроїв, якими найчастіше є : серводвигуни, маршеві двигуни постійного струму, шагові двигуни. Ці пристрої механічно зв'язані із елементами конструкції БПЛА (елерони, закрилки, горизонтальне та вертикальне оперення) які змінюють положення БПЛА у просторі [5].

Зараз основним методом позиціювання є глобальна система навігації. Приймач GPS встановлюється на борт БПЛА і отримує дані з супутників. Для збільшення точності показань даних з глобальної системи зараз активно стали використовуватися мережі наземних стаціонарних вишок. Такі вишки є реперними для системи навігації БПЛА, вони визначають похибки показань глобальної системи навігації і

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

відправляють поправки по радіоканалу на приймачі БПЛА. Однією з поширених, на даний момент, систем такого типу є DGPS (differential global positioning system).

Існують роботи, в яких пропонується використовувати стаціонарні вишки не тільки як коректори, але і як основне джерело для отримання даних про місцезнаходження. Також для отримання інформації про стан БПЛА в просторі на борт БПЛА, крім приймачів GPS, встановлюють комплекс інерційних систем. У неї входить комплекс датчиків, за даними яких автопілот отримує інформацію про повітряну швидкості, кренах, прискорень барометрической висоті і інші. В комплекс інерційних систем можуть входити:

- Барометр, за допомогою якого можливо визначати висоту щодо від задається нульового рівня. Розрахунок висоти заснований на використанні закономірного вимірювання атмосферного тиску в залежності від висоти руху, щодо деякого рівня. Мінус такого датчика - відносно велика похибка у вимірах (близько 10-15 м).

- Радіотехнічний датчик заснований на вимірюванні відрізка часу між посилкою і прийомом електромагнітних хвиль, відбитих від поверхні, до якої вимірюється висота (поверхню землі або вода). Відповідний для легких мобільних дронів датчик має велике енергоспоживання і при цьому працює на відстанях до 20-30 м, що недостатньо для літаючих роботів.

- Сонар - засіб звукового виявлення підводних об'єктів за допомогою акустичного випромінювання. Відповідний для легких мобільних роботів сонар працює на відстанях до 10 м, що недостатньо для літаючих роботів.

- ЛИДАР (LIDAR - світлове виявлення і визначення дальності) - датчики побудовані за технологією отримання та обробки інформації про віддалених об'єктах за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Датчики має велике енергоспоживання і велику вагу, що виключає використання таких датчиків в надлегких мобільних роботів.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

- Комплекс з трехосного гіроскопа і акселерометра, який дозволяє визначити кути нахилу БПЛА щодо горизонту і прискорення обертання.

- Термодатчики в шести напрямках, за даними яких мікрокомп'ютер БПЛА оцінює різницю температур в різних напрямки і робить висновки про кути нахилу БПЛА щодо горизонту [4].

Засобами, що забезпечують виконання зазначених завдань метеорологічних досліджень за допомогою БПЛА в умовах зміни режимів його польоту, є інерціальні навігаційні пристрої та системи (далі - ІНС) Рис.4. ІНС застосовуються для визначення пілотажних параметрів, головними з яких є кути орієнтування БПЛА: курс, крен і тангаж.

Для реалізації ІНС необхідно використовувати наступні блоки.

– блок акселерометрів-для визначення проєкцій вектору неявного прискорення a ;

– блок перерахунку- для перетворення проєкцій вектору неявного прискорення a на вісі географічної системи координат;

– навігаційний алгоритм - для вироблення координат місцезнаходження об'єкту та формування компонент вектору абсолютної кутової швидкості географічної системи координат ω_g ;

– блок гіроскопів -для визначення проєкцій абсолютної кутової швидкості ω на вісі географічної системи координат;

– алгоритм орієнтування -для вирішення задачі орієнтування і формування матриці переходу C , що використовується в блоці перерахунку.

$$\psi' = 1/\cos v [\omega_Y^{\text{вїд}} \cos \gamma - \omega_Z^{\text{вїд}} \sin \gamma]$$

$$\Theta' = \omega_Y^{\text{вїд}} \sin \gamma - \omega_Z^{\text{вїд}} \cos \gamma \quad (2)$$

$$\gamma' = \omega_X^{\text{вїд}} - \text{tg } v [\omega_Y^{\text{вїд}} \cos \gamma - \omega_Z^{\text{вїд}} \sin \gamma]$$

В результаті інтегрування рівнянь (2) обчислювачем системи виробляються значення кутів рилання ψ , тангажу v та крену γ . Саме значення цих кутів є керуючи-ми сигналами для керування електроприводом.

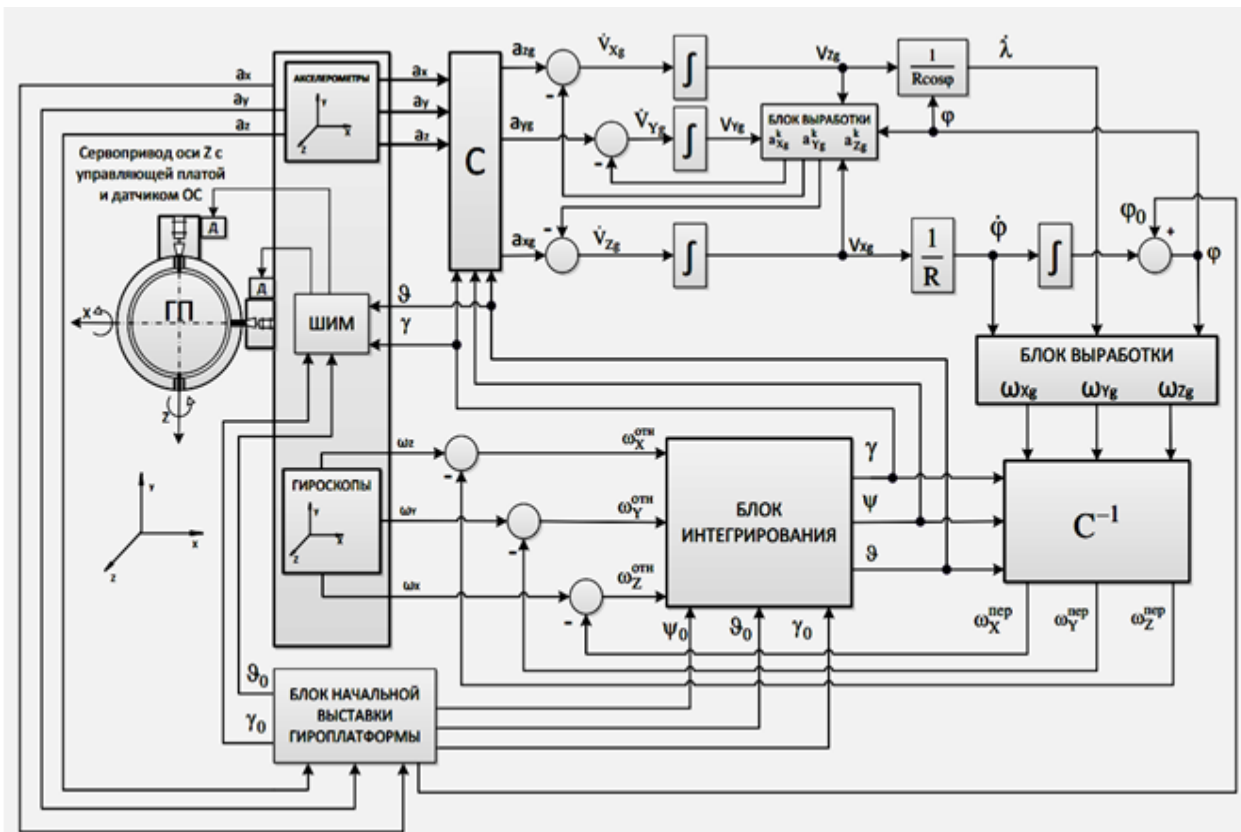


Рис. 3 Структурна схема платформи

Початковий етап роботи складається із вводу початкових значень широти знаходження БПЛА і параметрів орієнтування– кутового положення БПЛА, на якому закріплені давчі акселерометрів та гіроскопів по відношенню до географічної системи координат [3].

Встановлення початкових значень координат може здійснюватися із використанням інформації від інших навігаційних приладів і систем (магнітометрів, систем супутникової навігації, тощо).

2.4 Контур керування силовою платформою БПЛА.

Окрім навігаційної системи ЛА неможливо уявити без виконуючих пристроїв, до їх складу відносять шагові двигуни, маршеві двигуни, серводвигун

У більшості моделей БПЛА використовуються електродвигуни, саме від характеристик двигуна залежить максимальну дальність і час польоту. Оскільки електродвигуни живляться від акумуляторних джерел живлення, то системою керування БПЛА передбачається моніторинг режимів споживання та стану акумуляторів по сигналах сенсорів живлення.

Маршеві двигуни використовуються для створення сили, що змушує рухатися ЛА вперед. Існує два види встановлення цих двигунів:

- Прямі
- Зворотні.

Шагові або серводвигуни використовуються для відхилення керуючих органів ЛА. Для малих моделей ЛА найчастіше використовують серводвигуни. Тому що вони мають ряд переваг:

- Малі габарити
- Невелика вага
- Легкість монтування

Та недоліки:

- Не велика точність
- Відносно невеликий момент

Для великий безпілотних апаратів використовують шагові двигуни для керування органами управління. Тому, що ці двигуни мають велику точність, наявний режим утримання положення. Шагові двигуни більш надійні в технічному та функціональному плані. Недоліками є відсутність зворотного зв'язку за положенням валу [14].

