

Вінницький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
 (повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра радіотехніки
 (повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ »

Виконав: студент 2-го курсу, групи
МНТ-20м спеціальності 153 – Мікро- та
наносистемна техніка Освітня програма:
Мікро- та наносистемна техніка
 (шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мушинський Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. РТ

Осадчук В.С.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: к.т.н., професор каф. ТКСТБ

Бортник Г.Г.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри РТ

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Інфокомунікації, радіотехніки та наносистем
 Кафедра Радіотехніки
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобування
 Спеціальність – 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»
 Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
радіотехніки
 д.т.н., професор О.В. Осадчук

_____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

_____ Мушинському Юрію Ігоровичу _____.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв».

Керівник роботи Осадчук Володимир Степанович, д.т.н., професор
 затвердені наказом вищого навчального закладу від “__” _____ 2021 року
 № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: межі вимірювання напруженостей: в області НЧ, не вужче, 0,5...50 А/м; в області ВЧ, не вужче, 0,2...10 А/м; діапазон частот: в діапазоні НЧ, 0,01...4кГц; в діапазоні ВЧ, 4...60кГц; допустима густина магнітного потоку, 8...6000 нТл; максимальна потужність лазеру, 200мВт;

4. Зміст текстової частини: аналіз сучасного стану фізико-хімічних методів аналізу водного середовища; математична модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин; Розробка структурної та функціональної схеми; економічна частина, безпека життєдіяльності; висновки; перелік посилань;

5. Перелік ілюстративного матеріалу схема структурна; схема мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв; функціональна схема; схема електрична принципова пристрою;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор Осадчук В.С.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Професор кафедри БЖДПБ доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		
Економічна частина	доцент. каф. ЕПВМ к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2021-14.09.2021	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	15.09.2021-21.09.2021	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	21.09.2021-25.09.2021	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	26.09.2021-09.10.2021	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	10.10.2021-03.11.2021	
6.	Розділ моделювання	04.11.2021-12.11.2021	
7.	Розробка графічної частини МКР	13.11.2021-18.11.2021	
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	19.11.2021-24.11.2021	
9.	Охорона праці (ОП)	25.11.2021-30.11.2021	
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12.2021-08.12.2021	
11.	Нормоконтроль	09.12.2021-12.12.2021	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	13.12.2021-19.12.2021	
13.	Захист МКР ЕК	21.12.2021-23.12.2021	

Студент

Мушинський Ю.І.

_____ (підпис)

Керівник роботи

Осадчук В.С.

_____ (підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Мушинський Ю.І. Мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2021. –148 с. На українській мові. Бібліогр.: 35. назв; Рис. 30.

У магістерській кваліфікаційній роботі було проведено класифікацію фізико-хімічних методів аналізу водного середовища. Запропоновано математичну модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин.

Розглянуто інженерний розрахунок параметрів індуктивних елементів на основі еквівалентних схем, а також оптимальний режим живлення із постійного струму.

Розглянуто конструкції існуючих безпілотних літальних апаратів для дослідження водного середовища, їх технічні характеристики та особливості конструкцій. Розроблено структурну та функціональну схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Проведено підбір елементної бази для блоку моніторингу стану води безпілотником. Розроблено електрично принципову схему мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

Також у роботі розроблено розділи економічної частини, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: безпілотник, позакристаліні фільтри, електричні фільтри, RC-фільтри, п'єзоелектричний резонатор, ВЧ- фільтри, системи моніторингу.

ABSTRACT

Mushynsky YI Microelectronic multi-channel system for monitoring the main indicators of the state of water resources for unmanned aerial vehicles. Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU, 2021. –139 p. In Ukrainian language. Bibliogr .: 35. titles; Fig. 30.

In the master's qualification work the classification of physicochemical methods of analysis of the aquatic environment was carried out

The engineering calculation of parameters of inductive elements on the basis of equivalent schemes, and also an optimum mode of power supply from a direct current is considered.

The designs of existing unmanned aerial vehicles for the study of the aquatic environment, their technical characteristics and design features are considered.

The sections of the economic part, labor protection and safety in emergency situations are also developed in the work.

Keywords: drone, out-of-crystal filters, electric filters, RC filters, piezoelectric resonator, RF filters, monitoring systems

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	8
1.1 Проблеми забруднення водного середовища.....	8
1.2 Проблема забруднення природних водойм нафтою та її похідними.....	10
1.3 Класифікація фізико-хімічних методів аналізу водного середовища.....	12
1.4 Вибір безпілотних літальних апаратів для моніторингу водного середовища.....	20
1.5 Огляд відомих безпілотних літальних апаратів для дослідження водного середовища.....	21
1.5.1 Безпілотник EagleRay: підводний коптер або літаючий підводний човен.....	21
1.5.2 Безпілотник Aquatic Micro Air Vehicle (AquaMAV).....	22
1.5.3 Безпілотник Loon Copter.....	24
1.6 Висновки до розділу.....	25
2 РОЗРОБКА МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	26
2.1 Об'єкт дослідження.....	26
2.2 Класифікація та аналіз методів та вимірювальних засобів для визначення характеристик забруднення водного середовища.....	29
2.3 Математична модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин.....	32
2.4 Розробка структурної схеми мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.....	35
2.5 Розробка функціональної схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.....	47
2.6 Вибір елементної бази.....	48
2.7 Розробка електричної принципової схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.....	55

2.8 Розробка алгоритму роботи багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.....	56
2.9 Моделювання функціонування багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в пакеті ISIS Proteus ISIS Professional.....	59
2.10 Висновки до другого розділу.....	65
3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ В ARES PROTEUS.....	66
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	66
3.2 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати.....	67
3.3 Розрахунок діаметру монтажних отворів і контактних площадок.....	69
3.4 Розрахунок ширини провідників.....	70
3.5 Розробка друкованої плати в середовищі ARES Proteus.....	71
3.6 Висновки до третього розділу.....	73
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	74
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	74
4.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки.....	78
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	80
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	91
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	96
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	96
5.1.1 Безпека щодо організації робочих місць.....	96
5.1.2 Електробезпека.....	97
5.2 Гігієна праці та виробнича санітарія.....	97
5.2.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат.....	97
5.2.2 Виробничий шум.....	100
5.2.3 Виробничі випромінювання.....	101
5.2.4 Психофізіологічні фактори.....	102
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	105
5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мікроелектронної	

багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в умовах дії загрозливих чинників НС.....	109
5.5 Висновки до розділу.....	111
ВИСНОВКИ	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	114
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	118
Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема.....	124
Додаток В (обов'язковий) Функціональна схема.....	126
Додаток Г (обов'язковий) Електрична принципова схема.....	128
Додаток Д (обов'язковий) Алгоритм роботи блоку моніторингу стану води	130
Додаток Е (обов'язковий) Автотрасування та розміщення елементів схеми в середовищі ARES Proteus. а)вид зверху б)вид знизу.....	132
Додаток Ж (обов'язковий) Зовнішній вигляд розробленої друкованої плати з встановленими компонентами.....	134
Додаток К (обов'язковий) Програма моделювання мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.....	136

ВСТУП

Актуальність теми

На сьогодні у зв'язку із постійним забрудненням водного середовища України існує потреба в його аналізі та очищенні. Ефективність видалення забруднень водного середовища напряму залежить від засобів та методів їх дослідження. Існує ряд методів дослідження водних ресурсів, але всі вони потребують велику кількість як матеріальних, так і людських ресурсів. До того ж види досліджень, які проводять на даний момент, потребують на обробку досліджуваної рідини значну кількість часу. Відомі зараз методи і засоби експрес-контролю води мають низьку оперативність, часову та просторову роздільну здатність, точність, чутливість та надійність. Все це зумовлює необхідність розроблення автоматизованих засобів з покращеними метрологічними характеристиками для оперативного визначення параметрів водного середовища. Тому тема роботи є безперечно актуальною.

Такого типу проблеми можна вирішити за допомогою безпілотних літальних апаратів тому, що Україна має повний цикл побудови авіаційної техніки і займає провідне місце в світі на авіаційному ринку в секторі пасажирської авіації, що дає можливість розробляти та виробляти авіаційну техніку за такими напрямками, як літакобудування, радіоелектронне бортове обладнання, зосереджене на використанні супутникових систем зв'язку, спостереження та навігації, вертольотобудування, легкі літальні апарати, безпілотні літальні апарати.

БПЛА використовують у всіх сферах людських інтересів, причому відзначається виникнення сфер застосування, де БПЛА не мають пілотованої альтернативи. У зв'язку з викладеним не викликає жодних сумнівів в широкій різноманітності БПЛА як в сферах їх застосування, так і в завданнях, які перед ними ставлять.

Ця різноманітність зумовлена технологічністю БПЛА, яка характеризується ознаками, що визначають види цих літальних апаратів, причому збільшення сфер їх використання відповідно породжує збільшення кількості цих ознак. Яскравим прикладом даного технологічного розвитку є використання БПЛА дослідження водного середовища. Це один із самих перспективних напрямків. Визначення типу БПЛА, який би поєднував всі основні характеристики літальних апаратів для дослідження водного середовища, та відповідної системи дозволить значно пришвидшити і автоматизувати процес аналізу стану води.

Мета роботи

Метою Магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення точності вимірювання масових часток компонентів забрудненої води за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Задачі дослідження

- проаналізувати існуючі безпілотні літальні апарати, які володіють характеристиками, що дозволяють їх використання для дослідження водного середовища;
- розробити мікроелектрону багатоканальну систему моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.
- змодельовати структурну та електричну принципову схему мікроелектрону багатоканальну систему моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, провести схемотехнічне моделювання;
- змодельовати друковану плату мікроелектрону багатоканальну систему моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв;
- розробити заходи охорони праці для забезпечення оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату при розробці мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес зміни концентрації компонентів забрудненої води при різних температурних режимах.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є параметри та характеристики мікроелектронного блоку моніторингу стану води для безпілотних літальних пристроїв.

Методи дослідження

- Аналіз джерел інформації.

- Програмне та схемотехнічне моделювання розробленої схеми за допомогою ISIS Proteus.

Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи: Проведено аналіз публікацій, присвячених фізико-хімічних методів аналізу водного середовища. Запропоновано математичну модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин. На основі математичної моделі отримано значення масових часток брудного водного середовища. Розроблено електрично принципову схему мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, наведено принцип її роботи.

основі комп'ютерного моделювання отримано обробки інформації про густину компонентів забрудненої води.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що розроблено мікроелектронну багатоканальну систему моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, яка дозволить проводити вимірювання потенціального забрудненого водного середовища без втручання людини. Розроблюваний пристрій є переносним та побудований на сучасній елементній базі, з використанням мікроконтролера та дистанційного зв'язку, що робить цей пристрій зручним у користуванні і дає можливість наглядно побачити результат вимірювання.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором практично самостійно в науковій школі д.т.н., проф. Осадчука О.В.

Структура і обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, додатків та переліку посилань.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

1.1 Проблеми забруднення водного середовища

Основними передумовами виникнення в країні кризового екологічного стану, пов'язаного із забрудненням поверхневих вод, є нераціональне використання водних ресурсів із порушенням екологічних вимог, скидання у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених промислових та комунальних стічних вод, а також надходження з поверхневим стоком забруднюючих речовин із сільськогосподарських угідь. Весь комплекс розглянутих факторів є причиною виснаження і забруднення поверхневих вод України, зниження їх самоочисної спроможності, деградації, збідніння та розпаду водних екосистем. Очевидною є необхідність проведення заходів, які повинні адаптувати екологічний стан поверхневих вод до зростаючого техногенного впливу людської діяльності. До цих заходів перед усім слід віднести: нормування якості води через розробку критеріїв для оцінки її придатності до різних видів водокористування; вдосконалення технологічних процесів з метою скорочення обсягів скидів забруднюючих речовин у водойми та перехід на замкнені системи промислового водоспоживання; підвищення ефективності очищення стічних вод через розробку нових та удосконалення існуючих технологій водоочищення.

Проблеми забруднення рідинного середовища

Збереження і охорона водних ресурсів від виснаження – одна з найважливіших проблем людства, яка значно ускладнюється у зв'язку з урбанізацією людського суспільства, інтенсивним розвитком промисловості та сільського господарства, використанням різних хімічних препаратів у побуті та виробництві, що призводить до значного забруднення води і ґрунтів.

Зріст економічного розвитку потребує значних водних ресурсів. Для подальшого зростання промисловості, сільського господарства, енергетики і добробуту населення потрібна велика кількість води, яка б відповідала діючим вимогам державних стандартів та технічним умовам споживання. Вирішення цих важливих господарських проблем потребує ретельного вибору джерела водопостачання, впровадження високоефективних технологій водоочищення на очисних спорудах, систематичного і планомірного здійснення

комплексних заходів щодо охорони і очищення річок та інших водних басейнів. Водоресурсний потенціал України є основою соціального, екологічного благополуччя та її економічного розвитку. На даний час водогосподарські та гідроекологічні проблеми набули загальнодержавного значення і стали одним з головних факторів національної безпеки. Тому в період загострення водноекологічних проблем та обмеженості коштів у підприємств на водоохоронні заходи, важливе місце при виборі найбільш оптимальної технології очищення стічних вод займає оцінка її ефективності. Проблема забезпечення належного екологічного стану водноресурсного потенціалу залишається актуальною для всіх регіонів України. Практично всі поверхневі і значна частина підземних водних ресурсів, особливо в районах розміщення потужних промислових і сільськогосподарських комплексів, відчують антропогенний вплив, що проявляється у забрудненні, виснаженні і деградації цих об'єктів. Значним трансформаціям піддаються господарсько-освоєні водозабірні території, що істотно змінило характер формування стоку і водний режим багатьох водних об'єктів. Це відобразилось, насамперед, у посиленні паводків, які найчастіше призводять до повеней, наслідки яких дуже важкі. Значні обсяги споживання води в економічній діяльності, зростання скидів забруднених вод у поверхневі водойми - основні чинники антропогенного навантаження на поверхневі водні ресурси [1-3]. Аналізуючи об'єми забору, використання та відведення води в Україні за даними Держводагентства [1-3] спостерігається стабільна динаміка збільшення обсягів споживання і промислового використання води. Згідно статистичних даних [1-3], за аналізуємий період, показник загального обсягу забору води з природних водних об'єктів має незначні зміни в динаміці, його середнє значення становить 14716 млн. м³, відхилення від середнього в 2010 (базовому), 2011, 2012 році становить однаково 1,3%. Обсяги використання свіжої води постійно збільшуються. Так, базовий темп зростання становить 102,7 у 2011 році і 143,2 у 2012 році. При цьому обсяги оборотної та послідовно використаної води зростають лінійно обсягам використання свіжої води, при що свідчить однакове значення частки оборотної та послідовно використаної води.

Потужності очисних споруд зростають не пропорційно використанню води. Так, коефіцієнт відставання темпу росту споживання води в порівнянні з темпом росту потужностей очисних споруд у 2011 році становить 0,992, тобто на один відсоток росту споживання води потужності очисних споруд збільшились на 0,992%, а це свідчить про негативні екологічні наслідки

діяльності підприємств та комунально-побутових служб. Розраховані коефіцієнти відставання темпу росту споживання води в порівнянні з темпом росту потужностей очисних споруд для 2012 року мають ще менші значення – 0,717 в порівнянні з попереднім роком та 0,723 в порівнянні з базовим роком [4,5]

Скидання зворотних вод. Практично всі поверхневі джерела водопостачання України інтенсивно забруднюються через низьку якість очищення стічних вод [6]. За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування показник загального обсягу скинутих стічних вод має незначні зміни в динаміці, його середнє значення становить 7,77км³, відхилення від середнього в 2010 (базовому), 2011, 2012 році відповідно 1,28, та 0%. Частка скинутих вод за ступенем очищення теж залишається без суттєвих змін, так, частка забруднених стоків становить 21÷23%, нормативно-очищених 22÷23%, і нормативно – чистих без очищення 55÷56%.

1.2 Проблема забруднення природних водойм нафтою та її похідними.

Нафтове забруднення відноситься до числа найбільших та найнебезпечніших за своїми наслідками антропогенного впливу на природні екосистеми. У води рік, озер и Світового океану щорічно за різними причинами потрапляє від 2 до 10млн.т нафти. Космічним знімання зафіксовано, що майже 30% поверхні океану покрита нафтовою плівкою [9]. Приблизно 12% від загального об'єму нафтопродуктів, які забруднюють водойми, потрапляють туди в результаті транспортування їх морськими шляхами та в процесі експлуатації бурових платформ. Чималої шкоди також приносять аварії які трапляються на нафтопроводах, в результаті яких забруднюються навколишні водойми, ґрунтові води. Основні шляхи потрапляння нафти та нафтопродуктів у поверхневі води:

- скиди в море промивних та баластових вод із суден;
- скиди в портах та припортових акваторіях, включаючи втрати в процесі заповнення бункерів суден;
- скиди промислових відходів та стічних вод;
- дощові стоки;
- катастрофи суден та бурових установок в морі;
- буріння на шельфах;
- атмосферні опади;

- виніс з річним стоком.

Розлита у водоймі нафта проходить такі процеси: випаровування, емульгування, розчинення, окиснення, утворення нафтових агрегатів, седиментація та біодеградація.

Маса нафти, яка знаходиться на поверхні води, переноситься течіями та вітром. Швидкість переміщення нафтових плям складає приблизно 60% від швидкості течії і 2-4% від швидкості вітру. За такої швидкості в контакт з нафтою вступають все нові порції води, хоча концентрація токсичних речовин у воді не стає високою. Нафтова плівка повністю знищує капілярні хвилі і в 2-3 рази зменшує параметр шорсткості водної поверхні [10]. Нафта, що надійшла у воду утворює на поверхні водойми шар плівки. Нафтова плівка змінює інтенсивність та спектральний склад світла, що проникає у воду. Плівка товщиною 30-40мкм повністю поглинає інфрачервоне випромінювання. Леткі вуглеводні випаровуються, а у водний розчин переходять жирні, карбонові та нафтеніві кислоти, а також феноли, крезолі. Розчинність вуглеводнів зменшується із збільшенням числа атомів Карбону в молекулі. Через декілька діб після надходження нафтопродуктів у воду в результаті хімічного та біохімічного розкладу утворюються інші нерозчинні сполуки – окиснені вуглеводні, токсичність яких значно вища, ніж неокиснених вуглеводнів. Змішуючись з водою, нафта утворює емульсії двох типів: прямі “нафта у воді” та зворотні “вода в нафті”. Прямі емульсії нестійкі, характерні для нафти, яка містить поверхнево-активні речовини. Після видалення летких та розчинних фракцій залишкова нафта утворює в’язкі зворотні емульсії, які стабілізуються високомолекулярними сполуками і містять 50-80% води. Під впливом абіотичних процесів в’язкість емульсії збільшується, починається його злипання в агрегати – нафтові кульки, розмірами від 1мм до 10см (найчастіше 1-20мм). Агрегати - це суміш високомолекулярних вуглеводнів, смоли та асфальтенів. Нафтові кульки можуть довгий час зберігатися на поверхні моря, переноситися течіями, виноситися на берег та осідати на дно. Нафтові кульки нерідко заселяються перифітоном (синьо-зелені водорості, рачки та інші безхребетні). Нафта може також затримуватись на кам’янистих поверхнях або між водоростями, морськими жолудями. В такому випадку, крім розкладу під дією біологічних факторів, вона повільно усувається в процесі висихання, затвердіння, насичення піщаними частинками та розтріскування [11,12].

