

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

**Приладобудування**

**Приладобудування**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_62-5\_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології  
проектування приладів»**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану  
стратосфери на основі мікрополяриметра»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ПМ-81мн

Хазанович Юрій Юрійович \_\_\_\_\_

Керівник:

д.т.н, професор, Гераїмчук Михайло Дем'янович \_\_\_\_\_

Консультант з розділу Розробка СТАРТАП-проекту:

д. е. н., доцент, Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудування**

**Приладобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-наукова програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Хазанович Юрій Юрійович**

1. Тема дисертації «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану стратосфери на основі мікрополяриметра», науковий керівник дисертації Гераїмчук Михайло Дем'янович, д.т.н, професор, затверджені наказом по університету від «17» 03 2020 р. № 894-с

2. Термін подання студентом дисертації 18.05. 2020

3. Об'єкт дослідження Стратосфера

4. Предмет дослідження Комп'ютерно-інтегрована система дослідження на основі мікрополяриметра

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналіз систем на основі поляриметрів для дослідження стану стратосфери. 2. Розробка структурної та принципової схеми мікрополяриметра. 3. Розробка алгоритму та системи керування дронами для дослідження озонового шару на малих висотах із встановленими на них мікрополяриметрами. 4. Розробка старт-ап проекту 5. Висновки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1. Презентаційний лист 1 арк. ф. А1; 2. Загальна структура системи керування дронами 1 арк. ф. А1; 3. Функціональна схема 1 арк. ф. А1; 4. Структура бездротової мережі 1 арк. ф. А1; 5. Математична модель системи керування дронів керування 2 арк. ф. А1. 6. Алгоритм керування системи дронів 1 арк. ф.

A1. 7. Зв'язок між одиницями дослідження 1 арк. ф.  
A1.

7. Орієнтовний перелік публікацій 1) Алгоритм оновлення програмного забезпечення та розподілення пам'яті для обробки та зберігання отриманих даних 2) Алгоритм керування дронами

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К. О., доцент, доктор економічних наук		

9. Дата видачі завдання 03.02.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	03.02.2020	
2	Огляд матеріалів за темою дисертації	04-02.2020-19.03.2020	
3	Розробка структурної та принципової схеми	20.03.2020-31.03.2020	
4	Розробка математичної моделі	01.04.2020-20.04.2020	
5	Розробка стартап-проекту	20.04.2020-01.05.2020	
6	Оформлення текстової та графічної частини	02.05.2020-09.05.2020	
7	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	10.05.2020-14.05.2020	
8	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unichек	14.05.2020 - 18.05.2020	
9	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	20.05.2020	

Студент

Юрій, ХАЗАНОВИЧ

Науковий керівник

Михайло, ГЕРАЇМЧУК

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## Магістерська дисертація

на тему: Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану  
стратосфери на основі мікрополяриметра

---

---

---

Київ – 2020 року

## РЕФЕРАТ

### **Актуальність**

Озоновий шар є своєрідним біологічним захисником всього живого на Землі. Його виникнення пояснюється впливом сонячного випромінювання на молекули кисню, що поглинає більшу частину ультрафіолету. Причиною виникнення дір в озоновому шарі є забруднення людиною природного середовища: Викиди, вироблені заводами, фреон, аерозольні балони та надзвукова авіація.

Все живе на Землі піддається радіоактивному опроміненню, у випадку появи озонової діри, що провокує захворювання та негативно впливає на рослини, тому необхідність у дослідженні та прогнозуванні появи озонових дір залишається актуальною. Вирішити дану проблему можливо за допомогою ідеї інтернет речей, поєднавши її із приладобудуванням, що розширює функціонал приладів та систем для дослідження стану стратосфери - мікрополяриметр.

Поєднавши мікрополяриметр із дроном або іншим літальним апаратом можна проводити аналіз стану стратосфери над конкретно взятою територією керуючи цим процесом на відстані. Також можливо розмножити кількість створивши рій об'єднавши їх у систему, що збільшить зону дослідження.

**Об'єктом дослідження** даної роботи є стратосфера.

**Предметом дослідження** являється комп'ютерно-інтегрована система дослідження на основі мікрополяриметра.

Магістерська дисертація складається із пояснювальної записки, яка містить вступ, 4 основних розділи, список використаних джерел, 45 малюнків, 37 таблиць. Загальний обсяг складає 100 сторінок. Та графічної частини, що містить 2 аркуші ф. А1 математичної моделі системи керування дронів керування, 1 аркуша ф. А1 загальної структури системи керування дронами, 1 аркуша ф. А1 структури бездротової мережі; 1 аркуша ф. А1 алгоритм керування системи дроні, 1 аркуша ф. А1 зв'язок між одиницями дослідження та презентаційний лист. Загальний обсяг графічної частини складає 8 аркушів формату А1.

## **SUMMARY**

### **Actual continuity**

The ozone layer is a kind of biological protector of all living things on Earth. Its occurrence is due to the effect of solar radiation on oxygen molecules, which absorb most of the ultraviolet light. The cause of holes in the ozone layer is human pollution: Emissions from factories, freon, aerosol cans and supersonic aircraft.

All life on Earth is exposed to radiation, in the case of an ozone hole that provokes disease and adversely affects plants, so the need to study and predict the appearance of ozone holes remains relevant. It is possible to solve this problem with the help of the idea of the Internet of Things, combining it with instrumentation, which expands the functionality of instruments and systems for studying the state of the stratosphere - the micropolarimeter.

By combining a micropolarimeter with a drone or other aircraft, it is possible to analyze the state of the stratosphere over a specific area, controlling this process at a distance. It is also possible to multiply the number by creating a swarm by combining them into a system that will increase the study area.

**The object of the study** of this work is the stratosphere.

**The subject of the study** is a computer-integrated research system based on a micropolarimeter.

The master's dissertation consists of an explanatory note, which contains an introduction, 4 main sections, a list of sources used, 45 figures, 37 tables. The total volume is 100 pages. And the graphic part, which contains 2 sheets of format A1 mathematical model of drone control system, 1 sheet format A1 of the general structure of the drone control system, 1 sheet format A1 structure of the wireless network; 1 sheet format A1 drone system control algorithm, 1 sheet format A1 connection between research units and presentation letter. The total volume of the graphic part is 8 sheets of A1 format.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП	12
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОЛЯРИМЕТРІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СТРАТОСФЕРИ	13
1.1. ФОТОМЕТРІЯ	14
1.2. СПЕКТРОМЕТРІЯ	15
1.3. ПОЛЯРИМЕТРИ	16
1.4. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ПОЛЯРИМЕТРА.	20
1.5. ОГЛЯД СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОЛЯРИМЕТРІВ	24
1.5.1. РОЗРОБКА ПОЛЯРИЗАТОРА ЗОБРАЖУВАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА НА ОСНОВІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПЛІВОК	24
1.5.2. МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ІМІДЖЕР-ПОЛЯРИМЕТР КОСМІЧНОГО ПРОЕКТУ «АЕРОЗОЛЬ-УА»	27
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МІКРОПОЛЯРИМЕТРА	35
2.1. СТОКС-ПОЛЯРИМЕТР КЛАСИЧНОГО ТИПУ	35
2.2. СТОКС-ПОЛЯРИМЕТР ІЗ ФАЗОВОЮ ПЛАСТИНКОЮ, ОБЕРТАЄТЬСЯ	37
2.3. СТОКС-ПОЛЯРИМЕТР НА ОСНОВІ ДВОХ ЕЛЕКТРООПТИЧНИХ КРИСТАЛІВ	38
2.4. СТОКС-ПОЛЯРИМЕТР НА ОСНОВІ МАГНІТО-ОПТИЧНОЇ МОДУЛЯЦІЇ	40
2.5. АКУСТО-ОПТИЧНИЙ СТОКС-ПОЛЯРИМЕТР НА ОСНОВІ МАГНІТО-ОПТИЧНОЇ МОДУЛЯЦІЇ	41
2.6. СТРУКТУРНА ТА ПРИНЦИПОВА СХЕМИ МІКРОПОЛЯРИМЕТРА	42
2.6.1. ОПТИЧНА СИСТЕМА ПОЛЯРИМЕТРА	43
2.6.2. МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ БЛОК МІКРОПОЛЯРИМЕТРА	43
2.6.3. БЛОК ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	46

2.6.4. БЛОК ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМИ	53
2.7. ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОПОЛЯРИМЕТРА	54
3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗОНОВОГО ШАРУ НА МАЛИХ ВИСОТАХ ІЗ ВСТАНОВЛЕНИМИ НА НИХ МІКРОПОЛЯРИМЕТРАМИ	58
3.1. АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРИ	58
3.2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ	63
3.3. АНАЛІЗ ПОХИБОК СКД	69
4. РОЗРОБКА СТАРТ-АП ПРОЕКТУ	72
4.1. ОПИС ІДЕЇ ПРОЕКТУ	72
4.2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ	74
4.3. АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП- ПРОЕКТУ	75
4.4. АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП- ПРОЕКТУ	83
4.5. РОЗРОБЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ПРОГРАМИ СТАРТАП- ПРОЕКТУ	87
4.6. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	91
5. ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	94



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

БПД – блок передачі даних;

ЕОК – електрооптичний кристал;

ЗАО – завантажувач операційної системи;

ІОТ – (англ. Internet Of Things) інтернет речі;

КІС – комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану стратосфери на основі мікрополяриметра;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЛА – літальний апарат;

МК – мікроконтролер;

МОС – мікроопераційна системи;

МПД – мікропроцесорний блок мікрополяриметра;

МСП – мультиспектральний іміджер-поляриметр;

ОВП – область вільної пам'яті;

ОД – одиниця дослідження;

ОЗП – операційно запам'ятовуючий пристрій;

ОК – область контролю;

ОО – область обчислення;

ОСП – оптична система поляриметра;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЗП – постійно запам'ятовуючий пристрій;

СКД – система керування дронами;

ШІ – штучний інтелект;

$h$  – постійна Планка, що дорівнює  $6,625 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с;

$\nu$  – частота випромінювання, що поглинається Гц;

$c$  – швидкість світла  $3 \cdot 10^{10}$  см/с;

$\lambda$  – довжина хвилі у вакуумі;

$l$  – товщина шару розчину;

$C$  – концентрація речовини, що визначається за формулою  $C = \frac{1 \text{ г}}{1 \text{ дм}^3}$ ;

$\alpha_0$  – питома обертання речовини;

$\alpha$  — кут обертання в градусах відраховують з точністю до  $0.01^\circ$ ;

$\rho$  – густина речовини;

$I_i$  – інтенсивність світла  $i$ -го випромінювача;

$p$  – ступінь поляризації;

$\delta$  – фазовий зсув;

$n_0$  – показник заломлення матеріалу кристалу для звичайної хвилі;

$r_{63}$  – компонента тензора діелектричного проникнення;

$k_1$  та  $k_2$  – максимальний та відповідно мінімальний коефіцієнт пропускання поляризатора;

$R$  – постійна Верде;

$H$  – напруженість магнітного поля;

$L$  – товщина магнітно-оптичного скла клітинки Фарадея;

$\sigma$  – ефективний пружньооптичний коефіцієнт;

$A_n$  – амплітуда акустичної хвилі поширення вздовж осі  $OZ$ ;

$k$  – хвильовий вектор акустичної хвилі;

$\omega$  – частота коливання акустичної хвилі;

$\Delta$  – залишкове двопроменеве заломлення;

$\delta_0$  – максимальне значення різниці фаз;

$P$  – споживча пікова потужність;

$U$  – напруга живлення;

$I$  – струм;

$\rho$  – модуль радіус-вектора об'єкта спостереження;

$R_z$  – радіус Землі, тому формула;

$d$  – дальність до супутника;

$t_{np}$  – часу прийому радіосигналу приймачем;

$t_e$  – час відправлення даних супутником;

$x_0, y_0, z_0$  – координати приймача;

$x_i, y_i, z_i$  – координати супутника  $i$ -го супутника;

$x_{OD_i}, y_{OD_i}, z_{OD_i}$  – координати  $OD_i$ -го в СКД відносно відносної системи координат;

$d_{1OD_i}, d_{1OD_i}, d_{1OD_i}, d_{1OD_i}$  – дальність  $OD_i$  до супутника;

$L_{OD_i}$  – віддаленість  $OD_i$  початку координат;

$\alpha$  – кут відносно площини ХУ;

$\delta$  – величина відставання годинника приймача від загальноприйнятого часу;

$r$  – похибка відстані, що викликана відставання годинника приймача від загальноприйнятого часу.

## ВСТУП

Ідея інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) залишається досить популярною, тому на базі її пропонується розробити мікрополяриметр для дослідження стану стратосфери.

Питання дослідження стану стратосфери є важливим, оскільки наприклад над Арктикою відносно нещодавно відкрилась велика озонна діра через незвичайні температури, хоча дана діра зникла, проте необхідність у дослідженні, прогнозуванні появи озонних дір не відпала.

Необов'язково знаходитись у епіцентрі, щоб досліджувати озонні діри загалом. Якщо застосувати ідею інтернет речей, то стає можливим віддалене керування аналіз стану, як стратосфери так і пристрою в цілому. Проте головною умовою для роботи інтернет речей є стабільне мережеве підключення. Модуль передачі даних є головною особливістю пристрою, оскільки це надає можливість керування пристроєм в реальному часі, збір даних та надсилання їх для подальшої обробки.

Передбачається поєднання мікрополяриметра дрону або інших літальних апаратів для дослідження стану стратосфери над конкретно взятою територією. Також можливо розмножити кількість дронів створивши рій із дронів та об'єднавши їх у систему. На кожен дрон встановити мікрополяриметр, додати алгоритм для керування даної системи, тобто масштабувати її, що збільшить зону дослідження.

## 1. Аналіз систем на основі поляриметрів для дослідження стану стратосфери

Перш за все обґрунтуємо необхідність дослідження стратосфери, так Арктикою відкрилась велика озонна діра через незвичайні температури у 2020-му році [1]. З 1967-го року світова спільнота почала піднімати питання озонних дір, а вже у 80-тих була зафіксована зміна насиченості озону над територією бази антарктичної служби Британії практично на 40% [2].

Озоновий шар знаходиться на висотах [3]:

- в тропіках він знаходиться в діапазоні між 25 і 30 км;
- на полюсах - від 15 до 20 км.

Французькі фізики Шарль Фабрі та Анрі Буїссон відкрили озоновий шар на початку ХХ століття за допомогою спектроскопічного аналізу. Він є своєрідним біологічним захисником всього живого на Землі. Його виникнення пояснюється впливом сонячного випромінювання на молекули кисню, що поглинає більшу частину ультрафіолету.

Озон нагрівається за рахунок поглиненого випромінювання таким чином утворюючи теплі шари на вершині стратосфери.

Причиною виникнення є забруднення людиною природного середовища: Викиди, вироблені заводами, фреон, різні аерозольні балони; Надзвукова авіація вносить особливий внесок у знищення озону. Газоподібні літаки містять оксиди азоту [2,3].

У випадку появи озонової діри все живе на Землі піддається радіоактивному опроміненню, що може провокувати зростання ракових захворювань, переважно локалізованих на шкірі. Для рослин вплив сонячної радіації є пагубним оскільки призводить до генетичних мутацій та загального зниження життєвого тону [2].

Перш за все необхідно розібратись із методами дослідження стратосфери. Можна виділити наступні методи досліджень небесних тіл в оптичному діапазоні:

- фотометрія;

- спектрометрія;
- поляриметрія.

Прикладами астрономічної апаратури є цифровий панорамний поляриметр та астрономічний спектрополяриметр [13].

### 1.1. Фотометрія

Фотометрія – є розділом прикладної оптики, що вивчає випромінювання та властивості світлових потоків джерел світла. Він включає в себе методику та техніку вимірювання параметрів освітлених поверхонь, джерел світла, а також світлових пучків. Основними фотометричними величинами є [4,5]:

- світловий потік  $\Phi$ ;
- сила світла  $J$ , що є основною фотометричною величиною в СІ;
- освітленість  $E$ ;
- світність  $R$ ;
- яскравість джерела  $V$ .

Фотометричні величини визначають за допомогою як фотометру (потік), так і люксометром для визначення освітленості. Фотометрію можна поділили на:

- «об’єктивна» фотометрія, тобто поняття енергії та потужність енергії потоку;
- «суб’єктивна» фотометрія, тобто характер сприймання світла оком людини [4].

Фотометричний метод передбачає вибіркоче поглинання світла молекулами речовини, що аналізує потік. Оскільки, згідно квантової механіки, світло є потоком часток квантів або фотонів, то енергія кванта визначається довжиною хвилі випромінювання. Результатом поглинання випромінювання є перехід молекули поглинаючої речовини з основного стану ( $E_1$ ) на вищий енергетичний стан ( $E_2$ ). Поглинання відбувається за умови енергія кванта, що поглинається збігається із різницею між квантовими енергетичними рівнями ( $\Delta E$ ) в кінцевому ( $E_2$ ) і початковому ( $E_1$ ) станах поглинаючої молекули [6]:

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1, \quad (1.1)$$

де  $h$  – постійна Планка, що дорівнює  $6,625 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с;

$\nu$  – частота випромінювання, що поглинається Гц.

$\nu$  визначається енергією кванта, який поглинули та виражається відношенням швидкості поширення випромінювання, що дорівнює швидкості світлової хвилі у вакуумі  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/с до довжини хвилі  $\lambda$ :

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (1.2)$$

Природа смуг поглинання в ультрафіолетовому (10 – 400 нм) та видимому (400 – 760 нм) діапазонах спектра однакова. Вона пов'язана головним чином із кількістю та розташуванням електронів у поглинаючих молекулах і іонах. В інфрачервоній області (0.8 – 1000 мкм) вона в більшому ступені зв'язана з коливаннями атомів у молекулах поглинаючої речовини [6].

**Устаткування**, що використовується для вимірів поділять на дві групи:

- фотокolorиметри;
- спектрофотометри.

## 1.2. Спектрометрія

**Спектрометрія** — частина спектроскопії, в якій розробляють методи одержання спектрів випромінювання і спектральних характеристик (положення ліній і смуг, довжини хвиль тощо), вивчають джерела випромінювання (емісійна спектроскопія) або вбирання хвиль у різних середовищах (абсорбційна спектроскопія) [7].

Спектрометрія – це сукупність методів і теорія вимірювань спектрів електро-магнітних вимірювань, випромінювання та вивчення спектральних властивостей речовин і тіл в оптичному діапазоні довжин хвиль (~ 1 нм - 1 мм). Спектрометрія є частиною спектроскопії, задача спектрометрії є розробка методів одержання спектрів випромінювання та спектральних характеристик, модельний розгляд умов вимірювань в типових варіантах, розробка критеріїв порівняння приладів, способів оптимізації умов і режимів вимірювань метою яких є отримання точних результатів за короткий проміжок час.

**Устаткування:** В спектрометрії здійснюються за допомогою спектральних приладів типу спектрометра.

Спектрометр — це спектральний прилад зі пристроєм, який сканує за допомогою фотоелектричних приймачів розподіл енергії у спектрі. Даний термін застосовується до приладів, що працюють у широкому діапазоні хвиль: від гамма- до інфрачервоного випромінювання [7-9].

### 1.3. Поляриметрія

Поляриметрія є методом якісної та кількісної оцінки оптично-активних речовин, що базується на вимірюванні кута обертання площини поляризації прямолінійно поляризованого світла під час проходження його через оптично активні речовини, що засновані на вимірюванні:

- ступені поляризації світла;
- оптичній активності, тобто величини обертання площини поляризації світла при проходженні його через оптично активні речовини.

*Оптично активними* називають речовини, які володіють властивістю повертати площину поляризації при проходженні через них поляризованого світла ( оптично анізотропні середовища, на відміну від оптично ізотропних або неактивних, які цього не викликають) [12].

Дана властивість речовини обумовлена:

- особливостями будови кристалічної решітки (оптична активність в речовині проявляється тільки в твердому кристалічному стані);
- особливостями будови молекул (оптична активність таких речовин проявляє себе в розчинах).

Поляриметрія знайшла широке застосування у задачах вимірювання концентрації оптично активних речовин в неактивних розчинниках.

Оскільки оптична активність дуже чутлива до будь-яких змін в будові речовини та до міжмолекулярної взаємодії, то саме вона може дати цінну інформацію про природу заміщувачів:

- в молекулах органічних сполук;
- в комплексних неорганічних сполуках [12].



*Вимір обертальної дисперсії* означає вимірювання зміни кута обертання при зміні довжини хвилі світла (спектрополяриметрія), саме це дозволяє вивчати будову речовин. Поляриметричний метод було розроблено для кількісного визначення оптично активних речовин:

- сахароза;
- фруктоза;
- глюкоза;
- винна кислота.

*Кутом обертання* називають відхилення площини поляризації від початкового положення. Він виражається у кутових градусах та позначається  $\alpha$ . Величина кута повороту залежить від [11,12]:

- природи речовини, що досліджується;
- концентрації речовини в розчині;
- природи розчинника;
- товщини шару розчину, через який проходить поляризований промінь;
- довжини хвилі поляризованого променя;
- температури.

Слід додати, також від природи речовини залежить напрям обертання площини поляризації: правообертаючі або лівообертаючі оптично-активні речовини [10,11]. Під час зміни довжини хвилі світла зміна кута обертання дозволяє вивчити будову речовини та визначати кількість у суміші оптично активних речовин. Поляриметрія знаходить своє застосування промислових галузях для аналізу органічних сполук та продуктів переробки гірничо-хімічної сировини.

Оптична активність речовин характеризується *питомим обертанням* ( $a_0$ ), тобто кут повороту площини поляризації при проходженні поляризованого променя через розчин об'ємом  $1 \text{ см}^3$  (або  $1 \text{ мл}$ ), що містить в собі  $1 \text{ г}$  розчиненої речовини, а товщина шару розчину складає  $1 \text{ дм}$ . Порівняльну оцінку можливості

речовин обертати площину поляризації здійснюють за допомогою величин питомого обертання [11, 12].

Кут повороту площини поляризації ( $\alpha_0$ ) визначають за формулою – законом Біо представленою нижче:

$$\alpha = \alpha_0 * l * C, \quad (1.3)$$

де  $l$  – товщина шару розчину;

$C$  – концентрація речовини, що визначається за формулою  $C = \frac{1 \text{ г}}{1 \text{ дм}}$ ;

$\alpha_0$  – питома обертає речовини.

Питома обертає зазвичай визначають за температурою 20 °С, використовуючи жовте світло з довжиною хвилі лінії D спектра натрію (589.3 нм) із вказівкою розчинника. При цьому питома обертає позначають  $[\alpha]_D^{20}$ , формула, питомого обертає речовини представлена нижче:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha * 100}{l * C}, \quad (1.4)$$

де  $\alpha$  — кут обертає в градусах відраховують з точністю до 0.01°;

$l$  — товщина шару розчину в дециметрах;

$C$  — концентрація речовини в г/100 мл розчину.

У випадку, коли рідина є унікальною питома обертає визначається наступною формулою:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{1 * \rho}, \quad (1.5)$$

де  $\rho$  – густина речовини.

Важливо зазначити концентрацію речовини, для якої необхідно визначити величину питомого обертає, оскільки величина залишається сталою у певному інтервалі концентрації.

А вже знаючи величину та інтервал концентрації в якому величина питомого обертає є постійною та визначення кута обертає  $\alpha$  розчину, стає можливим розрахувати концентрацію цього розчину за формулою, приведена нижче:

$$C = \frac{\alpha * 100}{[\alpha]_D^{20} * 1}, \quad (1.6)$$

Іншим способом визначення концентрації речовин є градувальний графік, який будується за координатами  $\alpha$  (A) — C. Вимірювання кута  $\alpha$  здійснюють за допомогою приладів, які називають поляриметрами [11].

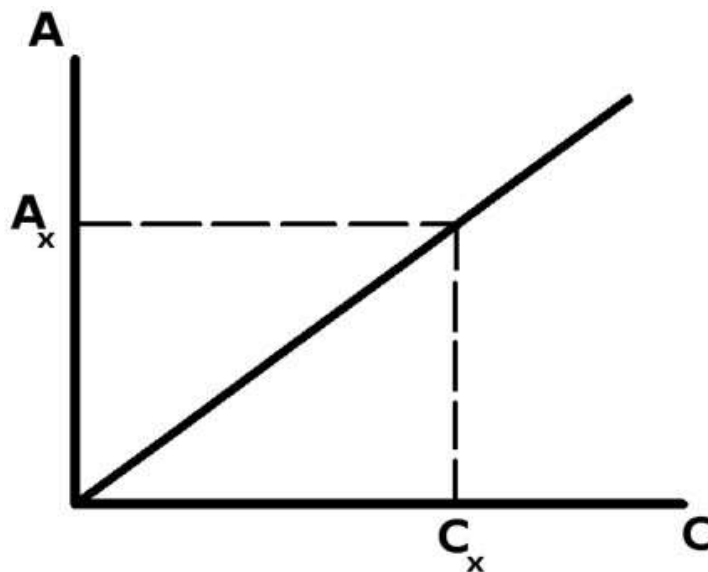


Рисунок 1.1 - Градувальний графік

Аналізатор разом із диском (лімбом) пов'язаний зі шкалою поділеною на 360 кутових градусів.

Метод поляризації використовують для визначення концентрації:

- цукру;
- глюкози у водяних розчинах;
- алкалоїдів, етерних олій та деяких ін. оптичних активних речовин.

Даний метод широко та ефективно застосовують в різних, дослідженнях структури та властивостей речовини в рішенні ряду технічних завдань. Вимірювання проводяться поляриметрами і спектрополяриметрами.

Даний метод також знаходить використання у фармацевтичному аналізі, для підтвердження оптичної чистоти речовини та її ідентифікації та кількісного визначення [11,12].

Отже, поляризаційний метод серед них можна назвати найінформативнішим, але водночас найскладнішим. Для опису стану поляризації існує низка математичних методів: Джонсона, Мюллера, Стокса, сфери Пуанкаре. Дані методи покладені в основу приладів, що визначають поляризаційну складову досліджуваного середовища [12,13].

Жорсткі вимоги, що висуваються до астрономічних приладів призводять до висновку, що дані прилади є унікальними:

- малі габарити та вага;
- робота у важких кліматичних умовах;
- точність.

#### **1.4. Конструкція та принцип дії поляриметра**

Прилад призначений для вимірювання кута обертання площини поляризації монохроматичного світла в оптично активних речовинах є *поляриметром*, а дисперсію оптичної активності вимірюють *спектрополяриметрами* [12].