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Для вирішення завдань керованого польоту БПЛА оснащуються засобами орієнтації: 3-х вісьовий гіроскоп, 3-х вісьовий акселерометр та барометричний висотомір, які через АЦП надають сигнали про режим польоту до головного процесора обробки даних та керування [4].

Для метеорологічної апаратури необхідно зв'язати комплекс давачів із власним мікроконтролером. Наявність власного мікроконтролера дасть змогу зняти частину навантаження із головного польотного контролера, та в разі виходу із ладу БПЛА, може слугувати як «чорний ящик».

Метеорологічна платформа має містити в собі:

- Давачі температури та вологості.
- Давач атмосферного тиску.
- Давач забрудненості повітря.
- Давач вмісту CO₂ у повітрі.

За допомогою даних пристроїв та модуля реального часу можна досліджувати атмосферні параметри із досить високою точністю.

2.6 Формулювання завдань оператору БПЛА.

Якість отримуваних атмосферних даних в значній мірі визначається майстерністю оператора та умовами польоту: наявністю поривів вітру, повітряних ям, неточністю проходження заданої траєкторії польоту та ін.

При керуванні оператором БПЛА вирішується ряд завдань:

- утримання БПЛА на заданому курсі при впливі бічного вітру;
- контроль висоти польоту;
- контроль швидкості польоту ЛА.
- Обліт заданого маршруту.

Команди керування оператором БПЛА до блоку процесора та керування подаються через радіомодем частоти 2,4 ГГц і блок комутації. Додатково процесор обробляє сигнали із GPS приймача, магнітометра та ультразвукового висотоміра.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

Ультразвуковий висотомір використовується для усунення можливості зіткнення БПЛА з Землею.

Крім того, програмним забезпеченням головного процесора передбачається можливість автономної роботи БПЛА, коли неможливе його дистанційне керування.

Блок телеметрії формує потік телеметричних даних щодо параметрів і режимів роботи БПЛА. При передаванні телеметричних даних можна використовувати вузькополосний канал зв'язку.

У випадку реалізації автономного режиму БПЛА використовуються типові програми керування, які зберігаються в спеціальній кеш-пам'яті процесора управління і завантажуються в цей процесор на період дії автономного режиму роботи.

2.7 Моделювання траєкторії польоту БПЛА.

Для вдалого моніторингу малорозмірним БПЛА важливо створити траєкторію польоту з врахуванням специфіки вирішуваної задачі, також необхідно забезпечити за необхідністю корегування маршруту.

Оптимальним рішенням є використання зигзагообразної траєкторії, так як даний метод польоту має найбільші прямолінійні частини польоту та криві ділянки однакової кривизни, що з'єднують прямолінійну траєкторію польоту.

Формування траєкторії польоту базується на використанні опорних точок, а саме точок відбору метрологічних параметрів. Точки місцевості в яких необхідно провести дослідження забрудненості повітря, раціонально географічно розмістити з однаковим кроком для отримання адекватної картини забрудненості. На рис 6. Зображені опорні точки які є точками перетину прямих [28].

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

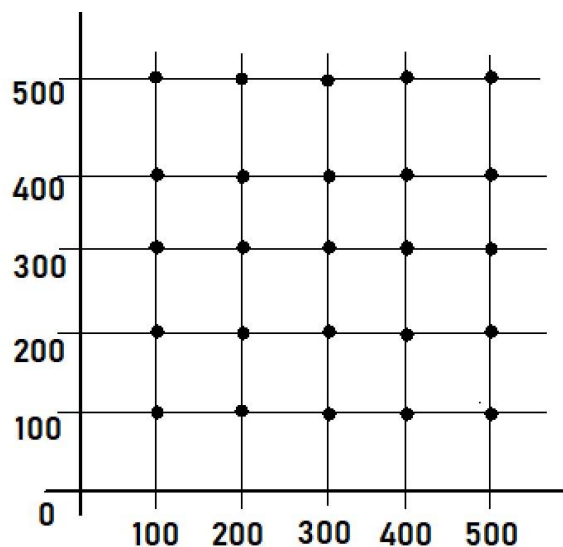


Рис. 6 - Опорні точки траєкторії.

Крок ліній дорівнює 100 м, так як дискретизація залежить від технічних параметрів БПЛА, в даному випадку опираючись на конструктивні особливості моделі апарату можна висунути наступні умови до моделювання:

- Розмір зони дослідження 3x3 км.
- Швидкість польоту 70 км/год , відповідний радіус маневра 87 м, при куті нахилу 30° , тому мінімальний крок траєкторії не може бути меншим ніж 87 м.

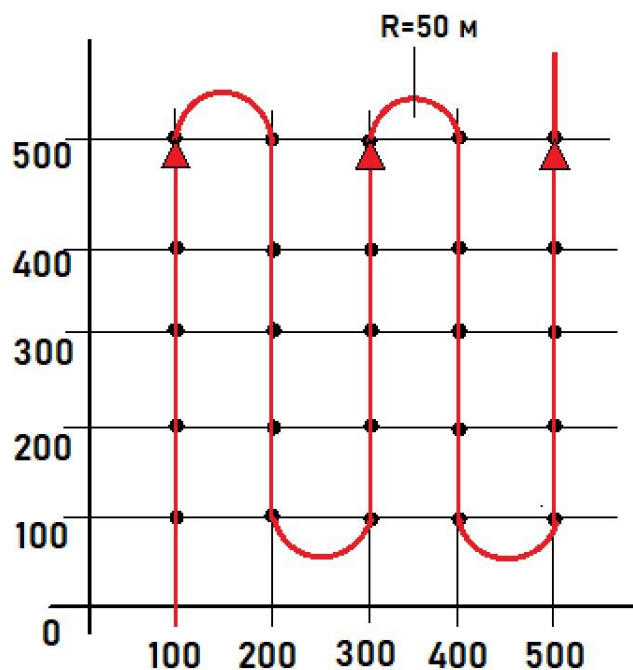


Рис. 7 – Траєкторія польоту.

Отримання результатів про стан забрудненості повітря займає до 10 мкс, при швидкості 70 км/год БПЛА за секунду пролітає 19,4 м і за цей же час можливо зробити 1000000 вимірів забрудненості повітря, тому відбір показів можна вважати миттєвим.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Орієнтація вісей гіроскопу відносно корпусу мікросхеми MPU6050 представлена на рис. 9

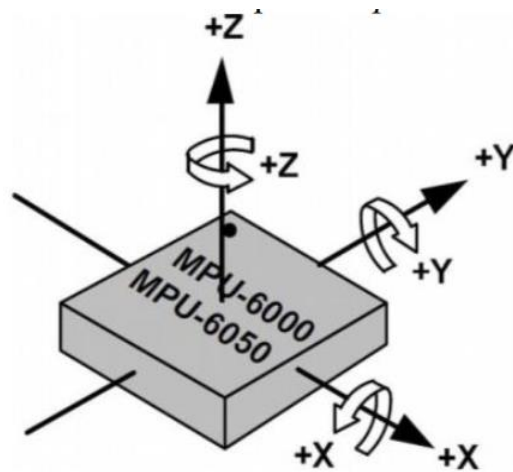


Рис. 9 - Орієнтація вісей MPU6050

Технічні характеристики модуля GY-521:

- Розмір плати 20x16 мм;
- 3-х вісьовий MEMS гіроскоп з 16-бітовим АЦП;
- 3-х вісьовий MEMS акселерометр з 16-бітовим АЦП;
- Вбудований температурний давач;
- Цифровий програмований фільтр нижніх частот (ФНЧ);
- Напруга живлення мікросхеми 2,375 - 3,46 В.;
- Робочий діапазон температур від -40 до 85;
- FIFO-буфер об'ємом 1024 байт;
- Програмовані користувачем цифрові фільтри для гіроскопа, акселерометра і температурного давача;
- Програмовані користувачем джерела переривання;
- Інтерфейс для запису і читання регістрів пристрою, що працює на частоті до 400 кГц, в стандартному режимі до 100 кГц;

Технічні характеристики акселерометра

Програмований користувачем діапазон вимірювань: ± 2 , ± 4 , ± 8 і ± 16 g;

- Вбудований 16-розрядний АЦП;
- Нелінійність 0,5%;

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- Номінальний струм в режимі роботи - 0,5 мА.

Технічні характеристики гіроскопу

- Програмований користувачем діапазон вимірювань:

$\pm 250, \pm 500, \pm 1000$ і $\pm 2000^\circ/\text{сек}$

- Вбудований 16-розрядний АЦП;

- Нелінійність 0,2%;

- Струм в режимі роботи - 3,6 мА;

- Струм в режимі очікування - 5 мкА.

Зв'язок з MPU6050 здійснюється за допомогою інтерфейсу. Схема підключення мікроконтролера (МК) до плати GY-521 приведена на рис. 10.