Частину нафти і продуктів її розкладу, що містяться у воді, сорбують донні відкладення, причому найбільшою сорбційною здатністю володіють глинисті

мули. Здатністю розкласти деякі компоненти нафти володіють близько 90 видів морських бактерій та грибів, а також деякі водорості. “Роботоздатність” бактерій залежить від багатьох факторів: температури водойми, наявності достатньої кількості поживних речовин, таких як азот та кисень (для розкладу 1мг нафти мікроорганізмам необхідна така кількість азоту, яка зазвичай міститься в 1л прибережної морської води і 3,3мг кисню). Бактерії не можуть “працювати” із свіжорозливою нафтою, оскільки вона є отруйною для мікроорганізмів [11]. Розклад нафти мікробами починається через певний час, коли нафта пройде певну стадію деградації. Вуглеводні з великим числом атомів вуглецю, особливо циклічні алкани та ароматичні сполуки, майже не вивітрюються, не розчиняються у воді і зазвичай не піддаються біологічному розкладу. Це сприяє збереженню таких сполук у водному середовищі на протязі тривалого часу, а також їх нагромадженню у водоймі.

1.3 Класифікація фізико-хімічних методів аналізу водного середовища

Загалом фізико-хімічні методи аналізу поділяють на 2 основні групи:

1. Власне фізико-хімічні методи, які ґрунтуються на вимірюванні фізичних або фізико-хімічних властивостей (параметрів) системи після проведенні хімічної реакції з об'єктом аналізу.

2. Фізичні методи аналізу, які ґрунтуються на вимірюванні фізичних властивостей (параметрів) системи без проведення хімічних реакцій.

Загальна кількість ФХМА перевищує декілька десятків, розглянемо найбільш поширені.

Залежно від природи фізичного параметра системи, що вимірюють, розрізняють наступні методи:

1. Оптичні методи – ґрунтуються на вимірюванні оптичних властивостей речовин.

2. Електрохімічні методи – ґрунтуються на вимірюванні електрохімічних властивостей речовин.

3. Хроматографічні методи – ґрунтуються на вибіркового поглинанні (адсорбції) окремих компонентів аналізованої суміші різними адсорбентами. Сюди входять методи газової і газорідної хроматографії, рідинної розподільної, тонкошарової, іонообмінної та інших видів хроматографії.

4. Радіометричні методи – ґрунтуються на вимірюванні радіоактивних властивостей речовин.

5. Термічні методи – ґрунтуються на вимірюванні теплових ефектів реакцій або процесів.

Оптичні методи аналізу ґрунтуються на вимірюванні оптичних властивостей речовин (поглинання, розсіювання, відбиття, заломлення, поляризація, випромінювання світла), які виникають під час взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням.

У різні часи, пояснюючи природу світла, вчені дотримувалися різних поглядів. Одні вважали світло електромагнітними хвилями й обґрунтовано доводили це, посилаючись на явища інтерференції, дифракції і поляризація світла. Інші, прихильники корпускулярної теорії, уявляли світло як потік особливих мікрочасток – фотонів, які мають масу, енергію та імпульс. Такий погляд також мав експериментальні підтвердження (фотоефект, ефект Комптона, тиск). Гіпотезу про подвійну природу світла (корпускулярно-хвильовий дуалізм) уперше висловив А. Ейнштейн.

Слід зазначити, що корпускулярно-хвильовий дуалізм властивий не лише світлу, а й усім мікрочастинкам.

Класифікація оптичних методів аналізу

Залежно від характеру взаємодії речовин з електромагнітним випромінюванням розрізняють наступні методи:

1. Абсорбційний метод аналізу – ґрунтується на здатності молекул (атомів) речовин поглинати електромагнітне випромінювання. До нього належать:

а) колориметричний метод аналізу – ґрунтується на візуальному порівнянні кольору або інтенсивності забарвлення стандартного та досліджуємого розчинів;

б) фотоелектроколориметричний метод аналізу – ґрунтується на вимірюванні світлопоглинання немонохроматичного світла вузького діапазо випромінювання видимої частини спектру речовинами за допомогою приладів (фотоелектроколориметрів) із спрощеним способом монохроматизації;

в) спектрофотометричний метод аналізу – ґрунтується на вимірюванні поглинання монохроматичного світла речовинами в ультрафіолетовій (УФ), видимій чи інфрачервоній (ІЧ) частинах спектру;

г) атомно-абсорбційний метод аналізу – ґрунтується на вимірюванні поглинання монохроматичного світла атомами речовин, що знаходяться в газоподібному стані.

2. Нефелометричний метод аналізу (нефелометрія) ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, розсіяного твердими частинками, що знаходяться у розчині в завислому стані.

3. Турбідиметричний метод аналізу (турбідиметрія) ґрунтується на вимірюванні інтенсивності потоку світла, що пройшло крізь розчин, в якому містяться завислі частинки. Інтенсивність зменшується внаслідок поглинання і розсіювання світлового потоку. Застосовується для аналізу суспензій, емульсій, каламутних розчинів.

4. Рефрактометричний метод аналізу (рефрактометрія) – ґрунтується на вимірюванні показника заломлювання світла розчином.

5. Люмінесцентний метод аналізу – ґрунтується на вимірюванні випромінювання, що з'являється в результаті виділення надлишку енергії збудженими атомами аналізуємої речовини.

6. Емісійний спектральний метод аналізу – ґрунтується на дослідженні світла, що випромінюється газоподібними атомами речовини.

Фотометричний метод аналізу має поширене застосування для визначення концентрації речовин (іонів) у воді чи інших розчинниках. Він ґрунтується на вимірюванні інтенсивності поглинання електромагнітного випромінювання оптичного УВІ діапазону спектра однорідною системою і об'єднує під єдиною назвою методи 1(а-в).

Джерелом УВІ випромінювання є, наприклад, Сонце. Загалом, око людини сприймає сонячне світло як біле (незабарвлене) світло. Насправді, біле світло – це поліхроматичне світло, що складається з 7 монохроматичних випромінювань, кожне з яких має власну довжину хвилі (480-760 нм) і колір. Вперше це було доведено Ісааком Ньютоном (1671 р.). Він пропустив промінь білого світла крізь скляну тригранну піраміду і на екрані за пірамідою побачив веселку – 7 різнокольорових смуг, кожна з яких відповідає якомусь монохроматичному випромінюванню з певною довжиною хвилі і кольором. Традиційно умовно виділяють сім кольорів веселки в послідовності зменшення довжини світлової хвилі:

червоний (< 740 нм), оранжевий (помаранчевий), жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий (> 380 нм). Цю послідовність легко запам'ятати за мнемонічною формулою, кожне слово якої розпочинається на літеру, що відповідає кольору:

Чому – Червоний;

Питаю – Помаранчевий;

Життя – Жовтий;
 Зникає – Зелений;
 Без – Блакитний;
 Сонця – Синій;
 Фарб – Фіолетовий;
 Більш відомою є мнемонічна формула на російській мові;
 Каждый — Красный;
 Охотник — Оранжевый;
 Желает — Жёлтый;
 Знать — Зелёный;
 Где — Голубой;
 Сидит — Синий;
 Фазан — Фиолетовый.

Кожна однорідна система має властивість вибірково поглинати випромінювання певної довжини хвилі. Розчини речовин, які поглинають світло з УФ- або ІЧ – ділянок спектру безбарвні. Розчини речовин, які поглинають світло з видимої ділянки спектру (380-760 нм), мають певне забарвлення. Колір будь-якого забарвленого розчину є додатковим до кольору випромінювання, що поглинається. Наприклад, якщо розчин речовини поглинає жовте світло, то забарвлення цього розчину буде синім і навпаки.

Головний закон світлопоглинання Бугера-Ламберта-Бера Практичне застосування фотометричного методу визначення концентрації речовин (іонів) у розчинах ґрунтується на використанні об'єднаного закону світлопоглинання Бугера-Ламберта-Бера.

При проходженні монохроматичного світла з інтенсивністю (I_0) крізь шар однорідного розчину з товщиною (l) і молярною концентрацією поглинаючих світло часток (C) частина світла поглинається ($I_{\text{погл}}$), розсіюється ($I_{\text{розс.}}$) та відбивається від стінок кювети ($I_{\text{відб.}}$), тому інтенсивність світла, що пройшло (I) менша, ніж I_0 , тобто

$$I_0 = I_{\text{погл.}} + I_{\text{розс.}} + I_{\text{відб.}} + I.$$

Спектрофотометрія – найбільш довершений метод фотометричного аналізу. Він ґрунтується на визначенні спектра поглинання або вимірюванні світлопоглинання монохроматичного світла певної довжини хвилі, яка відповідає максимуму кривої поглинання досліджуваної речовини. Розрізняють спектрофотометрію в інфрачервоній, видимій і ультрафіолетовій області. В

ультрафіолетовій і видимій області проявляються електронні спектри молекул, в інфрачервоній області – коливальні спектри. Спектрофотометрія у видимій області і УФ-областях дозволяє оцінювати ступінь чистоти речовин, ідентифікувати по спектру різні сполуки, визначити константи дисоціації кислот і основ, досліджувати процеси комплексоутворення. ІЧ-спектри служать джерелом інформації про структуру молекулярних сполук і широко застосовуються для ідентифікації органічних речовин. Криву залежності поглинання від довжини хвилі або хвильового числа називають спектром поглинання речовини. Ця крива є специфічною характеристикою певної речовини. Якісний аналіз речовин за їх спектрами поглинання проводять двома способами: а) за відомими параметрами спектра поглинання досліджуваної речовини; б) порівняння спектрів поглинання розчину стандартної речовини і розчину досліджуваної речовини одного й того ж складу. Для визначення концентрації розчинів спектрофотометричним методом, як і в інших фотометричних методах, використовують закон Бугера-Ламберта-Бера.

На відміну від фотоколориметричних визначень, у спектрофотометрії можна аналізувати не тільки забарвлені, але й безбарвні розчини. В останньому випадку аналіз проводять не у видимій, а в УФ- або ІЧ-ділянках спектра. Основним видом приладів для спектрофотометрії є спектрофотометри, в яких, на відміну від фотоелектроколориметрів, монохроматизація забезпечується не світлофільтрами, а спеціальними оптичними пристроями – монохроматорами, які дозволяють безперервно змінювати довжину хвилі електромагнітного випромінювання, що проходить крізь розчин, який аналізують. Відносна похибка спектрофотометричних визначень індивідуальних речовин не перевищує 2%.

Нефелометричний і турбідиметричний методи аналізу

Нефелометричний і турбідиметричний методи застосовуються для аналізу суспензій, емульсій, різних зависей та інших каламутних середовищ.

Турбідиметричний метод аналізу (турбідиметрія від лат. *turbidus* – мутний) – метод кількісного аналізу, що ґрунтується на вимірюванні інтенсивності потоку світла, що пройшло крізь розчин, в якому містяться завислі частинки. Інтенсивність зменшується внаслідок поглинання і розсіювання світлового потоку. Турбідиметрія застосовується для аналізу суспензій, емульсій, каламутних розчинів.

При турбідиметричних вимірах через світлорозсіювальне середовище пропускають світловий потік з інтенсивністю I_0 і потім вимірюють його

інтенсивність I після проходження крізь світлорозсіювальне середовище. Джерело і приймач випромінювання знаходяться на одній лінії. При наявності частинок, що розсіюють світло (релеєвське розсіювання), вочевидь, що $I < I_0$. У такому випадку зниження інтенсивності світла, що пройшло крізь каламутний розчин, описується формулою аналогічною рівнянню Бугера-Ламберта-Бера

$$S = -\lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{I_0}{I} = kCl,$$

де S – величина, що відіграє роль оптичної густини; іноді величину S називають каламутністю;

k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від розміру частинок дисперсійної фази, довжини хвилі падаючого світла; показників заломлення частинок і середовища, л/моль·см;

C – концентрація частинок, що поглинають (розсіюють) світло, моль/л;

l – товщина шару розчину, що поглинає (розсіює) світло, см Графічно залежність S від C має вигляд прямої, що проходить через початок координат. Отже, для визначення концентрації речовин у розчинах можна використовувати метод градуйованого графіку.

Для турбідиметричних вимірювань придатні колориметри, фотоколориметри, спектрофотометри (як правило, використовують зелений світлофільтр). Порядок вимірювань збігається з порядком фотоколориметричних вимірювань. Кількісні визначення проводять з використанням калібрувальної кривої. Турбідиметричний метод має високу чутливість, але його застосування обмежене у зв'язку з тим, що на світлорозсіювання дуже впливає розмір часток, тому при порівнянні стандартів і проби необхідне суворе дотримання ідентичності умов. Метод має менші чутливість і точність, ніж нефелометрія. Похибка визначення концентрації турбідиметричним методом може бути більшою за 5%.

Електрохімічні методи аналізу (ЕХМА) – група методів, що ґрунтуються на вимірюванні та реєстрації параметрів електрохімічних явищ (потенціал електроду, електропровідність, кількість електрики, сила граничного дифузійного струму, ємність, опір, діелектрична проникність тощо), величини яких функціонально пов'язані зі значенням концентрацій компонентів, що аналізують. Електрохімічні явища відбуваються або на електродах, або у міжелектродному просторі.

До позитивних ознак ЕХМА відносяться: низька межа виявлення ($10^{-1} \cdot 10^9$ моль/дм³), висока чутливість і селективність, швидкість відгуку на зміну складу аналізованого об'єкта, легкість автоматизації та можливість дистанційного управління. Тому ЕХМА займають гідне місце серед методів контролю стану водного середовища.

Залежно від характеру перебігу реакції, яка використовуються при виконанні аналізу, ЕХМА поділяють на три основні групи:

1. Методи, засновані на перебігу електродних реакцій у відсутності електричного струму ($I=0$) – потенціометрія.

2. Методи, засновані на перебігу електродних реакцій під дією електричного струму ($I \neq 0$) – полярографія, вольтамперометрія, електрогравіметрія, кулонометрія.

3. Методи, в яких електродні реакції не протікають – кондуктометрія, діелектрометрія. За природою аналітичного сигналу, що вимірюється, розрізняють наступні ЕХМА:

потенціометрія – ґрунтується на вимірюванні потенціалу за сталої сили струму; вольтамперометрія – ґрунтується на вимірюванні сили струму при зміні напруги; полярографія – ґрунтується на вимірюванні граничного дифузійного струму; кондуктометрія – ґрунтується на вимірюванні електропровідності з використанням струмів низьких (50-10000 Гц) або високих (більше 1МГц) частот;

діелектрометрія (діелькометрія) – ґрунтується на вимірюванні діелектричної проникності (ϵ) і тангенса кута діелектричних втрат ($\text{tg}\sigma$), величини яких є функцією як складу, так і хімічної будови речовини, яку аналізують; електрогравіметрія – ґрунтується на вимірюванні маси речовини, що виділяється на електроді в процесі електролізу розчин;

кулонометрія – ґрунтується на вимірюванні кількості струму, що проходить через розчин за сталої сили струму чи напруги.

В усіх цих методах концентрацію речовини в розчині або масу речовини визначають прямим або опосередкованим (непрямим) методом. У прямому методі вимірюють аналітичний (фізичний) сигнал, який залежить від концентрації речовини, і розраховують кількість речовини – потенціометрія, кулонометрія, полярографія.

В опосередкованому методі розчин з речовиною, що визначають, титрують реагентом точно відомої концентрації, будують криву титрування, за якою

знаходять кінцеву точку титрування, і розраховують вміст компонента, що визначають.

Нефелометричний метод аналізу (нефелометрія). Цей метод визначення концентрації ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, розсіяного диспергованими частинками під певним кутом (наприклад, 90°). При проходженні світлового потоку крізь світлорозсіювальне середовище частинки цього середовища розсіюють світло в різних напрямках з тією ж довжиною хвилі, що і довжина хвилі падаючого світлового потоку. Якщо розміри r часток, що розсіюють світло, менші за довжину хвилі λ світла, яке розсіюється ($r < 0,1 \lambda$), то таке світлорозсіювання називають релеєвським розсіюванням і воно підкоряється рівнянню Релея

$$I_p = I_0 \left[\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2} \cdot \frac{NV^2}{\lambda^4 r^2} \right] \cdot (1 + \cos^2 \beta),$$

де I_p і I_0 – інтенсивність світла, що розсіюється і падає, відповідно;

n_1 і n_2 – показники заломлення дисперсної фази та дисперсійного середовища, відповідно;

N – загальна кількість частинок, що розсіюють світло;

V – об'єм однієї частинки;

λ – довжина хвилі падаючого світла;

r – відстань від частинки, що розсіює світло, до приймача розсіяного світла;

β – кут між напрямком світла, що падає і розсіюється.

При дослідженнях певної дисперсної системи сталими величинами є показники заломлення n_1 і n_2 та значення r і β (зумовлені конструкцією обладнання). Тоді, за цих умов, рівняння (5.1) набуває вигляд

$$I = kI_0 \frac{NV^2}{\lambda^4},$$

де k – коефіцієнт, що залежить від властивостей системи і типу приладу.

Множник вказує на швидке зростання інтенсивності розсіяного світла із зменшенням довжини хвилі падаючого світла. Оскільки червоне світло розсіюється менше будь-якого іншого світла за певних рівних умов, то різні сигнальні вогні (стоп-сигнали, вогні маяка тощо) роблять червоними. Серйозним ускладненням у практиці нефелометрії є те, що інтенсивність розсіяного світла суттєво залежить від об'єму частинок. Велике значення у зв'язку з цим набуває уніфікація методики приготування суспензії – суворе

дотримання концентраційних і температурних умов, порядку та швидкості змішування розчинів, введення захисних колоїдів і т.п. При дотриманні цих умов об'єми частинок суспензії виходять приблизно однакові, а їх розмір цілком задовільно відтворюється від досліду до досліду.

Нефелометричний метод аналізу (нефелометрія). Цей метод визначення концентрації ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, розсіяного диспергованими частинками під певним кутом (наприклад, 90°). При проходженні світлового потоку крізь світлорозсіювальне середовище частинки цього середовища розсіюють світло в різних напрямках з тією ж довжиною хвилі, що і довжина хвилі падаючого світлового потоку. Якщо розміри r часток, що розсіюють світло, менші за довжину хвилі λ світла, яке розсіюється ($r < 0,1 \lambda$), то таке світлорозсіювання називають релеєвським розсіюванням і воно підкоряється рівнянню Релея

$$I_p = I_0 \left[\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2} \cdot \frac{NV^2}{\lambda^4 r^2} \right] \cdot (1 + \cos^2 \beta).$$

Нефелометрію використовують при визначенні сульфат-іонів у водних суспензіях сульфату барію або хлорид-іонів у водних суспензіях хлориду срібла. Вимірювання проводять за допомогою нефелометрів – приладів, які аналогічні за конструкцією фотометрам, але мають пристрій для спостереження розсіяного світла під кутом 90° до напрямку променя, що падає. Похибка визначення концентрацій нефелометричним методом може сягати 2-5%.

Тому, цей метод є найбільш підходящим для конструювання мікроелектронного блоку моніторингу стану води.