Головним вузлами у конструкції поляриметра є поляризатор та аналізатор:

- Поляризатор — виконує функцію перетворювача природнього світла в поляризоване, для цього застосовуються кристали ісландського шпату або інших мінералів, що володіють властивістю подвійного променезаломлення;
- Аналізатор — пристрій для визначення кута повороту площини поляризації після проходження поляризованих променів через досліджуваній розчин та може повертатися навколо оптичної осі приладу.

Поміж поляризатором та аналізатором розміщується поляризаційна трубка, що наповнюється досліджуваним розчином [11,12].

Розрізняють поляриметри із встановленням:

- на повну темряву;
- напівтіньовий із:
  1. подвійним полем зору;
  2. потрійним полем зору.

Проте широке застосування отримали саме напівтіньові поляриметри. Конструкція поляризатора в даному типі складається із двох никелей, а у поляриметрів з потрійним полем зору — з трьох [12].

Принцип вимірювання поляриметрів, що побудовані за схемою напівтіньових приладів (рисунок 3.1 та рисунок 3.2) зводиться до візуального порівнювання яскравості двох половин поля зору та подальшому зчитування показань за шкалою обертань, що забезпечена ноніусом.

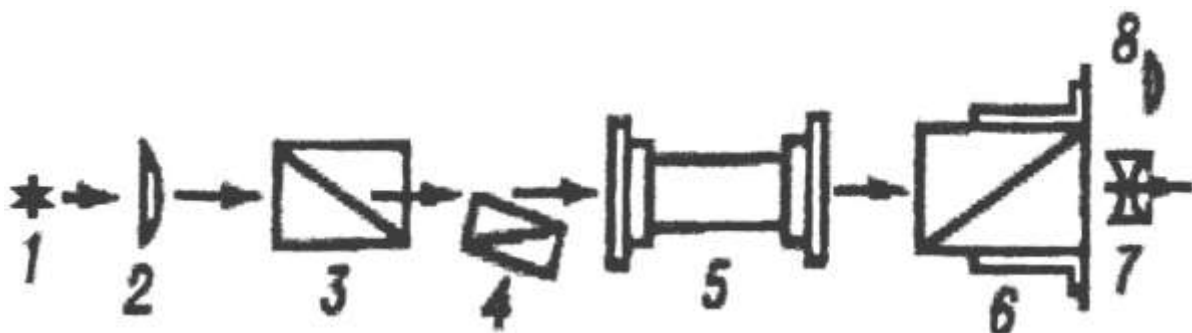


Рисунок 1.2 - Принципова схема напівтіньового поляриметра:

1 — джерело світла; 2 — конденсор; 3 — напівтіньовий поляризатор; 4 — трубка з досліджуваною оптично активною речовиною; 5 — аналізатор з відліковим пристроєм; 6 — аналізатор з відліковим пристроєм; 7 — зорова труба; 8— окуляра відлікового пристрою

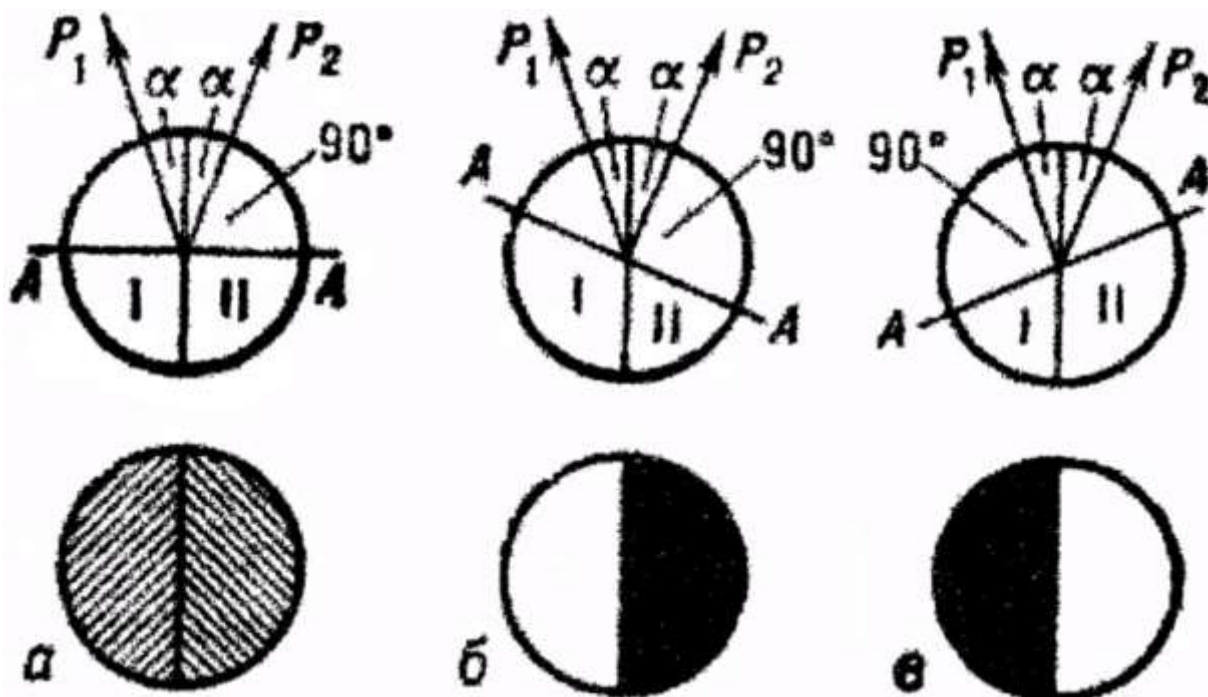


Рисунок 1.3 - Напівтіньові поляризатори

У випадку, коли площини перетинів аналізатора та поляризатора розташовуються паралельно світло проходить через поляризатор та, у випадку відсутності між поляризатором та аналізатором оптично активного розчину, світло пройде через аналізатор.

У випадку, коли головні перетини аналізатора та поляризатора взаємно перпендикулярні, промені через аналізатор не проходять.

У проміжних положеннях через аналізатор пройде лише частина променів.

Помістивши між поляризатором та аналізатором оптично активну речовину, при проходженні світла через речовину відбудеться поворот площини поляризації, а світлове поле стане неоднорідним (хоча заздалегідь поле було налаштовано на однорідне забарвлення).

Саме обертанням аналізатору досягається однорідність забарвлення поля аналізатору, за кутом повороту аналізатору, що сполучається зі шкалою судять про ступінь обертання площини поляризації розчином, що досліджується. Це дозволяє розрахувати концентрацію активної речовини в розчині.

Методика візуальної реєстрації володіє досить високою чутливістю, що дозволяє застосовувати напівтіньові поляриметри для різних цілей.

Дві половини площини поляризації  $p_1$  і  $p_2$  складають між собою малий кут  $2\alpha$ . У випадку, коли площина поляризації аналізатора  $AA$  є перпендикулярною до бісектриси кута  $2\alpha$ , зони I і II поля зору мають однакову напівтіньову освітленість, що зображено на рис. 1.3.а.

За найменшого повороту аналізатору відносна освітленість зон I і II змінюється, це показує рисунок 1.3 б та в [12].

Все ж таки поширенішими є автоматичні поляриметри із фотоелектричною реєстрацією. В них зіставлення двох інтенсивностей вирішується за допомогою:

- поляризаційної модуляції світлового потоку;
- виділення на виході приймача світла сигналу основної частоти.

Поляриметр також може використовуватись для визначення ступеня поляризації  $P$  частково поляризованого світла [12]. Найпростішим прикладом є поляриметр Корню, що використовується для визначення ступеня лінійної поляризації, він включає в себе такі головні елементи:

- діафрагма;
- призма Волластона;
- аналізатор.

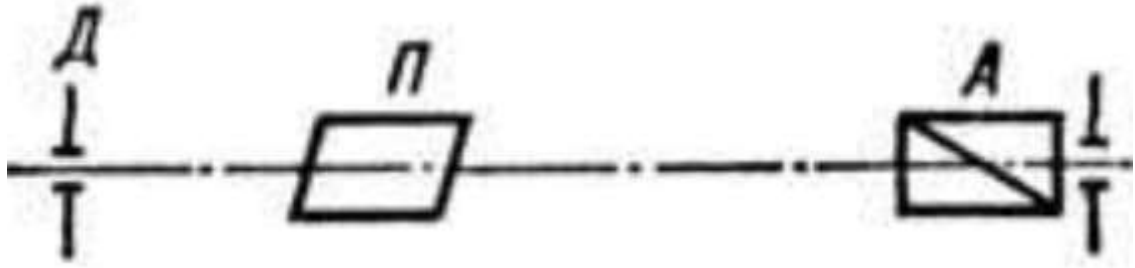


Рисунок 1.4 - Схема поляриметра Корню:

Д - діафрагма; П - призма Волластона; А - аналізатор.

Ступінь лінійної поляризації встановлюється як відношення різниці до суми інтенсивностей  $I_1$  та  $I_2$  світла розкладеного на дві лінійно поляризовані складові з взаємно перпендикулярними площинами поляризації, тобто [14]:

$$p = \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)}, \quad (1.7)$$

Через аналізатор спостерігаються два поля зображення діафрагми, оскільки призма Волластона розділяє складові інтенсивностей  $I_1$  та  $I_2$  світла. Як наслідок, спостерігаються два поля зображення діафрагми, інтенсивність яких дорівнює:

$$\begin{aligned} I'_1 &= I_1 \cos^2 \psi \\ I'_2 &= I_2 \sin^2 \psi' \end{aligned} \quad (1.8)$$

Для досягнення рівності  $I_1 = I_2$  повертають аналізатор на кут  $\psi$ , тому знаючи даний кут, можливо визначити відношення:

$$\frac{I_1}{I_2} = \operatorname{tg}^2 \psi = \beta, \quad (1.9)$$

та ступінь поляризації:

$$p = \frac{(\beta - 1)}{(\beta + 1)}, \quad (1.10)$$

Зазвичай шкала куту повороту проградуована в значеннях  $p$  [14]. Поворотом аналізатору порівнюють яскравості полів, що освітлюються пучками, які при виході з призми мають неоднакову інтенсивність.

Наступним варіантом є фотоелектричний поляриметр, що використовується для вимірювання лінійної поляризації. Він складається із:

- аналізатора, що обертається навколо оптичної осі поляриметра;

- фотоприймача.

У фотоелектричному поляриметри ступінь поляризації визначають відношенням амплітуд змінної складової струму приймача до постійної.

Для вимірювання ступеня кругової або циркулярної поляризації необхідно встановити перед поляриметром фазову пластинку чверть довжини хвилі.

Поляриметри знайшли своє застосування в дослідженнях структури та властивостей речовини.

## 1.5. Огляд систем на основі поляриметрів

### 1.5.1. Розробка поляризатора зображувального поляриметра на основі поляризаційних плівок

Даний прилад є макетом поляризатора на основі поляризаційних плівок, що може бути використаний у спектрометри-поляриметри, який заплановано використати у складі російсько-українського космічного експерименту «Планетний моніторинг» [15].

Автори в роботі пропонують концепцію оптичної системи зображувального поляриметра, яка надає можливість одночасно вимірювати в широкому полі три складові Стокса та без обмежень по відносному отвору системи. Дана схема окрім трьох складових Стокса дозволяє вимірювати всі компоненти вектора шляхом введення в сектори зіниці фазових пластин  $\lambda/2$  та  $\lambda/4$ .

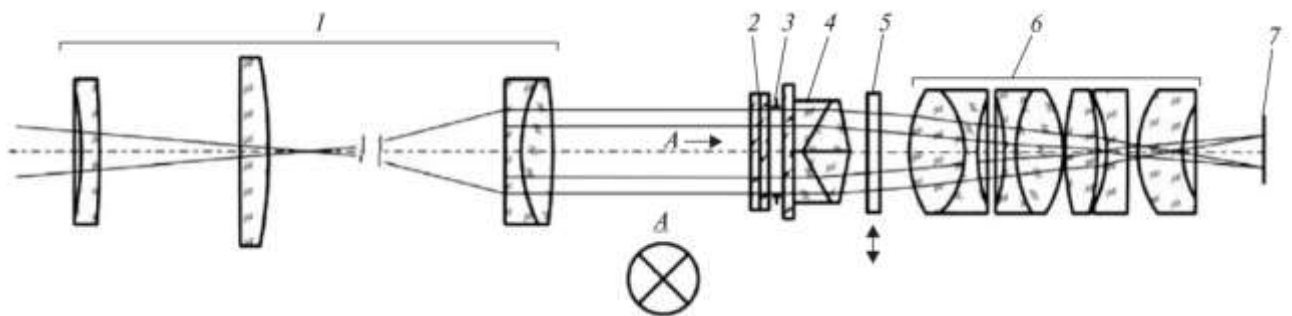


Рисунок 1.6 - Оптична схема зображувального поляриметра:

1 — коліматор, 2 — поляризатор, 3 — площина вихідної зіниці, 4 — система клинів для розведення зображень, 5 — змінні фільтри або дифракційна решітка,



6 — камерний об'єктив, 7 — приймач. А — вид на зіницю до встановлених по секторах чотирьох поляроїдних плівок.

Запропонована оптична система приладу складається із [15]:

- коліматора;
- поляризаційного елемента;
- системи розведення зображень;
- камерного об'єктива;
- приймача зображення;
- змінних фільтрів або дифракційної решітки.

Рисунок вище ілюструє схему із двома каналами (верхній та нижній).

**Поляризатор.** Для аналізу лінійної поляризації необхідно виконати чотири вимірювання інтенсивності випромінювання, що пройшло через лінійні поляризатори [15]:

$$\begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_0 + I_{90} \\ I_0 - I_{90} \\ I_{-45} - I_{+45} \end{pmatrix}, \quad (1.11)$$

де  $I_0$ ,  $I_{90}$ ,  $I_{45}$ ,  $I_{-45}$  — інтенсивності випромінювання з горизонтальною, вертикальною поляризацією та з поляризацією під кутом  $45^\circ$  і  $-45^\circ$ .

У запропонованому приладі авторами пропонується використовувати поляризатор, що містить в собі чотири плівкові поляризатори із кутами поляризації  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  (рисунок 1.6 та рисунок 1.7).

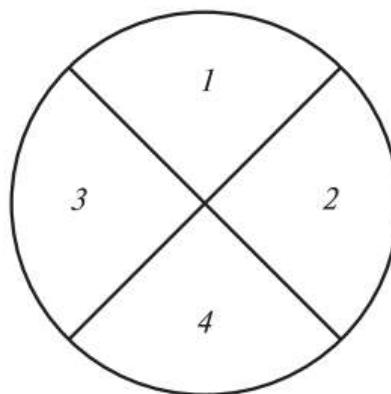


Рисунок 1.7 - Секторний поляризатор зображувального поляриметра.  
Орієнтації поляризаційних елементів: 1 —  $0^\circ$ , 2 —  $90^\circ$ , 3 —  $45^\circ$ , 4 —  $135^\circ$

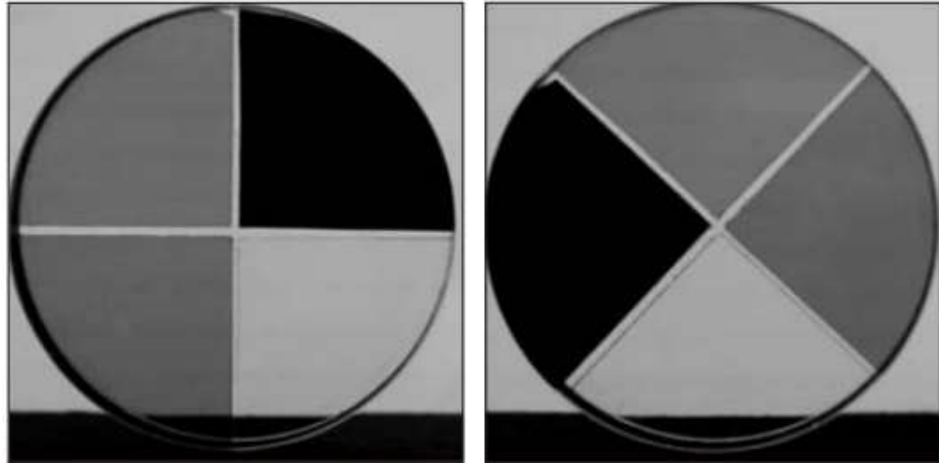


Рисунок 1.8 - Зображення поляроїда на основі поляризаційних плівок

Рисунок 1.8 показує зображення поляроїда. Ступінь затемнення сектору ілюструє роботу поляризаційного елемента:

- повне затемнення — вектор електромагнітного поля випромінювання та поляризаційна вісь поляроїда взаємно перпендикулярні;
- світлий сектор — вектор електромагнітного поля випромінювання та поляризаційна вісь поляроїда взаємно паралельні.

Аналіз поляризаційних характеристик плівок проводився у спектральному діапазоні 420...850 нм на стенді, що складався, за ходом променя в оптичній системі, із [15]:

- 1) джерело випромінювання;
- 2) модулятор світла;
- 3) монохроматор;
- 4) поляризаційна призма Глана;
- 5) поляризатор, що досліджується;
- 6) приймач випромінювання;
- 7) аналізатор сигналу.

Спектральна залежність остаточного пропускання при схрещеному положенні поляризаційної призми Глана (що була прийнята за еталон) та досліджуваного поляризатора. Перед початком досліджень поляризатора в хід променів була встановлена додаткова призма Глана для перевірки достовірності

даних, одержаних за допомогою стенду. Як показано на діаграмі, в схрещених призмах Глана коефіцієнт пропускання становить менше 0.1 % [15].

Також результати досліджень показали, що присутні відмінності між заявленими характеристиками виробником поляризаційних плівок та результатами, одержаних під час вимірювань. Головним чином це стосується короткохвильової частини спектру (див. рис.1.9).

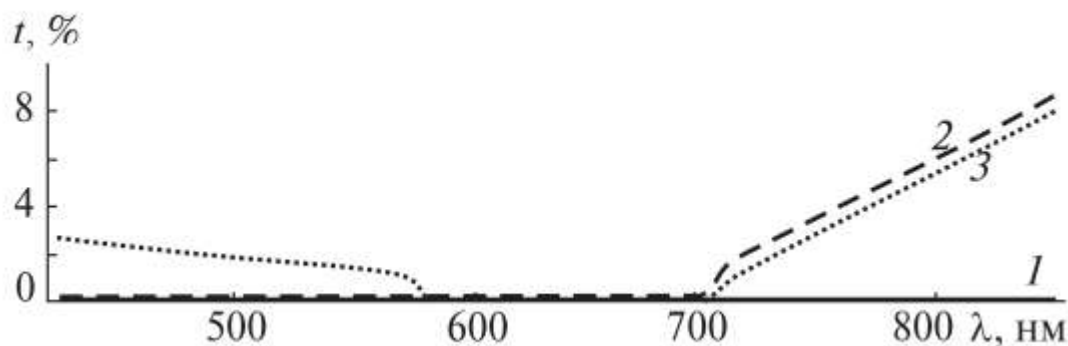


Рисунок 1.9 - Характеристики спектральної залежності коефіцієнта пропускання двох лінійних поляризаторів при розташуванні їхніх оптичних осей під кутом 90°: 1 — дві призми Глана, досліджені на стенді, 2 — дві поляризаційні плівки (за даними виробника), 3 — сектор виготовленого в ГАО НАН України складеного поляризатора та призма Глана

Висновком даної роботи є розроблений поляризатор на основі поляроїдних плівок, що може використовуватися в зображувальних поляриметрах з великими полями зору та в широкому спектральному діапазоні. Однак при дослідженнях його характеристик виявлено значні відхилення реальних параметрів поляроїдних плівок від аносованих виробником. Дані відхилення мають бути аналізовані для усунення або компенсації до прийнятних величин. Для цього розроблений випробувальний стенд має бути дороблений з метою збільшення його чутливості [15].

### 1.5.2. Мультиспектральний іміджер-поляриметр космічного проекту «АЕРОЗОЛЬ-UA»

Оскільки аерозолі в атмосфері Землі є найменш вивченим компонентом, то результатом є невизначеність в оцінці на радіаційний баланс планети. Інформація про розподіл аерозолів майже відсутня. Тому тестування і

поліпшення моделей переносу аерозолів в атмосфері, антропогенний вплив на клімат довкілля є вкрай ускладненим [16].

Нас буде цікавити оптична схема даного мультиспектрального іміджер-поляриметра (далі МСП).

Інтенсивність зображення досліджуваного об'єкта у поляризованому випромінюванні є найінформативнішою із використанням засобів зображувальної Стокс поляриметрії. Оскільки ці параметри не вимірюються безпосередньо, їх обчислюють за допомогою системи нижче [16]:

$$S(x, y) = \begin{bmatrix} S_0(x, y) \\ S_1(x, y) \\ S_2(x, y) \\ S_3(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0(x, y) + I_{90}(x, y) \\ I_0(x, y) - I_{90}(x, y) \\ I_{45}(x, y) - I_{135}(x, y) \\ I_{RS}(x, y) - I_{LS}(x, y) \end{bmatrix}, \quad (1.12)$$

де  $I_0, I_{90}, I_{45}, I_{135}$  — інтенсивність випромінювання із вертикальною, горизонтальною поляризацією із поляризацією під кутами  $45^\circ$  та  $-45^\circ$ , вимірюються за допомогою лінійних поляризаторів.

$I_{RS}, I_{LS}$  — поляризація, право- та лівоциркулярна, що вимірюється фотометричним методом, вимірюються за допомогою чвертьхвильової пластинки та лінійного аналізатора.

$S_0 \dots S_3 = (I, Q, U, V)$  кут лінійної поляризації AOLP та ступінь лінійної поляризації DOLP розраховують наступним чином [16]:

$$\begin{aligned} DOLP &= p(q^2 + u^2)^{\frac{1}{2}}, \\ AOLP &= v = 0.5 \arctg\left(\frac{u}{q}\right), \end{aligned} \quad (1.13)$$

де  $q = Q/I$  та  $u = U/I$  — нормалізовані параметри Стокса вхідного випромінювання.

Поляриметрия дозволяє одночасно визначати параметри вектора Стокса (SFSIP — Snapshot full-Stokes imaging polarimetry) для більшості рухомих та нерухомих об'єктів спостережень (поверхня Землі, атмосфера).

Дана робота пропонує поляриметр в якому модулюються просторові варіації стану поляризації за допомогою чотирьох або більше субапертур з різними поляриметричними конфігураціями модуляцій, що дозволяє одночасно визначати три параметри вектора Стокса.

У склад МСП входить п'ять оптичних каналів, три – поляризаційні, два фотометричні [16].

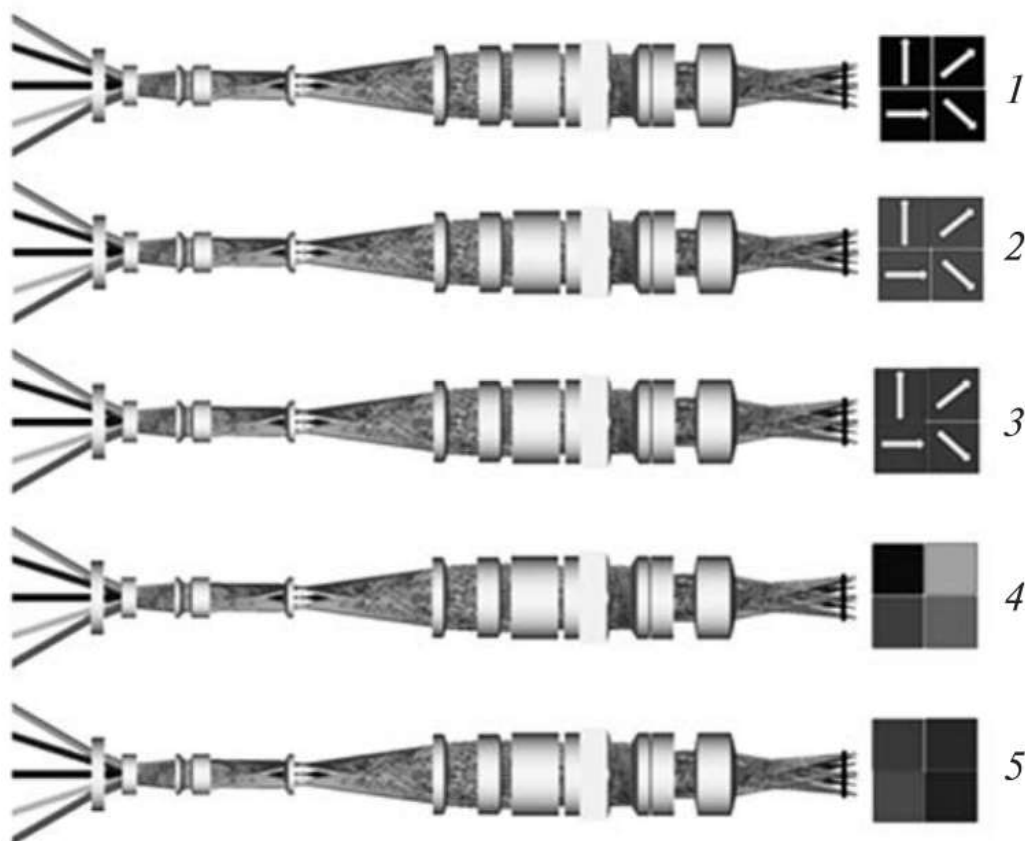


Рисунок 1.10 - Схематичне представлення каналів МСП та принцип побудови зображень: 1 — поляризаційний канал ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ), довжина хвилі 410 нм, півширина 20 нм, 2 — поляризаційний канал ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ), довжина хвилі 555 нм, 3 — поляризаційний канал ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ), довжина хвилі 865 нм, 4 — фотометричний канал с довжинами хвиль 410, 443, 470, 490 нм, 5 — фотометричний канал с довжинами хвиль 555, 670, 865, 910 нм

Рисунок вище ілюструє схематичне зображення каналів та принци їхньої роботи, побудова зображення у фокальній площині поляриметра. З точки зору фотометрії всі канали МСП поділено на дві групи (камери, що використовуються є подібними):

- короткохвильові, довжина хвилі складає 400-500 нм;
- довгохвильові, довжина хвилі складає 500-920 нм.