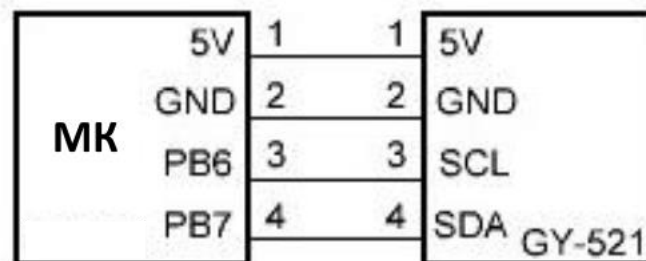


Рис. 10 - Схема підключення МК до плати GY-521

Функціонування плати GY-521 здійснюється з використанням технології DMP (Digital Motion Processing), що передбачає обробку сигналів кутових швидкостей і прискорень із застосуванням фільтрації Калмана безпосередньо в самому процесорі давача. Інформація про орієнтацію у просторі в цифровому форматі направляється в МК у вигляді значень кутів Ейлера з частотою оновлення 200 Гц [10].

3.1.2 Магнітометр

Давач HMC5883L компанії Honeywell [12] (рис. 11) являє собою пристрій для вимірювання магнітного поля по вісях X, Y і Z. Він є типовим представником сімейства магнітометрів загального призначення. За принципом дії, методу зв'язку з керуючим пристроєм, а також по структурі регістрів HMC5883L не дуже відрізняється від інших пристроїв аналогічного призначення [13].

Діапазон вимірювань магнітного поля HMC5883L становить від -8 до $+8$ Гс. Завдяки змінюваному коефіцієнту підсилення (GN) чутливість давача може варіюватися від 0.73 мГс до 4.35 мГс на молодший розряд. Налаштування давача та зчитування даних здійснюється по шині I²C. Два регістри налаштування (Register A і Register B) дозволяють змінювати частоту видачі даних, режим виміру, кількість вибірок за час одного виміру і коефіцієнт підсилення.

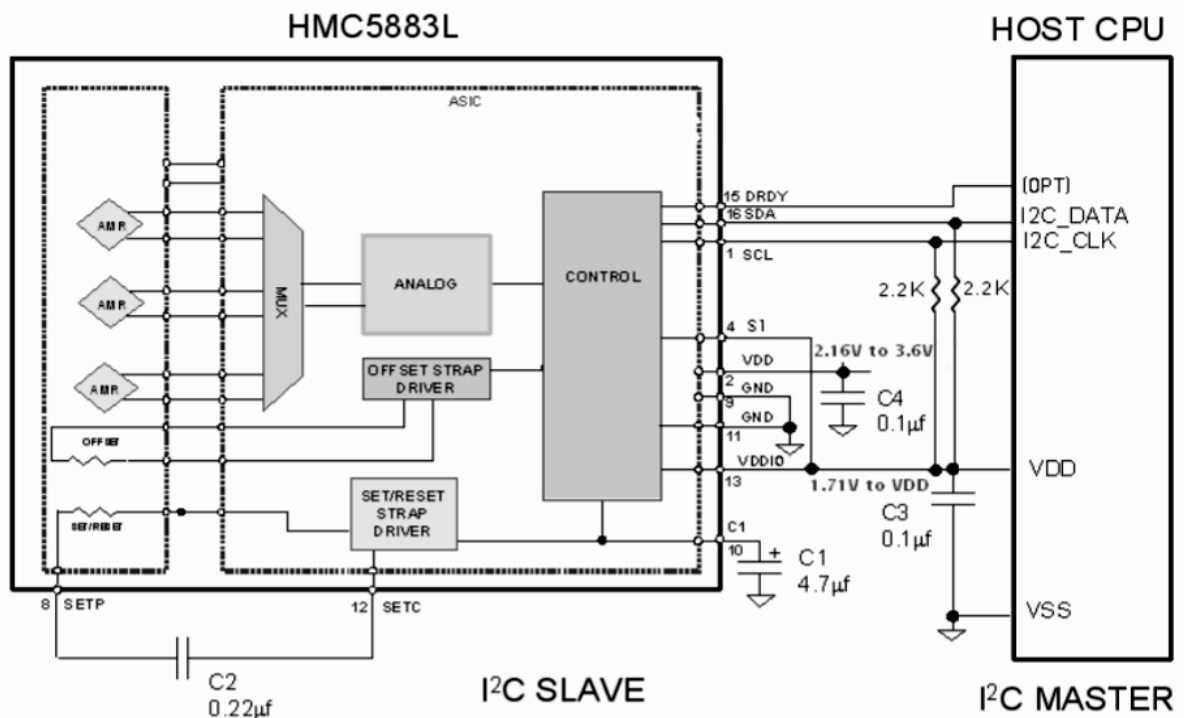


Рис. 11 Схема підключення МК до HMC5883L

Зовнішній вигляд магнітометра HMC5883L приведено на рис.12

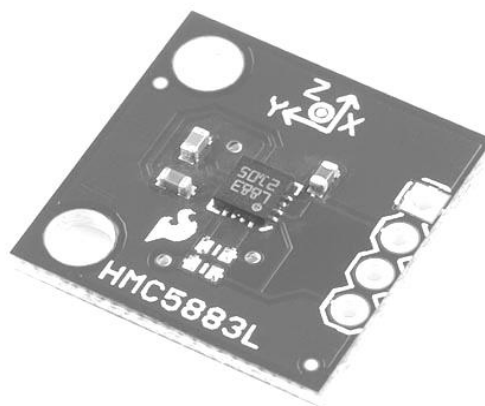


Рис. 12 - Магнітометр HMC5883L на друкованій платі

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

За допомогою реєстра режиму (Mode Register) можна вибрати режим функціонування датчика. У шість реєстрів, розташованих за адресами 0x03 по 0x08, поміщаються результати вимірювань. На одну вісь виділяється по два реєстри (Output Register A і Output Register B). Отримане значення представляється 12-розрядним числом.

4.1.3 Барометр

Цифровий датчик тиску і температури (барометр, висотомір) BMP180, розроблений фірмою BOSCH [14], є інтегральним п'єзорезистивним датчиком, функціональна схема якого зображена на рис. 13.

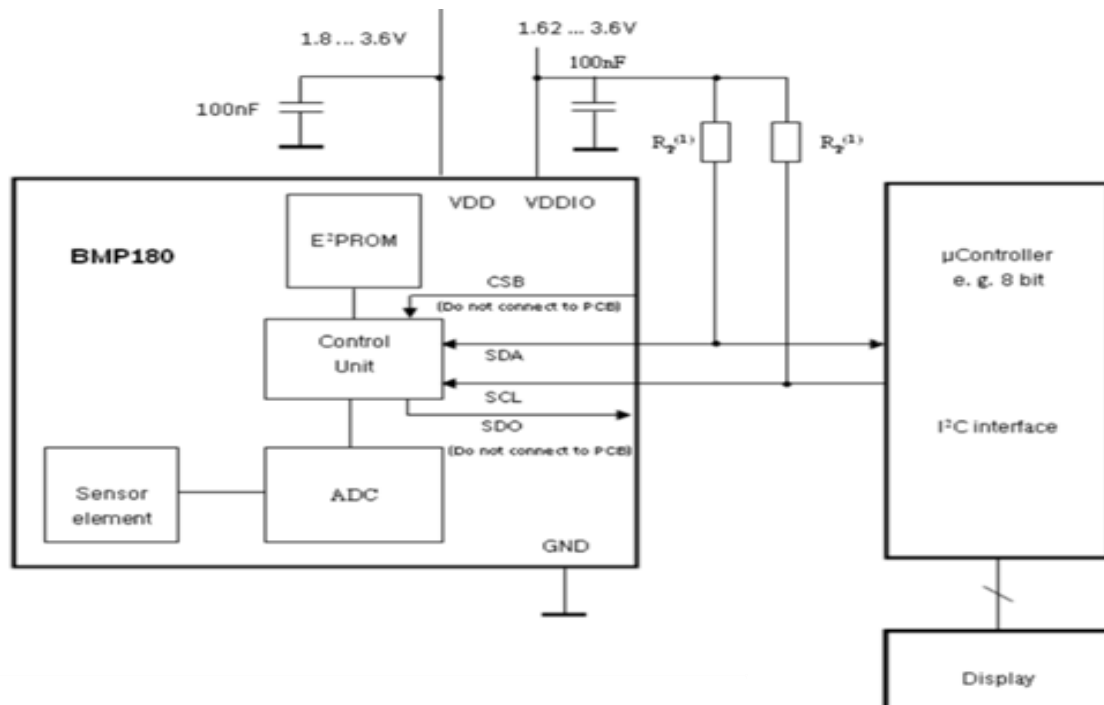


Рис. 13 Схема підключення датчика BMP180 до МК НМС5883L

Основні характеристики BMP180

- Діапазон вимірювання тиску	30kPa ... 110kPa
- Похибка барометра	+/- 0,1kPa
- Похибка термометра при 25 °C	+/- 0,5 °C
- Дискретність цифрового відліку	1Pa / 0,1 °C

- Шуми в режимі Ultra low power 6Pa (0,5m)
- Шуми в режимі Advanced resolution 2Pa (0,17m)
- Робочий діапазон температури -40 ° C + 85 ° C
- Діапазон гарантованої точності 0 ° C. + 65 ° C
- Напруга живлення "VIN" 2,7V ... 5,5V
- Струм споживання в активних режимах 5-35μA
- Розмір модуля 10x13mm

Виходячи із характеристик давача по точності та вимірювання змін тиску атмосфери при переміщеннях по висоті на 0,2..0,3м, модуль можна використовувати у висотомірах летальних апаратів [.

Барометр MS5611 компанії MEAS Switzerland має кращі показники точності, але більшу вартість, тому об'єм його використання в обладнанні менше.