На сьогодні існують безпілотники, які мають характеристиками, що дозволяють використання БПЛА для дослідження водних середовищ. Виділимо характеристики, що визначають тип БПЛА, які є оптимальним для дослідження водного середовища та охарактеризуємо декілька відповідних БПЛА.

1.4 Вибір безпілотних літальних апаратів для моніторингу водного середовища

Беручи до уваги відому класифікацію [2], опишемо основні характеристики, що визначають клас БПЛА, який є найбільш підходящими для моніторингу водного середовища.

Найбільш масовими і перспективними для даного застосування можна вважати малого розміру тактичні БПЛА (до 200 кг), адже висотні повітряні транспортні канали (більше ніж 1050 м) хоча і менш завантажені та перевищують всі будівлі світу, потребують більше часу для набору висоти, також там є більш сильні вітри, яким тактичні БПЛА важко літати. Оскільки моніторинг водного середовища відбувається в межах одної або між сусідніми водоймами, то це потребує як морське базування так і наземне – до 300 км. Для моніторингу водного середовища необхідно використовувати надійні, дешеві, водостійкі та багаторазові тактичні БПЛА (дальність польоту яких не перевищує 80 км). Оскільки моніторинг такого типу будуть відбуватися неподалік водойми, що дозволить позбутись необхідності БПЛА долати великі відстані. Це дозволяє використовувати їх для ближнього та малого радіусу дії (в межах 40 км). Для подібних відстаней достатньо замало швидкісних БПЛА (до 100 км/год). Також для моніторингу водного середовища необхідні комерційні цивільні БПЛА, адже військові аналоги створені з урахуванням власної специфіки. Зібрана інформація повинна транслюватися по каналам, які забезпечують БПЛА з аналоговими (передача інформації на відстань до 40 км) та цифровими каналами (передача інформації на відстань до 15 км) [2]. Для моніторингу водного середовища достатньо використовувати БПЛА, тривалість польоту якого буде в межах 6-12 год, при чому оптимальна висота польоту від 1 км (мало висотні) до 4 км (середньо висотні).

1.5 Огляд відомих безпілотних літальних апаратів для дослідження водного середовища

На сьогодні існують БПЛА які мають характеристики, що дозволяють використання їх для моніторингу водного середовища.

З огляду на виділені вище характеристики наведемо декілька відомих відповідних БПЛА.

1.5.1 Безпілотник EagleRay: підводний коптер або літаючий підводний човен

Дослідники з Університету штату Північна Кароліна за фінансової підтримки компанії Teledyne Scientific створила оригінальний в своєму роді БПЛА отримавши назву EagleRay XAV, який здатний літати в повітрі, так і плавати під водою. Одна з основних сфер використання цього дрона є спостереження за дикою природою.

Характерною особливістю в дизайні EagleRay є можливість зміни розмірів даного БПЛА в залежності від потреб. На сьогодні дрон має розмах крила 1,5 м, довжина безпілотної 1,4 м при масі в 5,7 кг. Безпілотної оснащений електроприводом з гібридним пропелером, що дає можливість переміщення як по повітрі, так і під водою.

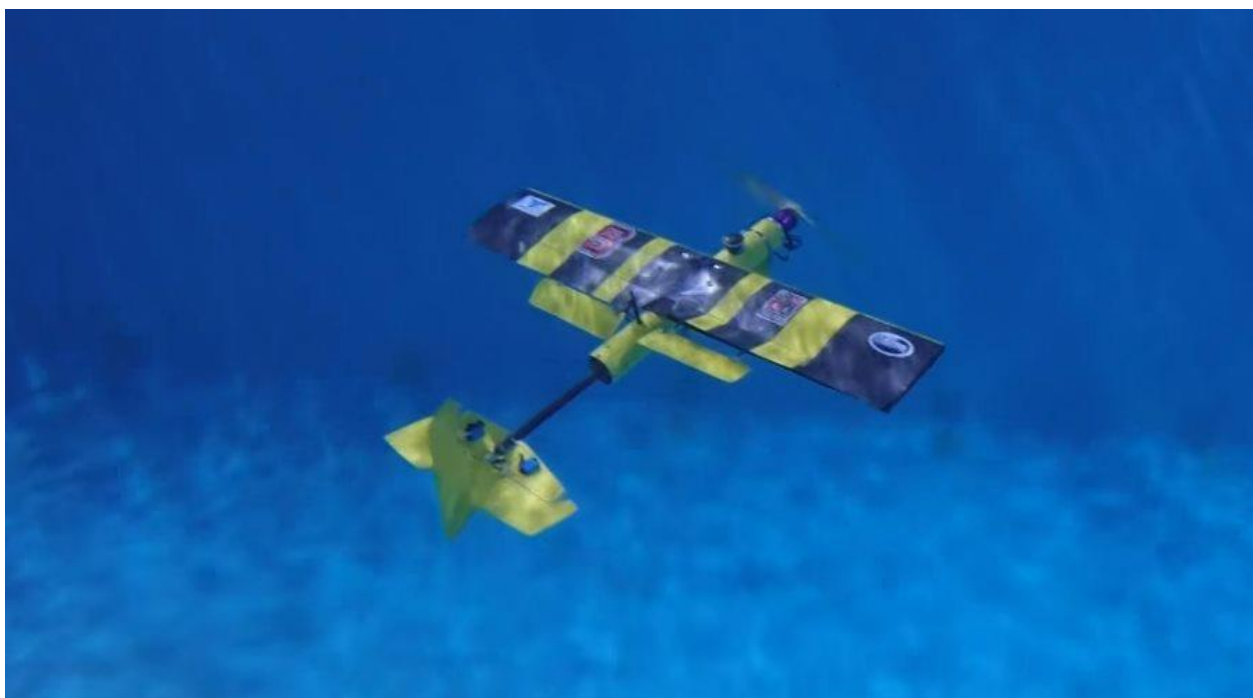


Рисунок 1.1 – Безпілотної EagleRay

За словами розробників, їх безпілотної має можливість швидко переміщати підводні сенсори з одного місця в інше. EagleRay здатний здійснювати підводні дослідження, які більшість БПЛА виконати не можуть. Наприклад, гідролокатор працює тільки під водою. EagleRay може прилетіти на певне місце, зануритися під воду для зняття гідролокаційних показань, а потім відновити та продовжити політ, щоб передати інформацію за призначення. Для порівняння сьогодні є традиційним спосіб збору даних такий, як скидання літаком гідроакустичних буїв [3].

1.5.2 Безпілотник Aquatic Micro Air Vehicle (AquaMAV)

Aquatic Micro Air Vehicle – унікальний в своєму роді безпілотник (рис. 1.2), який може рухатися як в повітрі, так і під водою. Він може виконувати збір даних водних ресурсів, що дасть можливість швидко реагувати на стихійні лиха, а також зменшити витрати на проведення моніторингу стану океанів, морів та річок.



Рисунок 1.2 - БПЛА Aquatic Micro Air Vehicle (AquaMAV)

Цей безпілотник розроблений вченими Імперського коледжу в Лондоні, а його унікальність є можливість занурюватися під воду, кидаючись туди з висоти, складаючи при цьому крила. Також він здатний самостійно відновлювати політ в повітрі після перебування під водою. Для цього, крім простого електричного приводу, AquaMAV оснащений маленьким балоном з CO_2 , який, при потребі виринути, вивільняє стислий під тиском газ і за рахунок цього створює реактивну тягу. Піднявшись над водною поверхнею, БПЛА знову розгортає крила, при цьому він може досягати швидкості в 11 м/с в інтервалі до 1 секунди.

Він укомплектований батареєю, що дозволяє йому політ впродовж 14 хвилин при швидкості 10 м/с (48 км/год), чого достатньо для переміщення в радіусі 5 км, в якому безпілотник може занурюватися в воду і повертатися на базу зі взятої пробою води.

Це дає можливість при великих нафтових розливах, AquaMAV зробити короткочасний політ, зібрати зразки забрудненої води з різних ділянок і повернутися на стартову площадку, щоб представити проби для досліджень. Це сильно полегшить дослідникам їх роботу з аналізу таких та подібних ситуацій.

Основним недоліком AquaMAV короткий час роботи якого замало для підводного моніторингу.

Також AquaMAV може використовуватися для моніторингу солоності води, що є одним із способів дослідження зміни клімату, або перевіряти якість води у водоймах [4].

1.5.3 Безпілотник Loon Copter

Безпілотник Loon Copter (рис. 1.3), особливий тим, що може здійснювати звичайні повітряні польоти, надводні задачі на поверхні води та занурення у воду з подальшою навігацією. Він створений у дослідницькій лабораторії з вбудованих систем міста Окленд.

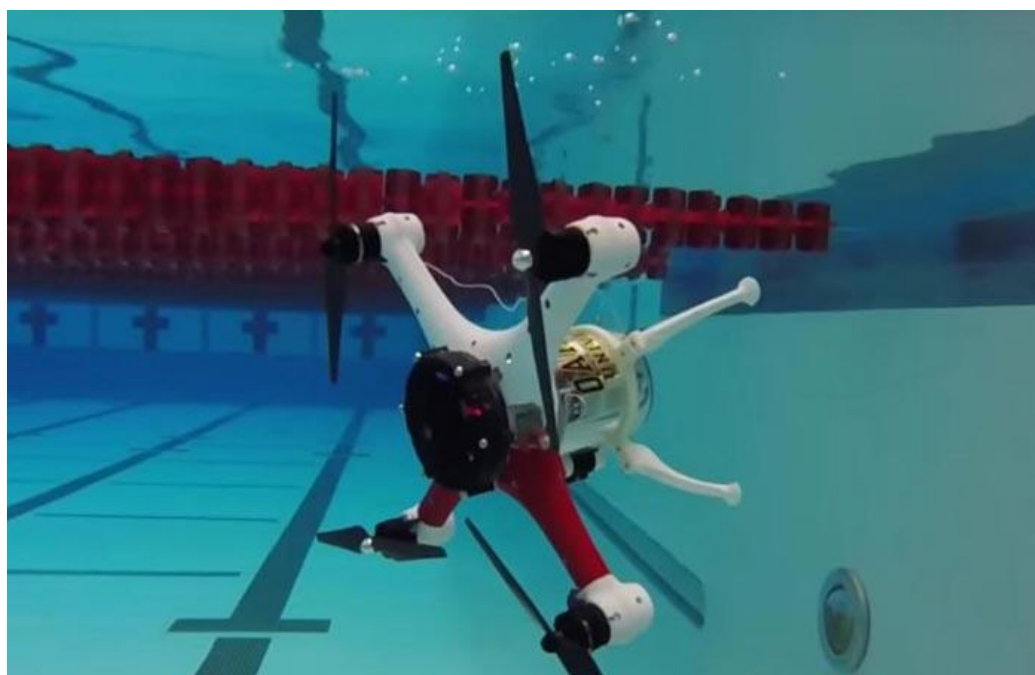


Рисунок 1.3 – БПЛА Loon Copter

Loon Copter може виконувати автономну навігацію по GPS-точках або керуватися дистанційно, як звичайний БПЛА. Loon Copter був розроблений для швидкого розгортання пошукових робіт, в якості не дорогого транспортного засобу, який може замінити як класичні БПЛА, так і підводний транспортний засіб. Таким чином, поєднання характеристик БПЛА та підводних човнів створює нові можливості, які включають пошуково-рятувальні місії, дослідження підводних споруд, відстеження розливів нафтових продуктів на різних глибинах та моніторингу морського життя [5].

Однак Loon Copter не являється одним з перших підводних БПЛА, це перший мульти-роторний безпілотник, який має можливість заповнити свою плавучий резервуар, щоб зануритися під воду, нахилитись на дев'ясто градусів і рухатися в товщі води. Loon Copter може потім піднятися, звільнивши від води свою баластну камеру, і пливати на поверхні води, а потім злетіти в повітря і знову здійснювати політ. Крім того, контролюючи баластний тиск, даний безпілотник може бути горизонтально або вертикально стабілізованим під водою, не використовуючи багато енергії [5].

1.5 Висновки до розділу

Проаналізовані методи оптичного дослідження мутності води. Виходячи з класифікації нефелометрія є найбільш підходящим для конструювання блоку моніторингу стану води.

В розділі проаналізовано існуючі безпілотні літальні апарати для дослідження водного середовища, їх технічні характеристики та особливості конструкцій.

Вище розглянуті БПЛА не містять сенсорів і використовуються лише для вирішення якихось своїх певних завдань. Якщо їх обладнати сенсорами або сенсорними системами, то їх функціональність різко підвищиться. Особливо доцільно це зробити робити на БПЛА Loon Copter. Якщо оснастити його блоком моніторингу стану води, в якому він плаває, то можна отримати можливість дослідження багатьох її параметрів, наприклад, рівень забрудненості. При цьому сигнали про стан води можна передавати відразу з місця аналізу.

Розробка та моделювання такого блока здійснюватись у програмному середовищі ISIS Proteus, опис роботи та функції буде наведено у другому розділі.

2 РОЗРОБКА МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

У зв'язку з тим, що наведені у першому розділі безпілотники не мають достатніх параметрів для реалізації моніторингу водного середовища, постає питання у розробці електричної принципової схеми блоку моніторингу стану води водним БПЛА для реалізації поставленої мети.

Для розробки електричної принципової схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв необхідно розробити структурну та функціональну схему багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

2.1 Об'єкт дослідження

У багатьох областях України якість водного середовища є дуже поганою через відсутність достатньої кількості очисних споруд і зон для санітарної охорони. Велика кількість водопроводів не обладнані знезаражувальними установками води.

Зазвичай в дослідженнях питної води знаходять відхилення за органолептичними показниками до сімидесяти відсотків. На другій сходині наднормативна мінералізація до тридцяти відсотків, а на третій - перевищення граничної концентрації хімічних речовин до сімнадцяти відсотків. Основні джерела забруднення можна виділити такі як:

- **Фермерські господарства**

Добрива, інсектициди, гербіциди і органічні відходи вимиваються і надходять в підземні і поверхневі води.

- **Стічні води**

Продукти миючі засоби, бруд, життєдіяльності. Частина цих відходів стікає в моря, річки та озера без необхідного очищення.

- **Витоки нафти**

Нафтопродукти збираються на поверхні води, перекриваючи доступ кисню і світла. Окрім неприємного запаху і забруднення води, це відчувається гибелью птахів і риби.

- **Промислові відходи**

Фтор, ртуть, залізо, мідь, радіоактивні частки у воді – стоки промислових підприємств. Викиди бувають як нарочними, так і випадковими, наприклад, аварії або витіки. Одними з найшкідливіших виробництв можна виділити нафтопереробну, чорну металургію, і целюлозно-паперові підприємства.

- Теплове забруднення

Злив теплої води з теплових і атомних електростанцій значно підвищує температуру водойм. Це призводить до пришвидшення заростання водоростями і гибелі живності.

- Тверді відходи

Пакети, пластикові пляшки, щебінь, гравій, відпрацьований ґрунт. За рахунок цього водойми перетворюються на смітники.

- Атмосферні забруднення

Попіл, зола, сажа і гази. Оксиди сірки і азоту, з'єднуючись з вологою і киснем стають причиною кислотних опадів.

Це лише одна з багатьох класифікацій джерел забруднення водних ресурсів.

Значні заходи вживаються для запобігання поширенню забруднення водного середовища стічними водами. Стічні води це відходи, що відводяться після використання у виробничій або побутовій діяльності людини. За своєю природою забруднення поділяються на органічні, мінеральні, біологічні, бактеріологічні [6].

Таблиця 2.1 – Визначення класу забрудненості води

Клас	Розряд	ПКІЗВ	назва
1		< 1	умовно чиста
2		1—2	слабо забруднена
3	а	2—3	забруднена
	б	3—4	дуже забруднена
4	а	4—6	брудна
	б	6—8	брудна
	в	8—10	дуже брудна
	г	10—11	дуже брудна
5		понад 11	екстремально брудна

Із загальної кількості стічних вод сімдесят відсотків є умовно чистими, вісімнадцять є забрудненими і тринадцять відсотків вважають очищеними. Суворі критерії для поділу промислових відходів на забруднені, нормативно-очищені і умовно-чисті не знайдені. Неочищені стічні води потребують в багаторазовому змішуванні їх з чистою водою. Нормативно-очищені води також містять забруднення, і для їхнього розведення потрібно на кожен 1 м³ до 7—12 м³ чистої води.

Таблиця 2.2 – речовин 4-го класу небезпечності: феноли, нафтопродукти, мідь, залізо.

Кратність перевищення ГДК	Характеристика рівня забрудненості	Частковий оціночний бал за кратністю перевищення
(1,2)	Низький	[1,2)
[2,30)	Середній	[2,3)
[30,50)	Високий	[3,4)
[50,∞)	Екстремально високий	4

Визначення класу забрудненості:

Класи забрудненості залежать від коефіцієнта запасу. Такий же результат можна отримати, якщо не змінювати границі в таблиці, а перед підстановкою розділити ПКІЗВ на коефіцієнт запасу.

Забруднення Світових океанів та морів нафтою та нафтопродуктами є однією з глобальних екологічних проблем. Нафтопродукти являють собою маслянисту, в'язку рідину, яка має темно-коричневий колір та має слабку флуоресценцією. Нафто продукти складається в більшості з гідроароматичних, насичених аліфатичних вуглеводнів. Основні компоненти нафти – вуглеводні до дев'яносто восьми відсотків – поділяються на чотири класи:

1. Парафіни до дев'яносто відсотків загального складу – стійкі речовини, молекули яких представлені розгалуженим або прямим ланцюгом атомів вуглецю. Легкі парафіни мають максимальну леткість та розчинність у воді.

2. Циклопарафіни від тридцять до шістдесят відсотків загального складу – насичені циклічні сполуки з шістьма атомами вуглецю в кільці. Окрім циклогексану чи циклопентану, у нафтопродуктах зустрічаються поліциклічні та біциклічні сполуки такої групи. Вони є дуже стійкими та погано піддаються біорозкладанню.

3. Ароматичні вуглеводні від двадцяти до сорока відсотків загального складу – циклічні ненасичені сполуки ряду бензолу, що містять у кільці на шість атомів гідрогену менше, в порівнянні з циклопарафінами. Наявні леткі сполуки з молекулою у вигляді одинарного кільця толуол, бензол, ксилол потім біциклічні нафталін і поліциклічні пірон.

4. Олефіни до десяти відсотків загального складу – ненасичені нециклічні сполуки з двома або одним атомом водню біля кожного атома вуглецю в молекулі, що має розгалужений або прямий ланцюг. Кількість нафти у воді регулюється нормативом ДСанПіН 2.2.4-171-10 і не може перевищувати 0.1 мг/дм³.

2.2 Класифікація та аналіз методів та вимірювальних засобів для визначення характеристик забруднення водного середовища

Засоби та методи забруднення водних середовищ. Сучасні методи дослідження концентрації домішок у воді можна в цілому розділити на прямі, коли дані отримують безпосередньо з досліджуваних даних та на непрямі, де шукане значення отримують на основі їх залежностей від вимірних величин. Обмежившись розглядом прямих методів дослідження концентрації домішок у водному середовищі, які можна поділити на кондуктометричні, хімічні, оптичні, акустичні та комплексні. Хімічні методи потребують відбір проб, що є достатньо точними, але не пристосовані до експрес-контролю. Кондуктометричний полягає у дослідженні електропровідності розчинів. Даний метод є високочутливий, доволі простий у реалізації, але провідність неоднозначно залежить від концентрації і до того ж у великій мірі впливає температура рідини. Оптичний метод оснований на розсіянні, поглинанні, поляризації світла та заломленні інфрачервоних променів, використання такого явища, як люмінесценції та спектрального аналізу рідини. Перевагою такого методу є велика чутливість оптичних параметрів до зміни навколишнього середовища, тому можна розглянути даний метод більш детально.