В кожен оптичний канал входять:

- ширококутний вхідний об'єктив, що відповідає за формування заданого поля зору на польовій діафрагмі;
- коліматор, для формування системи паралельних променів для проходження блоку «поляроїд — фільтр — призми»;
- композитний поляризаційний елемент, для розділення на чотири сегменти зіницю;
- фільтр, який виділяє робочу довжини хвилі каналу;
- ахроматичні призми, розведення чотирьох зображень поля зору;
- камерний об'єктив, що формує зображення поля зору.

Склад кожної оптичної системи доповнюється складовим спектральним фільтром, для розділення на чотири сегменти вихідну зіницю [16].

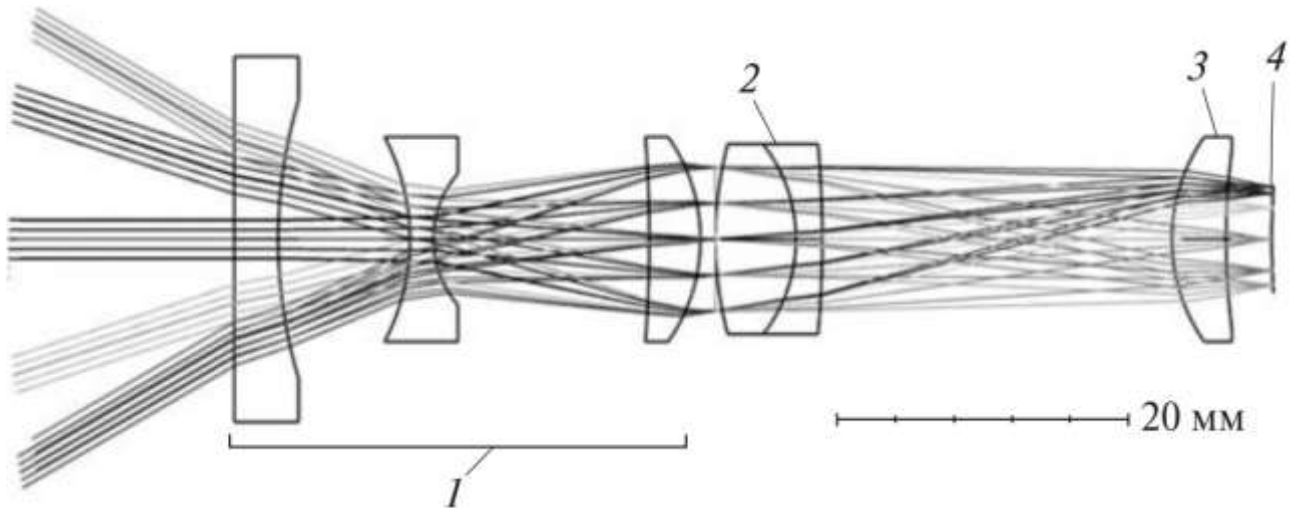


Рисунок 1.11 - Ширококутний вхідний об'єктив:

1 — система Галілея, 2 — об'єктив, 3 — колектив, 4 — діафрагма поля зору

Вхідна частина каналів у МСП (див. рисунок вище) є класичною схемою ширококутного інтервального телефотооб'єктива та містить в собі:

- обернена система Галілея для розширення поля зору та формування негативної кривизни поля системи;
- об'єктив з апертурною діафрагмою.

У системі значної довжини (розсунутими компонентами) обидва хроматизми положення та збільшення можуть бути виправлені за умови корекції всіх компонентів, що значно ускладнює систему.

МСП здійснює не повну корекцію хроматизму, оскільки працює у вузьких спектральних каналах.

Для аналізу лінійної поляризації потрібно провести чотири вимірювання інтенсивності випромінювання, що пройшли через аналізатор, згідно формули 1.6. Варіантами реалізації аналізатору є:

- використання пари двопробових поляризаційних призм Волластона. В цих призмах оптичні осі розміщені під кутом  $45^\circ$  і заповнюють сектори 1—2 та 3—4 відповідно, при цьому мають ефективність близько 100%. Власна дисперсія цих призм вимагає введення додаткових компенсаційних клинів [16]. Не ідентичність зображення є наслідком дисперсії призми, оскільки вона є різною для двох ортогональних напрямків поширення світла;
- використання поляризаційних тонких плівок. Порівнюючи із призмами Волластона плівки мають гірший коефіцієнт пропускання (зменшення до 47 % коли йде мова про діапазон 420 - 800 нм).

При оцінюванні плівок та призм Волластона, плівки мають перевагу:

- менша товщина плівки;
- при широкому полі зору і врахуванні віньєтування косих польових променів на межі дотику призм плівки є кращими.

Автори роботи пропонують схему, що включає в себе секторний поляризатор (див. рис. 1.7 та 1.8), він поділено на позиційні кути  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  і  $135^\circ$  [15,16]. Даний секторний поляризатор встановлюється поблизу вихідної зіниці оптичного каналу МСП. Робота поляризаційного елемента зумовлена ступенем затемнення сектору [16]:

- темний сектор – вектор електромагнітного поля випромінювання та поляризаційна вісь є взаємно перпендикулярними;
- світлий сектор – вектор електромагнітного поля випромінювання та поляризаційна вісь є взаємно паралельними.

## Конструкція оптичного каналу МСП

Усі оптичні схеми канали поляриметра МСП є уніфіковані, як короткохвильових так і довгохвильових діапазонів, проте є різниця у дистанції між лінзами.

Аналізуючи рисунок 1.12 поляриметр МСП, бачимо, що конструктивно поляриметр є сукупністю вузлів, що з'єднано фланцями. Габарити одного каналу: : довжина — 302 мм, найбільший діаметр — 86 мм (фланець камери), сумарна маса усіх п'яти каналів — 4 кг [16].

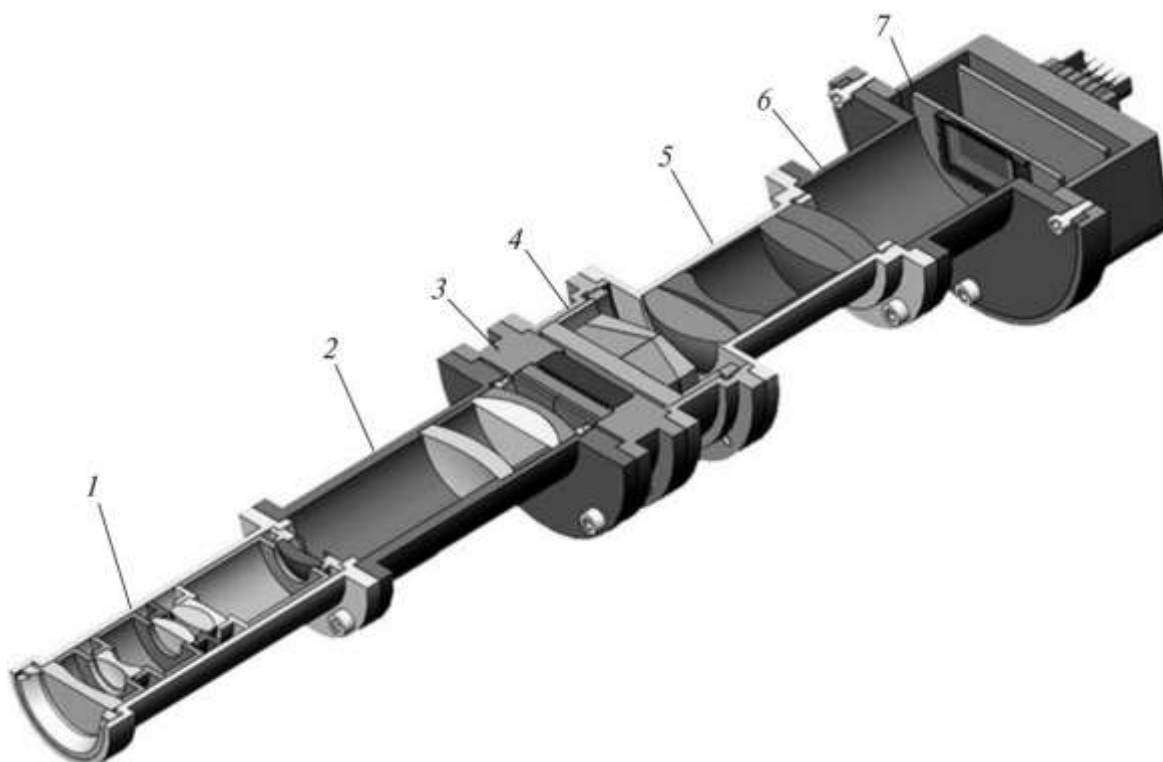


Рисунок 1.12 Вигляд оптичного каналу мультиспектрального іміджера-поляриметра (канал 555 нм) у розрізі: 1 — вхідний об'єктив, 2 — коліматор, 3 — поляризатор та фільтр, 4 — блок клинів, 5 — камерний об'єктив, 6 — проміжний фланець, 7 — ПЗЗ-камера



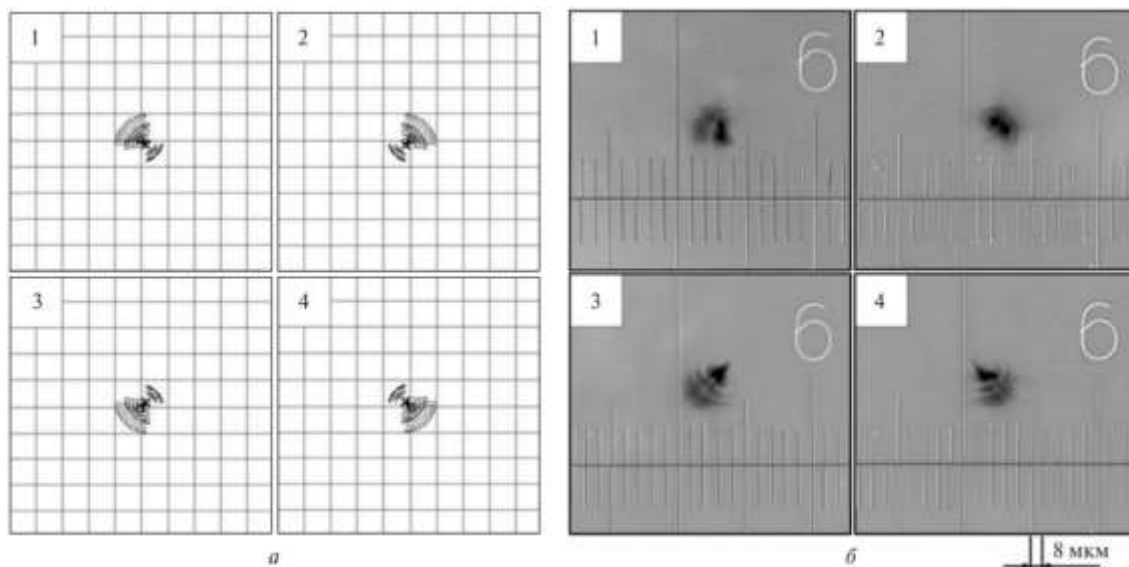


Рисунок 1.13 Теоретичні (а) та реальні (б) плями розсіювання осьової точки для кожного із чотирьох (1, 2, 3, 4) субканалів оптичного каналу 555 нм. Одна поділка на шкалі відповідає розміру 8 мкм

Згідно розробленої конструкції, авторами було виготовлено один спектральний канал, що пройшов необхідні етапи перевірки основних характеристик:

- якість плями розсіювання для кута поля зору  $0^\circ$  (осьова точка);
- правильність розташування зображень на приймачі випромінювання та відсутність накладень зображень, що формуються суміжними каналами;
- загальна якість зображення по полю зору [16].

Плями розсіювання кожного із 4-х субканалів поляриметричного каналу 555 нм ілюструє рисунок 1.13. Плями розсіювання є асиметричними, що говорить авторам, про те ще пляма для кожного субканалу сформувалась за допомогою  $1/4$  зіниці.

Розрахункова пляма розсіювання складає 28 мкм, за умови концентрації енергії 90 %. Реальні розміри плями не перевищують 30 мкм (рисунок 1. 13 б). Для досліджень каналу МСІП автори використовували камеру SBIG STL-1301E [16]. Під час дослідження периферійних зон зображення авторами було виявлено, що накладення сусідніх зображень немає

Висновками роботи є результати розробки мультиспектрального іміджера-поляриметра МСП призначеного для дослідження мікрофізичних характеристик аерозолі в атмосфері в рамках космічного проекту «Аерозоль-УА». МСП складається із п'яти оптичних блоків: три поляризаційні блоки, два — фотометричні. Авторами роботи було проведено розрахунок та оптимізацію кожної із оптичних схем та моделювання механічної конструкції поляриметра.

Також автори запропонували власну концепцію схеми МСП: принцип поділу вхідного зображення на чотири квазіідентичні вторинні зображення, що дозволяє уніфікувати оптичну схему каналів поляриметра. Даний підхід дозволяє трансформувати поляризаційний канал у фотометричний із 4-ма субканалами, що працює із різними спектральними діапазонами, що виконується заміною секторного поляризатора на секторний фільтр.

Перші результати досліджень, що проводились авторами показали збіг теоретичних розрахунків із експериментальними дослідження оптичної схеми каналів МСП.

## 2. Розробка структурної та принципової схеми мікрополяриметра

Для розробки структурної та принципової схеми мікрополяриметра, необхідно ознайомитись із існуючими, що були розглянуті в роботі [17].

### 2.1. Стокс-поляриметр класичного типу

В даному типі використовується фазова пластинка [17]:

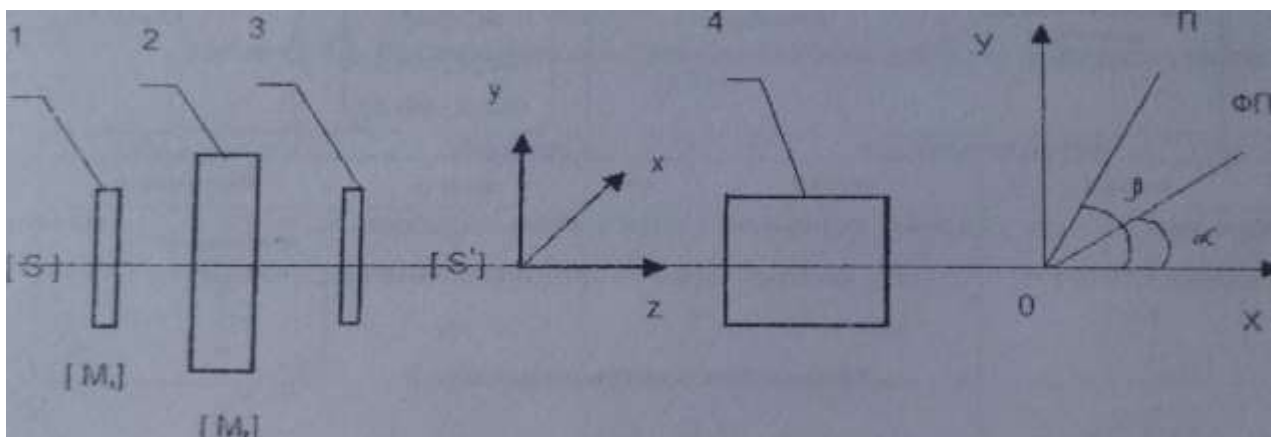


Рисунок 2.1 - Структурна схема стокс-поляриметра

Рисунок 2.1 ілюструє структурну схему стокс-поляриметра, що складається із:

- фазової пластинки (1);
- поляризатор (2);
- інтерференційний світлофільтр (3);
- фотоприймач (4);
- азимут маркерної осі ФП ( $\alpha$ );
- азимут площини найкращого пропускання поляризатора ( $\beta$ ).

Пристрій, що було зібрано за цією схемою працював у спектральному діапазоні (200 – 600 нм). Даний пристрій використовувався для виміру параметрів Стокса для частково поляризованого потоку світла [17].

Математичне рівняння для даної схеми буде наступним:

$$[S'] = [M_2][M_1][S], \quad (2.1)$$

де  $[M_1]$  – матриця фазової пластинки з азимутом  $\beta$ ;

$[M_2]$  – матриця поляризатора, що встановлюється у стокс-поляриметр, із азимутом  $\alpha$ .

$$\begin{pmatrix} S' \\ S' \\ S' \\ S' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1; & \cos 2\beta; & \sin 2\beta; & 0; \\ \cos 2\beta; & \cos^2 2\beta; & \sin 2\beta \cos 2\beta; & 0; \\ \sin 2\beta; & \sin 2\beta \cos 2\beta; & \sin^2 2\beta; & 0; \\ 0; & 0; & 0; & 0; \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1; & 0; & 0; & 0; \\ 0; & \cos^2 2\alpha + \sin 2\beta \cos \delta; & \sin 2\alpha \cos 2\alpha (1 - \cos \delta); & -\sin 2\alpha \sin \delta; \\ 0; & \sin 2\alpha \cos 2\alpha (1 - \cos \delta); & \sin^2 \alpha + \cos^2 2\alpha \cos \delta; & \cos 2\alpha \sin \delta; \\ 1; & \sin 2\alpha \sin \delta; & -\cos 2\alpha \sin \delta; & \cos \delta; \end{pmatrix}^*$$

$$* \begin{pmatrix} S' \\ S' \\ S' \\ S' \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

де  $\delta$  – фазовий зсув, що вноситься фазовою пластинкою.

Формула 2.2 є розгорнутим виразом 2.1. Інтенсивність випромінювання на вході поляризатора (2) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} I(\alpha, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \{ & S_1 + (S_2 \cos 2\alpha + S_3 \sin 2\alpha) \cos 2\beta - (\alpha - \beta) + \\ & + (S_3 \cos 2\alpha - S_2 \sin 2\alpha) \cos \delta + S_4 \sin 2(\alpha + \beta) \}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

Аналізуючи вираз 2.3, приходимо до висновку, що параметри Стокса можливо визначити за змінною інтенсивності випромінювання  $I(\alpha, \beta, \delta)$ . При обертанні пластинки та поляризатора із різними швидкостями  $\omega_1$  та  $\omega_2$  члени рівняння 2.3 різну частотну залежність для поляризатора та фазову залежність для фазової пластинки [17].

Підставимо  $\alpha = 0$  у формулу 2.3:

$$I(\beta, \delta) = \frac{1}{2} \{ S_1 + S_2 \cos 2\beta - (S_3 \cos \delta + S_4 \sin \delta) \sin 2\beta \}, \quad (2.4)$$

Підставимо  $\beta = 0$  у формулу 2.3:

$$\begin{aligned} I(\alpha, \delta) = \frac{1}{2} \{ & S_1 + S_2 (\cos^2 2\alpha + \sin^2 2\alpha \cos \delta) + S_3 \cos 2\alpha \sin 2\alpha (1 - \cos \delta) - \\ & - S_4 \sin 2\alpha \sin \delta, \end{aligned} \quad (2.5)$$

## 2.2. Стокс-поляриметр із фазовою пластинкою, обертається

За схемою, що представлена нижче, був реалізований електронний стокс поляриметр «Таймир», використовується для вимірювання 4-х Стокс параметрів поляризаційного світла [17].

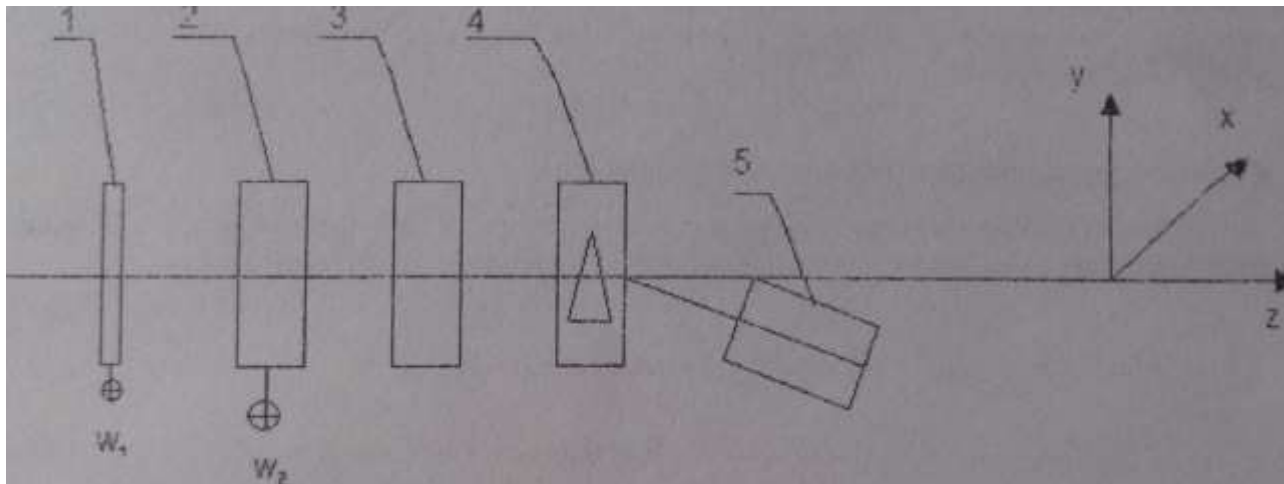


Рисунок 2.2 - Структурна схема стокс-поляриметра із фазовою пластинкою, обертається

Представлена схема складається із:

- фазова пластинка, що здійснює оберти із швидкістю  $\omega_1$  (1);
- поляризатор (2);
- нерухомий аналізатор (3);
- монохроматор (4);
- фотопомножувач (5).

Конструктивною особливістю даного стокс-поляриметра є нерухомий аналізатор. Це зумовлено наступним:

- фіксація площини поляризації падаючого на фотопомножувач;
- запобігання негативної модуляції, що виникає в наслідок реакції фотопомножувача при змінах поляризації.

Інтенсивність випромінювання, що аналізується на вході поляризатора [17]:

$$I = \frac{1}{2} [1 - \cos 2(\omega_2 t + \alpha_2)] [S_1 + (S_2 \cos 2(\omega_1 t + \alpha_1) + (S_3 \sin 2(\omega_1 t + \alpha_1) * \cos 2[(\omega_1 - \omega_2)t + (\alpha_1 - \alpha_2)] + [S_2 \sin 2(\omega_1 t + \alpha_1) - S_3 \cos 2(\omega_1 t + \alpha_1)] * \cos \delta - S_4 \sin \delta) \sin 2[(\omega_1 - \omega_2)t + (\alpha_1 - \alpha_2)], \quad (2.6)$$

де  $\omega_1$  та  $\omega_2$  – кутові швидкості обертання фазової пластинки та поляризатора, відповідно;

$\alpha_1$  та  $\alpha_2$  – початково встановлені азимути фазової пластинки та поляризатора;

$\delta$  – фазовий зсув, що вноситься фазовою пластиною.

Аналізуючи вираз 2.6. приходимо до висновку, що є можливим виділити із складного сигналу  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  та  $(\omega_1 - \omega_2)$ , що містять в собі інформацію про складові вектора Стокса.

Розглянутий поляриметр є пасивним перетворювачем поляризації, оскільки в його складі є фазові пластинки мають наступні особливості:

- обмеження швидкодії;
- не можливість у реальному масштабі часу аналізувати швидкісні процеси.

Проте, застосування активних перетворювачів, а саме електро- та магнітооптичних долає вище зазначені недоліки систем [17].

### 2.3. Стокс-поляриметр на основі двох електрооптичних кристалів

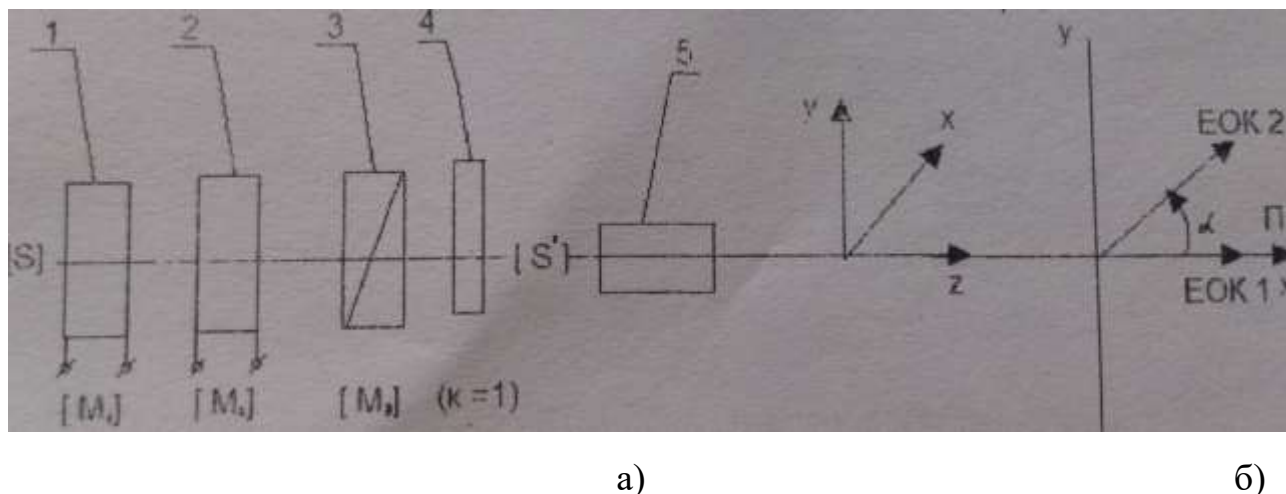


Рисунок 2.3 - Структурна схема стокс-поляриметра на основі двох електрооптичних кристалів

В основі даного поляриметра лежить використання двох електрооптичних кристалів (далі ЕОК) (1) та (2), що встановлюються перед поляризатором (3), інтерференційним фільтром (4) та фотопомножувачем (5). Дана схема

використовує перетворення фази на основі ЕОК з подовженим ефектом Поккельса [17].

Рисунок 2.3 б ілюструє осі поляризатора та ЕОК де значення  $\alpha_1 = 0$ ;  $\alpha_2 = 45^\circ$ ;  $\beta = 0$ . Різниця фаз між ортогонально поляризованими складовими у ЕОК визначається:

$$\delta = \frac{2\pi n_0^3 r_{63}}{\lambda}, \quad (2.7)$$

де  $n_0$  – показник заломлення матеріалу кристалу для звичайної хвилі;

$r_{63}$  – компонента тензора діелектричного проникнення;

$\lambda$  – довжина хвилі у вакуумі.