Для орієнтування у просторі можна використовувати збірку на окремій платі, , зображену на рис. 14. Цю збірку називають — IMU з позначенням ступенів свободи.

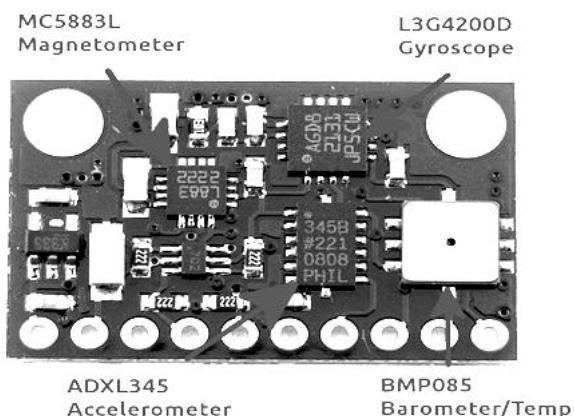


Рис. 14 Загальний вигляд плати IMU 10DOF

До складу плати входить: гіротахометр L3G4200D; акселерометр ADXL345; магнітометр HMC5883L; барометр BMP085.

Об'єднання перерахованих приладів у єдину вимірювальну мережу дозволяє отримати повноцінну інерціальну систему, яка визначає своє місцезнаходження у просторі.

3.2. Виконавчі механізми

Серводвигун, що забезпечує функціонування платформи БПЛА, складається з наступних вузлів: електродвигун з редуктором; давач зворотного зв'язку, призначений для контролю стану вала; блок керування та системи живлення [15].

Для вибору серводвигуна розглядаються наступні параметри:

Зусилля на валу, цей параметр є обертовим моментом. Зусилля на валу сервоприводу вимірюється по вазі вантажу в кг, яке сервопривод може утримувати на важелі з плечем 1 см. Зусилля вимірюється в кг/см при певній напрузі.

Швидкість повороту вказується в еквіваленті часу, необхідному для зміни позиції вихідного валу приводу на 60 градусів.

Кут повороту - це найбільший кут, на який вихідний вал здатний повернутися.

Зовнішній вигляд безколекторного і серводвигуна показано на рис. 15.



Рис. 15 Зовнішній вигляд серводвигуна і безколекторного двигуна

Розглядаючи варіанти вибору типу електродвигуна, приймаються до уваги наступні характеристики: надійність, точність і вартість.

Переваги різних типів електродвигунів [16]:

Кроковий двигун: висока надійність, низькі вимоги до обслуговування, відносно низька ціна. Оцінюючи його переваги, слід відзначити високу динамічну

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

точність (крок 0.9, в режимі мікрокроку 0.09), за винятком втрати кроків при мікрокроковому режимі роботи.

Серводвигун: високі динамічні характеристики, відсутність ефекту втрати кроків, висока перевантажувальна здатність, наявність зворотного зв'язку.

Безколекторний двигун: висока ремонтпридатність, найкращий показник ККД та показник потужності на кілограм власної ваги, широкий діапазон швидкості обертання, висока надійність, низька вартість.

Недоліки різних типів електродвигунів:

Кроковий двигун: падіння крутного моменту на високій швидкості і мікрокроковому режимі, низька ремонтпридатність, можливість втрати кроків, виникнення вібрацій при роботі, обмеження частоти обертання, велике навантаження на керуючий контролер.

Серводвигун: висока ціна, більш складний устрій, низька ремонтпридатність.

Безколекторний двигун: потребує точного балансування корисного навантаження, необхідне використання спеціального блоку керування.

Порівняльний аналіз згаданих двигунів дозволяє констатувати, що технічні характеристики безколекторних двигунів, а саме: питома співвідношення маси і потужності, висока точність, висока надійність – обумовлюють вибір безколекторного двигуна..

Двигун Turnigy типорозміру 5208 дозволяє керування вагою 800-1900 г.

Характеристики двигуна Turnigy 5208:

Число статорів/полюсів: 12N14P

Коефіцієнт $K_v(\text{RPM/V})$: 31 Об/В

Опір обмотки: 10 omh

Вага: 180г

Конфігурація обмотки: зірка

Типова схема підключення безколекторного двигуна до кіл живлення представлена на рис. 16. Мікросхема L6234 [17] виконує функції драйвера для 3-х фазних безколекторних двигунів і має три канали Кожен півміст має 2 потужні DMOS

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

транзистори з $R_{dsON} = 0.3\Omega$ і захисними діодами. Кожен канал містить два TTL компаратори, а також блок логіки для взаємодії входів із керуючими входами. Кожен із 3х півмостів може незалежно управлятися від 3 входів IN1, IN2, IN3 та 3х входів EN1, EN2 і EN3. Приводна і логічна секція мікросхеми розраховані на напругу живлення від 7В до 52В

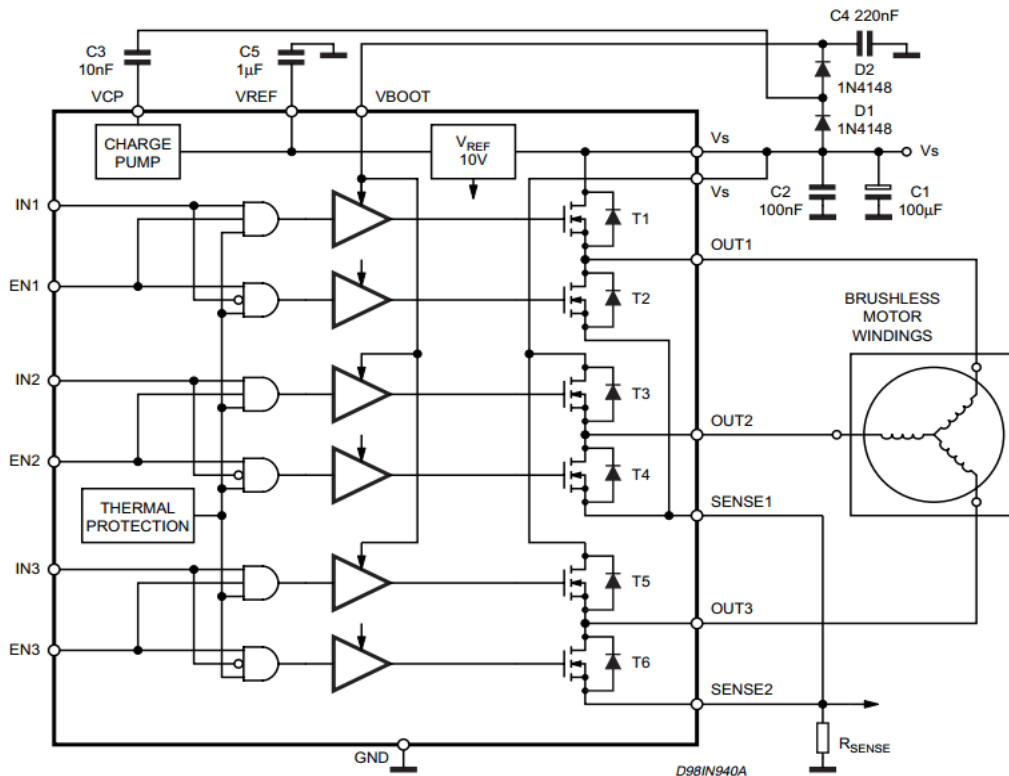


Рис. 16 – Функціональна схема L6234

3.3 Мікропроцесорні засоби керування

3.3.1 Польотний мікроконтролер.

Польотний контролер забезпечує функціонування всієї системи збору інформації для аналізу карти місцевості шляхом координування практично усіх процесів, що відбуваються на борту БПЛА:

- 1) опитування датчиків (блок IMU і GPS-компас);
- 2) формування керуючих сигналів на систему живлення та двигуни електроприводу;
- 3) прийом команд від оператора;

- 4) забезпечення моніторингу режимів польоту;
5. фіксація та передавання даних картографування.

В процесі аналізу відомих рішень для систем БПЛА [19] розглядалися різні типи польотних контролерів, такі як ArduPilot Mega (Arducopter), DJI Naza-M Lite, Hobbyking KK2.0, MultiWii PRO. Типові параметри контролерів не дуже відрізняються між собою, але розглядаючи «відкритість програмного забезпечення», «функцію повернення додому», вартісні характеристики, вибір було зроблено на користь ArduPilot Mega (Arducopter) [20] (рис.17), оскільки по параметру «вартість/якість» він вигідно відрізняється конкурентів.

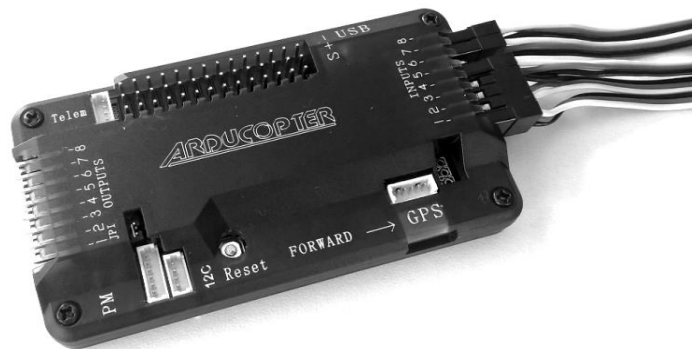


Рис. 17 Зовнішній вигляд ArduPilot Mega (Arducopter)

Для підключення *відеокамери* до мікроконтролера необхідно використати програмовану логічна інтегральна схема STM32f4DISCOVERY з мікроконтролером STM32F407VGT6.