Оптичний вид аналізу води оснований на використанні властивостей випускання електромагнітного випромінювання молекулами або атомами досліджуваної речовини, або за рахунок взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. Природа випромінювання залежить від кількісного та якісного складу речовини [7].

За своїм характером взаємодії досліджуваної речовини з випромінювання і способом його вимірювання можна виділити такі види: люмінесцентний аналіз абсорбційну спектроскопію, турбидиметрію та нефелометрію.

У фотометричному дослідженні використовується поглинання електромагнітного випромінювання в ультрафіолетовій, інфрачервоних та видимій областях спектру. Досить великого поширення набули фотометричні методи аналізу, зосновані на поглинанні випромінювання у видимих областях спектру, тобто в інтервалі довжин хвиль від чотириста до вісімсот нм. Це можна пояснити можливістю отримання велику кількість інтенсивно забарвлених неорганічних і органічних сполук, придатних для їх фотометричного визначення у видимих областях спектру за рахунок досить нескладних і дешевих приладів.

При проходженні випромінювального потоку через частково поглинаюче середовище інтенсивності потоку I , який пройшов, згідно із закону Бугера - Ламберта - Бера який дорівнює $I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon_{\lambda} l c}$ де I_0 – інтенсивність падаючого потоку; ε_{λ} – це молярний коефіцієнт поглинання при такій довжині хвилі; l – товщина поглинального шару; c – концентрація поглинальної речовини, моль/дм³.

Величину $\lg(I_0/I)$, що вказує на поглинаючу здатність речовини в воді, називається оптичною щільністю. В аналітичній практиці, прагнули підкреслити суть процесу, що стоїть в основі фотометричного визначення, а точніше поглинання квантів електромагнітного випромінювання оптичного діапазону аналітичною формою, цю величину прийнято називати світлопоглинанням або поглинанням і позначають літерою A . Для розчину поглинаючої рідини при постійних концентраціях та товщині поглинального шару A в основному залежить від довжини хвилі. Серія аналітичних визначень виконується при постійній товщині поглинаючого шару [7]. Значення поглинання A може бути знято зі шкали вимірюючого приладу. Однак деякі прилади мають тільки одну шкалу пропускання T (%)

$$T = (I/I_0) \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Тому показання такого роду приладів при виконанні фотометричних визначень потрібно перераховувати на поглинання за формулою

$$A = \lg(1/T) \cdot 100 = 2 - \lg T.$$

Зазвичай серед оптичних методи методів водних досліджень основна роль належить спектральному аналізу. Даний метод є одним із фізико-хімічних методів кількісного і якісного визначення молекулярного та атомного складу речовин, заснованих на дослідженні спектрів, що випромінюються або поглинаються речовинами що аналізуються. В основі цих груп методів стоїть принцип вимірювання зміни інтенсивностей світлового потоку. Залежно від довжин хвиль змінюється характеристики випромінювання, за рахунок чого електромагнітний спектр поділено на зони: γ -, космічні промені та рентгенівські з довжиною хвилі 0,1 – 9 нм, ультрафіолетова зона складає – від десяти до триста вісімдесят нм, видима зона – від триста вісімдесят до сімсот шістдесят нм, інфрачервона зона – від сімсот шістдесят до тисячу сто нм і далі до ста п'яти нм. Спектральний метод дослідження поділяють на дві групи: емісійні та абсорбційні. Кожну з груп ділять ще на дві підгрупи (рис. 2.1). В основу абсорбційної спектроскопії стоїть принцип вимірювання поглинання світла, яке проходить крізь розчин який досліджується унаслідок абсорбції його досліджуваною речовиною. Вимірювання спектрів відбувається на спеціальних спектральних пристроях, у яких пробу речовини вміщують між фотоелементом і джерелом світла, що реєструє світло. Кожна речовина поглинає в себе світло з характерною довжиною хвилі, тому абсорбція світла є вибірковою. Фотоелектроколориметрія — це дослідження поглинання видимої частини спектра забарвленими речовинами. Власне спектрофотометрія — це вимірювання поглинання прозорих розчинів в частині ультрафіолетової, видимій та частині інфрачервоної зони спектра (210-1100 нм).

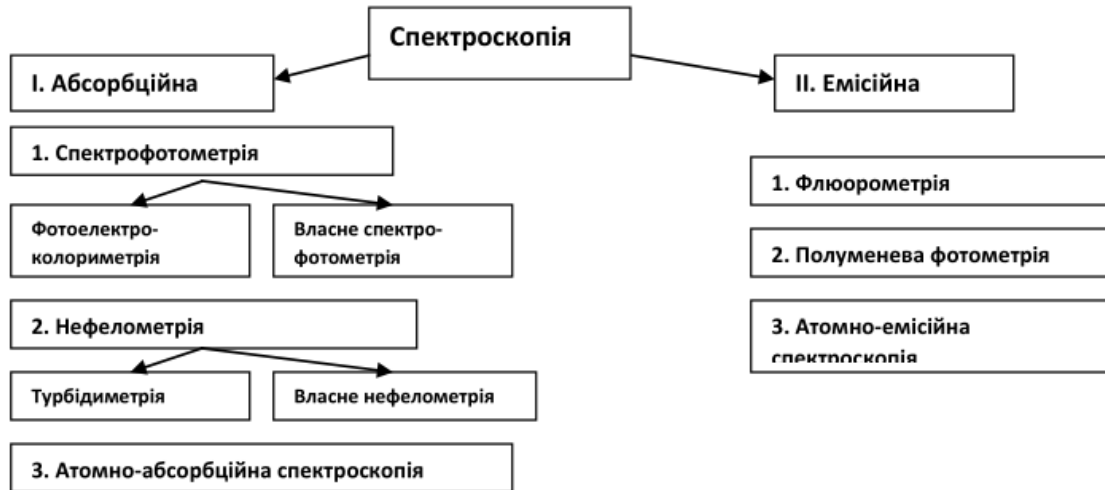


Рисунок 2.1 - Методи спектрального аналізу води

Метод є достатньо зручний для вимірювання концентрацій речовин в воді. Також інколи використовується такий оптичний метод, як нефелометрія. Це метод вимірювання інтенсивності поглинутого або розсіяного суспензією світла [7].

2.3 Математична модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин

У випадках систем компонентів брудної води, питомий об'єм брудної води v_{ce} можна описати математично у вигляді суми питомих об'ємів декану v_n , октан v_o та чиста вода $v_{нв}$

$$v_n k_1 + v_o k_2 + v_{нв} k_3 = v_{ce}, \quad (2.2)$$

де k_1, k_2, k_3 – масові частки декан, октан та чиста вода, відповідно.

Тоді врахувавши взаємозалежності питомого об'єму та густини

$$\frac{k_1}{\rho_n} + \frac{k_2}{\rho_o} + \frac{k_3}{\rho_{нв}} = \frac{1}{\rho_{ce}}, \quad (2.3)$$

де $\rho_n, \rho_o, \rho_{нв}, \rho_{ce}$ – густини декан, октан, чиста вода та брудна вода, відповідно.

Вище наведені характеристики (рис. 2.3) можна описати за допомогою системи рівнянь

$$\begin{cases} \rho^1 = \rho_0^1(1 - \alpha_1(T - T_0)); \\ \rho^2 = \rho_0^2(1 - \alpha_2(T - T_0)); \\ \rho^3 = \rho_0^3(1 - \alpha_3(T - T_0)), \end{cases} \quad (2.4)$$

де ρ^1 , ρ^2 , ρ^3 – густини декану, октану та чиста вода, відповідно, при температурі T ;

ρ_0^1 , ρ_0^2 , ρ_0^3 – густини декану (730 кг/м³), октану (703 кг/м³) та чистої води (997 кг/м³), відповідно, при температурі T_0 , яка складає 293 К;

α_1 , α_2 , α_3 – коефіцієнти об'ємного розширення декану (0,0029 1/град), октану (0,00209 1/град) та чистої води (0,00194 1/град), відповідно [8].

Густину брудної води можна визначити з рівняння (2.3) при температурах, які обираються з лінійних ділянок температурної залежності густини компонентів брудної води (рис. 2.3) і відповідають заданій чутливості (рис. 2.5). Таким чином, густину брудної води при деяких різних температурах можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{k_1}{\rho_1^1(T_1)} + \frac{k_2}{\rho_2^1(T_1)} + \frac{k_3}{\rho_3^1(T_1)} = \frac{1}{\rho^1(T_1)}; \\ \frac{k_1}{\rho_1^2(T_2)} + \frac{k_2}{\rho_2^2(T_2)} + \frac{k_3}{\rho_3^2(T_2)} = \frac{1}{\rho^2(T_2)}; \\ \frac{k_1}{\rho_1^3(T_3)} + \frac{k_2}{\rho_2^3(T_3)} + \frac{k_3}{\rho_3^3(T_3)} = \frac{1}{\rho^3(T_3)}, \end{cases} \quad (2.5)$$

де $\rho_1^1(T_1)$, $\rho_2^1(T_2)$, $\rho_3^1(T_3)$ – густина декану при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно;

$\rho_1^2(T_1)$, $\rho_2^2(T_2)$, $\rho_3^2(T_3)$ – густина октану при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно;

$\rho_1^3(T_1)$, $\rho_2^3(T_2)$, $\rho_3^3(T_3)$ – густина чистої води при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно;

$\rho^1(T_1)$, $\rho^2(T_2)$, $\rho^3(T_3)$ – густини брудної води при температурах T_1, T_2, T_3 , відповідно.

Оскільки густину рідкої фази води можна визначити як

$$\rho_{\text{рід.ф.}} = \frac{1}{\sum \frac{k_i}{\rho_i}}, \quad (2.6)$$

то і з врахуванням її лінійної температурної залежності можна отримати систему рівнянь (2.5) в матричному виді при деяких різних температурах

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{\rho_1^1(T_1)} & \frac{1}{\rho_2^1(T_1)} & \frac{1}{\rho_3^1(T_1)} \\ \frac{1}{\rho_1^2(T_2)} & \frac{1}{\rho_2^2(T_2)} & \frac{1}{\rho_3^2(T_2)} \\ \frac{1}{\rho_1^3(T_3)} & \frac{1}{\rho_2^3(T_3)} & \frac{1}{\rho_3^3(T_3)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\rho^1(T_1)} \\ \frac{1}{\rho^2(T_2)} \\ \frac{1}{\rho^3(T_3)} \end{vmatrix}. \quad (2.7)$$

Враховуючи систему рівнянь (2.4), густину брудної води при декількох різних температурах у матричному виді можна написати як

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))} & \frac{1}{\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))} & \frac{1}{(1-\alpha_3(T_1-T_0))} \\ \frac{1}{\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))} & \frac{1}{\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))} & \frac{1}{(1-\alpha_3(T_2-T_0))} \\ \frac{1}{\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))} & \frac{1}{\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))} & \frac{1}{(1-\alpha_3(T_3-T_0))} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} k_1 \\ k_2 \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\rho^1(T_1)} \\ \frac{1}{\rho^2(T_2)} \\ \frac{1}{\rho^3(T_3)} \end{vmatrix}, \quad (2.8)$$

$$\text{де } Z = \frac{k_3}{\rho_0^3}.$$

На основі (2.8) масові частки декану, октану та чистої води k_1 , k_2 , k_3 , відповідно, набудуть виду:

$$k_1 = \frac{\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))}{\rho^3(T_3)} - \frac{\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))}{\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))} k_2 -$$

$$\frac{((\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho^3(T_3) - \rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho^1(T_1))(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0)) -$$

$$\frac{((1-\alpha_3(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0)) - (1-\alpha_3(T_1-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))) \times$$

$$- \rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\rho^2(T_2) -$$

$$\times (\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0)) - \rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))) \times$$

$$\begin{aligned}
& \frac{-\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\right)\times}{\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))(1-\alpha_3(T_2-T_0))-\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\times} \\
& \frac{\times\left(\rho^3(T_3)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho^2(T_2)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho^1(T_1)\times}{\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))(1-\alpha_3(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-(1-\alpha_3(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\times} \\
& \times\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\right. \\
& \left.\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))(1-\alpha_3(T_1-T_0))\right)\rho^3(T_3)\rho^2(T_2)\rho^1(T_1)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\times \\
& \frac{-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))(1-\alpha_3(T_2-T_0))(1-\alpha_3(T_3-T_0))}{\times\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)}, \quad (2.9)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_2 = & \frac{\left(\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))\rho^3(T_3)-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho^2(T_2)\right)\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))}{\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\right)\rho^2(T_2)\rho^3(T_3)} \\
& - \frac{\left(\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho^3(T_3)-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho^1(T_1)\right)\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\right. \\
& \left.\left(\left(1-\alpha_3(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))-(1-\alpha_3(T_1-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\times\right. \\
& \left.\left.-\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\right)\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\rho^2(T_2)-}{\times\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\right)\times} \\
& \frac{-\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\right)\times}{\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))(1-\alpha_3(T_2-T_0))-\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))-\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\times} \\
& \frac{\times\left(\rho^3(T_3)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho^2(T_2)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho^1(T_1)\times}{\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))(1-\alpha_3(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-(1-\alpha_3(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\times} \\
& \frac{\times\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\times}{\times\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))(1-\alpha_3(T_1-T_0))\rho^3(T_3)\rho^2(T_2)\rho^1(T_1)\rho_0^1(1-\alpha_1(T_1-T_0))\rho_0^2(1-\alpha_2(T_1-T_0))\times} \\
& \frac{\times(1-\alpha_3(T_1-T_0))}{\times\left(\rho_0^2(1-\alpha_2(T_3-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_2-T_0))-\rho_0^2(1-\alpha_2(T_2-T_0))\rho_0^1(1-\alpha_1(T_3-T_0))\right)}, \quad (2.10)
\end{aligned}$$

$$k_3 = 1 - (k_1 + k_2). \quad (2.11)$$

2.4 Розробка структурної схеми мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

Здебільшого найбільшими із проблем водних середовищ є саме його забруднення різними хімічними речовинами. Якщо в БПЛА, крім стандартних комплектацій, використати оптичну систему, яка буде складатися із джерела світла, кювети для забору води та фотоприймача, а також багато різноманітних

сенсорів, зокрема температури та тиску, це дасть можливість визначати кількісний склад води у водному середовищі, що досліджується за допомогою безпілота.

З огляду на це в роботі запропоновано блок БПЛА для моніторингу стану води, структурна схема якого наведена на рисунку 2.2, в основі роботи якого лежить залежність показника заломлення променя від густини води при певній температурі.

Основними елементами блоку БПЛА для аналізу стану води є оптична система 5, джерело випромінювання 2, яка формує світловий потік у вигляді світлової смужки, кювету 10, яка містить вертикальну 9 та похилу 9' стінки, поршень 7, що рухається за допомогою штока 4, сенсори температури 8, сенсор тиску 3, мірник 14 з вивідним патрубком 12, який містить клапан 13, сенсор РН 11, підсилювачі 1, підсилювач елемента нагрівання 20, система фотоприймачів 15, яка складається з верхнього 16, нижнього 17 та опорного 18 сегментів, блок порівняння 21, мікропроцесорний пристрій 22, блок передачі даних 6.

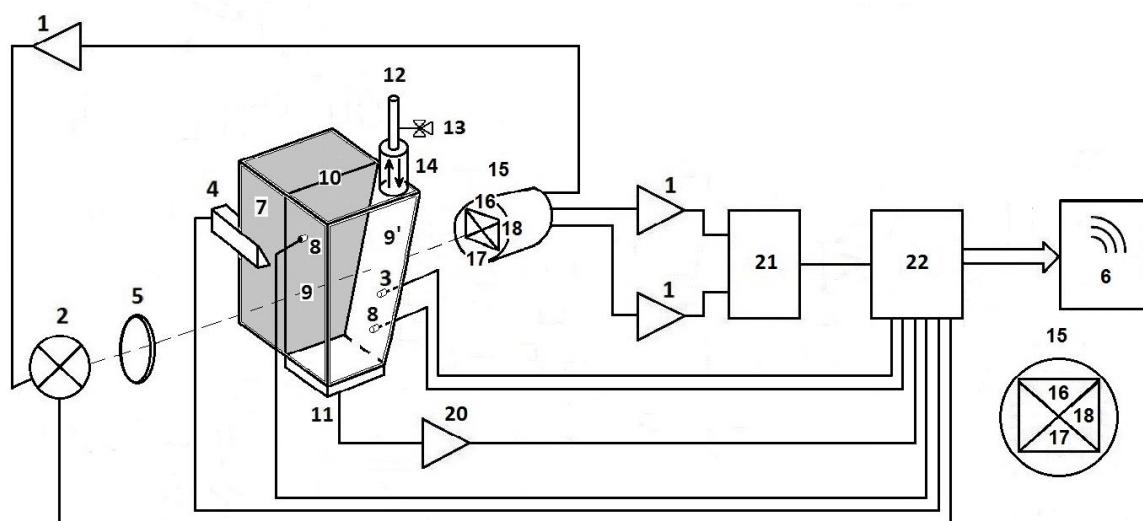


Рисунок 2.2 – Структурна схема блоку моніторингу стану води

У блоці БПЛА для аналізу стану води промінь світла від джерела випромінювання 2 фокусується за рахунок оптичної системи 5, проходить через вертикальну стінку 9 спеціальної кювети 10, в якій знаходиться брудна вода, яка потрапляє в туди через патрубок 12 за рахунок поршня 7, що приводиться до руху штоком 4, причому рівень наповненості контролюється мірником 14, та через похилу 9' стінку спеціальної кювети 10, потрапляє на складений

фотоприймач 15, який складається з нижнього 17, верхнього 16 та опорного 18 сегментів, причому напруга від опорного 18 сегмента фотоприймача, який підтримує інтенсивність світлового потоку, надходить через підсилювач 1 до джерела випромінювання 2. Значення напруг нижнього 17, верхнього 16 та сегментів фотоприймача 15, що характеризують зміщення вниз чи ввверх світлової смужки, через підсилювачі 1, надходять на блок порівняння 21, обробляються мікропроцесорним пристроєм 22 і надходять в блок передачі даних 6. На основі порівняння значень напруг від нижнього 17, верхнього 16 та сегментів фотоприймача 15 та їх обробки мікропроцесорним пристроєм 22 можна визначити кількісний склад води у рідкому середовищі, що досліджується. У спеціальній кюветі 10 відбувається вимірювання сенсором РН 11, завдяки напрузі, яка задається мікропроцесорним пристроєм 22 та підсилюється за допомогою підсилювача сенсора РН 20. У випадку отримання однакової температури води по всьому об'єму спеціальної кювети 10 сенсори температури 8 надходять сигнали до мікропроцесорного пристрою 22 і розпочинається процес вимірювання, що контролюється сенсором тиску 3, який надсилає сигнали до мікропроцесорного пристрою 22, а той в свою чергу надсилає сигнали керування на шток 4, що рухає поршень 7. Рідина крізь вивідний патрубок 12 виводиться поршнем 7 через клапан 13.