В такому випадку на вході фотопомножувача буде наступний результат:

$$[S'] = [M_3][M_2][M_1][S], \quad (2.8)$$

у свою чергу, це відповідає інтенсивності на виході поляризатора:

$$I = \frac{1}{2} \{ (k_1 + k_2)S_1 + (k_1 - k_2)[S_2 \cos \delta_1 + (S_3 \sin \delta_1 + S_4 \cos \delta_1)] \sin \delta_2 \}, \quad (2.9)$$

де  $\delta_1, \delta_2$  – фазові зсуви між ортогональними складовими (відносяться до ЕОК 1 та ЕОК 2);

$k_1$  та  $k_2$  – максимальний та відповідно мінімальний коефіцієнт пропускання поляризатора.

Аналізуючи рівняння 2.3 приходимо до висновку, що на вході фотоелектричного перетворювача присутня постійна та змінна складові, що містять повну інформацію про вектор Стокса.

Фазові модулятори, що засновані на подовженому ефекті Поккельса має переваги, хоча для колімованого пучка випромінювання, що проходить через фазові модулятори необхідно більше поглинання в УФ діапазоні.

Недоліками фазових модуляторів, що засновані на подовженому ефекті Поккельса є необхідність живлення напругою 1200 В [17].

## 2.4 Стокс-поляриметр на основі магніто-оптичної модуляції

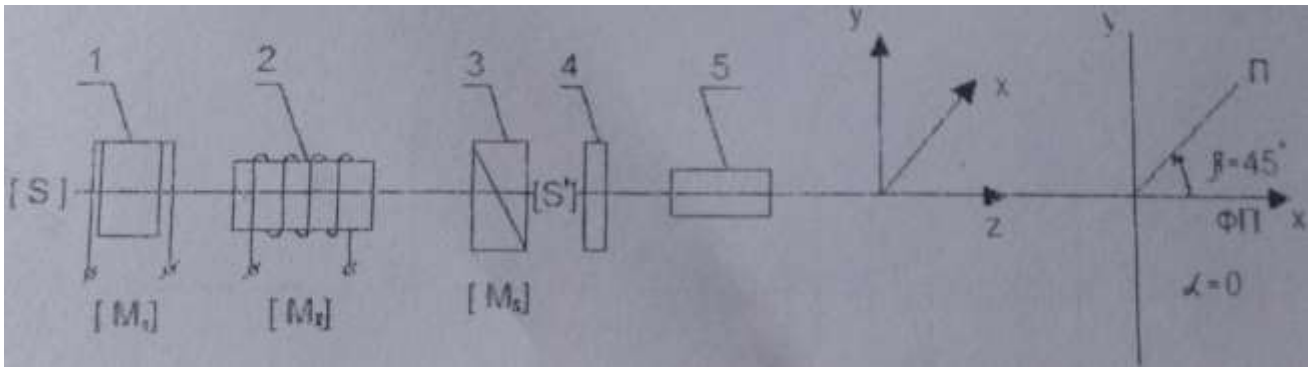


Рисунок 2.4 - Структурна схема стокс-поляриметра на основі магніто-оптичної модуляції

У даного поляриметра модуляція здійснюється за допомогою клітинки Фарадея, що характеризується матрицею обертання. Даний мікрополяриметр складається із [17]:

- електрооптичний кристал (1);
- клітинка Фарадея (2);
- поляризатор (3);
- інтерференційний фільтр (4);
- фотопомножувач (5).

Вираз для інтенсивності випромінення на виході поляризатора (3) буде наступним:

$$I = \frac{1}{2} [S_1 + (S_2 \cos 2\varphi - S_3 \sin 2\varphi) \cos 2\delta + S_4 \sin \delta]. \quad (2.10)$$

За умови, що азимут поляризатора дорівнює  $\beta = 45^\circ$ , а  $\alpha = 0^\circ$ , то за умови повороту клітинки Фарадея на кут [17]:

$$\varphi = RHL, \quad (2.11)$$

де  $R$  – постійна Верде;

$H$  – напруженість магнітного поля;

$L$  – товщина магнітно-оптичного скла клітинки Фарадея.



## 2.5. Акусто-оптичний стокс-поляриметр на основі магніто-оптичної модуляції

Деяку популярність знайшли фотопружні фазові перетворювачі, їх ще називають акустооптичними. Їх принцип дії засновано на механічному навантаженні, що дозволяє отримати двозаломлення звичайними ізотропними матеріалами. Використовують механічні коливання на основній частоті пластин із плавкого кварцу, що збуджуються за допомогою стоячих акустичних хвиль. Різниця фаз, що вноситься механічним напруження представлена нижче [17]:

$$\delta = \frac{\pi d}{\lambda} n_o^3 \sigma A_o \cos kz \cos \omega, \quad (2.12)$$

де  $d$  – товщина робочого елемента перетворювача;

$\lambda$  – довжина хвилі випромінювання, що проходить через елемент;

$n_o$  – показник заломлення матеріалу робочого елемента за відсутності деформації;

$\sigma$  – ефективний пружньооптичний коефіцієнт;

$A_n$  – амплітуда акустичної хвилі поширення вздовж осі  $OZ$ ;

$k$  – хвильовий вектор акустичної хвилі;

$\omega$  – частота коливання акустичної хвилі.

Схема, що зображена на рисунку нижче, містить:

- робочий фотопружний елемент брусок плавленого кварцу (1);
- поляризатор (2);
- інтерференційний фільтр (3);
- фотопомножувач (4).

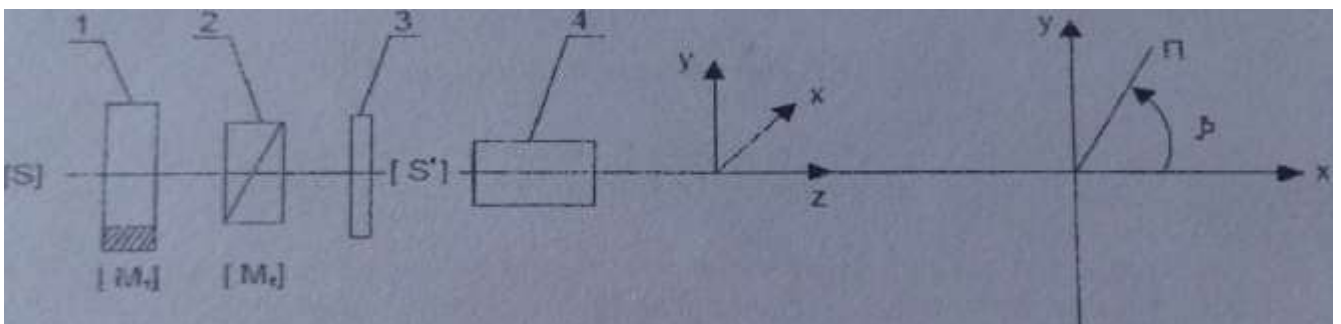


Рисунок 2.5 - Структурна схема стокс-поляриметра на основі магніто-оптичної модуляції

Під час взаємодії акустичної хвилі із робочим елементом виникає різниця фаз, що описується рівнянням нижче:

$$\delta = \Delta + \delta_0 \sin \omega t, \quad (2.13)$$

де  $\Delta$  – залишкове двопрореневе заломлення;

$\delta_0$  – максимальне значення різниці фаз.

В свою чергу інтенсивність на виході інтерференційного фільтру 3 описується формулою нижче [17]:

$$I = \frac{1}{2} \{ S_1 + S_2 \cos 2\beta + \sin 2\beta [(S_3 \cos \Delta + S_4 \sin \Delta) I_0(\delta_0) + \\ + 2 \sum_{m=1}^{\infty} I_{2m}(\delta_0) \cos 2\omega m t + S_4 \cos \Delta + S_3 \sin \Delta] * \\ * (2 \sum_{m=1}^{\infty} I_{2m+1}(\delta_0) \sin(2m + 1) m t) \}, \quad (2.14)$$

де  $I_0(\delta_0), I_{2m}(\delta_0), I_{2m+1}(\delta_0)$  – функція Бесселя нульового та  $m$ -го порядків;  
 $\beta$  – вісь азимуту максимального пропускання поляризатора.

## 2.6. Структурна та принципова схеми мікрополяриметра

Після ознайомлення із схемами поляриметрів, що були представлені у джерелі [17], переходимо до наступного кроку, створення структурної та принципової схем мікрополяриметра.

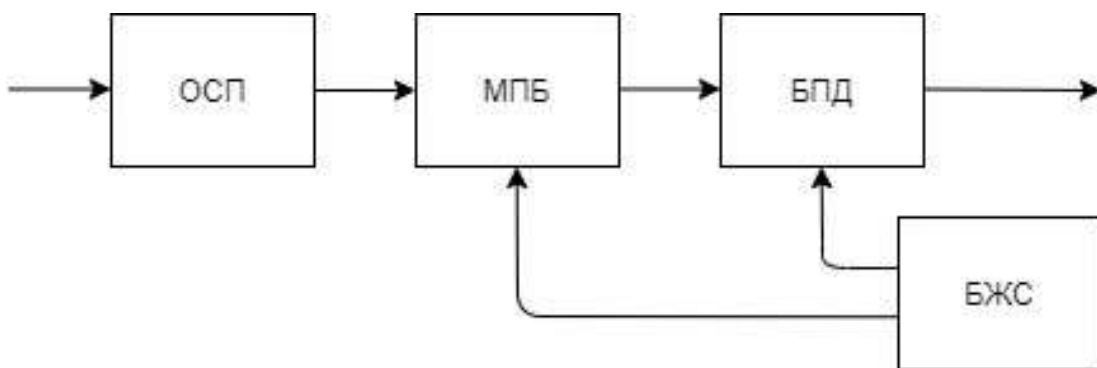


Рисунок 2.6 - Структурна схема мікрополяриметра

Автором в даній роботі пропонується структурна схема мікрополяриметра, що складається із наступних компонентів:

- ОСП – оптична система поляриметра;
- МПБ – мікропроцесорний блок мікрополяриметра;

- БПД – блок передачі даних;
- БЖС – блок живлення системи.

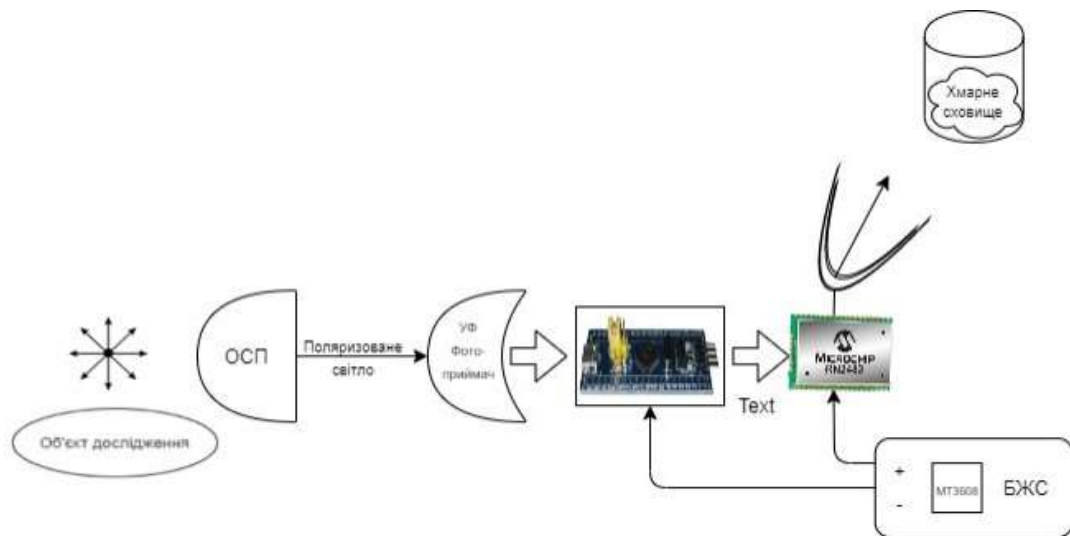


Рисунок 2.7 - Принципова схема мікрополяриметра

### 2.6.1. Оптична система поляриметра

Аналізуючи схеми поляриметрів, що описувались у [17] автор пропонує використати схему на основі магніто-оптичної модуляції для оптичної системи поляриметра (далі ОСП):

- електрооптичний кристал;
- клітинка Фарадея;
- поляризатор;
- інтерференційний фільтр;
- фотопомножувач.

### 2.6.2. Мікропроцесорний блок мікрополяриметра

Головним елементом в мікропроцесорному блоці мікрополяриметра (далі МПД) є ультрафіолетовий фотоприймач, до нього висувались наступні вимоги:

- вбудований підсилювач;
- довжина хвилі 280-380 нм.

МПД, автором в даній роботі, пропонується створити на базі широкосмугового УФ фотоприймача TOCON\_ABC1 на основі SiC із вбудованим

підсилювачем. Даний фотоприймач було вибрано оскільки, він повністю відповідає висунутим вимогам.



Рисунок 2.8 - Ультрафіолетовий фотоприймач TOCON\_ABC1 [18]

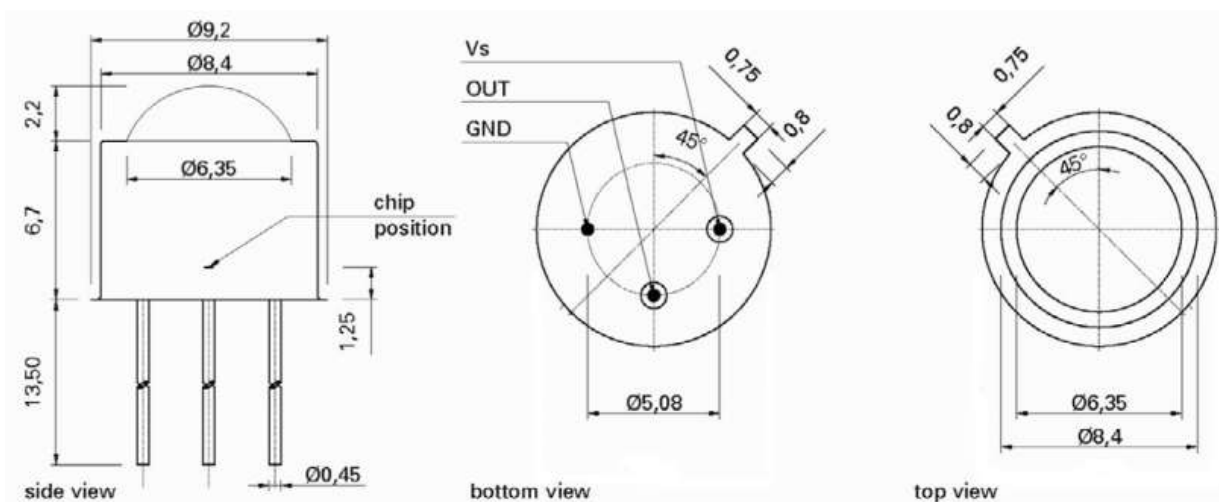


Рисунок 2.9 - Розміри фотоприймача TOCON\_ABC1 [18]

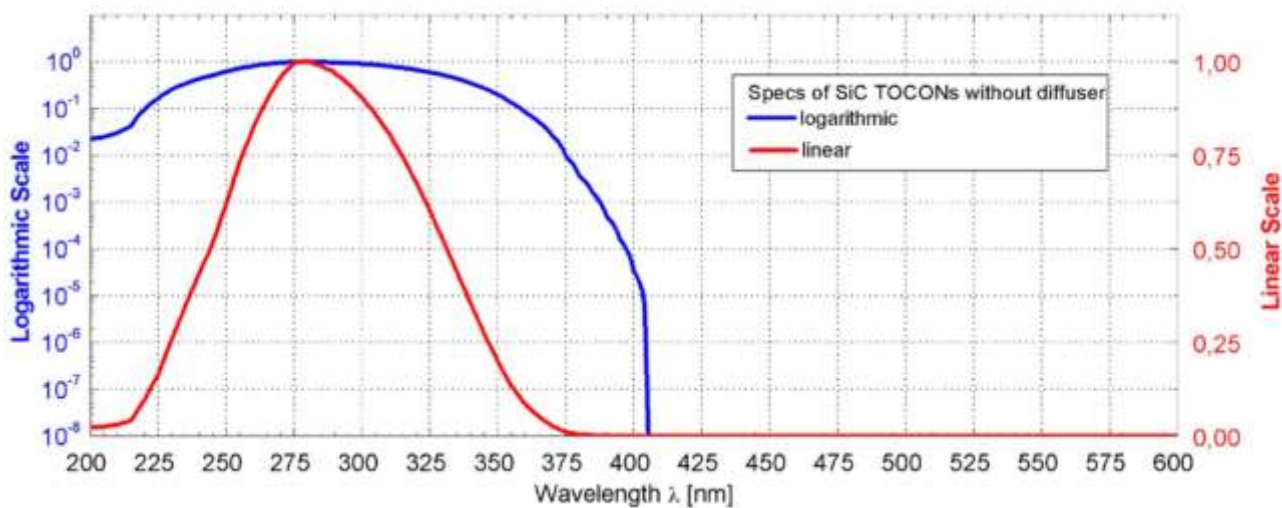


Рисунок 2.10 - Спектральна характеристика TOCON\_ABC1



Рисунок 2.11 - Плата на базі мікроконтролера STM32

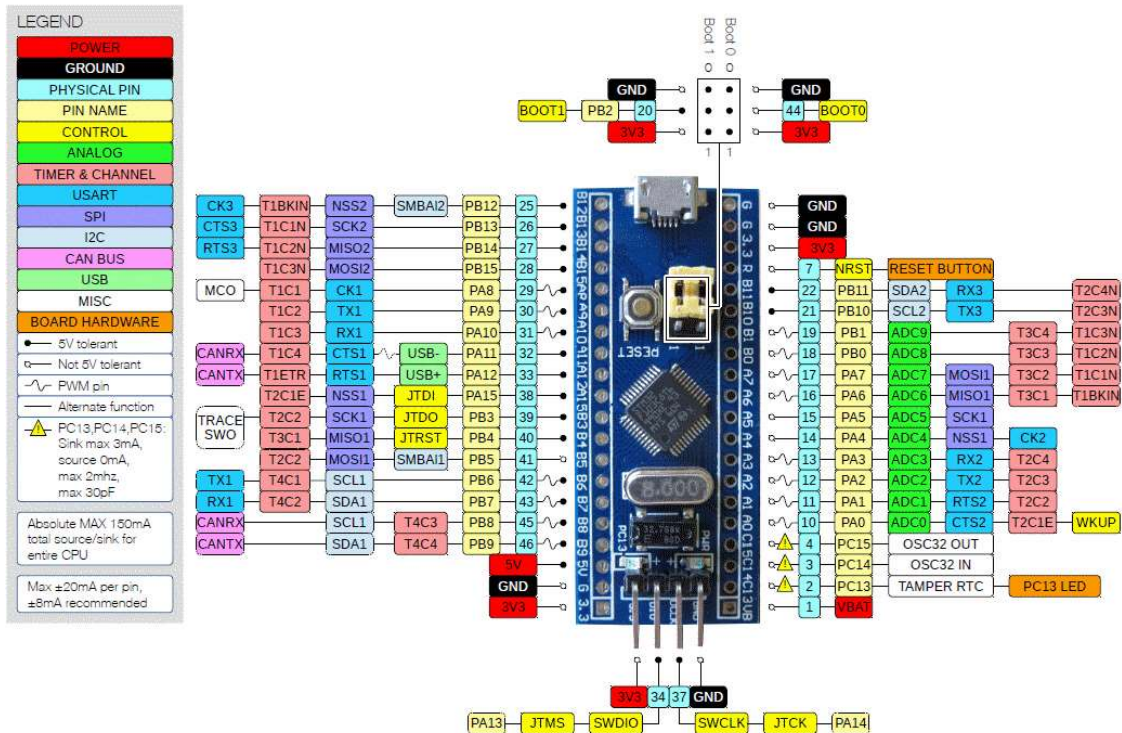


Рисунок 2.12 - Розпіновка плати

Згідно даташиту на даний фотоприймач [18], для роботи він потребує:

- 2.5В – 5В напруги;
- струм споживання складає 150µа.

Сигнал, що надходить від фотоприймача необхідно обробити. Для цієї ролі необхідно пропонується вибрати плату на основі мікроконтролера STM32 [19].

Серед його особливостей можна виділити:

- два вбудованих аналогово-цифрових перетворювача (далі АЦП);
- об'єм Flash пам'яті 64/128 кБайт;
- операційно запам'ятовуючий пристрій (далі ОЗП) 20 кБайт;
- розрядність 32 біт;

- напруга живлення 5В;
- струм споживання 50 мА.

### 2.6.3. Блок передачі даних

За задумом автора, блок передачі даних (далі БПД) є частиною світу інтернет речей та доповнює можливості МПД. Завдання, що виконує МПД є:

- прийом інформації;
- обробка та зберігання обробленої інформації у пам'яті, для цього можливо використовувати, як ОЗП, так і постійно запам'ятовуючий пристрій (далі ПЗП);
- встановлення каналу зв'язку із хмарним сховищем або персональним комп'ютером;
- видавати дозволяючу команду на відправку даних.

В свою чергу, БПД відправляє отримані дані та за необхідності, наприклад оновлення програмного забезпечення (далі ПЗ) мікроконтролера (далі МК), здійснює прийом інформації із сервера. Для БПД автором розглядаються наступні протоколи передачі даних, що на сьогодні знаходять своє застосування у інтернет речей (далі ІОТ) [20]:

- W-mBus;
- ZigBee;
- LoRAWAN;
- Wi-Fi;
- Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy).

Розглянемо детальніше кожен протокол передачі даних:

#### **W-mBus**

Meter-Bus, перш за все, є стандартом для віддаленого зчитування показників газо- та електролічильників. В свою чергу W-mBus є бездротовим варіантом даного стандарту, та описується стандартом EN 13757-4 [21].

Особливостями такого протоколу передачі даних є [22]:

- Гнучкість:

- Робота у діапазонах 868 – 870 МГц, що визначається стандартом EN 13757-4;
- Робота на частотах 169 або 433 МГц, якщо такі частоти дозволяються нормативними актами місцевості, де передбачається розгортання мережі.
- Швидкість передачі даних від 2.4 кбіт до 100 кбіт. Швидкість залежить від режиму роботи та частоти.
- Діапазон:
  - 500 метрів за умови роботи на частоті 868 МГц;
  - 2 000 метрів – на частоті 169 МГц;
- Забезпечення тривалого часу служби приладу від акумулятора;
- Підтримка одно- або дво-направленого зв'язку;
- Архітектура мережі є зірка із використанням додаткових ретрансляторів.

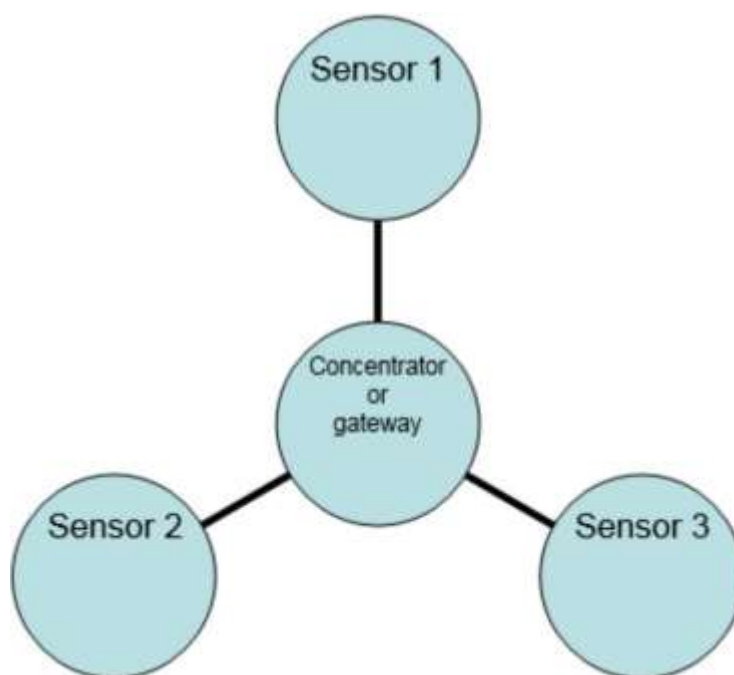


Рисунок 2.13 - Мережа W-mBus

Також даний протокол можна використовувати для основи БПД, оскільки кожен мікрополіариметр можна представити сенсором, що передає інформацію на концентратор.

## ZigBee

Даний протокол, як W-mBus, відноситься до протоколів із низьким енергоспоживанням та надійним з'єднанням. На відмінну від розглянутого вище протоколу, ZigBee є топологія Mesh, тобто сітка, налічує в собі три типи пристроїв [20, 23, 24]:

- координатор;
- роутер;
- кінцевий пристрій.

Особливості ZigBee:

- Топологія Сітка є головною особливістю даного протоколу, оскільки дана топологія самоорганізується та самовідновлюється;
- Швидкість передачі даних 250 Кбіт\с, що є значно більше, ніж у W-mBus, що досягається роботи протоколу на частотах 2.4-2.48 ГГц;
- Дистанція між пристроями в середині мережі до 20-ти метрів.