Плата має складові елементи:

- вбудований налагоджувач ST-LINK/V2 з функцією вибору робочого режиму (присутній роз'єм SWD для налагоджування і програмування);
- CS43L22, аудіо-ЦАП – присутній вбудований підсилювач класу D, призначений для гучномовця;
- вісім світлодіодів;
- дві кнопки: користувацька B1 і кнопка скидання Reset;
- USB OTG FS (12 Мбіт/с), роз'єм microUSB-AB типу «мама»;
- інтерфейси: **DCMI** – підключає камеру, **SDIO** – підключає SD-карти, а також

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Програмування здійснюється в інтегрованому середовищі розробки CoocoxCOIDE, яке пристосоване для розробки коду мікроконтролерів архітектури ARM. Компіляція здійснюється засобом ARM GCC для якого і розроблювалось Coocox COIDE. Для програмування плати STM32F103C8T6 використовується програматор ST-link, який підключається до роз'єму відлагодження плати.

3.4 Технічні засоби дослідження стану нижніх шарів атмосфери.

До складу підвісної платформи для вирушення завдань екологічних досліджень будуть входити:

- Давач температури та вологості SHT10;
- Давач атмосферного тиску BMP280;
- Давач вмісту CO2 MH-Z19B;
- Давач забрудненості повітря PM2.5 PMS1003;

3.4.1 Давач температури та вологості.

Давач всередині сімейства SHT відрізняються точністю. Діапазон робочих температур у всіх давачах становить від -40 до 123. І, як і у всіх давачах, точність по краях діапазону гірше, ніж в нормальних умовах. У формулі перетворення температури присутній коефіцієнт, що залежить від напруги живлення.



Рис. 19 – загальний вигляд SHT10

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

На відміну від ВМЕ280 давач SHT10 не треба передавати калібрувальні коефіцієнти розміром по 2 байта. У цьому давачу ці коефіцієнти застосовуються при обчисленні результату вимірювання самим давачем.

Калібрувальні коефіцієнти можна відключити для прискорення часу вимірювання.

Точність вимірювання: за замовчуванням давач налаштований на 12bit RH / 14bit Temp, але можна перемкнути в режим, в якому точність знижується до 8bit RH / 12bit Temp, а ось час вимірювання в останньому випадку скорочується майже в 4 рази. Для даних завдань така велика швидкість опитування не потрібна [23].

Основна технічна характеристика:

- Напруга живлення: 3,5 - 5 В
- Низьке енергоспоживання 30 мВт
- Вимірювання вологості: 0 ... 100% відносної вологості
- Абсолютна точність вимірювання вологості +/- 2% відносної вологості (відносна вологість 10-90%)
- Вимірювання температури: -40 - + 128°S ± 0,3%
- Точність: +/- 0,3 ° С при 25 ° С
- Частота дискретизації: ≤ 1 Гц

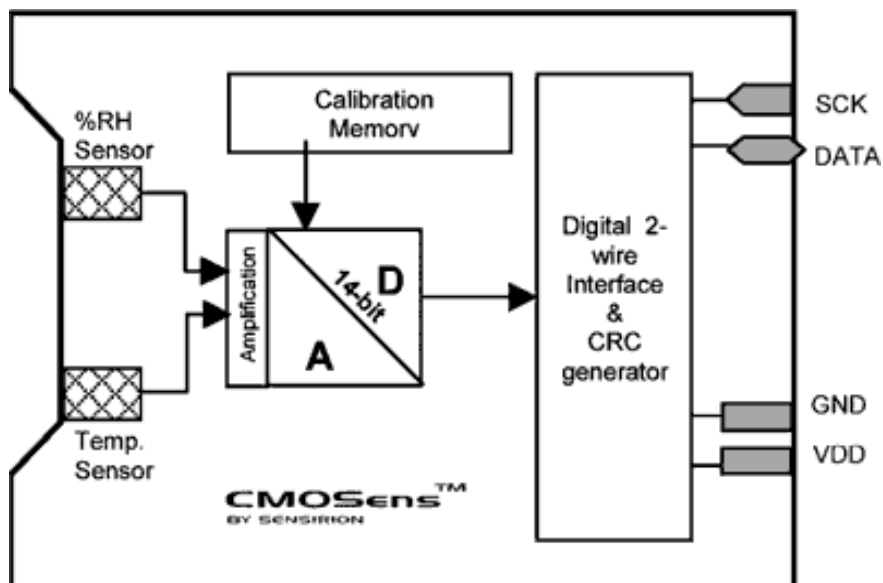


Рис. 20 – принципова схема SHT10

3.4.2 Давач атмосферного тиску.

Модуль вимірювання атмосферного тиску заснований на давачу BMP-280 від BOSCH. Цей давач є покращеною версією давача BMP180 і відрізняється від нього меншими розмірами, зниженим енергоспоживанням, високою точністю роботи і наявністю точної заводського калібрування і двома послідовними інтерфейсами: I2C і SPI [12].

Від попередніх моделей (BMP085 і BMP180) давач відрізняється трьома режимами роботи:

SLEEP - режим зниженого енергоспоживання

FORCED - режим, аналогічний, режиму роботи давачів BMP085 і BMP180. За командою контролера давач виходить з режиму сну, проводить вимірювання, видає результати вимірювання контролера і переходить в режим зниженого енергоспоживання

NORMAL - унікальний для цього давача режим. Давач самостійно прокидається, проводить вимірювання тиску і температури і засинає. Всі тимчасові параметри цього режиму програмуються незалежно. Зчитувати дані в цьому режимі можна в будь-який час.

У давачу передбачена фільтрація результатів вимірювань з налаштуванням таких параметрів фільтрації:

- OVERSAMPLING для температури (16,17,18,19,20 біт);
- OVERSAMPLING для тиску (16,17,18,19,20 біт);
- TSB - час між між вимірами (0.5,62.5,125,250,500,1000,2000,4000 мс);
- FILTER_COEFFICIENT - коефіцієнт фільтрації.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

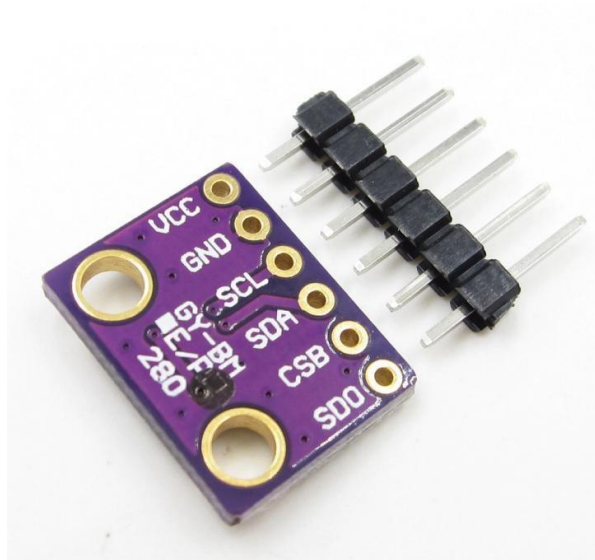


Рис. 21 – загальний вигляд давача атмосферного тиску BMP280

Характеристика:

- Напруга живлення: від 1.71 В до 3.6 В;
- Макс швидкість I2C інтерфейсу: 3.4 МГц;
- Струм: 2.7мкА при частоті в 1 Гц;
- Інтерфейс: I2C, SPI (4 Провід), SPI (3 Провід);
- Калібрування: заводська;
- Рівень шуму: до 0.2 Па (1.7 см) і 0.01 температури;
- Діапазон вимірюваного тиску: від 300hPa до 1100hPa (9000 м до -500 м);
- Розмір: 21 мм x 18 мм.

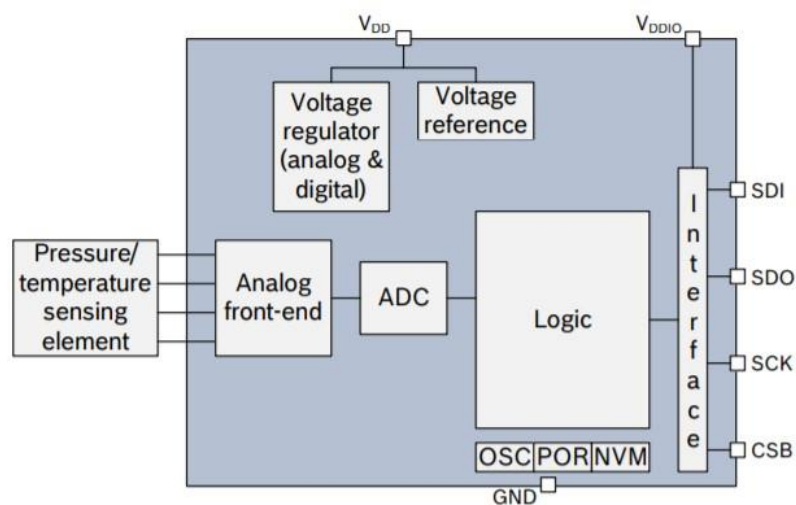


Рис. 22 – Принципова схема BMP280

3.4.3 Давач вмісту CO₂.