Функція вимірювального перетворення в загальному вигляді визначається за формулою

$$U = P_{ex} P_i R_n f_{ns} (S(\Delta x(n(\rho(k))))), \quad (2.12)$$

де U – диференціальна напруга;

k – масова частка компонента брудної води.

P_i – струмова чутливість складеного фотоприймача;

R_n – опір навантаження;

ρ – густина брудної води;

n – показник заломлення;

P_{ex} – потужність сигналу на вході складеного фотоприймача;

f_{ns} – функція перетворення складеного фотоприймача;

S – освітлена площа складеного фотоприймача;

Δx – зміщення світлової плями;

Масові частки компонентів брудної води, а саме декану, октану та чистої

води k_1 , k_2 , k_3 , відповідно, можна визначити на основі термооптичного методу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води за формулами (2.9) – (2.11), які пов'язують масові частки з густинами брудної води та його компонентів при декількох різних температурах.

Однією з характеристик брудної води є його показник заломлення, який знаходиться у відповідності з густиною води. Чим більша густина, тим більший показник заломлення, тобто залежність між ними є лінійною.

На рисунку 2.14 наведено залежність показника заломлення n від густини ρ для алканів, до яких відносяться декан і октан, які являють собою чисту воду [9].

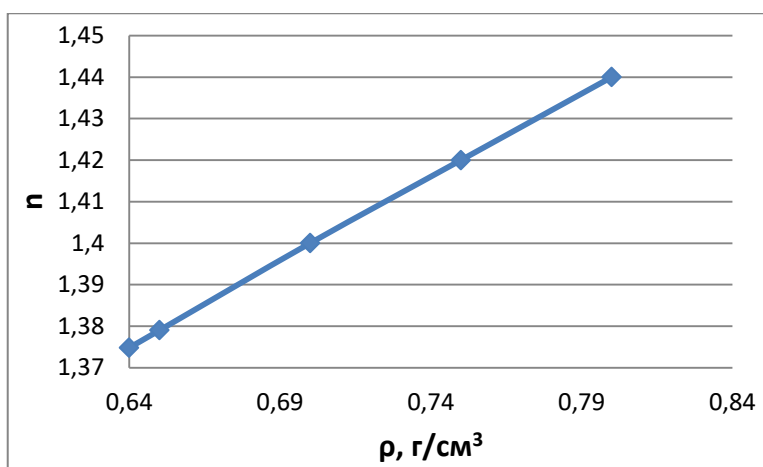


Рисунок 2.3 – Залежність показника заломлення n від густини ρ для алканів та алкенів

У такому разі густина брудної води можна визначити за допомогою рефрактометричного методу [9].

Оскільки показник заломлення брудної води описується як

$$n = 1.3497 - \frac{9.591}{M_r + 9,5},$$

а густина – $\rho = \frac{PM}{RT}$ [9], причому $M = M_r \eta$, то залежність показника заломлення брудної води від густини буде мати вигляд

$$n = 1.3497 - \frac{9.591}{RT\rho(\eta P)^{-1} + 9.5}, \quad (2.13)$$

де R – універсальна водна стала;

η – коефіцієнт пропорційності (10^{-3} кг/моль);

M_r – молекулярна маса;

M – молярна маса;

P – тиск брудної води при температурі T .

На рисунку 2.4 показано промінь світла, який проходить крізь брудну воду, показник заломлення якого знаходиться в діапазоні $n'_2 \dots n''_2$, скляну стінку спеціальної кювети (n_c), шар повітря повітря ($n_n=1$) та потрапляє на фотоприймач.

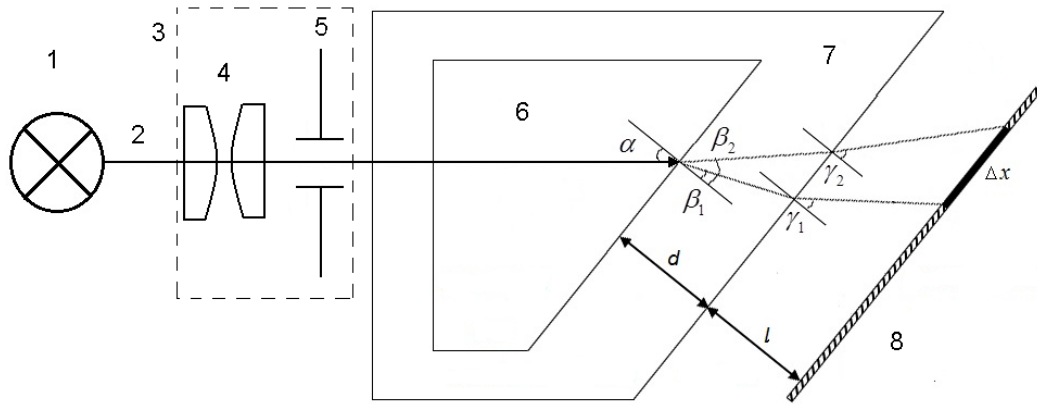


Рисунок 2.4 – Оптична схема оптико-електронного вимірювального перетворювача: 1 – джерело світла; 2 – промінь світла; 3 – оптична система; 4 – лінзи; 5 – діафрагма; 6 – брудна вода; 7 – скляна кювета; 8 – фотоприймач

Як видно з рисунку 2.4, зміщення світлової плями Δx можна визначити як

$$\Delta x = d \cdot \left(\frac{n''_2 \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - (n''_2 \sin \alpha)^2}} - \frac{n'_2 \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - (n'_2 \sin \alpha)^2}} \right) + l \cdot \left(\frac{n''_2 \sin \alpha}{\sqrt{1 - (n''_2 \sin \alpha)^2}} - \frac{n'_2 \sin \alpha}{\sqrt{1 - (n'_2 \sin \alpha)^2}} \right), \quad (2.14)$$

де d – товщина скла;

α – кут падіння променя.

l – відстань від складеного фотоприймача до скла;

Беручи до уваги (2.14) та те, що густина брудної води знаходиться в діапазоні

від ρ_1 до ρ_2 при температурах T_1 і T_2 , відповідно, вираз (2.15) можна представити у вигляді

$$\Delta x = d \cdot \left[\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right] +$$

$$+ l \cdot \left[\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right]. \quad (2.15)$$

Зміщення світлової точки Δx залежить від величини скла скла d та відстані від складеного фотоприймача до скла l , що проілюстровано на рис. 2.4 та 2.5, відповідно.

Можна бачити з рис. 2.5, допустиме зміщення світлової точки Δx , яке не має перевищувати один і вісім міліметра, адже це лінійні розміри фоточутливого складеного фотоприймача, що відповідає значенням ширини скла до десяти міліметра, при відстані від складеного фотоприймача до скла в 1 мм.

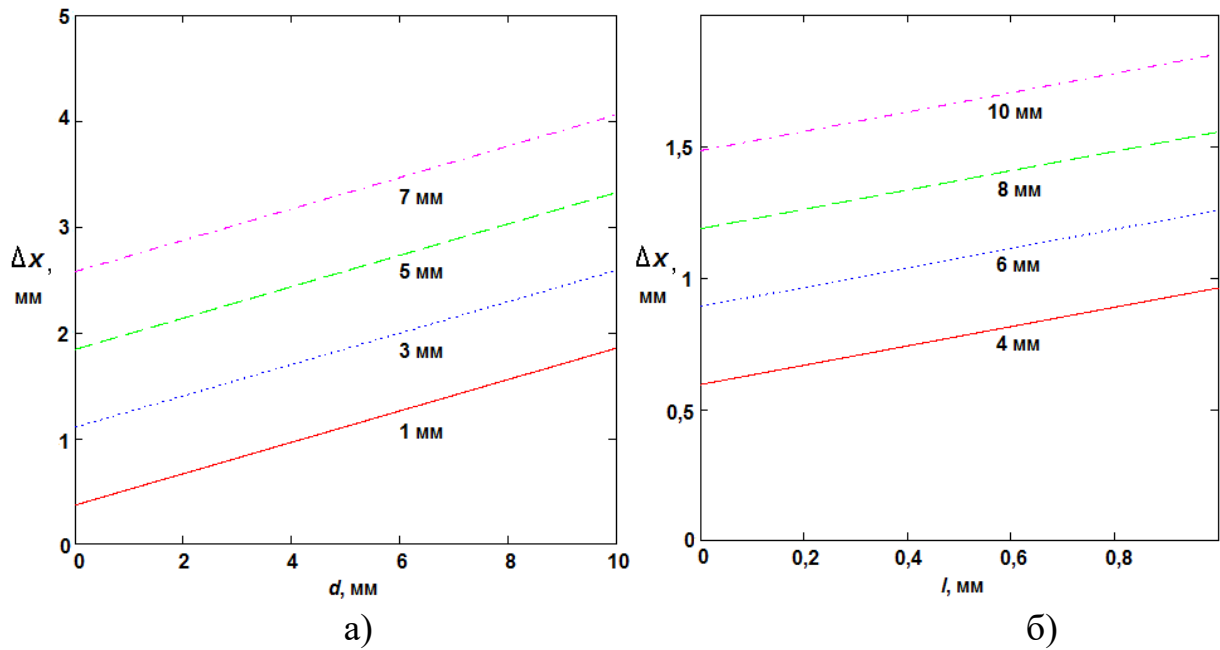


Рисунок 2.5 – Залежність зміщення Δx від товщини скла d та від відстані від складеного фотоприймача до скла l

Згідно цього, товщину скла потрібно обирати десять міліметрів, а відстань від складеного фотоприймача до скла одного міліметра.

Графік чутливості зміщення світлової точки, який проходить крізь товщу брудної води, скляну стінку спеціальної кювети товщиною десять мм та прошарок повітря товщиною один міліметр, від кута падіння, зображено на рисунку 2.6.

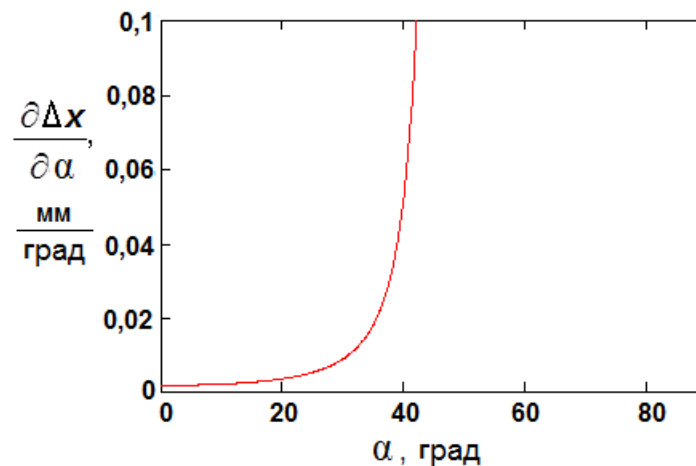


Рисунок 2.6 – Графік чутливості зміщення світлової плями від кута падіння

На графіку чутливості зміщення світлової точки від кута падіння можна побачити, що найбільша крутизна чутливості спостерігається найближче до критичного кута падіння променя, який має сорок два градуси, під час якого відбувається повне внутрішнє відбиття. Тому кут падіння повинен знаходитись в межах від двадцяти до сорока градусів.

Таким чином, кут падіння променя на похилу стінку спеціальної кювети потрібно обилати сорок градусів. Таке значення кута забезпечить нахил стінки в сто тридцять градусів.

Промінь світла у вигляді світлової точки, який пройшов крізь товщу брудної води, скляну стінку спеціальної кювети та прошарок повітря, потрапляє на складений фотоприймач, який дозволяє зареєструвати просторовий розподіл освітленості.

Якщо світлова пляма закриває поверхню всіх сегментів фотоприймача, то на виході отримаємо нульовий сигнал. При зміщенні світлової плями відбувається перерозподіл світлових потоків, що аналізується блоком порівняння. Внаслідок цього з'являється диференціальна напруга U_{ne} , яка пропорційна зміщенню Δx світлової плями та, відповідно, густині брудної води ρ [10]

$$U_{ne} = k(S_1 - S_3), \quad (2.16)$$

де S_1 і S_3 – освітлені площі протилежних сегментів фотоприймача.

k – коефіцієнт пропорційності;

Крутизна характеристики диференціальної напруги, зображена на рисунку 2.7, практично лінійно залежить від зміщення світлової точки на ділянці від нуля до рівня насичення.

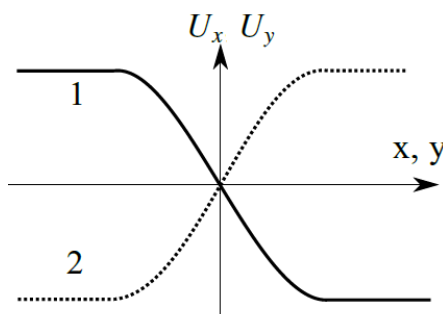


Рисунок 2.7 – Крутизна характеристики диференціальної напруги: 1 – U_x по осі x ; 2 – U_y по осі y

Характеристика диференціальної напруги складеного фотоприймача складають різницю електричних сигналів, отриманих від протилежних сегментів фотоприймача

$$U_{нв} = U_1 - U_3 = P_{ex} P_i R_n (S_1 - S_3), \quad (2.17)$$

При невеликих лінійних зміщеннях світлової плями на поверхні складеного фотоприймача зміну освітлених площ протилежних сегментів фотоприймача можна розрахувати як

$$\begin{cases} S_1 = ba; \\ S_3 = b(a - \Delta x), \end{cases} \quad (2.18)$$

де a – ширина смужки світла;

b – довжина смужки світла [11, 12].

Тоді диференціальна напруга (2.17) з врахуванням (2.18) буде мати вигляд

$$U_{нв} = P_{ex} P_i R_n b \Delta x. \quad (2.19)$$

Зважаючи на зміщення світлової точки (2.16), диференціальна напруга складеного фотоприймача (2.19) набуде виду

$$U_{нв} = P_{ex} P_i R_n b \times \left(d \cdot \frac{\left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right) +$$

$$+l \cdot \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9,5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9,5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9,5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9,5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right) \quad (2.20)$$

Результатами цього дослідження будуть функціями перетворення (2.8) наведено на рисунку 2.8.

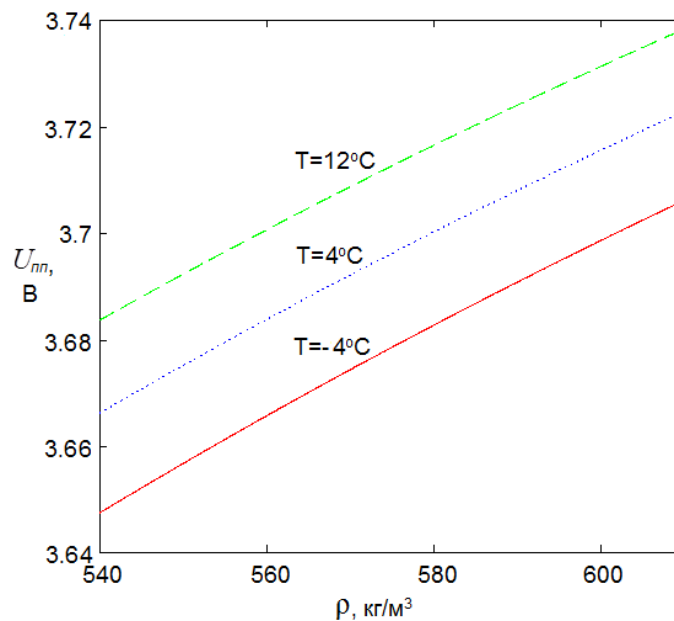


Рисунок 2.8 – Залежність диференціальної напруги вимірювального перетворювача від густини брудної води

Отримані залежності показують на зміну температури брудної води, що приводить до великої зміни вихідної диференціальної напруги вимірювального перетворювача, причому при температурі -4°C диференціальна напруга змінюється від 3,65 до 3,705 В, при 4°C – від 3,67 до 3,725 В, а при 12°C – від 3,685 до 3,74 В.

Досліджено, що чутливість оптико-електронного вимірювального перетворювача дозволяє реєструвати близькі значення густини брудної води за рахунок проведення вимірювання при різних температурах.

Сигнали з сегментів складеного фотоприймача підсилюються за допомогою підсилювачів. Вихідна напруга підсилювачів U дорівнює добутку вхідної

напруги $U_{\text{вх}\bar{\text{бн}}}$ на коефіцієнт перетворення $K_{\bar{\text{бн}}}$ [10]

$$U = U_{\text{вх}\bar{\text{бн}}} \cdot K_{\bar{\text{бн}}} \quad (2.21)$$

Оскільки вхідна напруга підсилювача $U_{\text{вх}\bar{\text{бн}}} = (U_{\text{он}} - U_{\text{не}}) \cdot K_n$, то вихідна його напруга визначається

$$U = (U_{\text{он}} - U_{\text{не}}) \cdot K_n \cdot K_{\bar{\text{бн}}}, \quad (2.22)$$

де K_n – коефіцієнт підсилення;

$U_{\text{он}}$ – опорна напруга.

За рахунок чого отримаємо напругу на виході засобу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води [80, 81]

$$U = K_n K_{\bar{\text{бн}}} (U_{\text{он}} - P_{\text{вх}} P_i R_n b \times$$

$$\times \left[d \cdot \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right) +$$

$$+ l \cdot \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_2 \rho_2 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} - \frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{RT_1 \rho_1 (\eta P)^{-1} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right) \right] \quad (2.23)$$

Вираз (2.23) з врахуванням (2.3) має вигляд

$$U = K_n K_{\bar{\text{бн}}} (U_{\text{он}} - P_{\text{вх}} P_i R_n b \times$$

$$\begin{aligned}
& \times d \cdot \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_2 \rho_1^2 \rho_2^2 \rho_3^2}{\eta P (k_1 \rho_2^2 \rho_3^2 + k_2 \rho_1^2 \rho_3^2 + k_3 \rho_1^2 \rho_2^2)} + 9,5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_2 \rho_1^2 \rho_2^2 \rho_3^2}{\eta P (k_1 \rho_2^2 \rho_3^2 + k_2 \rho_1^2 \rho_3^2 + k_3 \rho_1^2 \rho_2^2)} + 9,5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right)^2 - \\
& - \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_1 \rho_1^1 \rho_2^1 \rho_3^1}{\eta P (k_1 \rho_2^1 \rho_3^1 + k_2 \rho_1^1 \rho_3^1 + k_3 \rho_1^1 \rho_2^1)} + 9,5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_1 \rho_1^1 \rho_2^1 \rho_3^1}{\eta P (k_1 \rho_2^1 \rho_3^1 + k_2 \rho_1^1 \rho_3^1 + k_3 \rho_1^1 \rho_2^1)} + 9,5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right)^2 + \\
& + l \cdot \left(\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_2 \rho_1^2 \rho_2^2 \rho_3^2}{\eta P (k_1 \rho_2^2 \rho_3^2 + k_2 \rho_1^2 \rho_3^2 + k_3 \rho_1^2 \rho_2^2)} + 9,5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{1 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_2 \rho_1^2 \rho_2^2 \rho_3^2}{\eta P (k_1 \rho_2^2 \rho_3^2 + k_2 \rho_1^2 \rho_3^2 + k_3 \rho_1^2 \rho_2^2)} + 9,5} \right) \sin \alpha \right)^2}} \right)^2 -
\end{aligned}$$

$$\frac{\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_1 \rho_1^1 \rho_2^1 \rho_3^1}{\eta P (k_1 \rho_2^1 \rho_3^1 + k_2 \rho_1^1 \rho_3^1 + k_3 \rho_1^1 \rho_2^1)} + 9.5} \right) \sin \alpha}{\sqrt{n_c^2 - \left(\left(1.3497 - \frac{9.591}{\frac{RT_1 \rho_1^1 \rho_2^1 \rho_3^1}{\eta P (k_1 \rho_2^1 \rho_3^1 + k_2 \rho_1^1 \rho_3^1 + k_3 \rho_1^1 \rho_2^1)} + 9.5} \right) \sin \alpha \right)^2}}, \quad (2.24)$$

де $\rho_1^1, \rho_2^1, \rho_3^1$ – густини декану, октану та чистої води при температурі T_1 ;
 $\rho_1^2, \rho_2^2, \rho_3^2$ – густини декану, октану та чистої води при температурі T_2 .