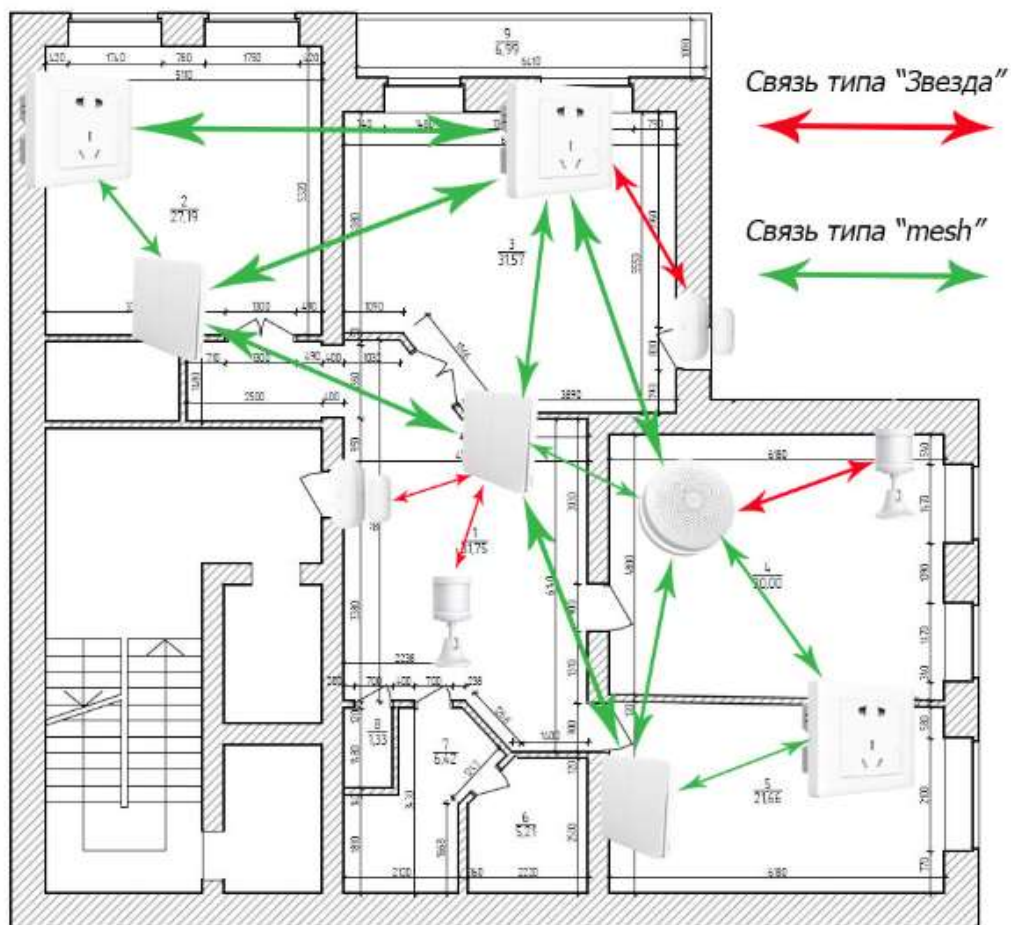


Рисунок 2.14 - Розумний дім на основі протоколу ZigBee



## LoRAWAN

LoRa означає підвищену дальність, тобто Long Range. Даний протокол виходить із сімейства мереж дальнього радіусу дії (Low Power Wide Area Network). Головною особливістю є дальність роботи до 15 км [25-27].

Також серед інших особливостей присутні наступні:

- Швидкість передачі складає 0.3 – 50 кбіт/с;
- Енергоефективність;
- Можливість роботи на частотах:
  1. 433 МГц, 863 – 870 МГц для Європейського союзу;
  2. 902 – 928 МГц для США;
  3. 779 – 787 МГц для Китаю.
- Топологія Зірка.

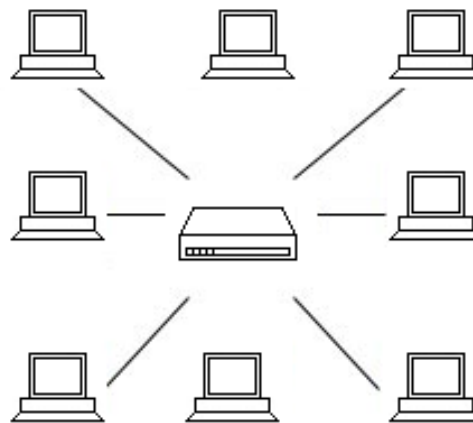


Рисунок 2.15 - Приклад топології Зірка

Архітектура мережі складається з [28]:

- **Кінцевий вузол** – використовується для керування або вимірювання, та містить в собі відповідні елементи.
- **Шлюз LoRa (Gateway / Concentrator)** – головна задача прийняти інформацію від кінцевого вузла та передати їх в транзитну мережу (Ethernet, WiFi, стільникові мережі та ін.).
- **Мережевий сервер (Network Server)** – керує мережею:
  - задання розкладу передачі даних;
  - задання швидкості передачі;
  - зберігання та обробка отриманих даних.

- **Сервер додатків (Application Server):**

- віддалено контролює роботу кінцевих вузлів;
- збирає необхідну інформацію з кінцевих вузлів.

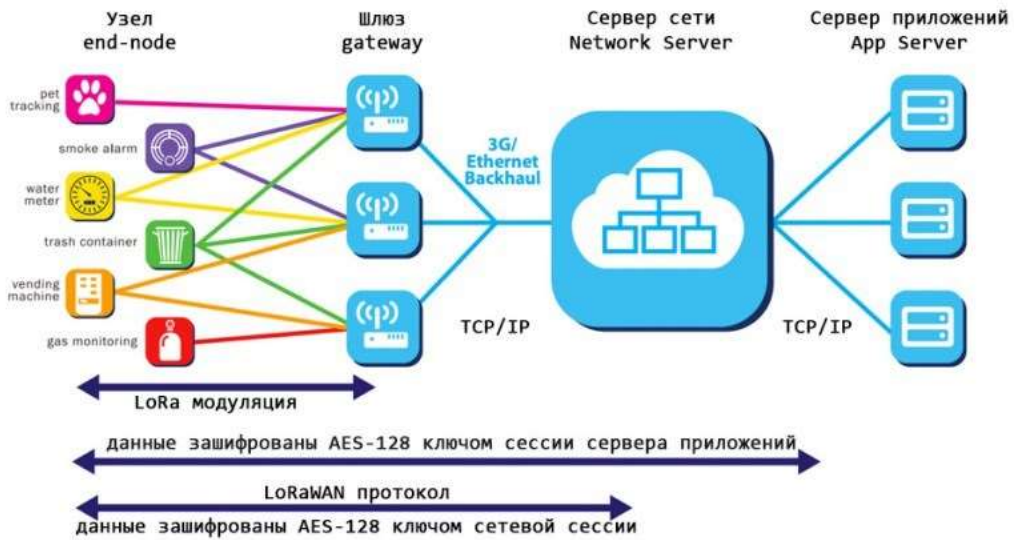


Рисунок 2.16 - Архітектура мережі LoRA

## Wi-Fi

Даний протокол доцільніше встановлювати в місцях де є неможливими розгортання кабельної мережі, тобто даний протокол розроблявся для локальної мережі та передбачає не великий радіус дії [29]. Це забезпечує швидкість передачі до 300 Мбіт/с, але з іншого швидке падіння швидкості за умови збільшення відстані від джерела сигналу Wi-Fi. Це ілюструє рисунок нижче [30].

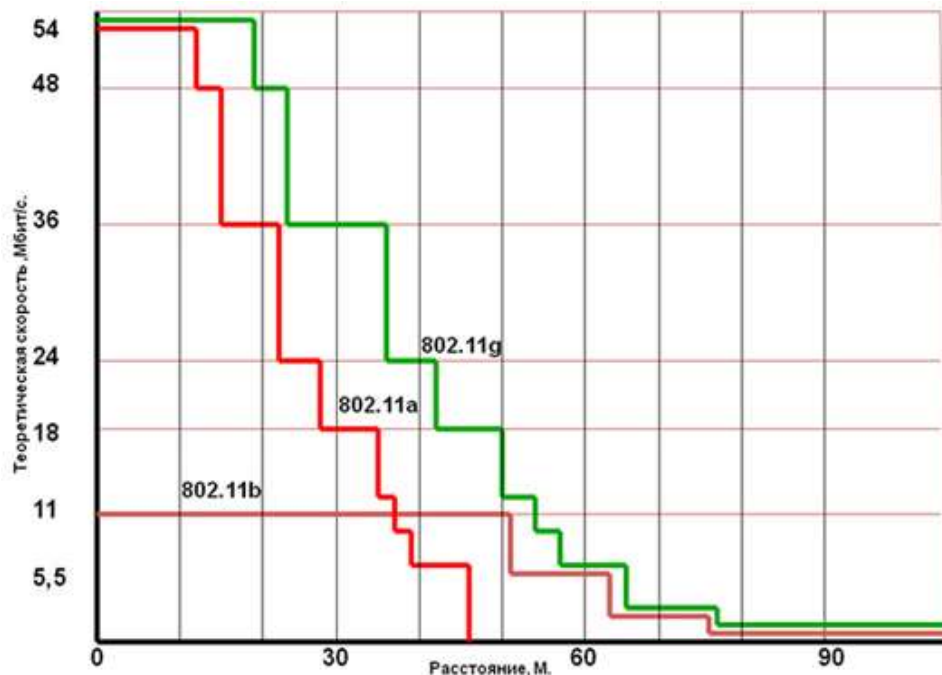


Рисунок 2.17 - Залежність потужності сигналу від відстані

Проте існують рішення, що збільшують дальність до 20 км за рахунок використання напівпараболічних антен. Частота яка використовується даним протоколом є 2.4 та 5 ГГц. [20]. Проте швидкість або саме з'єднання може погіршитись у випадку, коли присутні ще пристрої в області.

### **Bluetooth LE (Bluetooth Low Energy)**

Особливість даного протоколу є знижене енергоспоживання у порівнянні із Bluetooth, серед особливостей даного протоколу [31]:

- частота роботи складає 2.4 ГГц;
- відстань до 100 м;
- швидкість передачі 1 Мбіт/с.

Дана технологія знайшла своє використання у пристроях розумного дому та електроніці загалом.

Отже, аналізуючи розглянуті вище протоколи, складемо таблицю із головними, на думку автора, критеріями для основи БПД.

Таблиця 2.1 – Характеристика бездротових протоколів

Технологія	Споживання	Частотний діапазон	Швидкість передачі	Зона покриття
W-mBus	низьке	169, 433, 868-870 МГц	2.4 - 100 кбіт	До 2 км
ZigBee	низьке	2.4-2.48 ГГц	До 250 Кбіт/с	До 20 метрів
LoRAWAN	низьке	433 МГц, 863 – 870 МГц для ЄС; 902 – 928 МГц для США; 779 – 787 МГц для Китаю.	0.3 - 50 кбіт/с	До 15 км
Wi-Fi	високе	2.4 та 5 ГГц	До 300 Мбіт/с	До 100 метрів
Bluetooth LE	низьке	2.4 ГГц	1 Мбіт/с	До 100 метрів

Також слід зазначити, що частоти 433 та 868 МГц не потребують ліцензування [32].

Проаналізувавши таблицю, доходимо до висновку, що бездротовий протокол передачі даних LoRAWAN є оптимальним рішенням та ідеально підходить до створення БПД.

Для реалізації пропонується використати модулі RN2483, що побудовані на мікросхемі SX1276. Також даний модуль керується командами UART, це дозволяє підключити його до мікроконтролера, комп'ютера та ін [33, 34].

Даний модуль споживає під час передачі 40 мА та під час прийому 14 мА робоча напруга складає 2.1 - 3.6В.



Рисунок 2.18 - Модуль RN2483

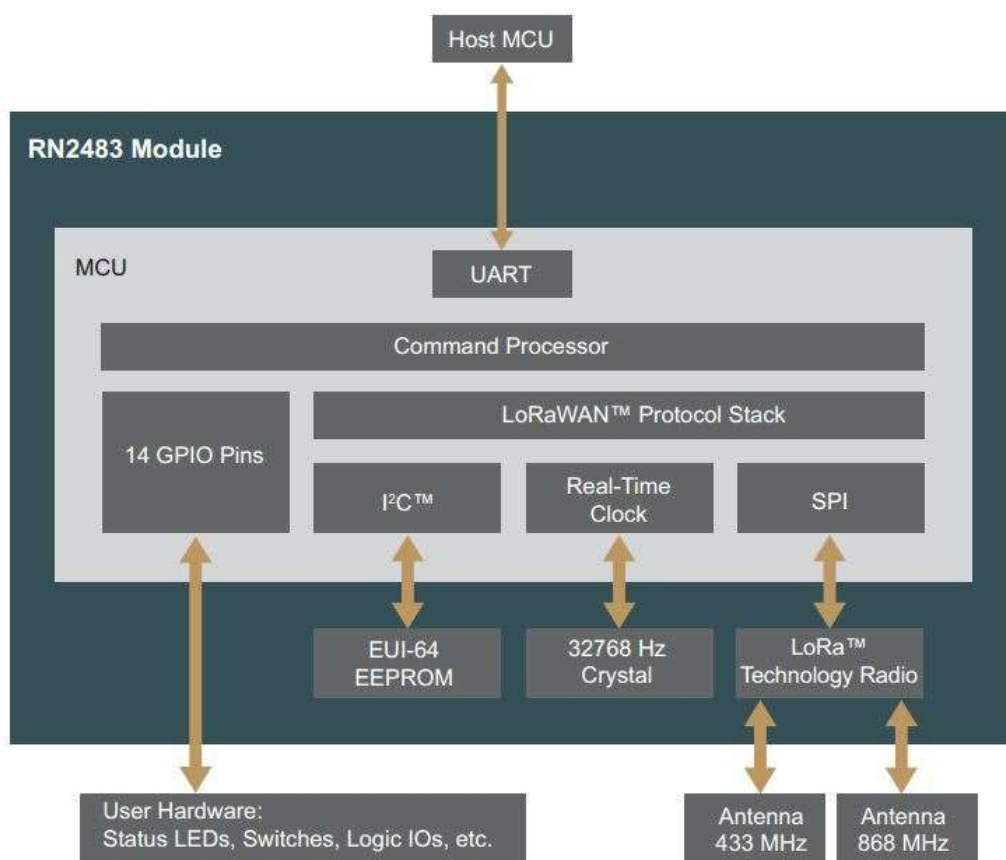


Рисунок 2.19 - Блок-схема модуля RN2483

#### 2.6.4. Блок живлення системи

Для вибору акумулятора необхідної ємності необхідно підрахувати пікову споживчу потужність всього поляриметра.

Щоб визначити споживчу пікову потужність необхідно скористатись формулою нижче [35]:

$$P = UI \quad (2.15)$$

де  $U$  – напруга живлення;

$I$  – струм.

Для визначення пікової потужності МПБ використовуємо формулу вище:

$$P = 5 * 50 \text{ мА} = 0.25 \text{ Вт/год}$$

Для обрахунку БПД вибираємо значення струму для передачі даних, оскільки головною задачею мікрополяриметра передача обробленої інформації:

$$P = 3.6 * 40 \text{ мА} = 0.144 \text{ Вт/год}$$

Загально потужність складає приблизно 0.4 Вт/год. Оскільки більшість акумуляторів, що присутні на ринку дають 3.7 В, а для роботи МПБ необхідно 5 В, розумним рішенням є застосування перетворювача 3.7 В на 5 В, а саме МТ3608 – регульований перетворювач 2А 28В із MicroUSB, його коефіцієнт корисної дії (далі ККД) складає 93% [36].

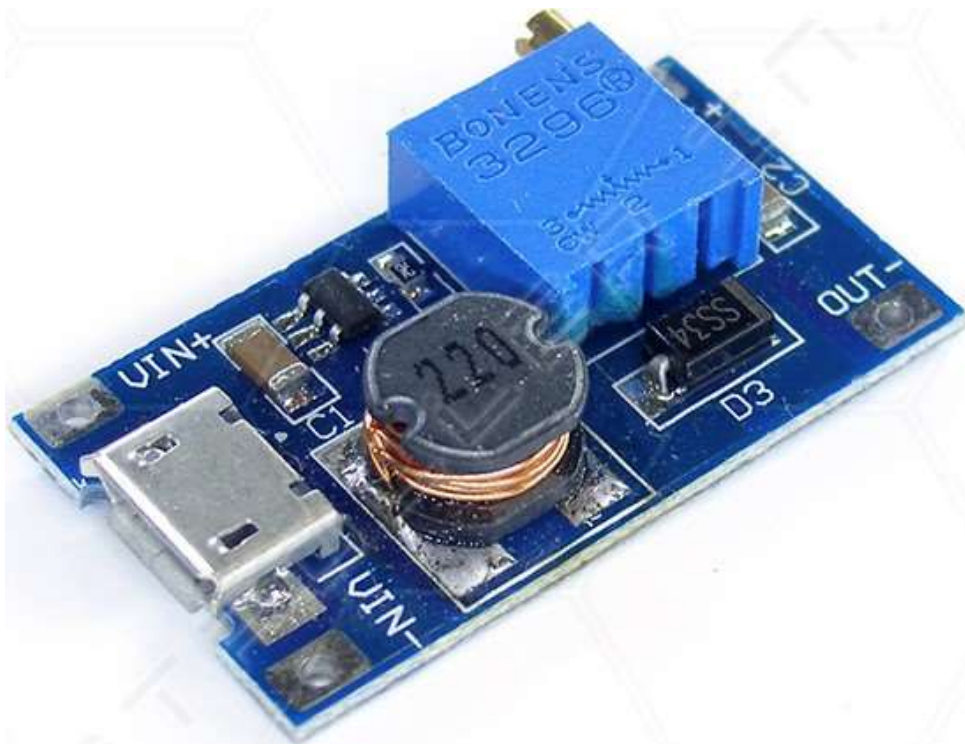


Рисунок 2.20 - Регульований перетворювач МТ3608

Пропонується використати акумулятор ємністю 1 000 мАг, його розміри 7x30x48 мм, а максимальне значення струму розрядження 2А. Даний акумулятор зображено на рисунку нижче.



Рисунок 2.21 - Акумулятор GEB703048 3.7V 1000mAh

Потужність акумулятора, згідно [35], складає 3.7Вт. Оскільки ККД 93 %, тому для живлення мікрополяриметра реальна потужність складатиме 3.44 Вт. Час роботи мікрополяриметра за умови пікової потужності споживання приблизно складатиме 8.5 год.

## **2.7. Оновлення програмного забезпечення мікрополяриметра**

Внутрішня пам'ять МК схематично поділяється на наступні області [61]:

- область контролю (ОК);
- область обчислення (ОО);
- область вільної пам'яті (ОВП).

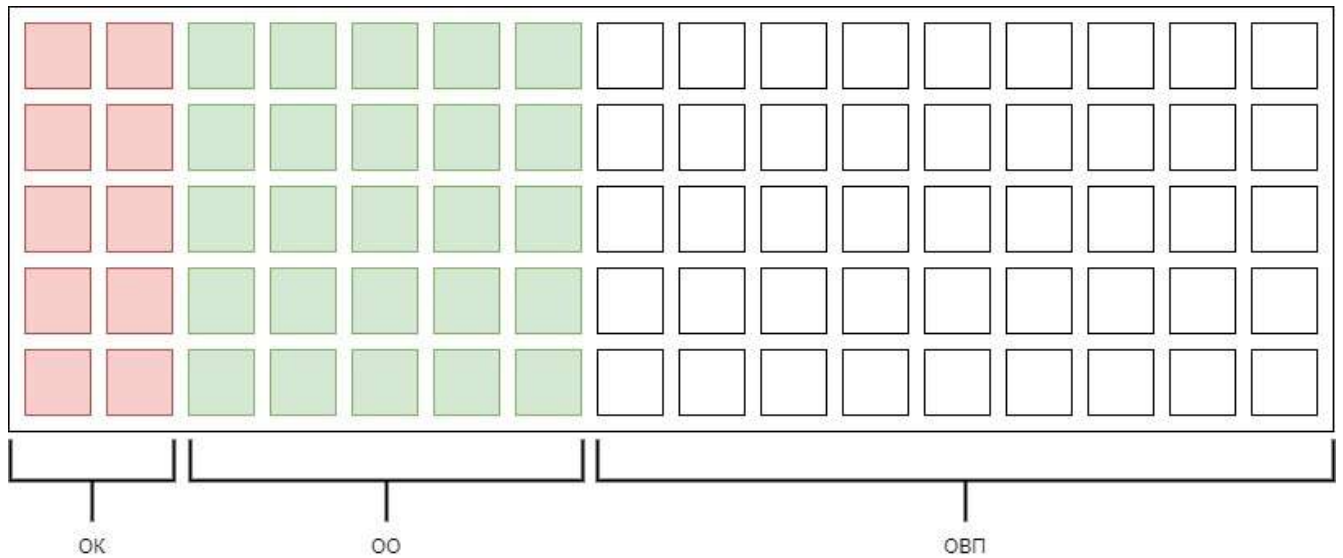


Рисунок 2.22 - Схематичне розподілення пам'яті

Це виділені ділянки пам'яті МК під конкретні завдання. Завданням області контролю (далі ОК) є [61]:

- робити запит на сервер для виявлення нової версії ПЗ;
- контролювати процес оновлення ПЗ;
- робити резервну копію попередньої версії ПЗ, у випадку не коректного оновлення або критичних помилок у новій версії ПЗ (для даної операції окремо виділяється пам'ять);
- перевірка роботи всіх під систем мікрополляриметра;
- вибір часу для оновлення ПЗ;
- контроль стану БЖС, для коректних дій.

Дана область є своєрідним аналогом системи BIOS (Basic Input Output System) у персональних комп'ютерах [38] із розширеними можливостями.

Завданням області обчислення (далі ОО) є:

- обробка та надсилання даних;
- архівування обробленої інформації;
- взаємодія із ОК;
- керування ОСП.

Завданням області вільної пам'яті (далі ОВП) є зберігання обробленої інформації. До даної області може входити:

- ОЗП за умови не великого об'єму даних;

- ПЗП;
- зовнішня пам'ять:
  - локально розміщена (жорсткий диск або мікро СД картка);
  - хмарне сховище.

Автор пропонує використовувати для ОВП, як ПЗП МК: хмарне сховище та додатково розмістити у МПБ слот під карти пам'яті формату мікро СД, оскільки даний тип пам'яті:

- доступний;
- дешевий;
- завжди є в наявності.



Рисунок 2.23 - Мікро СД картка пам'яті



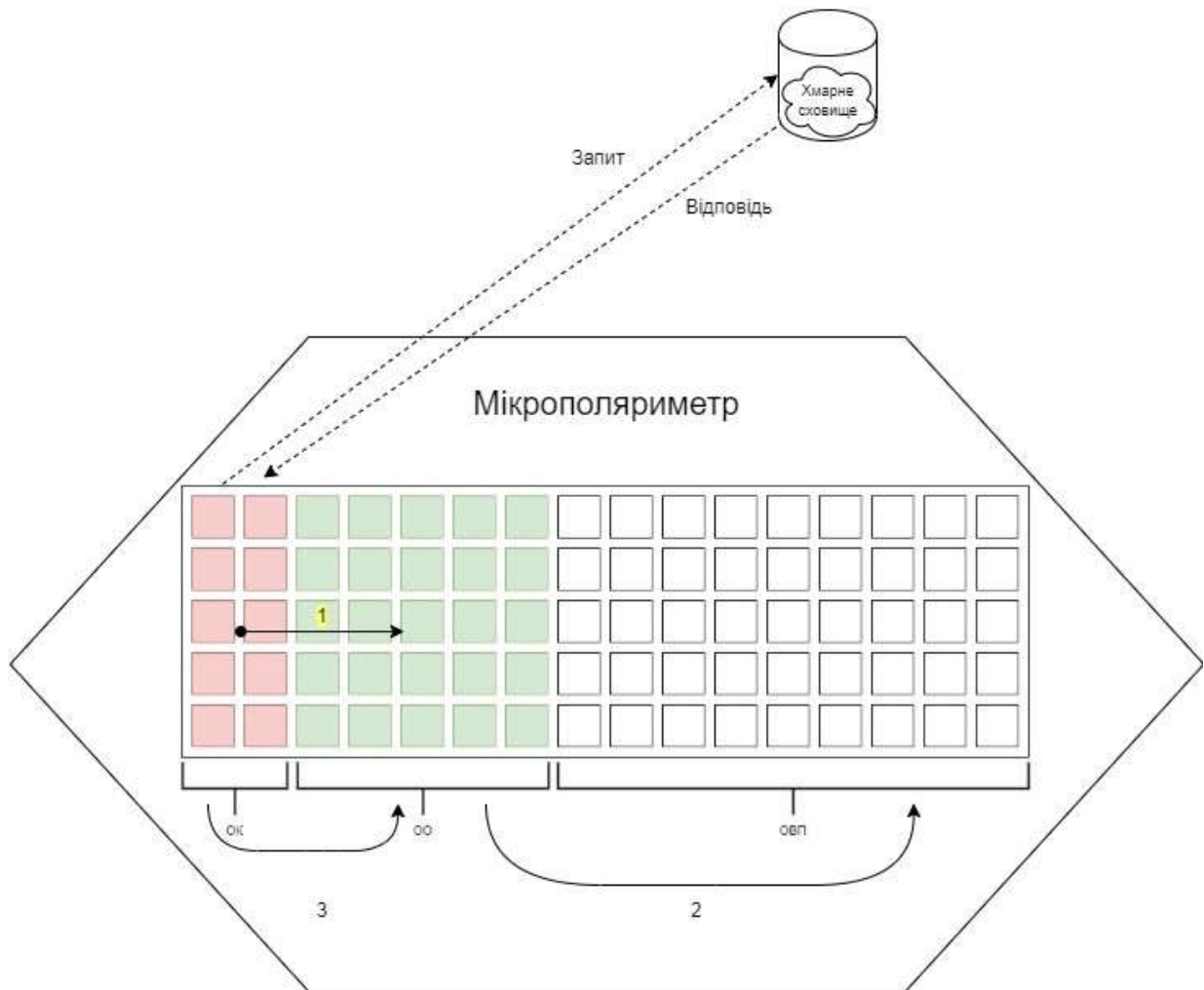


Рисунок 2.24 - Ілюстрація роботи процесу оновлення ПЗ:

- 1 - процес резервного копіювання, 2 – запис ПЗ у ОВП, 3 – перезапис ОО, новою версією ПЗ

В ОК знаходиться мікропрограма bootloader, тобто завантажувач операційної системи (далі ЗАО) [39]. Він дає запит на сервер, у випадку позитивної відповіді, починається процес резервного копіювання актуальної версії мікроопераційної системи (далі МОС) (1), що знаходиться у ОО. Дану резервну копію ЗАО записує у ОВП (2). Третім кроком є перезапис ОО новою версією ПЗ (3). Оскільки, до такого класу прилад поляриметр є унікальним в силу жорстких вимог, що висуваються до нього [13], резервна копія зберігається у ОВП до наступного оновлення ПЗ [61].

### **3. Розробка алгоритму та системи керування дронами для дослідження озонного шару на малих висотах із встановленими на них мікрополяриметрами**

#### **3.1. Алгоритм керування дронами для дослідження стану атмосфери**

Для здійснення дослідження стану стратосфери необхідно застосувати літальний апарат (далі ЛА), що дозволить піднімати у повітря мікрополяриметри для проведення аналізу в певній місцевості. Автором даної роботи пропонується за основи ЛА взяти дрон так як даний вид ЛА можливо:

- купити готовим;
- зібрати із існуючих комплектуючих [58];
- самостійно спроектувати [59].



Рисунок 3.1 - Дрон

Оскільки передбачається застосування дрону у конкретній задачі, тому автором пропонується зібрати із існуючих комплектуючих або самостійно спроектувати дрон та встановити додаткове обладнання типу GPS-приймач, датчик визначення дальності, мікрополяриметр, тощо [62].