Давач інфрачервоного вимірювача концентрації CO₂ МН-Z19В призначений для кількісного визначення питомої вмісту вуглекислого газу в повітрі. Давач має два вихідних інтерфейсу, температурну компенсацію, високу лінійність і мале енергоспоживання [24].



Рис. 23 – загальний вигляд МН-Z19В

Особливості:

- Висока чутливість і роздільна здатність;
- низьке споживання;
- Вихідні інтерфейси: UART і ШІМ;
- Температурна компенсація і чудова лінійність;
- хороша стабільність;
- Довгий термін служби.

Характеристики:

- Модель давача: МН-Z19В;
- Вимірюваний газ: CO₂;
- Робоча напруга: від 3.6 до 5.5 В;
- Напруга логічних рівнів: 3,3;
- Середній споживаний струм: <18 мА;
- Рівень логічних сигналів: 3.3 В;
- Вимірюваний діапазон: від 0 до 0.5%;

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Вихідні сигнали: UART, PWM;
- Час розігріву: 3 хвилини;
- Час вимірювання: $T_{90} < 60$ s;
- Робоча температура: від 0 до 50 (Цельсій);
- Робоча вологість: від 0 до 95% RH;
- Розміри: 33 мм × 20 мм × 9 мм;
- Вага: 21 грам.

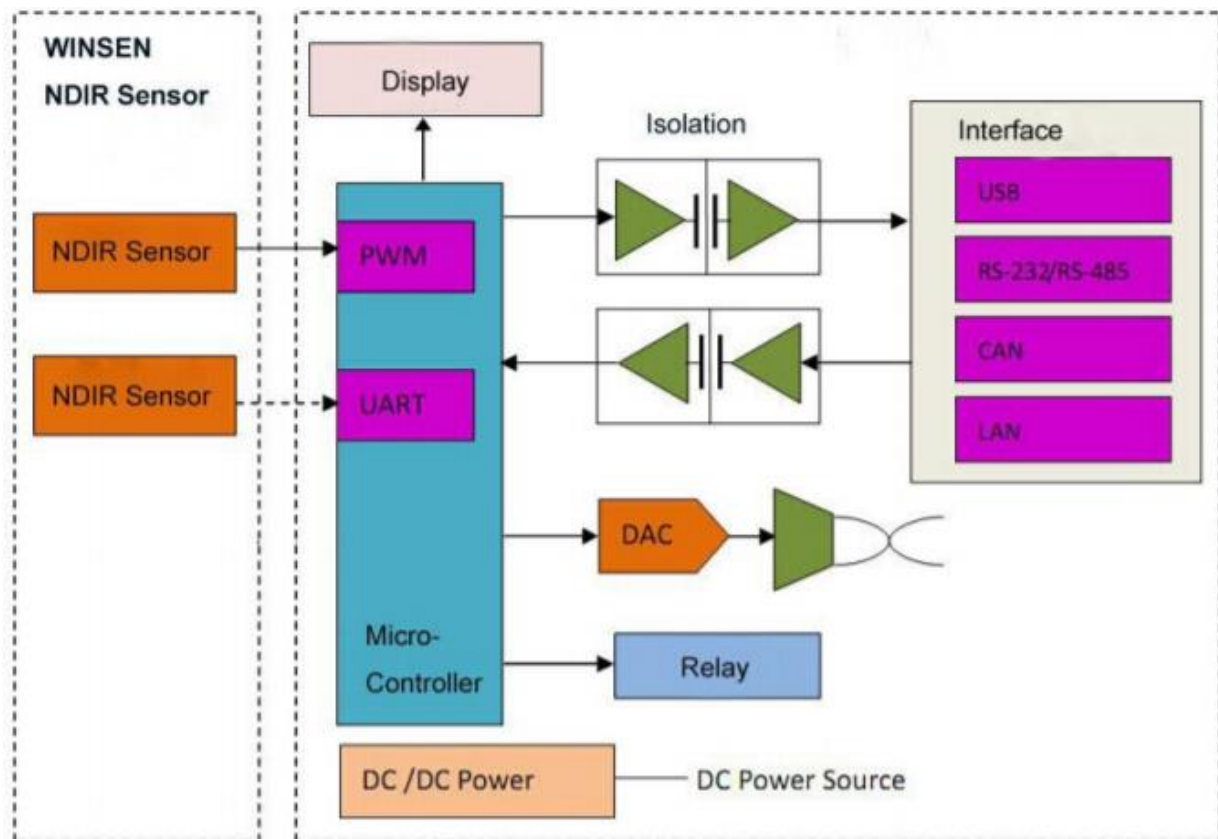


Рис. 24 – схема використання датчика МН-Z19В

3.4.4 Датчик забрудненості повітря .

Лазерний датчик забруднення повітря PM2.5 PMS1003 - представник універсальних цифрових оптичних (лазерних) датчиків пилу в повітрі третього покоління. Особливістю датчика є висока точність підрахунку кількості частинок, досягнута за рахунок внутрішньої обробки сигналу реєстратора пилу високопродуктивним мікро контролером Cypress CY8C4245 [25]. Датчик оснащений

послідовним UART інтерфейсом з рівнем 3.3В, що дозволяє використовувати його з 5В і 3В мікроконтролерами.

Призначення роз'єму:

- PIN1: VCC: Напруга живлення (5В).
- PIN2: GND: Загальний.
- PIN3: SET: Режим очікування (рівень 0), Робочий режим (when 1)
- PIN4: RXD: Вхід послідовного інтерфейсу / TTL рівень @ 3.3В.
- PIN5: TXD: Вихід послідовного інтерфейсу / TTL рівень @ 3.3В.
- PIN6: RESET: Скидання модуля / TTL рівень @ 3.3В.
- PIN7,8: NC: Не використовується.



Рис. 25 – Загальний вигляд давач забрудненості повітря PM2.5 PMS1003

Цей давач використовує теорію лазерного розсіяння. А саме розсіювання лазерного опромінення у повітрі завислих частинок, збираючи розсіяне світло під певним кутом, для отримання інтенсивності розсіювання в порівнянні з кривою часу. Після збору даних мікропроцесора отримує взаємозв'язок між часовою областю та частотною областю за допомогою перетворення Фур'є, а потім за допомогою низки

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

складних алгоритмів отримає кількість частинок в еквівалентних одиницях розміру та об'єму частинок різного розміру.

Кожна функціональна блок-схема давача, як показано:

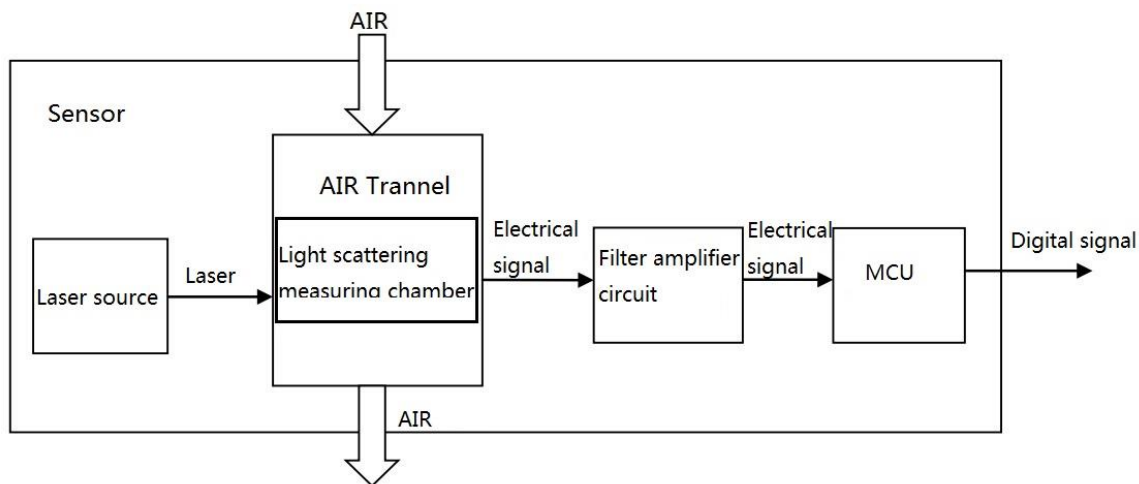


Рис. 26 – функціональна блок-схема перетворення параметрів

Специфікація:

- Робоча напруга: 4,95 ~ 5,05 В
- Максимальний електричний струм: 120мА
- Вимірювання діаметра рт: 0,3-1,0, 1,0-2,5, 2,5-10 (гм)
- Діапазон вимірювання рт: 0 ~ 500 мкг / м3
- Струм у режимі очікування: ≤ 200 мкА
- Час відгуку: ≤ 10 мс
- Діапазон робочих температур: -20 ~ 50С
- Діапазон робочої вологості: 0 ~ 99% вологості
- Максимальний розмір: 65 × 42 × 23 (мм)
- МТBF: > = 5 років
- Швидка відповідь
- Стандартний вихід послідовного вхідного слова
- Багатоточкова калібрувальна крива другого порядку
- Мінімальний розмір - 0,3 мікрона

Вимоги до якості джерела живлення:

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- Пульсація напруги: менше 100 мВ.
- Стабільність напруги живлення: 4,95 ~ 5,05 В.
- Блок живлення: більше 1 Вт (5 В при 200 мА).
- Верхній і нижній стрибок електричної напруги становить менше 50%

напруги живлення системи.

3.4.5 Радіомодуль.