Результати дослідження напруги засобу (2.23) наведено на рисунку 2.9 у вигляді залежності напруги засобу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води від густини при різних температурах.

Дані залежності показують на збільшення густини брудної води напруга засобу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води зменшується в діапазоні від 1,35 до 1,29 В при температурі -4°C , від 1,33 до 1,275 В при температурі 4°C та від 1,32 до 1,26 В при температурі 12°C .

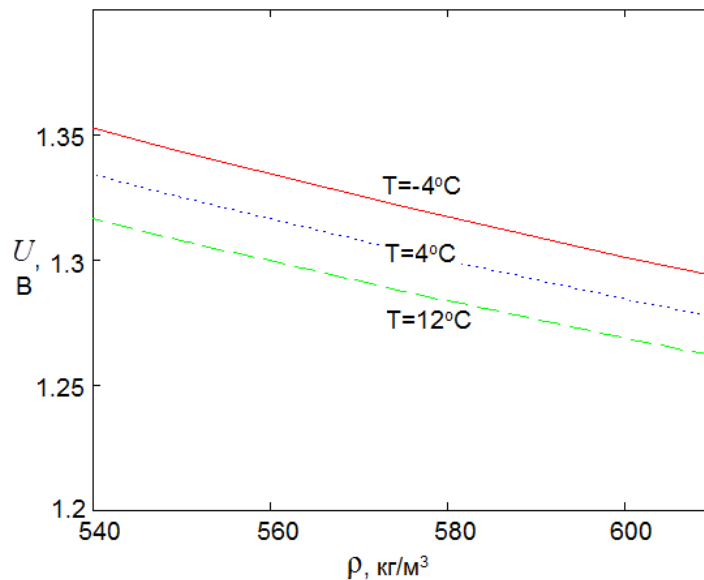


Рисунок 2.9 – Залежності напруги засобів досліджуваних контролів масових часток компонентів брудної води від густини при різних температурах

Згідно з цього, функції досліджуваних перетворень показує залежність

показника заломлення брудної води при заданому тиску, температурі та вихідну від диференціальної напруги, отриманої в результаті проходження світлових випромінювань через спеціальну кювету зі брудною водою і детектованої складеним фотоприймачем внаслідок зміщення світлової точки, один із каналів якого є опорним для стабілізації випромінювання, що дозволило зменшити зведену похибку вимірювання в один і два рази в порівнянні з дослідженнями, наведеними в роботі [13].

2.5 Розробка функціональної схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

На основі запропонованої структурної схеми блоку моніторингу для аналізу стану води розроблена функціональна схема блоку моніторингу для аналізу стану води, зображена на рисунку 2.10

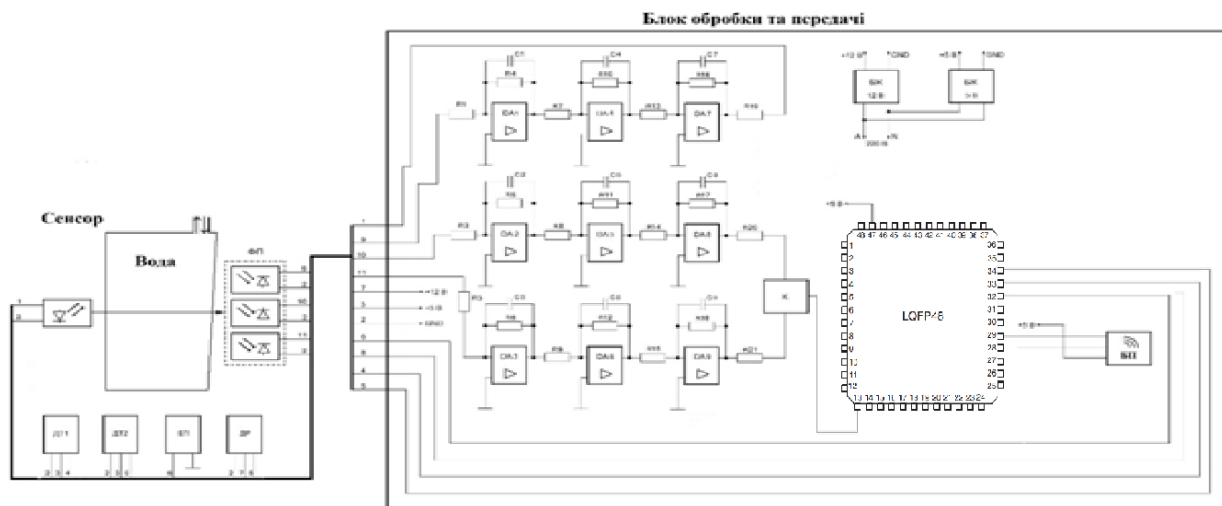


Рисунок 2.10 – Функціональна схема блоку моніторингу стану води

Функціональна схема блоку моніторингу стану води складається з двох основних блоків: сенсор та блок обробки та передачі. Сенсор складається з кювети, в якій знаходиться вода, через яку проходить світловий промінь від джерела світла і потрапляє на фотоприймач ФП. Цей процес контролюється сенсора температури ДТ1 та ДТ2 і сенсором тиску ДР. Сенсор РН використовується під час роботи процесу аналізу стану води. Сигнали від фотоприймача ФП та сенсорів температури ДТ1 та ДТ2 і тиску ДР потрапляють

на блок обробки і передачі. Сигнали сигментів фотоприймача ФП проходять через систему підсилювачів DA. Після підсилення сигнали з двох сигментів фотоприймача ФП потрапляють на блок порівняння К, сигнал з якого разом з сигналами від сенсорів надходять на мікропроцесорний пристрій DD1. Після обробки сигналів інформація про кількісний склад води у водному середовищі, що досліджується, потрапляє на блок передачі БП, що транслює її оператору.

2.6 Вибір елементної бази

Вибір мікроконтролера для багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

В основі блоку моніторингу стоїть бортова система керування безпілотником, основним елементом схеми якого є мікроконтролер. З міркувань функціональних параметрів і габаритів обрано мікроконтролер STM32F100C4T6B (рис. 2.11).

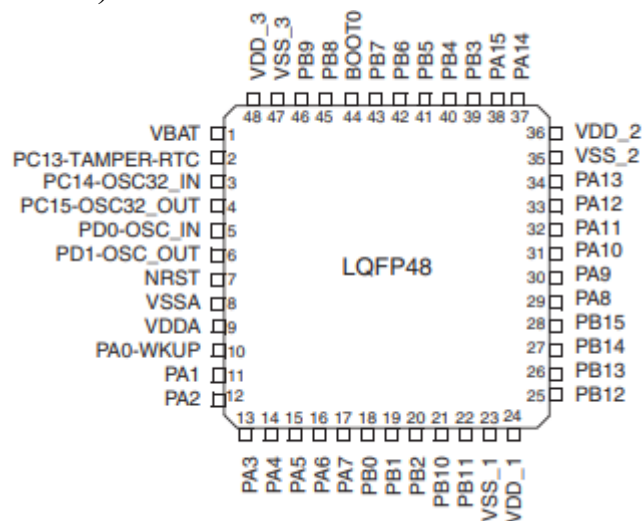


Рисунок 2.11 – мікроконтролер STM32F100C4T6B з описом виводів.

Сімейство лінійки STM32F100xx включає в себе високопродуктивний ARM Cortex™-M3

32-розрядне ядро RISC, що працює на частоті 24 МГц, високошвидкісна вбудована пам'ять (Flash пам'ять до 128 Кбайт і SRAM до 8 Кбайт), а також широкий спектр розширених периферійні пристрої та пристрої введення/виводу, підключені до двох шин APB. Усі пристрої забезпечують стандартний зв'язок інтерфейси (до двох I2C, двох SPI, один HDMI CEC і до

трьох USART), один 12-розрядний АЦП, два 12-розрядних ЦАП, до шести універсальних 16-розрядних таймерів і розширений контроль ШІМ таймер.

Сімейство ліній низької та середньої щільності STM32F100xx працює при температурі від -40 до $+85$ °С

і діапазони температур від -40 до $+105$ °С, від джерела живлення від 2,0 до 3,6 В. Комплексний

Набір режимів енергозбереження дозволяє проектувати малопотужні програми.

Сімейство лінійки STM32F100xx включає пристрої в трьох різних пакетах від 48 до 100 контактів. Залежно від обраного пристрою існують різні комплекти периферійних пристроїв включені.

Ці функції роблять сімейство лінійних мікроконтролерів STM32F100xx придатними для широкого спектру різноманітних додатків, такі як керування програмами та інтерфейси користувача, медичні та портативні обладнання, ПК та ігрові периферійні пристрої, платформи GPS, промислові додатки, ПЛК, інвертори, принтери, сканери, системи сигналізації, відеодомофони та системи HVAC.

Характеристики і особливості:

Виробник STMicroelectronics;

Тип мікросхеми мікроконтролер ARM;

Обсяг Flash-пам'яті 16кБ;

Тактова частота 24МГц;

Монтаж SMD;

Кількість входів/виходів 37;

Об'єм пам'яті SRAM 4кБ;

Корпус LQFP48;

Напруга живлення 2...3,6В DC;

Кількість таймерів 16біт 5;

Вид архітектури Cortex M3;

Інтерфейс I2C, SPI;

додаткова інформація;

Вага брутто: 0.183 g;

Позначення виробника: STM32F100C4T6B.

Отже, вибрано контролер STM32F100C4T6B так як він продуктивний і економічний. Має хорошу функціональність і об'єм пам'яті, який дозволяє

реалізувати доволі серйозні проекти, такі як блок керування водного БПЛА. Відносно не велика вартість, широко доступний в продажі.

Вибір сенсора кислотності рідини (рН-метр) для багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

Використовуйте рН-сенсор (рис. 2.12) для визначення рівня кислотності рідини. Сенсор допоможе контролювати комфортне середовище для росту рослин, моніторити затишні умови для існування живих організмів в водоймі.

Щуп сенсора виконаний у пластиковому герметичному циліндрі з двома електродами на кінці. При зануренні у вимірюваний розчин або воду між електродами виникає різниця потенціалів, що фіксує та обробляє плату управління.

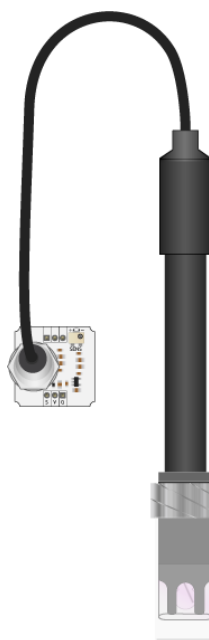


Рисунок 2.12 – Сенсор кислотності рідини (рН-метр)

Плата управління зчитує різницю потенціалів між електродами. При зануренні в рідину між електродами виникає опір, який пропорційно електропровідності розчину. Далі сигнал стабілізується та посилюється за допомогою операційних підсилювачів. На виході сигнал проходить фільтрацію та надходить на вихідний сигнал плати.

Сенсор вимірює водневий показник рН (лат. *_potentia Hydrogenii_*) - міра кислотності, яка відображає концентрацію іонів водню в рідині. Розрізняють три ступені кислотності водних розчинів:

$pH < 7$ - кислотне середовище;

pH = 7 - нейтральне середовище;
 pH > 7 - лужне середовище.

Характеристики:

Напруга живлення: 3,3-5 В;

Споживаний струм: до 25 мА;

Інтерфейс: аналоговий сигнал;

Діапазон вихідного сигналу;

При живленні 5 В: 0-4 В;

При живленні 3,3 В: 0-2,6 В;

Діапазон вимірювань: 0–14 рН;

Довжина кабелю щупа: 0,9 м;

Габарити модуля: 25×25×39 мм;

Габарити щупа: 144×20×20 мм .

Отже, вибраний рН-сенсор так як він продуктивний і економічний. Має хорошу функціональність, який цілком задовольняє потреби для реалізації подібних проектів, такі як блок моніторингу стану води водним БПЛА. Відносно не велика вартість, широко доступний в продажі.

Температурний сенсор та сенсор тиску

Температурний сенсор термістор - напівпровідниковий резистор, електричний опір якого істотно зменшується або зростає з ростом температури. Терморезистор виготовляють у вигляді дисків, стрижнів, шайб, трубок, бусинок і тонких пластинок переважно методами порошкової металургії, їх розміри можуть варіюватися в межах від 1-10 мкм до одного сантиметра. Основними параметрами терморезистора є: температурний коефіцієнт опору, номінальний опір, інтервал робочих температур, максимально допустима потужність розсіювання [16].

Характеристики:

- Виробник: NXP;
- Корпус: SOD-70;
- Вихід / інтерфейс: Аналоговий;
- Діапазон температури: ° С = -55 ... + 150 ° С;
- Струм живлення: МА = 10;
- Тип монтажу: ТНТ;
- Опір, R = 1 980 2020 Ом;
- Тип сенсора: Сенсор температури.

Сенсор тиску ПД100-ДИ2

Сенсори ОВЕН ПД100 модель 111 являються перетворювачами тиску з вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі AISI 316L, сенсором основанийо на технології КНК і кабельним введенням стандарту EN175301-803.

Такі моделі характеризуються великою точністю вимірювання (від $\pm 0,25\%$ ВП), стійкі до гідроударів і доволі низьким вихідним шумом який є не більшим ніж ± 16 мкА[17].

Основні характеристики загальнопромислового перетворювача ПД100:
основна поведена погрішність - 0,25; 0,5; 1,0% ВП.

перетворення тиску в уніфікований сигнал постійного струму 4 ... 20 мА.

максимальний вимірювальний тиск (ВП) - від 10 кПа до 10 МПа.

Перевантажувальної здатності - від 200% ВП і вище.

Ступінь захисту корпусу та електрораз'єма перетворювача - IP65.

Перешкодостійкі задовольняють вимогам до обладнання класу А по ГОСТ Р 51522

Складений фотоприймач

Коли світлова точка закриває поверхню всіх сегментів фотоприймача, то на виході отримаємо нульовий сигнал. При зміщенні світлової точки відбувається перерозподіл світлового потоку, що аналізується блоком порівняння.

Принцип роботи складеного фотоприймача наведений на рисунку 2.13.

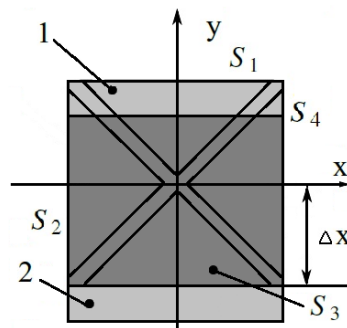


Рисунок 2.13 – Принцип роботи складеного фотоприймача: 1 – смужка світла, розміщена на оптичній вісі; 2 – зміщена смужка світла; Δx – величина зміщення світлової плями; S_1 , S_2 , S_3 , S_4 – частини площин сегментів фотоприймача, освітлені променем світла

За рахунок цього з'являється диференціальна напруга $U_{не}$, яка пропорційна зміщенню Δx світлової точки та густині забрудненої води [10].

Блок передачі даних ESP-12F

ESP-12F - модуль WiFi 802.11, сконструйований на базі чіпсета ESP8266EX. Модуль містить мікросхему flash-пам'яті формату SOP-210mil, в якій міститься програмне забезпечення модуля. При кожному включенні живлення ці програми автоматично завантажуються в чіп ESP8266EX. Обсягу flash-пам'яті чотири МБ є цілком достатньо, для того, щоб зберігати повноцінні програми, керовані великим набором текстових команд, і для реалізації складного алгоритму аутентифікації і шифрування оснований на сертифікаті безпеки WPA2-Enterprise. Центральним обчислювальним ядром модуля являється вбудований всередині чіпсета ESP8266EX процесор Tensilica L106 32 розряду. Потужності процесорного ядра вистачає для роботи складних призначених для користувача додатків цифрової сигнальної обробки. Модуль забезпечений вмонтованим кварцовим резонатором, який цілком забезпечує роботу процесорного ядра та периферії при подачі живлення[18].

Характеристики:

Wi-Fi;

- Готовність до сертифікації: TELEC, FCC, CE, SRRC;
- Протоколи: 802.11 b ;
- Діапазон частот: 2.4ГГц ~ 2.5ГГц (2400МГц ~ 2483.5МГц);

потужність передавача;

- 802.11 b: +20 дБм;
- 802.11 g: +17 дБм;
- 802.11 n: +14 дБм;

чутливість приймача

- 802.11 b: -91 дБм (11 Мбіт / с);
- 802.11 g: -75 дБм (54 Мбіт / с);
- 802.11 n: -72 дБм (MCS7);

Варіанти антени: РСВ-антена

- Апаратне забезпечення;
- Процесорний ядро: Tensilica L106 32 розряду;

Периферійні інтерфейси:

- UART;
- SPI;
- Діапазон напруг живлення: 2.5В ~ 3.6В;

споживання струму

- Середнє значення: 80 мА;

- Робочий діапазон температур: $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$;
- Діапазон температур при зберіганні: $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$;

Корпус: 16x24x3 мм з 22 крайовими контактами і наскрізними отворами у основних контактів;;

зовнішні інтерфейси

- 17 GPIO;
- Chip enable (CH_PD);
- Reset;
- ADC.

2.7 Розробка електричної принципової схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

Після вибору елементної бази маємо змогу змоделювати електричну принципову схему багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв (рисунок 2.14).

Схема працює наступним чином. Мікроконтролер STM32F100C4T6B, який живиться від джерела 5 В та працює при частоті 24 МГц, що забезпечується кварцевим резонатором *QZ1*, надсилає сигнал на початок процесу вимірювання при температурі навколишнього середовища. Нагрів середовища контролюється сенсорами температури (терморезистори) *R3* та *R6*, які працюють при 3 В, що забезпечується стабілізатором напруги *D1* LM1117-3.3. Сигнали, які надходять до мікроконтролера STM32F100C4T6B від сенсорів температури (терморезистори) *R3* та *R6*, за допомогою АЦП записується в пам'ять для подальшої обробки. В разі рівності температур на *R3* та *R6* надсилається сигнал на мікроконтролер STM32F100C4T6B, який в свою чергу вимикає нагрів. Включення та виключення нагріву забезпечується за допомогою транзисторного ключа *VT1* та реле перемикавання, які керують нагрівом/охолодженням модуля Пельтьє МТЕС104905.