Алгоритм, що розробляється, передбачається застосовувати у системі керування дронами (далі СКД), тобто головна задача алгоритму полегшити керування двома або більше дронами одним оператором.

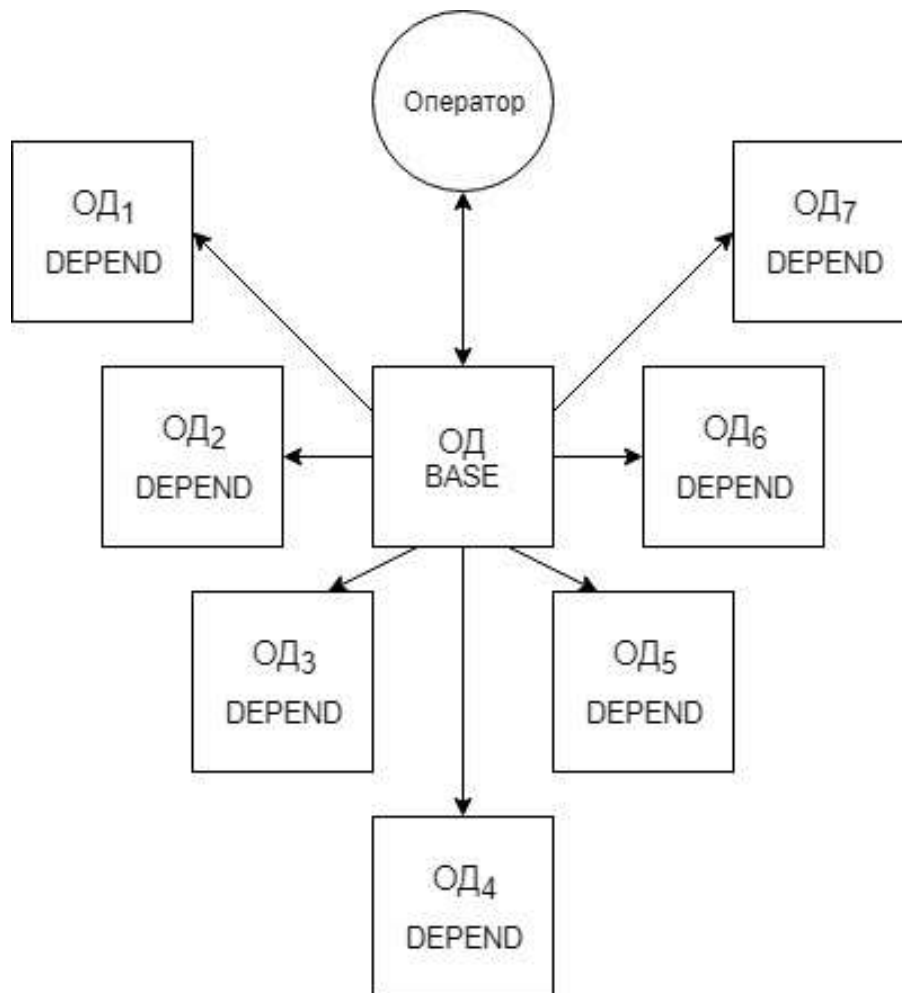


Рисунок 3.2 - Системи керування дронами

Пропонована автором СКД складається із одиниць дослідження (далі ОД). Кожна ОД представляє собою встановлений мікрополяриметр на дроні.



Рисунок 3.3 - Структурна схема СКД із встановленим мікрополяриметром:

ЛА – літальний апарат, автором передбачається встановлення мікрополяриметра, як на дрон так і на будь який інший літальний апарат

Серед особливостей ОД можна виділити:

- встановлена антена для прийому та передачі сигналу керування від оператора;
- наявність ієрархії та статусу.

Кожна ОД займає свою ієрархію в системі та приймає статус. Ієрархія зображена на рисунку нижче. В СКД тільки одна ОД займає положення в ієрархії «BASE», інші ОД, що формують СКД займають місце «DEPEND».

Окрім місця в ієрархії кожна ОД має статус «CONST», «VARIO» або «FREEZED». Ці дві умови необхідні для керування СКД [62].

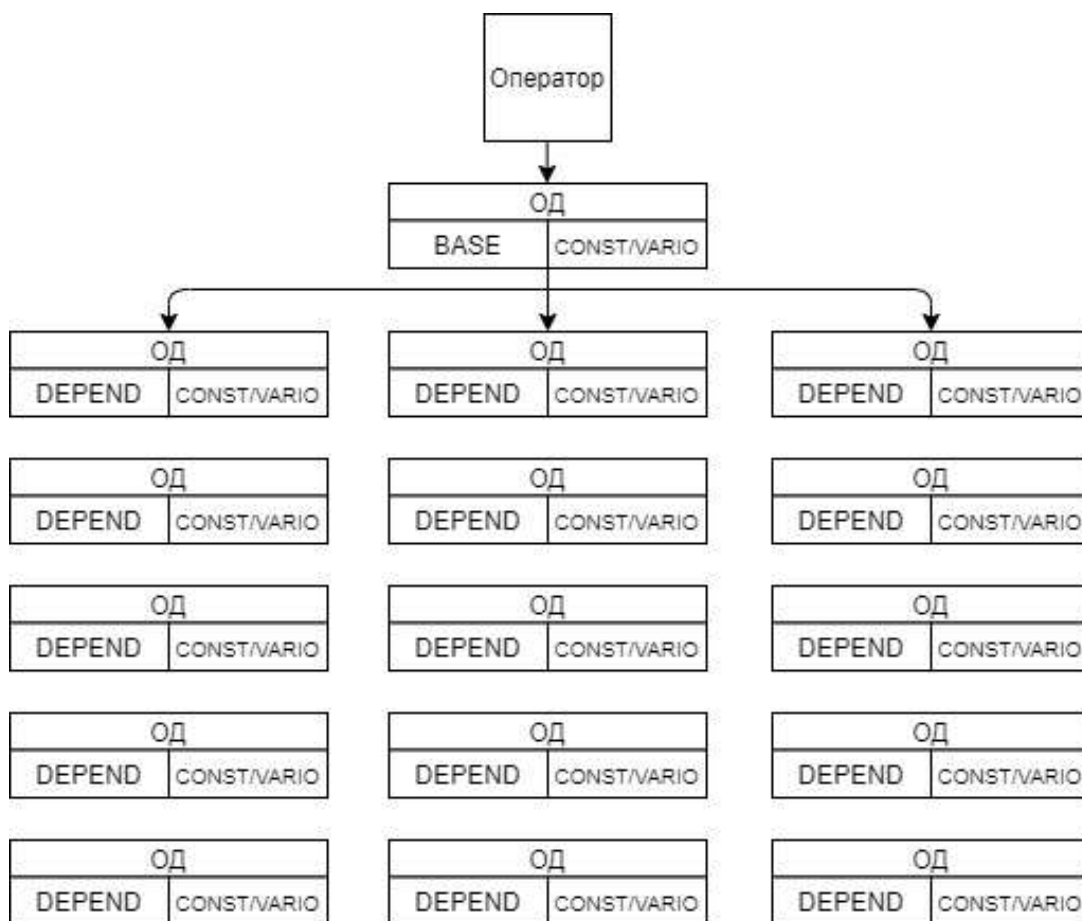


Рисунок 3.4 - Будова СКД

Дана СКД передбачає наступні режими керування:

1. ОД/BASE/VARIO та ОД/DEPEND/CONST: оператор керує фактично СКД, інші ОД зберігають своє положення у просторі відносно ОД/BASE/VARIO (відносно землі СКД рухається);
2. ОД/BASE/VARIO та ОД/DEPEND/FREEZED: оператор керує тільки ОД, що займає статус «BASE», інші ОД зберігають своє положення відносно абсолютної системи координат (нульовий меридіан та екватор) [40];
3. ОД/DEPEND/CONST змінює статус на ОД/DEPEND/VARIO: оператор керує конкретною ОД у склад СКД, даний режим необхідно застосувати у випадку точного розташування ОД у зоні, що необхідно дослідити СКД;

4. Зміна позиції в ієрархії СКД, даний режим необхідно застосувати у випадку:

- якщо теперішня ОД не відповідає на команди оператора;
- відбулось фізичне знищення теперішньої ОД;
- зміна викликана необхідністю керування СКД загалом, наприклад ОД/BASE/VARIO знаходиться у гірній місцевості, для вдалого маневру необхідно змінити місце ОД в ієрархії.

Для ОД/BASE/«СТАТУС» визначення положення відбувається за допомогою супутникових системи навігації типу GPS, Galileo, або GLONASS у форматі широта, довгота, висота [41]. Для ОД/DEPEND/«СТАТУС», визначення положення відбувається відносно ОД/BASE/«СТАТУС», що фактично визначає відносне положення у просторі. Якщо представити, що ОД/BASE/«СТАТУС» є початком відліку відносної системи координат для СКД, то кожна ОД є точкою із координатами  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ .

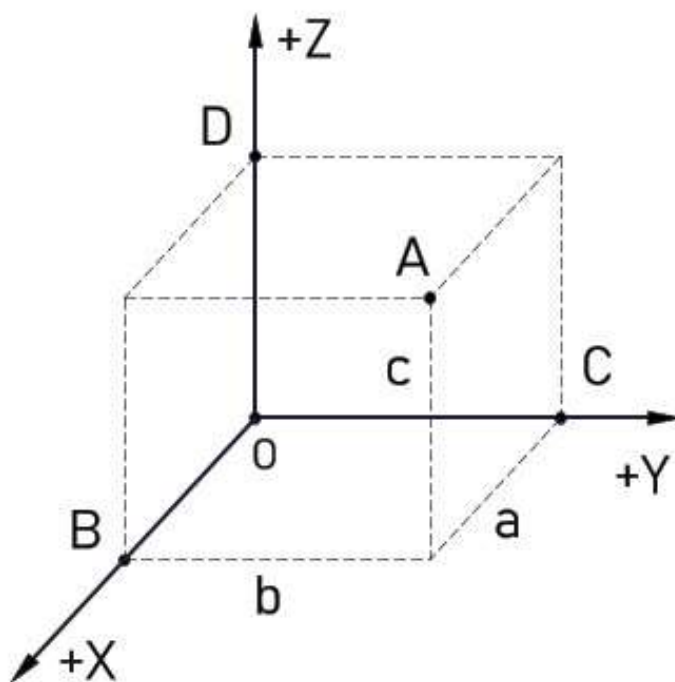


Рисунок 3.5 - Система координат:

0 - ОД/BASE/«СТАТУС»; точки А, В, С, D – ОД/DEPEND/«СТАТУС»

Рисунок вище ілюструє координати точок  $A(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ,  $B(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ,  $C(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ,  $D(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ . Ці точки є спрощеним представленням ОД, що займають місце в ієрархії «DEPEND». Точка О – є початком системи координат, що є спрощеним представленням ОД, що займає місце в ієрархії «BASE».

Згідно рисунку 3.1, алгоритм керування має наступну послідовність дій:

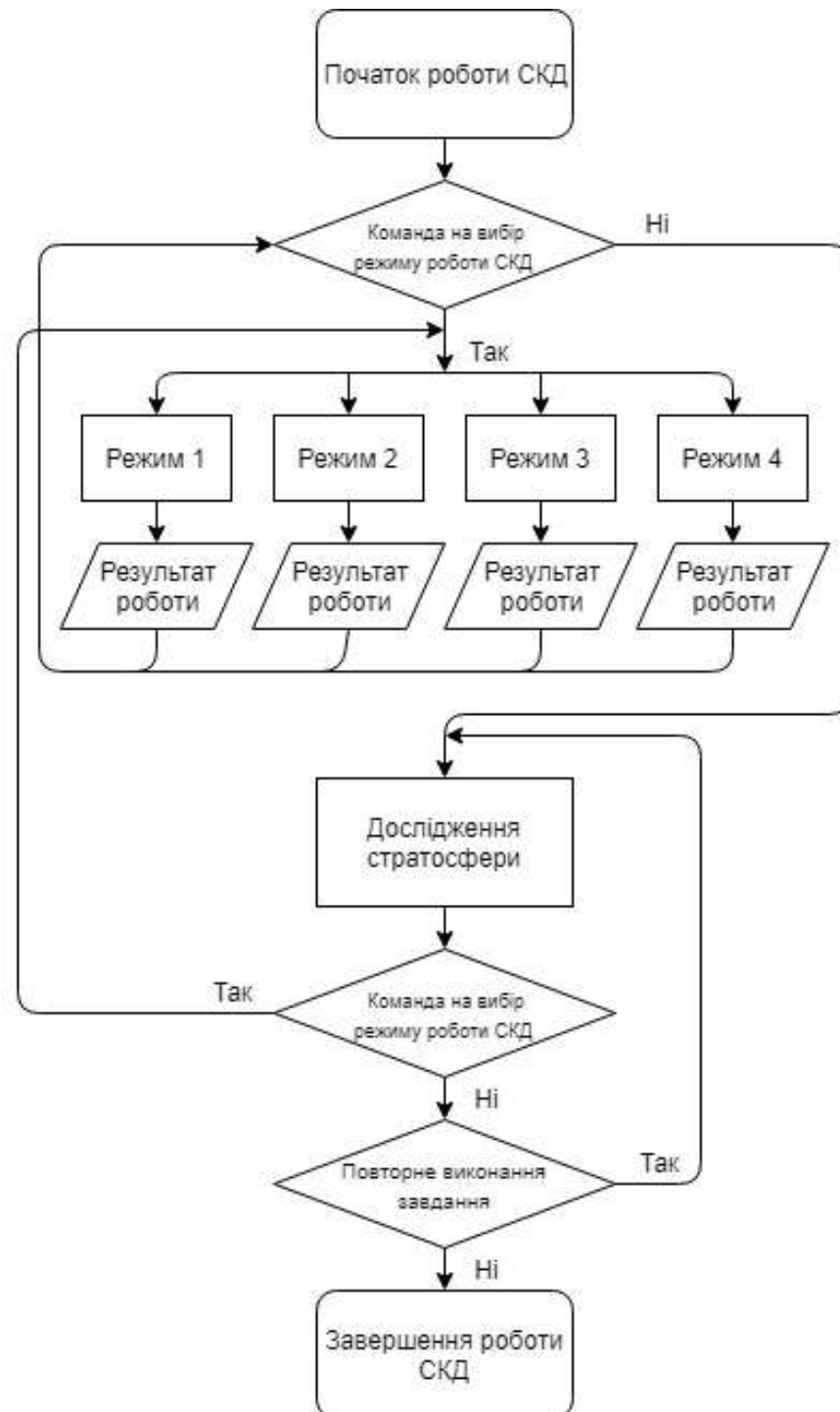


Рисунок 3.6 - Алгоритм роботи СКД [43,44]

1. Оператор відправляє команду на ОД/BASE/VARIO для зміни положення у просторі. Оскільки ОД/BASE/VARIO є точкою початку координат, то за умови роботи у режимі 1, зміна положення ОД/BASE/VARIO призводить до зміни всієї СКД відносно абсолютної системи координат;

У випадку роботи у режимі 2 оператор власноруч змінює статус із для всіх ОД що займають місце в ієрархії «DEPEND» із статусом «CONST» на статус «FREEZED» та керує безпосередньо ОД, що займає місце в ієрархії «BASE», інші ОД зберігають своє положення відносно абсолютної системи координат;

У випадку роботи режимі 3 оператор власноруч змінює статус конкретної ОД що займають місце в ієрархії «DEPEND» із статусом «CONST» на статус «VARIO»;

У випадку роботи режимі 4 оператор власноруч змінює проводить зміну в ієрархії.

2. Оператор дає команду на аналіз стану стратосфери за допомогою СКД, що комплектується мікрополяриметрами [62].

### 3.2. Математична модель системи керування дронами

Наступним кроком є створення математичної моделі СКД, проте спершу необхідно розібратись як функціонує GPS-приймач. Тому для представлення координат супутника зробимо перехід від географічних координат  $(\lambda, \varphi)$  до декартової системи координат, оскільки вона передбачає визначення положення об'єкта за допомогою координат  $(x, y, z)$ . Згідно правила переходу від сферичних до прямокутних координат [44-46]:

$$\begin{cases} x = \rho \cos(\lambda) \cos(\varphi), \\ y = \rho \sin(\lambda) \cos(\varphi), \\ z = \rho \sin(\varphi), \end{cases} \quad (3.1)$$

де  $\rho$  – модуль радіус-вектора об'єкта спостереження, в даному випадку  $\rho = R_3$  – радіус Землі, тому формула 3.1 перетворюється [45]:

$$\begin{cases} x = R_3 \cos(\lambda) \cos(\varphi), \\ y = R_3 \sin(\lambda) \cos(\varphi), \\ z = R_3 \sin(\varphi), \end{cases} \quad (3.2)$$





Пояснити формулу 3.4 можливо з геометричної позиції: навігаційні дані супутника допускають певну область, тобто сферу, де знаходиться приймач. В центрі сфери є супутник. Кожен додатковий супутник в системі 3.4 є додатковою сферою, а область їх пересічення дозволяє точніше визначити.

Аналізуючи розглянуту вище інформацію сформулюємо математичну модель для СКД. Першим кроком є створення математичної моделі для ОД, що займає місце в ієрархії «BASE».

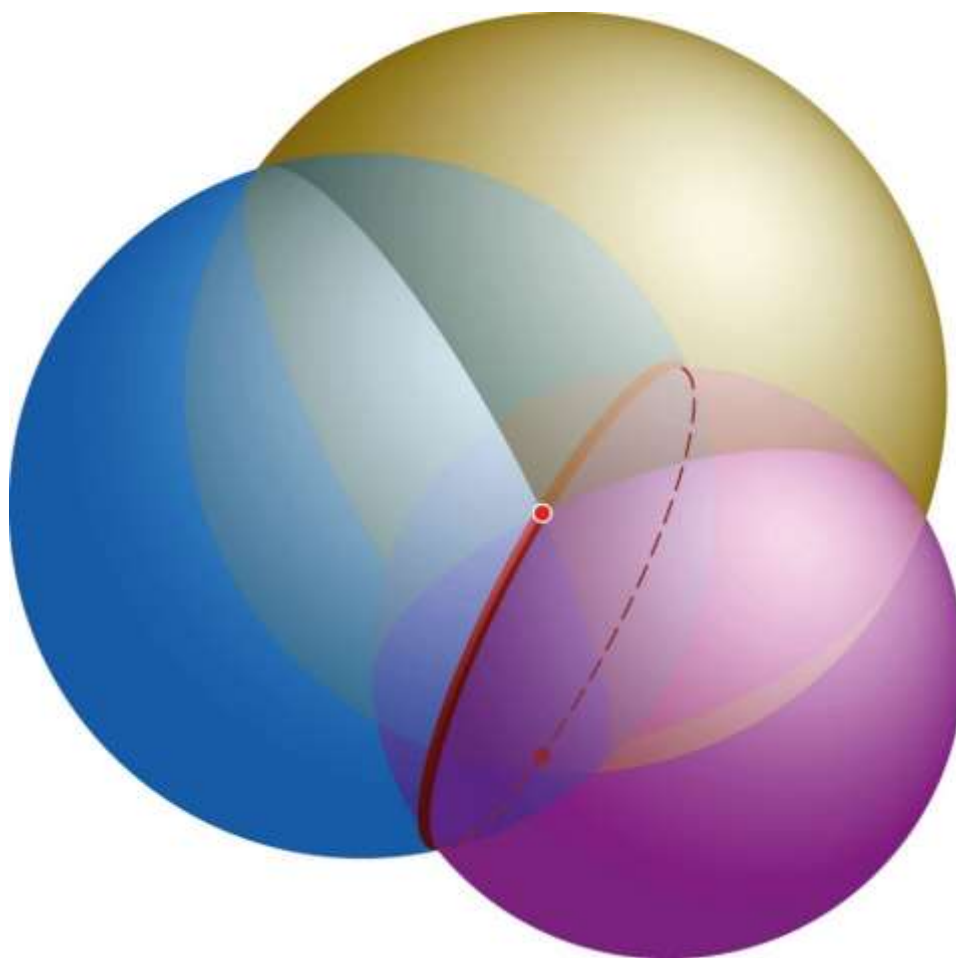


Рисунок 3.7 - Визначення координат приймача

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2 = d_1^2, \\ (x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 + (z_0 - z_2)^2 = d_2^2, \\ (x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 + (z_0 - z_3)^2 = d_3^2, \\ (x_0 - x_4)^2 + (y_0 - y_4)^2 + (z_0 - z_4)^2 = d_4^2, \end{cases} \quad (3.5)$$

де  $x_0, y_0, z_0$  – координати ОД/BASE;

В даній математичній моделі використовуємо дані із чотирьох супутників для компенсації впливу точності відліку часу.

Математична модель ОД, що займає місце в ієрархії «DEPEND».

$$\begin{cases}
 ((x_0 \pm x_{OD_i}) - x_1)^2 + ((y_0 \pm y_{OD_i}) - y_1)^2 + ((z_0 \pm z_{OD_i}) - z_1)^2 = \\
 ((x_0 \pm x_{OD_i}) - x_2)^2 + ((y_0 \pm y_{OD_i}) - y_2)^2 + ((z_0 \pm z_{OD_i}) - z_2)^2 = \\
 ((x_0 \pm x_{OD_i}) - x_3)^2 + ((y_0 \pm y_{OD_i}) - y_3)^2 + ((z_0 \pm z_{OD_i}) - z_3)^2 = \\
 ((x_0 \pm x_{OD_i}) - x_4)^2 + ((y_0 \pm y_{OD_i}) - y_4)^2 + ((z_0 \pm z_{OD_i}) - z_4)^2 = \\
 = d_{1OD_i}^2, \\
 = d_{2OD_i}^2, \\
 = d_{3OD_i}^2, \\
 = d_{4OD_i}^2,
 \end{cases} \quad (3.6)$$

де  $x_{OD_i}$ ,  $y_{OD_i}$ ,  $z_{OD_i}$  – координати  $OD_i$ -го в СКД відносно відносної системи координат;

$d_{1OD_i}$ ,  $d_{1OD_i}$ ,  $d_{1OD_i}$ ,  $d_{1OD_i}$  – дальність  $OD_i$  до супутника.

Оскільки ОД, що займає місце в ієрархії «BASE» є початком системи координат, тому обов'язковим є датчик визначення дальності до ОД, що займають статус «DEPEND». Для вирішення цієї задачі можливо використовувати [47, 48, 55]:

- лазерний датчик;
- ультразвуковий датчик;
- інфрачервоний датчик.

Рисунок 3.8 зображує СКД, що складається із 7 ОД. Кожна ОД має своє положення в просторі відносно початку координат. Завдяки датчику дальності визначається дальність до кожної ОД та два кути  $\alpha$  та  $\beta$ , що необхідні для визначення координат  $(x_{OD_i}, y_{OD_i}, z_{OD_i})$ , відносно ОД/BASE. Це досягається за рахунок того, що випромінювач має положення, що описується двома кутами:

- перший кут  $\alpha$  відносно площини XY;
- другий кут  $\beta$  відносно площини XZ.

Для кожної  $OD_i$  будується власна об'ємна фігура – прямокутний паралелепіпед, для спрощення визначення координат, де положення  $OD_i$  однією

із вершин цього паралелепіпеда. На рисунку 3.9 зображено паралелепіпед, де 1 віддаленість  $OD_i$  початку координат, 2 - проекція віддаленості.

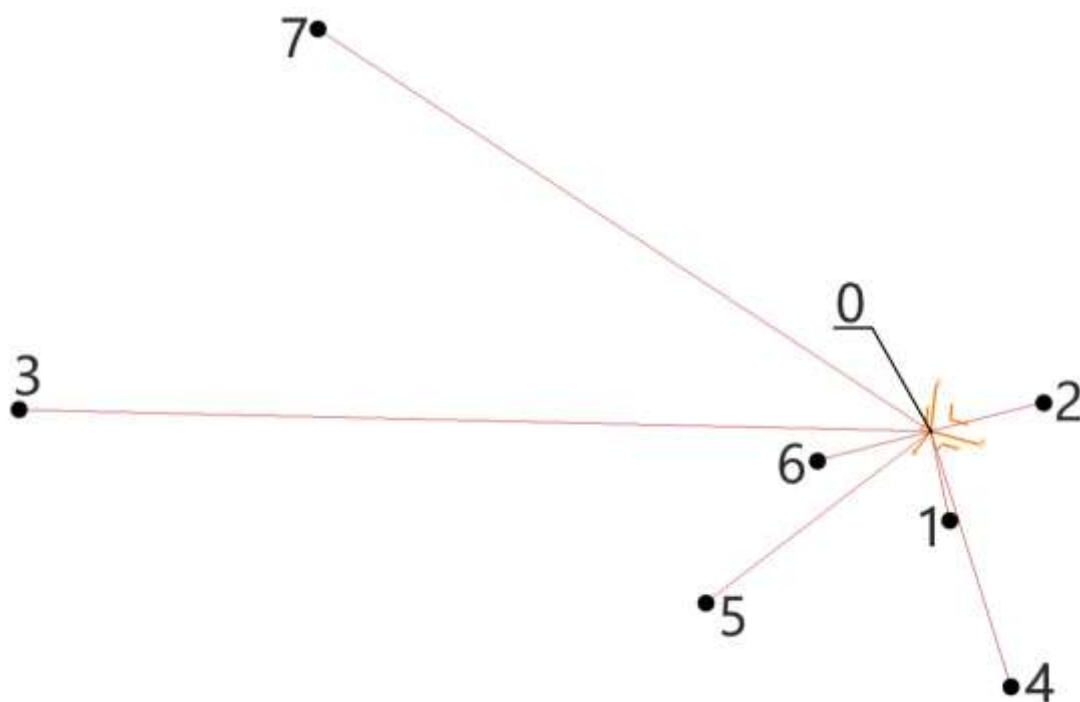


Рисунок 3.8 - СКД:

0 -  $OD/BASE$ ; 1 - 7 схематично показані  $OD/DEPEND$

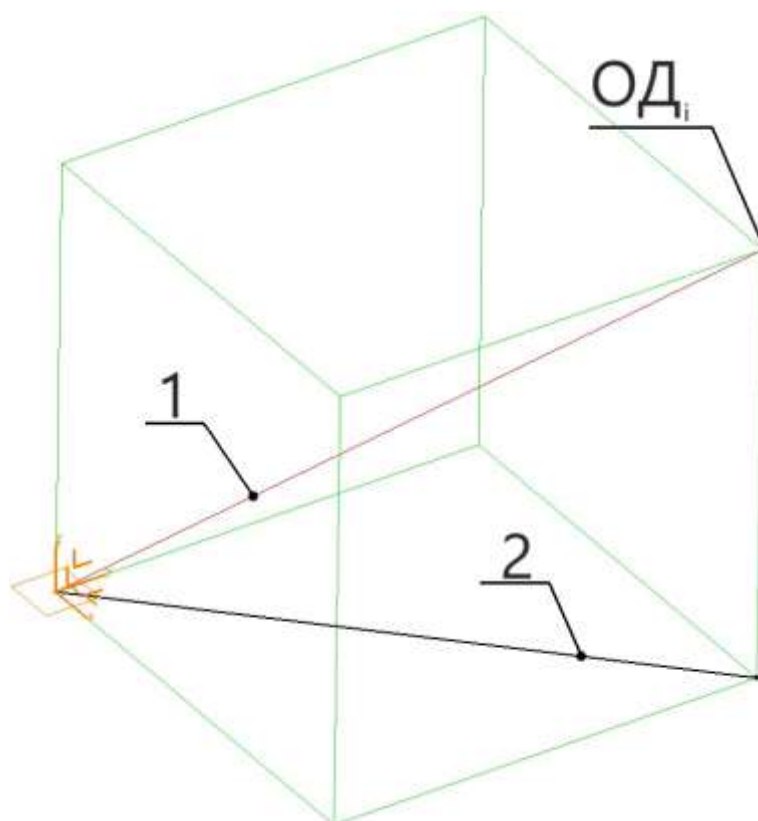


Рисунок 3.9 - Прямокутний паралелепіпед, для спрощення визначення координат, де положення  $OD_i$  однією із вершин паралелепіпеда

Наступним кроком буде визначення  $z_{OD_i}$ , для цього [56] використаємо наступну формулу:

$$z_{OD_i} = L_{OD_i} \cos \alpha, \quad (3.7)$$

де  $L_{OD_i}$  – віддаленість  $OD_i$  початку координат;

$\alpha$  – кут відносно площини  $XU$ .