NRF24101 - це високоінтегрована мікросхема зі зниженим споживанням енергії (ULP) 2Мбіт / с для діапазону 2,4 ГГц. За допомогою модуля можна зв'язати кілька пристроїв для передачі даних по радіоканалу. Можна об'єднати до семи приладів в одну загальну радіомережа на частоті 2,4 ГГц, один з модулів буде виступати в ролі ведучого, інші - веденого. Радіомодуль NRF24101 коштує дешево, тому його можна зустріти в самих різних проектах [26].

Характеристики nrf24101:

- Низькі витрати енергії;
- Наявність вдосконаленого прискорювача апаратного протоколу ShockBurst;
- Операційна система ISM;
- Швидкість передачі даних 250 Кбіт / с, 1 Мбіт / с і 2 Мбіт / с;
- Повна сумісність з усіма стандартними серіями nRF24L Nordic, а також серіями nRF24E і nRF240;
- Напруга живлення 3,3 В;
- Робочі температури від -40С до 85С, температури зберігання від -40С до 125С;
- Дальність зв'язку до 2000 м без посилювача.

Основою модуля служить nRF24L01 + виробництва компанії Nordic Semiconductor. На мікросхемі розташовані всі необхідні елементи і вилка роз'єму. По інтерфейсу SPI можна зробити налаштування протоколу, встановити вихідну потужність і налагодити канали обміну даних.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4. КОМПОНОВКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Моделювання плати метрологічних досліджень.

В основі пристрою для реалізації виміру забрудненості повітря покладені МК у кількості двох штук, а саме контролер STM32F103C8T6 та STM32F03C6T6.

Використання двох МК пришвидшує швидкодію системи за рахунок багатопоточності процесів та збільшує надійність системи.

На Рис 27. Зображена принципова схема, слід підкреслити що було обрано модульну систему, тобто основні вузли розбиті на окремі конструктивні модулі.

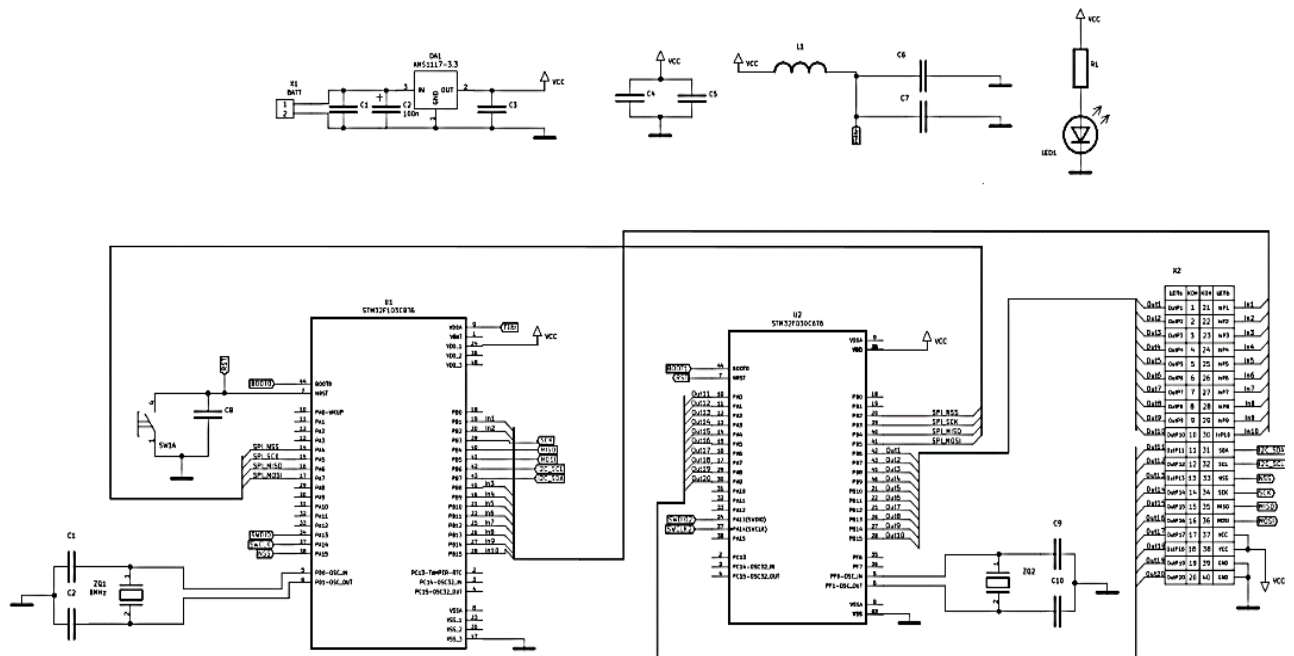


Рис. 27 - Принципова електрична схема.

На (рис. 27) представлено трасування електричної плати. Плата містить smd площадки для монтажу МК та інших компонентів.

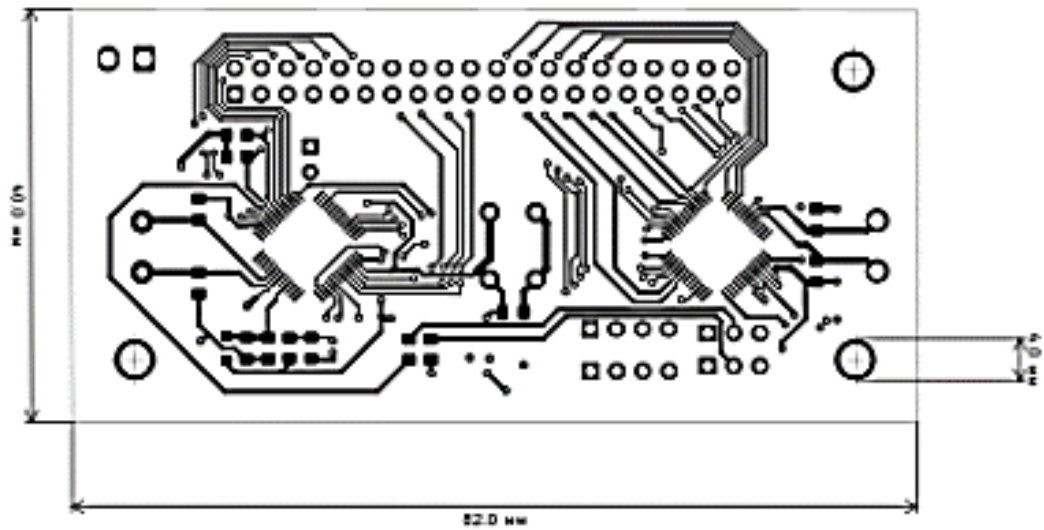


Рис. 28 - Трасування плати, верхній шар.

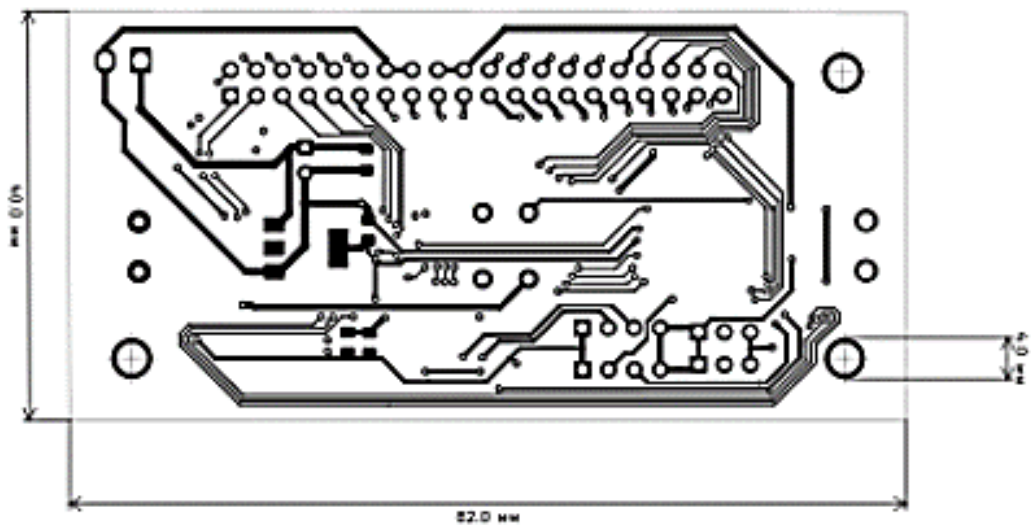


Рис. 29 - Трасування плати, нижній шар.

Для плати опиту давачів був розроблений коробок який кріпиться на рейку, яка в свою чергу кріпиться до віброплатформи БПЛА.