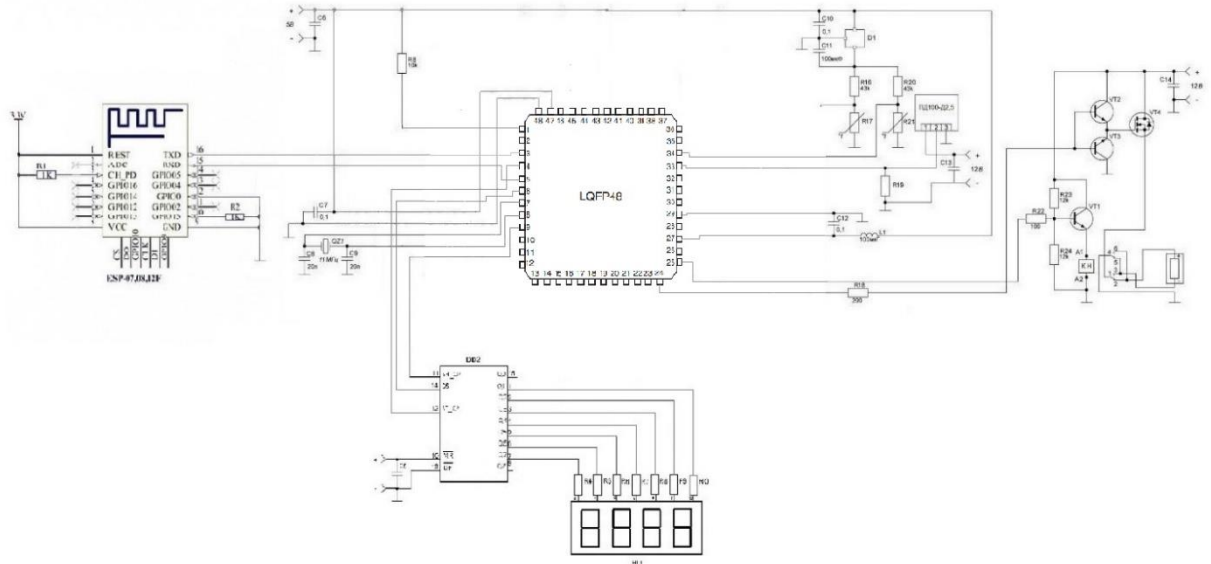


Рисунок 2.14 – Електрична принципова схема мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

Схема працює наступним чином. Мікроконтролер STM32F100C4T6B, який живиться від джерела 5 В та працює при частоті 24 МГц, що забезпечується кварцевим резонатором *QZ1*, надсилає сигнал на початок процесу вимірювання при температурі навколишнього середовища. Нагрів середовища контролюється сенсорами температури (терморезистори) *R3* та *R6*, які працюють при 3 В, що забезпечується стабілізатором напруги *D1* LM1117-3.3. Сигнали, які надходять до мікроконтролера STM32F100C4T6B від сенсорів температури (терморезистори) *R3* та *R6*, за допомогою АЦП записується в пам'ять для подальшої обробки. В разі рівності температур на *R3* та *R6* надсилається сигнал на мікроконтролер STM32F100C4T6B, який в свою чергу вимикає нагрів. Включення та виключення нагріву забезпечується за допомогою транзисторного ключа *VT1* та реле перемикання, які керують нагрівом/охолодженням модуля Пельтьє MTEC104905. Узгодження сигналів, які керують нагрівом/охолодженням модуля Пельтьє, між мікроконтролером STM32F100C4T6B та біполярним транзистором з ізольованим затвором *VT4* забезпечує диференціальне з'єднання біполярних транзисторів *VT2* КТ315 та *VT3* КТ361. Окреме джерело живлення на 12 В забезпечує живлення модуля Пельтьє MTEC104905 та біполярного транзистора з ізольованим затвором *VT4* FDS9926A, який підвищує надійність та стабільність роботи схеми. Процедура вимірювання контролюється сенсором тиску ПД100-Д2.5, який живиться від

джерела 12 В та сигнали з якого надходять на мікроконтролер STM32F100C4T6B, де за допомогою АЦП перетворюються у сигнал, який надходить на мікроконтролер STM32F100C4T6B. Мікроконтролер містить програму, яка моделює проходження світла через забруднену воду. Програма враховує дані з сенсорів та Пельтьє, які як коефіцієнти, корегують сигнал проходження світла через забруднену воду. Сигнал від STM32F100C4T6B переходить на STM32F100C4T6B від цифрових виводів PD0 і PD1 до входів PB3 і PB2. В STM32F100C4T6B відбувається обробка сигналу, виділення масових часток, порівняння їх з стандартами і вивід на табло та на блок передачі даних [22]. Електрична принципова схема наведена в додатку Г.

2.8 Розробка алгоритму роботи багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

Опис роботи багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв можна проілюструвати у вигляді алгоритму вимірювального контролю масових часток компонентів забрудненої води, який представлений на рисунку 2.15.

Забруднена вода подається у спеціальну кювету. Вимірювальний контроль масових часток компонентів відбувається в межах попередньо заданих температур $t_1 \dots t_n$ з кроком Δt . Перед початком вимірювального контролю сенсором тиску перевіряється рівень тиску в спеціальній кюветі, який повинен складати 1,6 МПа. В разі невідповідності цьому показнику мікропроцесорний пристрій надсилає сигнали, які запускають процес стравлення або накачки тиску в спеціальній кюветі. Якщо даний показник дотримується, то відбувається процес доведення температури забрудненої води до заданого значення t_1 , шляхом нагрівання за допомогою мікропроцесорного пристрою, який безперервно отримує сигнали з сенсорів температури С1 та С2. В разі, якщо температури t_{C1} та t_{C2} сенсорів С1 та С2, відповідно, рівні між собою та одночасно рівні заданій температурі t_1 , то мікропроцесорний пристрій вимикає нагрів та розпочинає процес контролю масових часток забрудненої води із запиту на початок контролю, результатом якого є значення напруги U_x , яка відповідає вимірній густині забрудненої води. В разі знаходження густини в допустимих межах, визначаються оптимальні значення масових часток декану, октану та чистої води k_1, k_2, k_3 , відповідно. Якщо отримані значення масових

часток при підстановці у формулу визначення брудної води відповідають виміряному значенню густини, то відбувається перехід на наступний етап вимірювального контролю.

В разі, якщо виміряна густина не знаходиться в допустимих межах або отримані значення масових часток не відповідають виміряному значенню густини, то відразу відбувається перехід на перевірку придатності брудної води. Після закінчення процесу контролю для однієї заданої температури мікропроцесорний пристрій здійснює аналогічні операції по перевірці значення тиску в спеціальній кюветі, нагріванню брудної води та подальшому контролю для наступної заданої температури. В разі, якщо умова одночасної рівності заданої температури та t_{C1} і t_{C2} не виконується, тобто температура брудної води нижча заданої, то відбувається його повторне нагрівання. Цей процес відбувається до тих пір, поки умова одночасної рівності температур не буде виконуватись.

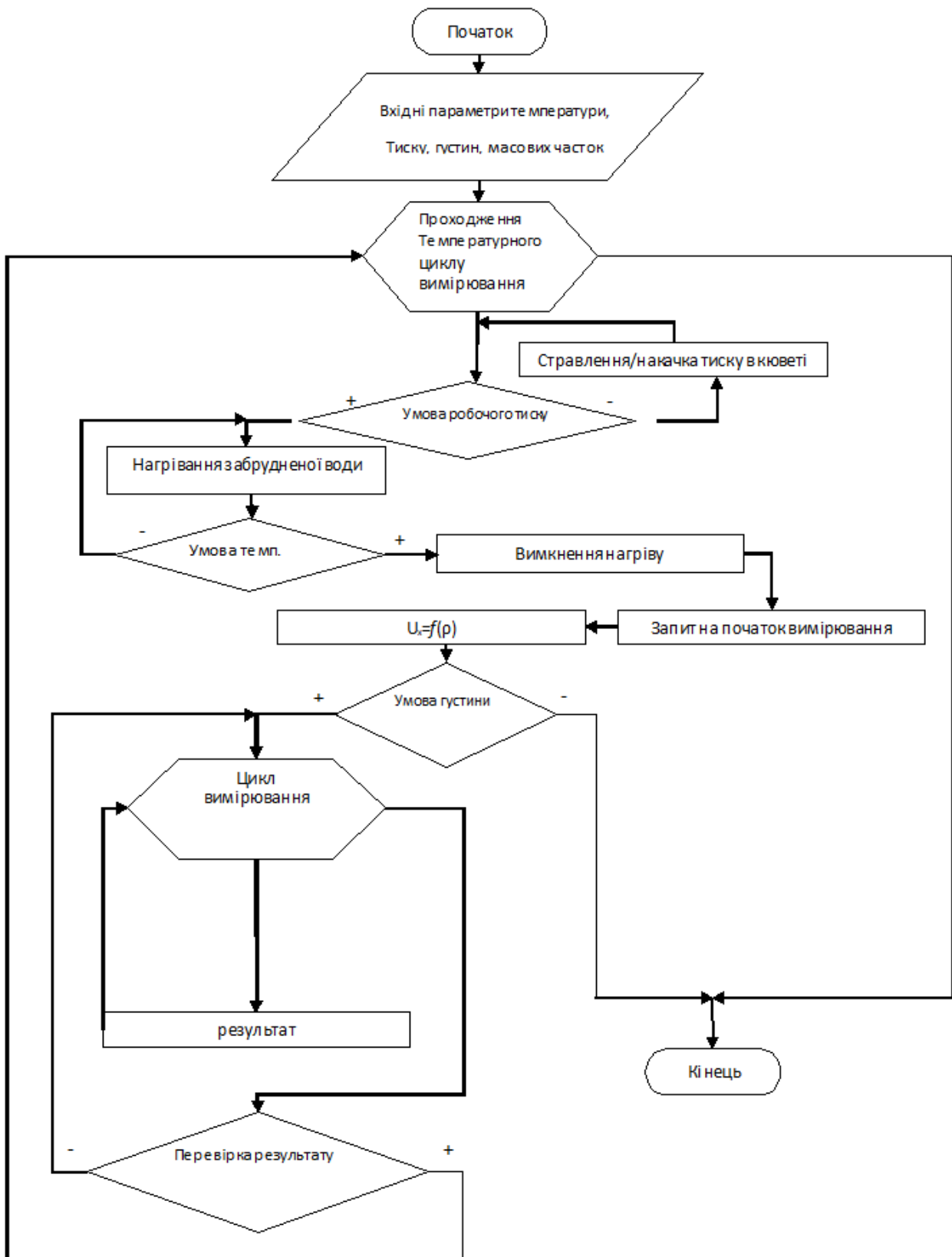


Рисунок 2.15 – Алгоритм роботи блоку моніторингу стану води

Отримані результати вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води дозволяють зробити висновок про придатність брудної води. Після проведення заданої кількості вимірювань дані виводяться на індикаторний пристрій. Для цього використовується мікроконтролер, який здійснює первинну обробку вимірювальної інформації та керує роботою АЦП, і статичний ОЗП, в якому накопичується і зберігається інформація.

2.9 Моделювання функціонування багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в пакеті ISIS Proteus ISIS Professional

Для побудови схеми в середовищі ISIS Proteus, потрібно у запущеному вікні програми створити новий проект. Після чого нам потрібно зайти у бібліотеку елементів на лівій панелі та обрати потрібні елементи. Для швидкого та зручного знаходження є можливість користуватися пошуком, ввівши в строку «keywords» назву нашого елемента або ж у ручну в бібліотеках. В табл. 2.3 вказані необхідні елементи та їх бібліотеки для створення схеми [14].

Таблиця 2.3 – Бібліотеки елементів схеми

Елементи	Бібліотеки
Резистори	RESISTOR.LIB
Конденсатори	CAPACITORS.LIB
Конектори	CONNECTORS.LIB
Мікроконтролер	MICROPROCESSOR ICs.LIB
Діоди	DIODES.LIB
Мотори	MECHANIC.LIB
Стабілізатор	REGULATEUR.LIB

За рахунок цього можна виносити усі елементи у робочий лист програми Proteus та розміщуємо їх так, щоб компоненти схеми були розміщені з однаковою щільністю. Після розміщення компонентів з'єднуємо елементи між собою згідно даної схеми так, щоб була найменша кількість зламів та перетинів ліній[13].

Склавши схему в Proteus, запускаємо моделювання за допомогою вибору команд Debug>Run. При цьому автоматично відбудеться перевірка програмою схеми на наявність помилок та запуск джерел живлення, вимірювальних

пристроїв та інших компонентів. На основі електричної принципової схеми (рисунк 2.14) моделюємо схему в середовищі програми Proteus (рис. 2.16.)

Якщо помилок не було виявлено програма працює у стані передачі даних, де можна спостерігати за проходженням електричних процесів, а також впливу фізичних явищ на елементи.

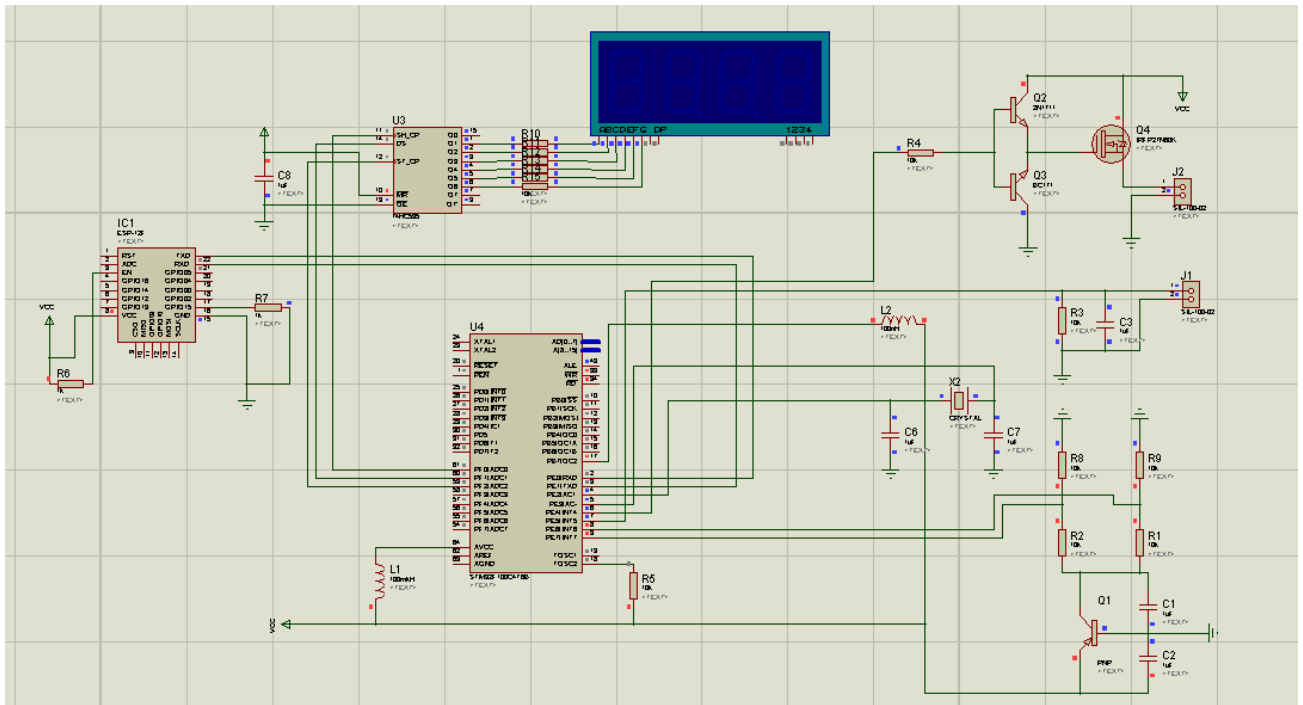


Рисунок 2.16 – Схема багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв змодельована в ISIS Proteus

Для дієздатності схеми необхідна керуюча програма для мікроконтролера. Лістинг самої програми наведено в додатку Е. Для програмування використовується середовище програми Sublime Text.

Для запуску схеми код програми необхідно зберегти у файл із розширенням .hex, наприклад QuadController.hex. Після чого, через розділ редагування властивостей мікроконтролера, в полі “Program file” необхідно вказати файл QuadController.hex.

При увімкненні джерела живлення починається початкова ініціалізація мікроконтролерів. Після чого, якщо у пам’яті мікроконтролера STM32F100C4T6B записаний виконуваний код, то відбувається його негайне виконання [20].

Для моделювання роботи схеми підключимо до портів мікроконтролера STM32F100C4T6B осцилограф. На рис. 2.17. зображена частина схеми, що відображає моделювання роботи обміну інформації мікроконтролера STM32F100C4T6B. На рис 2.17. наведено результат моделювання.

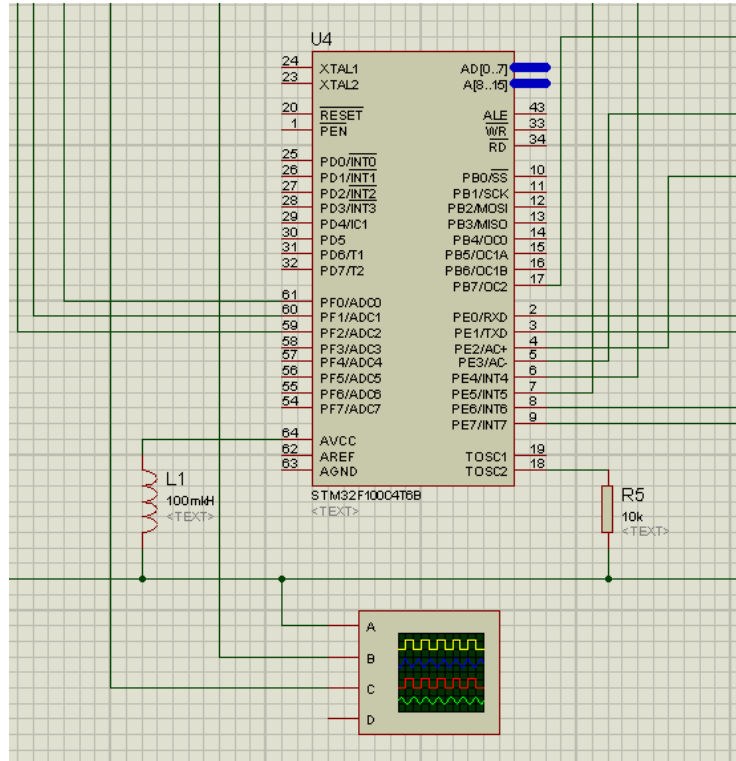


Рисунок 2.17 – Моделювання роботи обміну інформації мікроконтролера STM32F100C4T6B

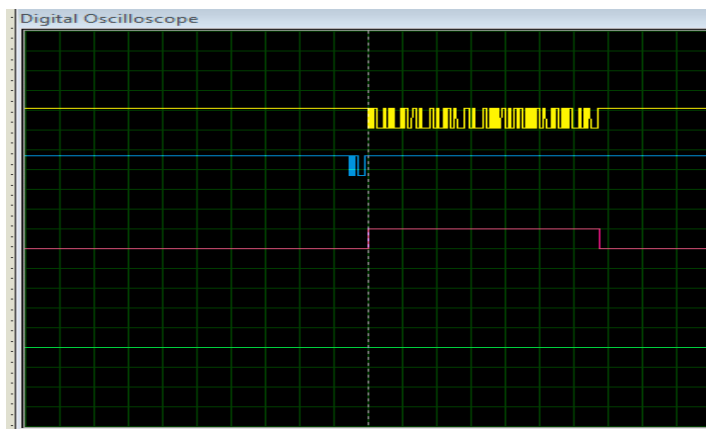


Рисунок 2.18 – Результат моделювання роботи обміну інформації мікроконтролера STM32F100C4T6B

При надсиланні звернення від мікроконтролера та виведення інформації у вигляді адреси, мікроконтролер STM32F100C4T6B надсилає значення кількості вхідних імпульсів, які характеризують зміну фізичних параметрів променя світла, який проходить через брудну воду, що надійшли з часу останньої передачі даних, та повних «затриманих» періодів, у випадку, якщо адреси співпадають.