Для визначення  $x_{OD_i}$  та  $y_{OD_i}$  необхідно знайти проекцію  $L_{OD_i}$  на площу  $XU$ , тому для цього скористаємось наступною формулою:

$$P_{L_{OD_i}} = L_{OD_i} \sin \alpha, \quad (3.8)$$

Тепер є можливість визначити інші координати  $OD_i$ :

$$x_{OD_i} = P_{L_{OD_i}} \cos \beta, \quad (3.9)$$

$$y_{OD_i} = P_{L_{OD_i}} \sin \beta, \quad (3.10)$$

Підставляючи формули 3.8 у 3.9 та 3.10 отримуємо наступне:

$$x_{OD_i} = L_{OD_i} \sin \alpha \cos \beta, \quad (3.11)$$

$$y_{OD_i} = L_{OD_i} \sin \alpha \sin \beta, \quad (3.12)$$

Отримані формули 3.7, 3.11, 3.12 у формулу 3.6:

$$\left\{ \begin{aligned} &((x_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \cos \beta) - x_1)^2 + ((y_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \sin \beta) - y_1)^2 + \\ &((x_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \cos \beta) - x_2)^2 + ((y_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \sin \beta) - y_2)^2 + \\ &((x_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \cos \beta) - x_3)^2 + ((y_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \sin \beta) - y_3)^2 + \\ &((x_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \cos \beta) - x_4)^2 + ((y_0 \pm L_{OD_i} \sin \alpha \sin \beta) - y_4)^2 + \\ &+ ((z_0 \pm L_{OD_i} \cos \alpha) - z_1)^2 = d_{1OD_i}^2, \\ &+ ((z_0 \pm L_{OD_i} \cos \alpha) - z_2)^2 = d_{2OD_i}^2, \\ &+ ((z_0 \pm L_{OD_i} \cos \alpha) - z_3)^2 = d_{3OD_i}^2, \\ &+ ((z_0 \pm L_{OD_i} \cos \alpha) - z_4)^2 = d_{4OD_i}^2, \end{aligned} \right. \quad (3.13)$$

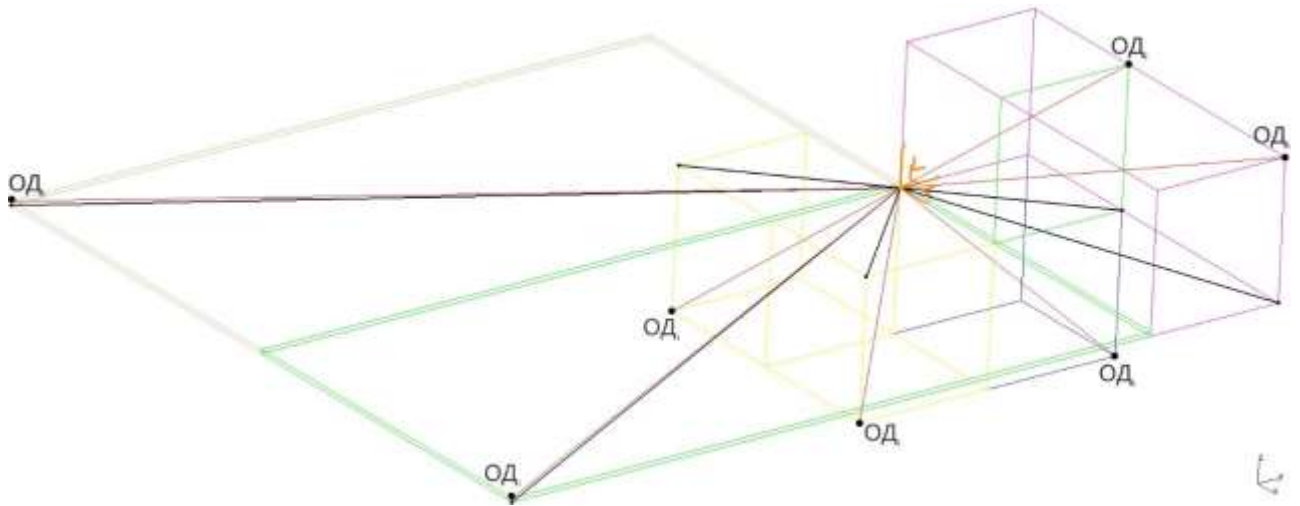


Рисунок 3.10 - Ілюстрація роботи СКД: побудова Прямокутний паралелепіпед, для спрощення визначення координат, де положення  $ОД_i$  однією із вершин паралелепіпеда

Особливої уваги заслуговує четвертий режим керування СКД, оскільки він передбачає зміну місця в ієрархії в системі. Оператор вибираючи даний режим, дає команду  $ОД_i/DEPEND$  зробити запит про своє місце знаходження, після цього автоматично змінюється місце в ієрархії на  $ОД/BASE$  робить аналіз всіх  $ОД_i$ . після цього система готова до роботи.

У зв'язку із зростаючою популярністю штучного інтелекту (далі ШІ) є можливість повного переходу керування від оператора до ШІ. Це стає можливим, оскільки [58]:

- Останніми роками багато країн виділяють колосальні суми на розвиток штучного інтелекту;
- Україна була одним з лідерів в Східній Європі в області розробки ШІ.

Тому об'єднавши можливості штучного інтелекту із СКД можливо автоматизувати процес керування так зосередитись на важливіших задачах, наприклад дослідження стану стратосфери та аналіз отриманих даних.

### 3.3. Аналіз похибок СКД

Похибки, що можуть виникати підчас роботи СКД можна умовно поділити на дві групи:

- похибки викликані точністю датчиків дальності;

- похибки викликані часом відправлення навігаційний даних.

Якщо точність датчиків визначення дальності прописана в паспорті на сам датчик, то похибку викликану часом відправлення навігаційний даних необхідно компенсувати.

Розглянута математична модель 3.4 має недолік – чутливість до похибок, тобто вплив точність відліку часу. Для прикладу опишемо ситуацію, що годинник приймача відстає від загальносистемного на 0.001 с. В такому випадку, згідно формули 3.1, похибка складатиме 300 км [44].

Проте дану похибку можна скоригувати навіть не знаючи похибку відліку часу, достатньо застосувати формулу 3.3:

$$r = c\delta, \quad (3.14)$$

де  $\delta$  – величина відставання годинника приймача від загальноприйнятого часу;

$r$  – похибка відстані, що викликана відставання годинника приймача від загальноприйнятого часу.

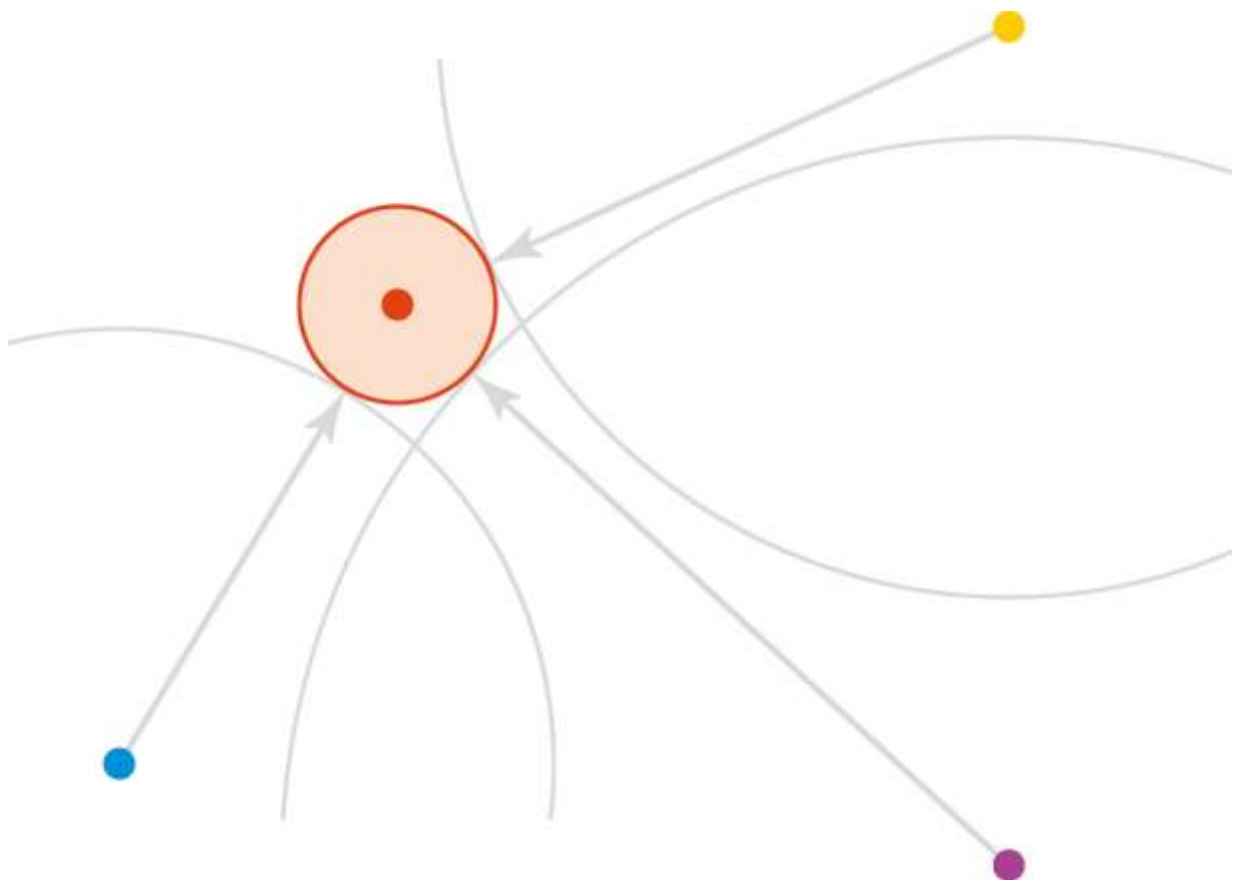


Рисунок 3.8 - Визначення координат приймача із коригуванням відставання годинника приймача (двовірне представлення)



## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1. Опис ідеї проекту

Головна ідея, що представлена в даній роботі автором є створення системи дослідження стану стратосфери на малих висотах або із земної поверхні, що значно спрощує процес дослідження. Нижче мною буде проводитись аналіз щодо застосування як комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану стратосфери на основі мікрополяриметра (далі КІС), так і застосування окремо взятої системи керування дронами (далі СКД). Опис ідей застосування представлена нижче в таблиці [49].

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст Ідеї	Напрямок застосування	Вигода для користувача
Комп'ютерно-інтегрована система дослідження стану стратосфери на основі мікрополяриметра	Навчання	Інструмент для дослідження стану стратосфери
	Військова діяльність	Дослідження стану озонового шару над військовими випробувальними полігонами
	Наукова діяльність	Прогнозування появи озонових дір
Системи керування дронами (СКД)	Наукова діяльність	Дослідження важкодоступних регіонів у наукових цілях
	Військова діяльність	Розвідка
	Фото- та відеозйомка	<ul style="list-style-type: none"><li>• Для зйомки однієї сцени із різних ракурсів;</li><li>• 3D аерозйомка;</li><li>• Кіноіндустрія.</li></ul>

Висновок: Аналізуючи таблицю вище приходимо до висновку, що існує багато сфер (наукова та військова діяльність, навчальна діяльність для учнів та студентів, фото- та відеозйомка, тощо) використання для запропонованої, як комп'ютерно-інтегрованої системи дослідження стану стратосфери на основі мікрополяриметра, так і для СКД. На думку автора, для СКД є більше сфер використання, оскільки така система може використовуватись для:

- доставки вантажів;
- репортажна зйомка для журналістів;
- створення мобільного кінотеатру, у випадку встановлення проєкторів та додаткового елементу живлення на дрони.



Таблиця 4.2 – Визначення характеристик власного проекту СКД

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	AGRAS MG-1P [50]	FlightHub [51]			
1	Кількість дронів в системі	До 20	До 5	Від 10			+
2	Сфери застосування	Необмежено	Аграрний сектор	Боротьба із пожежами			+
3	Точність позиціонування [52]	До 8 метрів	До декількох см	До декількох см	+		
4	Дальність керування	До 3 км	До 3 км	До 8 км		+	

Ідентичну таблицю зіставимо для КІС:

Таблиця 4.3 – Визначення характеристик власного проекту КІС

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	СканПол [53]	УФП-2 [54]			
1	Спектральний діапазон	280 – 380 нм	370 – 555 нм	240 – 290 нм		+	
2	Температурний діапазон	+50° до –60°	+50° до –60°	+50° до –60°		+	
3	Розташування	На землі/ на ЛА	На орбіті	На орбіті			+
4	Мікроопераційна системи	Присутня	Відсутня	Відсутня			+

Наступним кроком є аналіз потенційних техніко-економічних переваг запропонованих ідей порівняно із позиціями конкурентів [49]:

- визначення кола конкурентів, товарів-замінників, товарів аналогів, що вже присутні на світовому ринку та проведення збору інформації щодо техніко-економічних показників конкурентних продуктів;
- визначення техніко-економічних характеристик власної ідеї;
- проведення порівняльного аналізу показників власної ідеї:
  - гірші значення (W, слабкі);
  - аналогічні значення (N, нейтральні);
  - кращі значення (S, сильні).

Висновки: Визначено два потенційних конкурента для СКД та КІС, що наведено в таблицях 4.2 та 4.3 відповідно та було проведено аналіз сильних та слабких сторін, порівнюючи СКД та КІС відповідно із конкурентами.

Аналізуючи дані із таблиць вище, проект СКД має гіршу точність визнання місця положення. В той же час проект КІС має такі самі або кращі характеристики у порівнянні із розглянутими конкурентами [49].

#### 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного розділу мною було проведено аудит технології, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту. Аудит передбачає аналіз складових:

- Технологію за якою буде виготовлено товар;
- Існування таких технологій;
- Доступність цих технологій.

В таблицях 4.4 та 4.5 проводиться аудит технології, за допомогою якої стає можливим реалізація даної ідеї проекту.

Таблиця 4.4 – Технологічна здійсненність ідеї проекту СКД

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	СКД	Дрони	Наявні	Доступні
2		Мікроконтролер	Наявні	Доступні
3		Акумулятор	Наявні	Доступні
4		Середовище програмування	Наявні	Доступні
5		Система позиціонування	Наявні	Доступні
6		Алгоритм керування	Розроблено	Доступні

Таблиця 4.5 – Технологічна здійсненність ідеї проекту КІС

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	КІС основі мікрополяриметра	Мікроконтролер	Наявні	Доступні
2		Акумулятор	Наявні	Доступні
3		Протоколи передачі даних	Наявні	Доступні
4		Оптична система	Наявні	Доступні
5		Ультрафіолетовий фотоприймач	Наявні	Доступні
6		Середовище програмування	Наявні	Доступні
7		СКД	Розробляється	Доступні
8		Мікроопераційна система	Не розроблена	Доступні

Висновки: Згідно таблиць 4.4 та 4.5 можна зробити висновок, що існують реальні можливості технологічної реалізації проекту, оскільки майже всі складові існують або потребують розробок, які описуються в даній магістерській дисертації. Кожна із двох запропонованих ідей проекту є самостійною та доповнюють одне одного, проте ширшу сферу застосування має саме СКД, оскільки саме вона є універсальним інструментом, в той як КІС має обмежене коло застосування [49].

### 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Автором визначено ринкові можливості, що можливо використати під час впровадження проекту згідно таблиці 4.6. Також визначено ринкові загрози, що можуть вплинути негативно на реалізацію, як СКД, так і КІС в цілому. Отримана автором інформація дозволяє правильно спланувати напрямки розвитку проекту в цілому із врахуванням стану ринкового середовища.

Таблиця 4.6 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту для СКД та КІС

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	2	3
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	7 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція існуючих компаній
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	У випадку застосування у військовій сфері
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

Першим кроком є аналіз попиту [49]:

- наявність попиту;
- наявність попиту;
- обсяг;
- динаміка розвитку ринку.

Висновки: Аналізуючи таблицю вище, приходимо до висновку, що привабливість ринку є очевидною. Також існують обмеження, що пов'язані із

використанням у військовій сфері. Оптимальна конкуренція. Для отримання чіткого представлення ситуації на ринку, необхідно визначити потенційні групи клієнтів, їхні характеристики та сформувані орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи [49].

Таблиця 4.7 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	СКД	Використання у сферах: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навчання;</li> <li>• Військова діяльність;</li> </ul>	Для навчання – можливість встановлення необхідного обладнання для дослідів	Керованість, точність, надійність, захищеність, адаптивність.
	СКД	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фото- та відеозйомка;</li> <li>• Журналістики;</li> </ul> Аграрний сектор.	Для військової сфери – керованість, точність та захищеність радіо каналу. Фото- та відеозйомка – здійснення зйомки важкодоступних місць, масових заходів. Журналістика – полегшення керованості, зйомка із декількох ракурсів. Аграрний сектор – обробка поля великої площі за малий проміжок часу.	
2	КІС	Використання у сферах: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навчання;</li> <li>• Наукова сфера;</li> <li>• Військова сфера.</li> </ul>	Для навчання та наукової сфери – отримання актуальних даних у певній місцевості. Для військової сфери – отримання актуальних даних у певній місцевості, керованість, точність та захищеність радіо каналу.	Керованість, точність, надійність, актуальність даних, захищеність, адаптивність.

Висновки: Було визначено основні цільові аудиторії:

- навчальна;
- наукова;
- військова;
- аграрна;

- журналістика.

Також є особливості кожної із аудиторій та відмінності між ними:

- керованість;
- точність;
- надійність;
- актуальність даних;
- захищеність;
- адаптивність.

Наступним кроком буде складення таблиці факторів, що сприяють та перешкоджають ринковому впровадженню проектів. Згідно завдання [49] фактори подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.8 – Фактори загроз

Ідея	№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
СКД	1	Зріст конкуренції	Поява конкурентно-спроможних фірм	Покращення характеристик СКД, створення нових конкурентних переваг
	2	Якість	Незадоволення якість клієнтом	Покращення системи до рівня необхідного користувачу
	3	Відсутність попиту	Компанії не мають бажання користуватись	Проведення рекламних компаній, доведення до користувачі переваг
	3		новим продуктом	нового продукту, безкоштовний пробний період
	4	Зміни у сертифікації	Зміна стандартів сертифікацій	Знаходження інших технологій, що потребують менші кошти для сертифікації, залучення інвесторів
КІС	1	Зріст конкуренції	Поява конкурентно-спроможних фірм	Покращення характеристик СКД, створення нових конкурентних переваг
	2	Якість	Незадоволення якість клієнтом	Покращення системи до рівня необхідного користувачу
	3	Вартість технології	Вартість розробки	Консультація, переймання досвіду, мозковий штурм для здешевлення технології виготовлення, застосування інших комплектуючих
	4	Відсутність попиту	Компанії не мають бажання користуватись новим продуктом	Проведення рекламних компаній, доведення до користувачі переваг нового продукту, безкоштовний пробний період

Висновки: Таблиця 4.7 описує основні види загроз для СКД та КІС однією із найімовірнішою є зріст конкуренції та відсутність попиту, тому для уникнення цих загроз завчасно можна проробити СКД та КІС для створення додаткової конкурентної переваги, наприклад ціни. Інші загрози також є важливими, тому не враховувати їх буде помилкою, адже кожен фактор може призвести до провалу продукту в цілому.

Розглянемо можливості для СКД та КІС.

Таблиця 4.9 – Фактори можливостей

Ідея	№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
СКД та КІС	1	Зростання попиту	Збільшення компаній, що зацікавлені продуктом	Створення лінійок продукції
	2	Нові групи клієнтів	Використання продукції у різних сферах	Аналіз потреб потенціальних покупців
	3	Здешевлення продукції	Збільшення попиту та кількості виробленої продукції зменшення вартості виробництва	За рахунок збільшення ринків збуту та сфер застосування зменшення собівартості продукту
	4	Нове покоління продукції	Еволюція продукту	Розвиток продукту додавання нових функцій, покращення алгоритму роботи

Висновки: У таблиці 4.8 приведено основні можливості, що сприятимуть розвитку СКД та КІС. Серед розглянутих вище сприятливих факторів є збільшення попиту, як на СКД так і на КІС, адже це призведе до збільшення кількості користувачів, а це в свою чергу веде до створення інших сприятливих факторів, що описані в таблиці вище. Дані фактори можуть привести до:

- зниження ціни;
- покращення характеристик СКД та КІС;
- кращого розуміння потреб ринку за рахунок глибшого аналізу.

Далі буде проведено аналіз пропозиції, де визначаються загальні риси конкуренції на ринку [49].

Таблиця 4.10 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції - чиста	Невелика кількість конкурентів	<ul style="list-style-type: none"> <li>Глибокий аналіз ринку;</li> <li>Швидкий розвиток продукції.</li> </ul>
Рівень конкурентної боротьби - міжнародний	Дослідження стану стратосфери із землі або на малих висотах	Вихід на міжнародний ринок
Галузева ознака - міжгалузева	Використання в різних галузях	Аналіз потреб кожної із потенційних груп клієнтів
Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція товарів одного виду	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розробка нового підходу до продукту;</li> <li>Створення та задоволення потреб ринку.</li> </ul>
Характер конкурентних переваг - цінова	Ціна варіюється в залежності від функцій та кількості виготовлених одиниць	Пошук нових постачальників компонентів, пошук нових технологій виготовлення, що здешевлюють виробництво
Інтенсивність - марочна	Створення лінійок продукції, що дозволяє додатково керувати собівартістю	Створення фірмового ім'я, товарного знаку

Висновки: Було проаналізовано основні риси конкуренції на ринку. Даний аналіз був необхідним для оцінки їх впливу на діяльність підприємства, зокрема дії, що допоможуть залишатись конкурентоспроможною. Оскільки конкуренція у даній галузі є не значною, та вона присутня між товарами одного виду, то з'являється можливість виходу на міжнародний ринок. Що додатково створить довіру до компанії, оскільки не велика кількість компаній виробляє подібну продукцію [49].

Проведемо аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю М. Портера.

Таблиця 4.11 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером для СКД

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	FlightHub	AGRAS MG-1P	Розміри поставок мають значення	Військова промисловість; Журналістика; Сфера навчання; Наука; Аграрна промисловість.	Створення іншої СКД
Висновок	Серйозний конкурент, має бути значна конкурента перевага	Виключно у аграрному секторі	Свої умови не диктують	Диктують умови, тому потрібно переконати, що даний проект набагато краще, що вони хочуть	Конку-рентна перевага, собівартість

Таблиця 4.12 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером для КІС

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	СканПол	УФП-2	Розміри поставок мають значення	Військова промисловість; Сфера навчання; Наука.	Створення іншої КІС
Висновок	Конкуренція присутня, але вона незначна	Існує можливість виходу на ринок.	Свої умови не диктують	Диктують умови, тому потрібно переконати, що даний проект набагато краще, що вони хочуть	Конку-рентна перевага, собівартість

Висновки: Зробивши аналіз попередніх таблиць приходимо до висновку, що конкуренція не заважатиме працювати на ринку. Замінники існують, проте повністю задовольнити потреби не можуть оскільки створювались із



використанням у вузькій сфері, тому не можуть повністю задовольнити потреби.

Проаналізувавши таблиці:

- 4.2 та 4.3: Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту;
- 4.7: Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту;
- 4.8: Фактори загроз;
- 4.9: Фактори можливостей;
- 4.11 та 4.12: Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності [49].

Таблиця 4.13 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності для СКД

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Доступні компоненти	Всі компоненти є у відкритому доступі
2	Універсальність	Застосування майже у всіх сферах
3	Наявність гнучкої ієрархії в системі	Будова системи передбачає наявність структурованої ієрархії та її швидку зміну
4	Надійність	Простий алгоритм роботи
5	Програмне середовище	Доступність програмного забезпечення

Таблиця 4.14 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності для КІС

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Доступні компоненти	Всі компоненти є у відкритому доступі
2	Надійність	Простий алгоритм роботи
3	Програмне середовище	Доступність програмного забезпечення
4	Екологічне питання	Дослідження стану стратосфери

Висновки: Аналізуючи таблиці 4.13 та 4.14 приходимо до висновку, що СКД та КІС є конкурентоспроможні завдяки таким факторам як: доступність компонентів, надійність, універсальність, та ін., що обґрунтовані. Дані фактори визначають користь для потенційного користувача. За даними, що показані в таблицях проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Табл. 4.15 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін СКД

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з СКД						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Доступні компоненти	19						+	
2	Універсальність	17						+	
3	Наявність гнучкої ієрархії в системі	18					+		
4	Надійність	16					+		
5	Програмне середовище	15				+			

Табл. 4.16 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін КІС

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з СКД						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Доступні компоненти	18						+	
2	Надійність	17					+		
3	Програмне середовище	15				+			
4	Екологічне питання	16					+		

Висновки: Отже, аналізуючи конкурентоспроможні фактори приходимо до висновку, що сильними факторами для СКД є: доступність компонентів та універсальність СКД, а для КІС є: доступні компоненти та екологічне питання. Очевидно, що СКД та КІС можуть скласти конкуренцію існуючи аналогам. Заключним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження продукту є створення SWOT-аналізу [49].