На Рис. 30. зображені креслення коробки.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

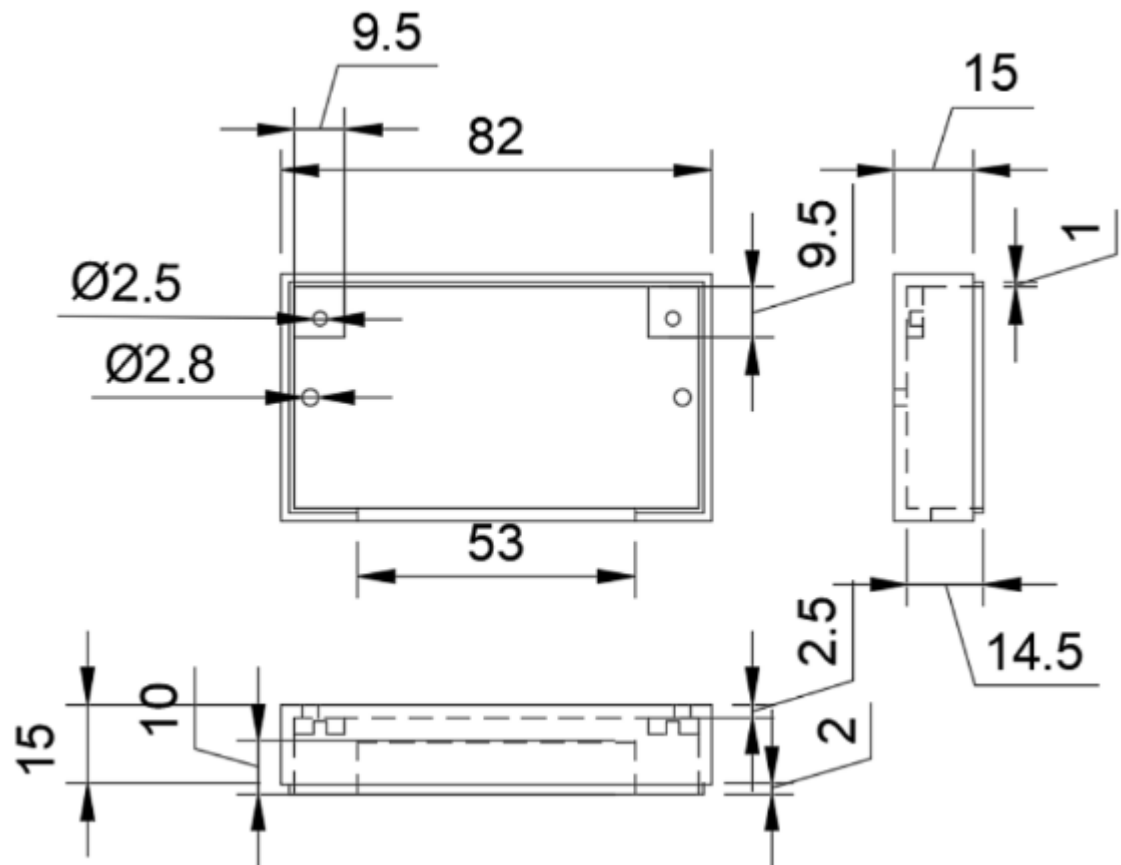


Рис. 30 - Креслення коробки для плати досліджень.

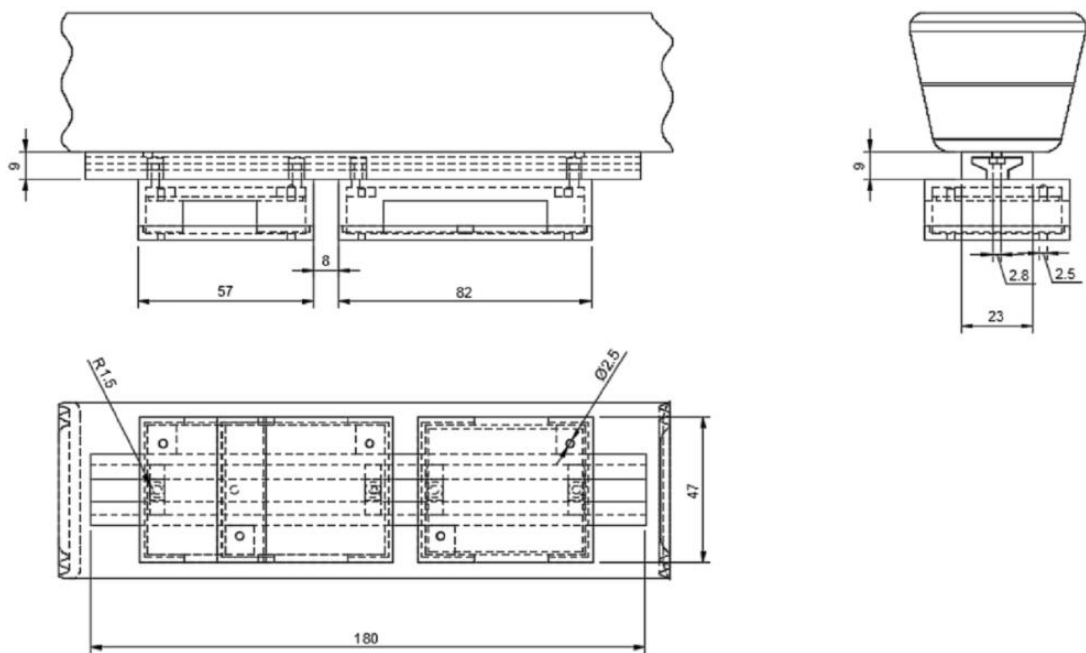


Рис. 31 - Складальне креслення.

											Лист
											50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СУ-71 6.15101.ПЗ						

ВИСНОВОК

Дедалі частіше безпілотні літаючі апарати використовуються замість пілотованої авіації. БПЛА має ряд переваг перед іншими методами дослідження, спостереження за місцевістю. Цей пристрій повинен використовуватися для обльоту певної місцевості по маршруту для збору інформації про стан атмосферного повітря у нижніх його шарах, з метою аналізу та збереження статистичних даних. Використання БПЛА для екологічного аналізу дасть змогу відображати стан забрудненості певного району, та прийняття рішення щодо природоохоронних заходів.

Отже по матеріалах інформаційних джерел ми проаналізували технічну систему з позицій устрою та принципу функціонування.

1. Розроблено електричну принципову схему плати для підключення метрологічних давачів;
2. Проаналізовані функціональні задачі керування;
3. Розроблено функціональну схему автоматизації;
4. Підібрані давачі та виконуючі пристрої;
5. Підібрані необхідні інтерфейси;
6. Реалізовано вибір мікропроцесорних пристроїв;
7. Створено монітор користувача для керування БПЛА;
8. Розроблені складальні схеми та трасування плат;

Результати дипломного проекту можуть використовуватися для модернізації, або залучені в інших проектах.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

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
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. Системы управління БПЛА для здійснення моніторингу наземних об'єктів. /Системы управління, навігації та зв'язку. –2018.–выпуск 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
8. MPU-6050 Datasheet – List of Unclassified Manufacturers – Режим доступа до ресурсу: <http://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/517744/ETC1>
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>

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

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.–vol11. –№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
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-arduino.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, УДК 550. 84
21. Компьютерные системы поддержки принятия решения в экологии / под ред. А. А. Мороза. Киев, 1991. 320 с.

					СУ-71 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

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 CO2 в воздухе МН-Z19В МН-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

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

27. СВИТОВИЙ 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. , [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.math.spbu.ru/user/gran/soi10_2/Am10_2.pdf

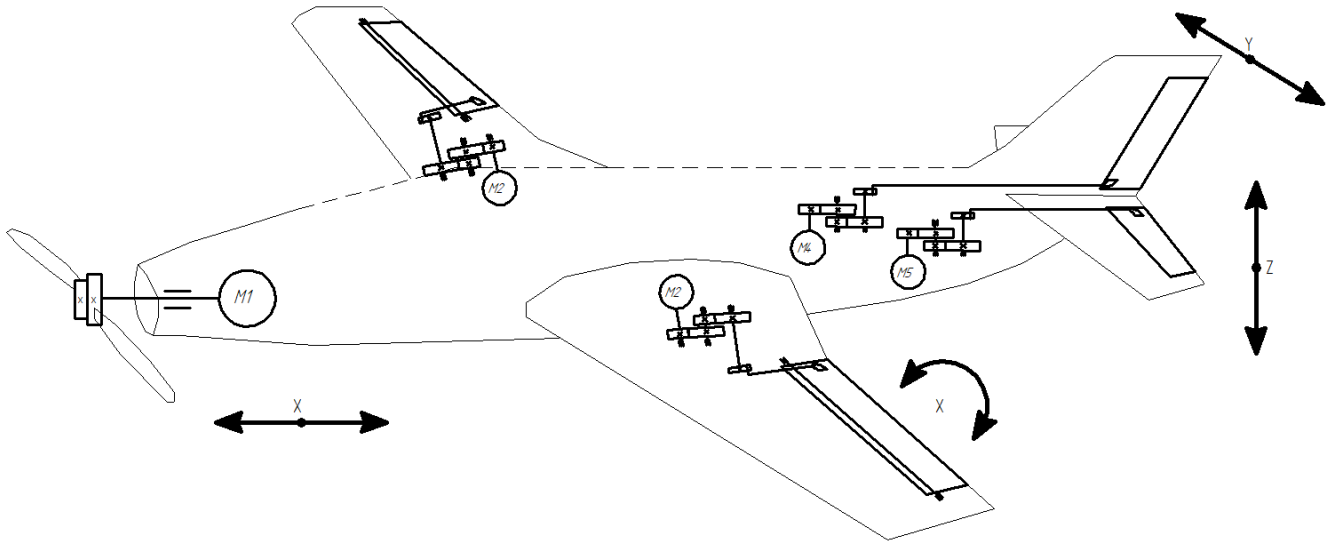
30. БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ РАДІАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, В. Я. Канченко, Р. В.

Карнаушенко, О. О. Ключников, О. П. Мариношенко, М. Л. Чепур, 2015 р.

[Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf>

					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Додаток Б



					СУ-71 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57