Таблиця 4.17 – SWOT- аналіз стартап-проекту для СКД

Сильні сторони: -застосування в різних сферах; -доступність компонентів; -наявність ієрархії в системі.	Слабкі сторони: -продукт маловідомий на ринку; -необхідність потенційним покупцям донесення інформації про новий продукт.
Можливості: -зростання попиту; -нові групи клієнтів; -здешевлення продукції.	Загрози: -незадоволеність клієнтами продукту; -демпінг цін конкурентів.

Таблиця 4.18 – SWOT- аналіз стартап-проекту для КІС

Сильні сторони: -застосування у навчальній, науковій та військовій сферах; -доступність компонентів; -мікроопераційна система; -можливість дослідження стану стратосфери із поверхні планети або на малих висотах.	Слабкі сторони: -продукт маловідомий на ринку; -електронні компоненти виробляються за кордоном.
Можливості: -зростання попиту; -нові групи клієнтів;	Загрози: -незадоволеність клієнтами продукту; -поява якісніших технологій у конкурентів;

-покращення характеристик продукції; -здешевлення продукції.	-відсутність попиту.
---	----------------------

Висновки: Зробивши SWOT-аналіз, бачимо сильні та слабкі сторони, як СКД, так і КІС. Наявність загроз обумовлена достатньо новою технологією, недовірою користувачів, та неперевіреність у реальних експериментах. На противагу їм, приділено більшу увагу функціональним можливостям, компонентам із яких складається продукт [49].

Наступним кроком стане альтернатива ринкової поведінки та оптимальні строки реалізації для виведення стартап-проекту СКД та КІС.

Таблиця 4.19 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту СКД

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Імовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Збільшення кількості одиниць у складі СКД	Висока	2-3 місяці
2	Покращення точності визначення місця положення	Висока	1-2 місяці
1	2	3	4
3	Отримання експериментальних досліджень систем	Середня	4 – 6 місяців

Таблиця 4.20 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту КІС

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Імовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Покращення характеристик СКД	Висока	10-12 місяців
2	Глибший аналіз ринку	Середня	1-2 місяці
3	Отримання експериментальних досліджень систем	Середня	6 – 8 місяців

Висновки: провівши аналіз обираємо альтернативний підхід для СКД це збільшення точності визначення місця положення, а для КІС - отримання експериментальних досліджень. Інші альтернативи програють або у часі або у імовірності отримання ресурсів [49].

#### 4.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для аналізу ринкових можливостей необхідно розробити ринкову стратегію, тому першим кроком є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.21 – Вибір цільових груп потенційних споживачів для СКД

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Військова сфера	Висока	Висока	Середня інтенсивність	Середня складність
2	Навчальна сфера	Середня	Середня	Середня інтенсивність	Середня складність
3	Наукова сфера	Висока	Висока	Не інтенсивна	Низька складність
4	Журналістика	Середня	Середня	Інтенсивна	Висока складність
5	Аграрний сектор	Середня	Висока	Середня інтенсивність	Середня складність
Цільові групи обрано: Військова та наукова сфера					

Таблиця 4.22 – Вибір цільових груп потенційних споживачів для КІС

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Військова сфера	Висока	Висока	Не інтенсивна	Середня складність
2	Навчальна сфера	Середня	Середня	Не інтенсивна	Середня складність
3	Наукова сфера	Висока	Висока	Не інтенсивна	Низька складність
Цільові групи обрано: Військова, наукова та навчальна сфера					

Висновки: Після проведення аналізу цільових груп, готовності споживачів прийняти продукт, простоти входу та інтенсивності, приходимо до висновку, що обрані цільові групи є найкращим варіантом для реалізацію продукції. Для СКД актуальними цільовими групами є військова та наукова сфера. В силу специфічності, КІС має вузьку сферу застосування та зацікавленості, тому всі розглянуті цільові групи у таблиці 4.22 були обрані. Була обрана стратегія диференційованого маркетингу, оскільки робота проводитиметься у декількох сферах [49].

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, що представлена нижче.

Таблиця 4.23 – Визначення базової стратегії розвитку для СКД

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Збільшення точності визначення місця положення	Стратегія диференційованого маркетингу	Використання нового програмно-апаратного комплексу	Стратегія диференціації

Таблиця 4.24 – Визначення базової стратегії розвитку для КІС

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Збільшення точності визначення місця положення	Стратегія диференційованого маркетингу	Використання нового програмно-апаратного комплексу	Стратегія диференціації

Висновки: За базову стратегію розвитку було обрано стратегію диференціації, оскільки вона передбачає надання відмінних властивостей товару за вимогою користувача.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, вона є ідентичною для СКД та КІС

Таблиця 4.25 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проект не є першопрохідцем	Будуть залучатись нові клієнти, а також переманювати клієнтів від конкурентів	Не буде сліпого копіювання, буде наслідування, синтез ідей, генерування власних ідей	Стратегія заняття конкурентної ніші

Висновок: Обрана стратегія конкурентної поведінки – стратегію зайняття конкурентної ніші, тому що компанія працюватиме в декількох сферах та представлятиме два продукти СКД та КІС. Головним, в такому випадку є

залишатись стабільною впродовж часу, за рахунок специфічності та прогресивності продукції для виробництва про обслуговування. В той же час обидва проекти не являється першопрохідцями, а також характеристики системи не будуть копіюватися, буде наслідування та генерування власних ідей для забезпечення конкурентної переваги.

Наступним кроком є розроблення стратегії позиціонування, що базується на обраній стратегії конкурентної поведінки та на базовій стратегії розвитку [49].

Таблиця 4.26 – Визначення стратегії позиціонування для СКД

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна	Стратегія диференціації	Доступна цінова політика	Гнучкість, якість, гарантія
2	Універсальність	Стратегія диференціації	Даний продукт можливо застосовувати у різних сферах	Гнучкість, надійність, стабільність

Таблиця 4.27 – Визначення стратегії позиціонування для КІС

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна	Стратегія диференціації	Доступна цінова політика	Гнучкість, якість, гарантія

Висновки: Згідно вимог до товару, що висуваються до СКД були сформульовані наступні вимоги: ціна, універсальність – до є додатковими конкурентними перевагами, а для КІС – ціна, тому її можна використати додатковою конкурентною перевагою у порівнянні із конкурентами. Базова стратегія була обрана, як для СКД, так і для КІС – стратегія диференціації [49].

#### 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Наступним кроком є розроблення маркетингової програми. Першим кроком стане розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач у випадку вибору продукції нашої компанії [49].

Таблиця 4.28 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару СКД

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Спрощення керування дронами у кількості двох та більше одиниць	Запропоновано алгоритм, що спрощує керування системою, що складається із двох та більше дронів	Універсальність, наявність 4-х режимів роботи, доступність компонентів, цінова політика, кількість дронів в системі.

Таблиця 4.29 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару КІС

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Дослідження стану стратосфери	Можливість дослідження стану стратосфери із поверхні землі або на малих висотах	Унікальність технології, доступність компонентів, цінова політика

Висновки: Із таблиць 4.28 та 4.29 можна зробити висновок, є достатньо переваг аби запевнити споживача у використанні продуктів саме нашої компанії. Конкуренти не в змозі запропонувати подібні продукти із схожими або кращими характеристика [49].

Зробимо трирівневу маркетингову модель товару.

Таблиця 4.30 – Опис трьох рівнів моделі товару СКД

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Продукт надає можливість спрощено керувати системою із двох та більше дронів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Універсальність	М	Тх
	4. Доступність компонентів	М	Ор
	5. Ціна	М	Е
Якість: сертифікати відповідності якості ISO			
Пакування: не передбачається, зберігається у електронному вигляді.			
Марка: Назва організації-розробника			
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами, безкоштовний пробний період використання		
	Безкоштовний пробний період використання, акційні пропозиції, заохочення клієнтів, участь у тендерах.		
Захист інтелектуальної власності патентуванням або ведення комерційної таємниці			

Таблиця 4.31 – Опис трьох рівнів моделі товару КІС

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Продукт надає можливість досліджувати стан стратосфери		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Універсальність	М	Тх
	4. Доступність компонентів	М	Ор
	5. Ціна	М	Е
Якість: Відповідає нормам ГОСТ 2.307-2011 «Виготовлення і складання виробів»			
Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, маніпуляційними знаками (наприклад боїться вологи, крихкий, тощо) та назвою, технічними характеристиками			
Марка: Назва організації-розробника			
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами, безкоштовний пробний період використання		
	Безкоштовний пробний період використання, акційні пропозиції, заохочення клієнтів, участь у тендерах.		
Захист інтелектуальної власності патентуванням або ведення комерційної таємниці			

Висновки: За результатами таблиць 4.30 та 4.31 було отримано опис трьох рівнів моделі товару, як для СКД та КІС, за рахунок наведення основних характеристик. СКД та КІС має бути захищено патентуванням та введенням комерційної таємниці, що дозволить безпечно розповсюджувати продукцію. Наступним кроком стане визначення цінових меж для встановлення ціни на потенційний товар.



Таблиця 4.32 – Опис трьох рівнів моделі товару СКД

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	9 000 – 15 000 ум. од.	7 000 – 12 500 ум. од.	Середній	8 000 – 12 000 ум. од.

Таблиця 4.33 – Опис трьох рівнів моделі товару КІС

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	15 000 – 17 000 ум. од.	11 300 – 14 600 ум. од.	Вище середнього	10 000 – 16 000 ум. од.

Висновки: Аналізуючи таблиці вище, встановлена ціна за товар СКД складає 8 000 – 12 000 ум. од., а ціна за КІС 10 000 – 16 000 ум. од. Дана ціна відповідає характеристиками товару, що пропонується користувачеві. Вона формувалась на затратах створення, як СКД так і КІС. Також, в таблицях вище було показано рівень доходів цільової групи [49].

Наступним кроком буде виконання визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймається рішення.

Таблиця 4.34 – Формування системи збуту СКД та КІС

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення згідно підписаного контракту	Доставка продукту покупцю та його налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту, сайт компанії,

Висновок: Таблиця вище найкраще показує, що потрібно використовувати прямий канал збуту, тобто без посередників, в той же час. Це надає контроль над цінами. Проте для розширення каналів збуту необхідно застосовувати посередників та торговельні площадки (olx, prom.ua, rozetka, bigl, ebay, amazon, тощо).

Наступним кроком є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що включає в себе концепцію товару та збуту, просування та аналіз можливостей ціноутворення [49].

Таблиця 4.35 – Концепція маркетингових комунікацій для СКД

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук продукту, що відповідав би потрібними характеристиками за доступною ціною	Інтернет, мобільний зв'язок, спілкування між клієнтами	Універсальність, легкість керування, розроблено в Україні	Донести до потенційних клієнтів інформацію про легкість та зручність керування дронами у кількості два та більше одиниць	Універсальність, легкість керування,

Таблиця 4.36 – Концепція маркетингових комунікацій для КІС

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук продукту, що відповідав би потрібними характеристиками за доступною ціною	Інтернет, мобільний зв'язок, спілкування між клієнтами	Дослідження стану стратосфери із поверхні землі або на малих висотах, розроблено в Україні	Повідомити, що необхідно відслідкувати стан стратосфери на предмет озонових дір, а точнішої оцінки застосовувати, як з зібрану інформацію із супутників та із поверхні землі у конкретній місцевості	Дослідження стану стратосфери, екологічне питання

Висновки: Отже концепція маркетингової комунікації спрямовується на приваблення нових клієнтів, шляхом рекламних акцій, мобільного зв'язку та інтернету, через їхню важливість, як засобів комунікації. Також слід виділити так зване сарафане радіо завдяки якому, стає можливим розширити аудиторію та правильно донести головну думку продукту, тобто які потреби даний продукт вирішує [49].

## 4.6. Висновки до розділу

У процесі розробки даного стартап-проекту мною було виконано етапи, що є необхідними для аналізу ринку, конкурентоспроможних переваг продукту та вибір стратегії впровадження стартап-проекту. Головну мету, яку я переслідував є створення успішного проекту [49].

Під час розробки стартап-проекту мною було виявлено, що СКД має велику кількість сфер для застосування так як сфера освіти, наукова та військова, журналістика, аграрна сфера, розважальна сфера, кіноіндустрія. КІС є продуктом для вузької сфери застосування: сфера освіти, наукова та військова сфера, оскільки створюється для дослідження стану стратосфери. Проте кожен із запропонованих мною продуктів є свого роду унікальним та доповнює одне одного. Основним продуктом є КІС, проте головну складову – мікрополяриметр необхідно встановити на систему із летальних апаратів, в даному випадку дронів. Тому з одного боку КІС є одним із шляхів застосування СКД, а з іншого боку, без КІС не створювалась СКД, як окремий продукт. Кожен із запропонованих продуктів пропонує кращі характеристики, у порівнянні із конкурентами

Мною було виявлено, що ринок є привабливим для запропонованих мною товарів, під час аналізу усіх ринкових можливостей запуску. Було виявлено головний ризик – конкуренція, демпінг цін, покращення характеристик продукту конкурента. В той же час, під час проведення аналізу стає зрозумілим, що конкуренції є не великою на ринку, особливо це стосується КІС.

Було зроблено аналіз сильних та слабких сторін кожного із запропонованих мною продуктів та розроблена тривала ринкова стратегія проекту та цільові групи.

Наступним кроком після розроблення маркетингової програми стартап-проекту мною було встановлено межі на ціну товару, яка є цілком обґрунтованою та привабливою для клієнтів, яких цікавлять як системи дослідження стану стратосфери так і системи керування дронами у кількості двох та більше.

Аналізуючи всі зроблені мною кроки, я вважаю, що розроблені мною продукти та стартап-проект в цілому має право на життя оскільки є доцільним для використання в умовах сучасної конкуренції.

## ВИСНОВОК

Питання дослідження стану стратосфери залишається важливим, тому що до кінця не встановлено причини та наслідки утворення озонових дір. Проте кожен наступний рік додає цінного досвіду, матеріалу, спостережень цього явища та приносить нові відкриття в даній сфері.

В розглянутій роботі більше увага приділялась системі керування дронами, що дозволить віддалено досліджувати стан озонowego шару в певній області, це дозволяє не знаходитись у епіцентрі.

Мікрополяриметр та СКД об'єднується ідеєю інтернет речей, що забезпечує передачу отриманих даних від поляриметра на сервер або хмарне сховище для їх подальшої обробки, так проводити аналіз мікрополяриметра.

Оскільки дану систему можна віднести до систем, що мають підвищенні вимоги до експлуатації та відмовостійкості, тому був запропоновано алгоритм оновлення програмного забезпечення мікроконтролера. Його також можливо застосувати для оновлення програмного забезпечення дронів на основі яких створюється СКД.

На думку автора СКД є універсальним продуктом, що дозволяє використовувати її, як для наукової сфери, так і для військової, розважальної у гасінні пожеж тощо.

Іншим напрямком розвитку є встановлення мікрополяриметра на інші типи літальних апаратів, якщо необхідно провести аналіз віддаленої місцевості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 – Gigantic hole opens in ozone layer over the Arctic: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.foxnews.com/science/gigantic-hole-opens-in-ozone-layer-over-the-arctic>
- 2 – Озонові діри — світова екологічна проблема: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://karbon-cns.com.ua/uk/ozonovii-diiri-sviitova-ekologiichna-problema.html>
- 3 – Причина виникнення озонових дір в атмосфері збільшення. Озонові діри: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://goodsforlife.ru/uk/the-cause-of-ozone-holes-in-the-atmosphere-is-increasing-ozone-holes.html>
- 4 – Фотометрія. Вступ до фотометрії: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://gutpfusik.blogspot.com/2011/10/blog-post\\_24.html](http://gutpfusik.blogspot.com/2011/10/blog-post_24.html)
- 5 – Фотометрія: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F>
- 6 – Фотометричні методи аналізу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/VR9vAIFhny4/all.html>
- 7 – Спектриметрія: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F>
- 8 – Спектриметрія: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://femto.com.ua/articles/part\\_2/3795.html](http://femto.com.ua/articles/part_2/3795.html)
- 9 – Спектриметр: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>
- 10 – Поляриметрія: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F>
- 11 – ПОЛЯРИМЕТРІЯ: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/894/polyarimetriya>

12 – Методичні вказівки для студентів, що навчаються за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" ОС Магістр – Таврійський державний агротехнологічний університет, [Електронний ресурс]: / уклад. К.О. Самойчук, О.О. Ковальов. – М.: ТДАТУ, 2018 – 18 с. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/poljarymetrija.pdf>

13 – Відьмаченко А.П. ЗАСОБИ МОДУЛЯЦІЇ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА В АСТРОНОМІЧНІЙ АПАРАТУРІ / А.П. Відьмаченко, М.Д. Гераїмчук, В.І. Дубінець, Є.П. Неволовський, П.В. Неволовський, С.Ф. Петренко // Вісник НТУУ “КПІ”. ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2004. – № 27. Методи і системи оптично-електронної та цифрової обробки сигналів

14 – Поляриметр: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://femto.com.ua/articles/part\\_2/3008.html](http://femto.com.ua/articles/part_2/3008.html)

15 – Відьмаченко А.П. РОЗРОБКА ПОЛЯРИЗАТОРА ЗОБРАЖУВАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА НА ОСНОВІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПЛІВОК / А.П. Відьмаченко, Ю. С. Іванов, І. І. Синявський // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т. 21. – № 4.

16 – Синявський І. І. МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ІМІДЖЕР-ПОЛЯРИМЕТР КОСМІЧНОГО ПРОЕКТУ «АЕРОЗОЛЬ-УА» / І. І. Синявський, Ю. С. Іванов, Г. Сосонкін, Г. П. Міліневський, Г. В. Кошман // Космічна наука і технологія. – 2018. – Т. 24. – № 3. – с 23 - 32. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/knit2018.03.023>

17 – Гераїмчук, М. Д. ЕЛЕМЕНТИ І СИСТЕМИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: монографія / М. Д. Гераїмчук, О. М. Генкін, О. В. Івахів, Ю.П. Куреньов, О.В. Мороженко, П. В. Неволовський, С. Ф. Петренко. — К. : ЕКМО, 2009. — 188 с.

18 – УФ детекторы ТОСОН: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.azimp.ru/catalogue/UV+photodiodes/311/>

19 – Урок 2. Плата STM32F103C8T6. Загрузка программы во FLASH-память микроконтроллера через системный бутлоадер.: [Електронний ресурс]. –

Режим доступа: <http://mypractic.ru/urok-2-plata-stm32f103c8t6-zagruzka-programmy-vo-flash-pamyat-mikrokontrollera-cherez-sistemnyj-butloader.html>

20 – Как выбрать стандарт связи для сети IoT: [Электронный ресурс]. –

Режим доступа: <https://habr.com/en/company/commandspot/blog/390825/> – 25.02.2016 г.

21 – Meter-Bus: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Meter-Bus>

22 – Wireless M-Bus in Industrial Wireless Sensor Networks: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radiocrafts.com/technologies/wireless-m-bus-technology-overview/>

23 – Что такое ZigBee протокол в системе "умный дом" Xiaomi?: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xiaomi-smarhome.ru/zigbee/> – 21.12.2017 г.

24 – Zigbee или Z-Wave: что выбрать для умного дома?: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ixsmart.ru/umnyj-dom/zigbee-ili-z-wave-chto-vybrat-dlya-umnogo-doma/>

25 – LoRaWAN – технология повышенной дальности для интернета вещей: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iot.ru/gorodskaya-sreda/lorawan-tehnologiya-povyshennoy-dalnoynosti-dlya-interneta-veshchey>

26 – Протокол LoRaWAN: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lo-ra.ru/lorawan-networks/>

27 – Строительство сетей LoRa в РФ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://itechinfo.ru/content/%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B9-lora-%D0%B2-%D1%80%D1%84>

28 – Технология LoRa: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/en/company/realtrac/blog/304312/> – 28.06.2016 г.

29 – Wi-Fi: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>



30 – Скорость интернет соединения через дополнительное оборудование, по кабелю и по «Wi-fi».: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qwerty.ru/help/settings/100/94587/>

31 – Bluetooth с низким энергопотреблением : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_%D1%81\\_%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BA%D0%B8%D0%BC\\_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC](https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_%D1%81_%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BA%D0%B8%D0%BC_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC)

32 – С чем связан переход беспроводных охранных систем на частоту 868 МГц?: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jablotron.net.ua/a294035-chem-svyazan-perehod.html> – 13.04.17 г.

33 – Тестирование радиомодемов LoRa/LoRaWAN RN2483. Часть 1, LoRa: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/en/post/398229/> – 08.10.16 г.

34 – MICROCHIP RN2483 — ПОДКЛЮЧЕНИЕ, НАСТРОЙКА И ОБНОВЛЕНИЕ ПРОШИВКИ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lorar.ru/microchip-rn2483-podkljuchenie-nastrojka-i-obnovlenie-proshivki/>

35 – Ампер-година: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80-%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0>

36 – MT3608 - регулируемый повышающий преобразователь 2А 28В с MicroUSB: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://controller.in.ua/mt3608---reguliruemij-povishajushhij-preobrazovatel-2a-28v-c-microusb>

37 – GEB703048 3.7V 1000mAh (LiPo, 1С-2С, РСВ 3А + 3 wires 24AWG-3202(80mm), 7x30x48mm) GEB: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/geb703048-3-7v-1000mah-lipo-1c-2c-pcb-3a-3-wires-24awg-3202-80mm-7x30x48mm-geb\\_125615.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/geb703048-3-7v-1000mah-lipo-1c-2c-pcb-3a-3-wires-24awg-3202-80mm-7x30x48mm-geb_125615.html)

38 – BIOS: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/BIOS>

39 – Завантаження операційної системи: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F\\_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%97\\_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%97_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8)

40 – Нулевой меридиан.: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.outdoors.ru/orient/orient12.php>

41 – СИСТЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ - GPS: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kmcgeo.com/Articles/aboutGPS03.htm>

42 – Блок-схеми алгоритмів: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://programming.in.ua/programming/basisprogramming/141-graph-algorithm.html>

43 – Блок-схема: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0>

44 – Спутниковая навигация: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://book.etudes.ru/toc/navigation/>

45 – МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ УКРАИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS АППАРАТУРЫ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ / Д.В. Голкин, А.С. Гребень, В.Г. Худов // Системи обробки інформації, — 2012. — № 9. — С. 25-30

46 – Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1997. – 832 с.

47 – Лазерные датчики и датчики измерения расстояния (дальномеры) IFM Electronic: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://optimak.com.ua/datchiki/datchiki-pozitsionirovaniya-i-obnaruzheniya-obektov/lazernyie-datchiki/>

48 – Ультразвуковой датчик расстояния Ардуино HC-SR04: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>

49 – О. А. Гавриш, К.О. Бояринова, К. О. Копішинська РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТІВ / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: X,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

50 – Дроны объединяются в рой: беспилотники нового поколения на украинских полях: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroportal.ua/views/blogs/drony-obedinyayutsya-v-roi-bespilotniki-novogo-pokoleniya-na-ukrainskikh-polyakh/>

51 – FlightHub — платформа DJI для управления несколькими дронами: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theroco.com/2017/11/08/dji-lighthub/>

52 – Недорогой RTK GPS-приемник с сантиметровой точностью: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://хакер.ru/2013/08/06/61034/>

53 – Методика і апаратне забезпечення дослідження атмосферного аерозолі та валідації супутникових досліджень аерозолі та озону в атмосфері Землі” – проект наземної підтримки космічного експерименту «Аерозоль-UA (NAS)». Етап 3 "Розробка та випробування макета ОМБ поляриметра СканПол: звіт про НП/ НАН України; кер. Зав. лаб. оптики атмосфери ГАО НАН України д.ф.-м.н. Г. Міліневський – К., 2016.— 9 с.: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ikd.kiev.ua/phocadownload/userupload/space\\_reports\\_2015/B2.9.pdf](http://www.ikd.kiev.ua/phocadownload/userupload/space_reports_2015/B2.9.pdf)

54 – МАЛОГАБАРИТНИЙ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИЙ ПОЛЯРИМЕТР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОЗОЛЬНОЇ КОМПОНЕНТИ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНОВОГО ШАРУ ЗЕМЛІ: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/0214.pdf>

55 – Инфракрасный датчик расстояния: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ir\\_distance](http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ir_distance)

56 – Проекция вектора: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://math.semestr.ru/line/projection.php>

57 – Немного о GPS: почему идеальная точность навигации в городе невозможна: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hype.tech/@ns3230/nemnogo-o-gps-pochemu-idealnaya-tochnost-navigacii-v-gorode-nevozmozhna-43y8sl9l>

58 – Как собрать дрон самостоятельно: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://drone-expo.ru/ru/article/kak-sobrat-dron-samostoyatelno-44749>

59 – Как спроектировать собственный квадрокоптер: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://xaker.ru/2013/11/11/own-quadrokopter/>

60 – Ключ до світового лідерства: Чому країни посилено розвивають штучний інтелект: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.112.ua/golovni-novyni/kliuch-do-svitovoho-liderstva-chomu-krainy-posyleno-rozvyvaiut-shtuchnyi-intelekt-525688.html>

61 – Гераїмчук М.Д. Хазанович Ю.Ю. АЛГОРИТМ ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ОТРИМАНИХ ДАНИХ // Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 395 с.

62 – Гераїмчук М.Д. Хазанович Ю.Ю. АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ДРОНАМИ// Збірник праць XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – 395 с.

63 – О. К. Нікітін, В. М. Зайцев Магістерська дисертація: організація, вимоги до структури, змісту та оформлення: навч. посібник \ Нікітін О. К., Зайцев В. М. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського \ «Політехніка», 2019. 108 с.