На рис. 2.19. зображено частину схеми, що відображає роботу мікроконтролера STM32F100C4T6B обробки даних та виведення інформації багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Вода, стан якої моніториться, забруднена нафтопродуктами, а саме деканом та октаном. Тому на термінали та табло виводяться значення параметрів декану, октану та чистої води. До портів мікроконтролера STM32F100C4T6B підключимо термінал. На рис. 2.19. зображена частина схеми, що відображає роботу обміну інформації мікроконтролера STM32F100C4T6B. На рис. 2.19. наведено результат моделювання.

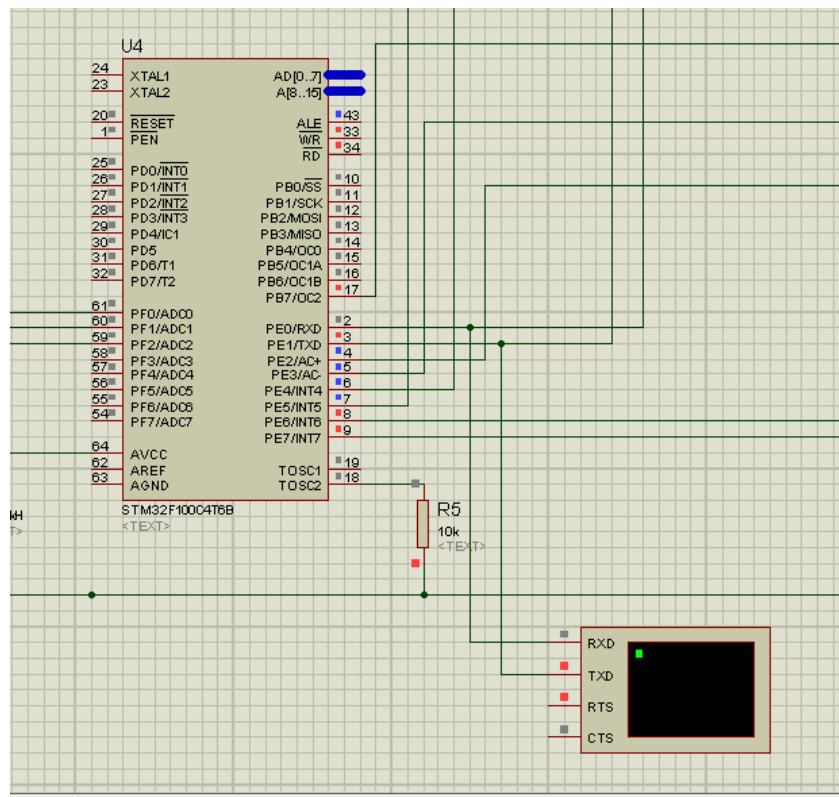


Рисунок 2.19 – Моделювання роботи обміну інформації мікроконтролера STM32F100C4T6B

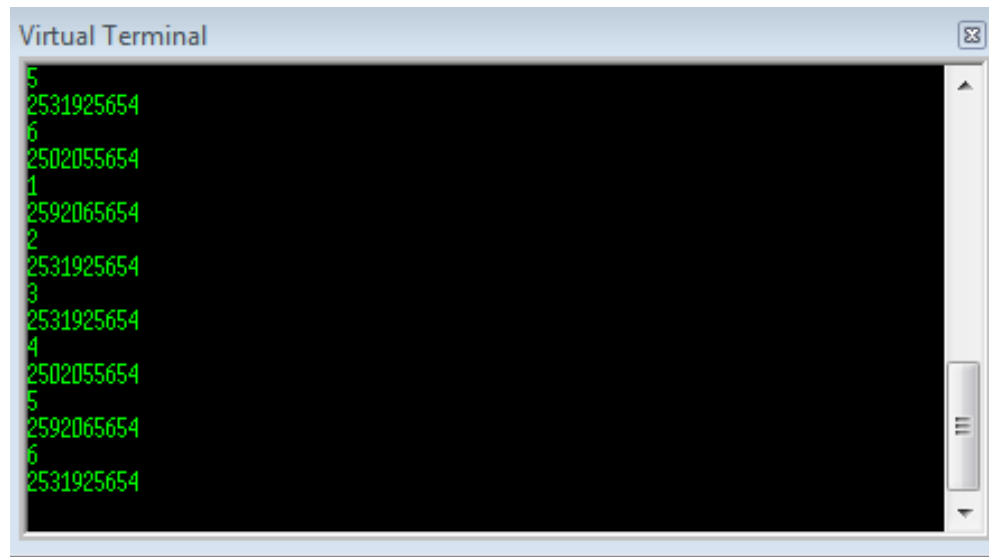


Рисунок 2.20 – Результат моделювання роботи мікроконтролера STM32F100C4T6B обробки даних

На рис. 2.21 зображена частина схеми, що відображає роботу мікроконтролера STM32F100C4T6B обробки інформації про густину компонентів забрудненої води та виведення інформації у вигляді масових часток цих компонентів на табло. На рис. 2.21 наведено результат моделювання.

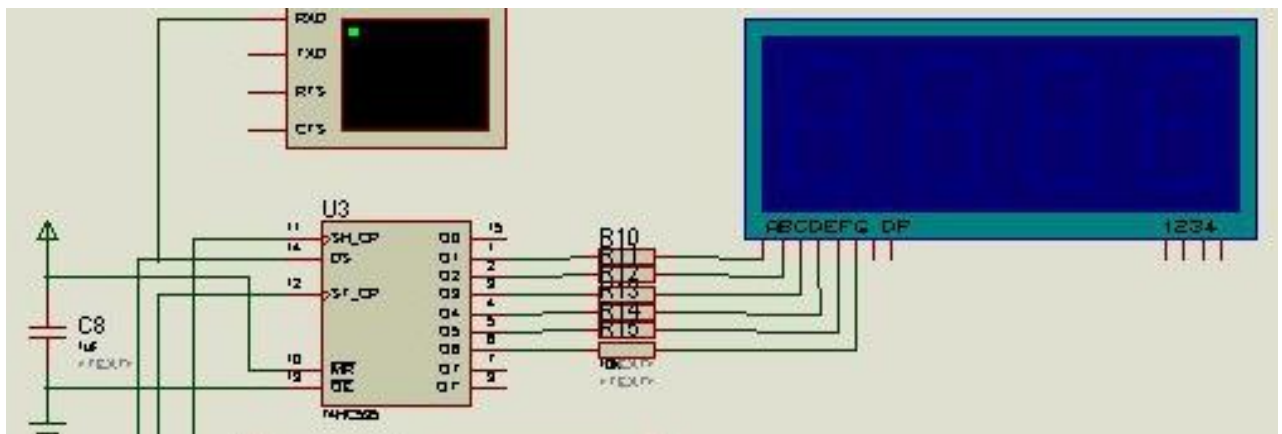


Рисунок 2.21 – Моделювання роботи мікроконтролера STM32F100C4T6B обробки інформації про густину компонентів забрудненої води та виведення інформації у вигляді масових часток цих компонентів на табло

P 1	730
P 2	727
P 3	724
P 4	721
P 5	718
P 6	715
P 7	712
P 8	709
P 9	706
P 10	703

Рисунок 2.22 – Результат моделювання роботи мікроконтролера STM32F100C4T6B обробки інформації про густину компонентів забрудненої води

При надсиланні адреси, мікроконтролер отримує відповідь, що містить дані для розрахунку густини. Після отримання даних з усіх адрес, розраховується густина. Результат розрахунку виводиться на дисплей. Далі процес повторюється.

Після визначення густини забрудненої води обраховуються значення масових часток компонентів забрудненої води. Результати цього обрахунку зображені на рисунках 2.23 – 2.25.



Рисунок 2.23 – Виведення значення масової частки декану



Рисунок 2.24 – Виведення значення масової частки октану



Рисунок 2.25 – Виведення значення масової частки чистої води

Враховуючи результати моделювання потрібно зробити акцент на тому, що усі елементи в пакеті Proteus є ідеалізованими. Таким чином, слід враховувати те, що на практиці спроектована схема може показати інші результати.

2.10 Висновки до другого розділу

Розглянуто класифікацію та аналіз методів та вимірювальних засобів для визначення характеристик забруднення водного середовища. Запропоновано математичну модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин, обраховані залежності вказують на те, що із збільшенням густини брудної води напруга засобу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води зменшується в діапазоні від 1,35 до 1,29 В при температурі -4°C , від 1,33 до 1,275 В при температурі 4°C та від 1,32 до 1,26 В при температурі 12°C .

Розроблено структурну та функціональну схеми багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Проведено підбір елементної бази для блоку моніторингу стану води безпілотником. Розроблено електрично принципову схему багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, наведено принцип її роботи. Розроблено блок схему алгоритму роботи програми та написано програму для мікроконтролерів (Додаток В). Проведено моделювання розробленої схеми по блокам, яке показало працездатність блоку моніторингу стану води та правильність написання програм, Результати цього моделювання показав виведення значення масової частки декану 3.54 октану 3.13 масові частки чистої води 93.33.

3 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ В ARES PROTEUS

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Під час вибору друкованої плати потрібно врахувати техніко-економічні показники. Модель цього приладу не являється складною за своєю конструкцією і складається з доступних елементів. В даній схемі обрано двосторонню друковану плату, яка володіє такими характеристиками, як високі комутаційні якості за рахунок металізації в отворах, володіє достатньою міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати та низькою вартістю [23].

Для створення друкованої плати використовують нефольговані та фольговані діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення є склотканина або папір, просякнуті синтетичними полімерні плівки з лавсану або смолами, фторопласту. На поверхні фольгованих матеріалів мідна фольга приклеюється з однієї або двох сторін листа в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

До матеріалу висувається такі вимоги:

- висока технологічність;
- забезпечення високої адгезії;
- високі електрофізичні властивості;
- мінімальні механічні деформації.

Найчастіше для виготовлення друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс наступних марок:

- ГФ – гетинакс фольгований;
- ФС – фольгований склотекстоліт;
- СФ – склотекстоліт фольгований;
- СФН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – склотекстоліт теплостійкий фольгований.

Товщина цієї плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається в залежності від елементної бази та навантажень.

В табл. 3.1 подано основні властивості матеріалів друкованих плат.

Таблиця 3.1 – Властивості матеріалів друкованих плат

Основні параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см ³	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Оптимальними параметри для розробки цифрового амперметра, згідно табл. 3.1, має склотекстоліт. Згідно з цього обираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги тридцять п'ять мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм та діапазон робочих температур від -60 до +120 °С. Даний матеріал володіє досить високим значенням ударної міцності та здатен витримувати перевантаження в 25g та механічні удари з тривалістю імпульсу в 13 мілісекунд. Будучи вкритим захисним лаковим покриттям, фольгований склотекстоліт не чутливий до вологи у всьому робочому температурному діапазоні, що задовольняє умовам поставленого технічного завдання.

3.2 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати

Облік всього комплексу метрологічних характеристик необхідний тільки при вимірах високої точності, а також при проектуванні складних вимірювальних систем. У більшості виробничих галузей, використовують робочі засоби вимірювань, метрологічні характеристики яких нормовані на основі класів точності, які є - узагальненою характеристикою засобів вимірювань певного типу, що дозволяє судити про те, в якому діапазоні знаходиться сумарна похибка вимірювань.

Планується обрати 2-й клас точності, в якому згідно ГОСТ 8.401 – 80, товщина провідників не повинна перевищувати 450 мкм.

До друкованих плат висуваються такі вимоги:

1. Висока точність розташування струмопровідного рисунка.

2. Велика величина опору діелектрика.
3. Висока механічна міцність.
4. Придатність до паяння, особливо після тривалого зберігання. Досягається шляхом вибору типу покриття та технологією його нанесення.

Точність розташування струмопровідного рисунка регламентується вимогами держстандартів. З цією метою введено поняття класу точності друкованих плат (табл 3.2).

Таблиця 3.2 – Класи точності друкованих плат

Параметри конструкції плат, мм	Клас точності				
	1	2	3	4	5
1. Ширина друкованих провідників	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
2. Відстань між суміжними провідниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
3. Ширина гарантійного пояска	0,3	0,2	0,1	0,05	0,0025
4. Відносна товщина друкованої плати	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Для даного виробу (згідно таблиці 3.2), з огляду на не складне трасування оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними параметрами конструкції:

- а) ширина провідника – 0,45 мм;
- б) відстань між сусідніми доріжками – 0,45 мм;
- в) ширина гарантійного пояска – 0,2 мм;
- г) відносна товщина ДП – 0,4 мм.

Установка навісних елементів на друкованій платі здійснюється згідно з ГОСТ 4ГО.010.030-81 та ГОСТ 4.ГО.010.009. При розташуванні елементів необхідно враховувати наступні фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація розмірів, забезпечення тепловідводу та ремонтпридатності.

Елементи розташовуємо з однієї сторони паралельно сторонам плати по принципу найкоротших зв'язків.

Вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на початок координат розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Отвори та елементи друкованого малюнку розташовуємо на платі відносно початку координат.

Всі контактні площадки розміщуємо у вузлах сітки. Це ж стосується і виводів елементної бази.

3.3 Розрахунок діаметру монтажних отворів і контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується відповідно до діаметру отворів з урахуванням формули допуску.

Діаметр шару провідника навколо отвору розраховуються за формулою

$$D_{\text{ПР}} = \Delta d_{\text{ОТВ}} + 2\epsilon + \Delta t_B + \Delta t_{\text{ТР}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{НВ}}^2}, \quad (3.1)$$

де $\Delta d_{\text{отв}}$ – верхнє значення діаметру отвору, $\Delta d_{\text{отв}} = 0,06$ мм;

ϵ – ширина гарантійного пояса, $\epsilon = 0,2$ мм;

Δt_B – верхній допуск на ширину провідника, $\Delta t_B = 0,1$ мм;

$\Delta t_{\text{НВ}}$ – нижній допуск на ширину провідника, $\Delta t_{\text{НВ}} = 0,1$ мм.

$\Delta t_{\text{ТР}}$ – допуск на підтравлювання діелектрика в отворі, $\Delta t_{\text{ТР}} = 0$;

T_d – позиційний допуск розміщення отворів, $T_d = 0,1$ мм;

T_D – допуск розміщення центру контактних площадок, $T_D = 0,1$ мм;

$$D_{\text{ПР}} = 0,06 + 0,4 + 0,1 + \sqrt{0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,7 \text{ (мм)}.$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою

$$d = d_{\text{вув}} + (0,2 \dots 0,4), \quad (3.2)$$

де $d_{\text{вув}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В цьому пристрої елементи містять наступні діаметри виводів: 1,25мм, 1,5мм, 1,75мм, 5мм.

Здійснюємо оптимізацію діаметрів отворів

$$d_1 = 1,25 + 0,2 = 1,45 \text{ (мм)}, \quad d_2 = 1,75 + 0,2 = 1,95 \text{ (мм)},$$

$$d_3 = 1,5 + 0,2 = 1,7 \text{ (мм)}, \quad d_4 = 5 + 0,2 = 5,2 \text{ (мм)}.$$

Знаходимо діаметри контактних площадок

$$D_1 = 1,45 + 0,7 = 2,15 \text{ (мм)},$$

$$D_2 = 1,95 + 0,7 = 2,65 \text{ (мм)},$$

$$D_3 = 1,7 + 0,7 = 2,4 \text{ (мм)},$$

$$D_4 = 5,2 + 0,7 = 5,9 \text{ (мм)}.$$

Отвори з діаметрами контактних площадок 2,15; 2,65; 2,4; 5,9 мм, які виготовлені у формі кругів та контактні площадки розміром 2×2

мм; $1,75 \times 1,75$ мм що мають форму квадрату, використовуються для встановлення зовнішніх компонентів. Отвори діаметром 3 мм слугують для монтажу друкованої плати і, відповідно, не мають контактних площадок та металізації.

3.4 Розрахунок ширини провідників

Обрахунок ширини провідників в розрахунку на струм, який проходить через них, та максимальне падіння напруги.

Для допустимого струму

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.3)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$;

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\max} = 0,5 \text{ А}$, згідно індивідуального завдання

$$b_{\min} = \frac{0,5}{35 \times 0,05} = 0,033(\text{мм}) = 33(\text{мкм}) < 450(\text{мкм}).$$

Визначимо меншу ширину провідника з умови допустимого падіння напруги

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \times \rho \times l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.4)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$;

t – товщина провідника.

I_{\max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,5 \text{ А}$;

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,18 \text{ м}$;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ В}$)

$$b_{\min} = \frac{0,5 \times 0,0175 \times 0,18}{0,25 \times 0,05} = 0,081(\text{мм}) = 81(\text{мкм}) < 450(\text{мкм}).$$

Обраховані значення ширини провідників не перевищують вибраних для другого класу точності.

3.5 Розробка друкованої плати в середовищі ARES Proteus

Важливим етапом проектування друкованих плат є моделювання в редакторі ARES і за своїм принципом роботи цілком відрізняється від роботи в редакторі ISIS.

Вибираємо необхідний крок сітки. Доступні такі градації сітки (Snap): 1 th = 0,025 мм, 5 th = 0,125 мм, 25 th = 0,625 мм, 50 th = 1,25 мм. У ARES є можливість перемикання сітки на метричну систему координат. Для цього в меню Display в пункті Metric ставимо мітку, після чого поточні координати курсору в правій нижній панелі будуть відображатися в мм з дискретністю, що дорівнює поточному кроці сітки.

Крок сітки при цьому має такі градації: 0,1 мм (тільки з меню Display - Snap), 0,5 мм, 1 мм, 2,5 мм. Початок координат на робочій області позначено синім квадратом, окресленим колом, але користуватися метричною системою координат при розведенні корпусів, створених в іншій системі координат (th) потрібно обережно. Зважаючи на те, що автотрасувальник прив'язаний до сітки вибраної системи координат, вузли якої не збігаються з вузлами сітки іншої системи. При автотрасуванні, під час того, як прокладається доріжка між контактними майданчиками, розташованими один від одного на відстані 2,5 мм, можливі варіанти неприпустиме зближення доріжки з контактною площадкою через розбіжність координатних сіток в різних системах координат.

Після того, як в середовищі ISIS в меню Tools вибрана команда Netlist to ARES, система відкриває редактор ARES і відбувається автоматична вибірка з усіх існуючих бібліотек ті корпуси, які отримали зв'язок з відповідними елементами електричної схеми.

У ARES міститься можливість автоматичного компонування всередині окресленого периметра друкованої плати, але потрібно зазначити малу її ефективність.

Загальний вигляд отриманої плати зображено на рисунку 3.1.

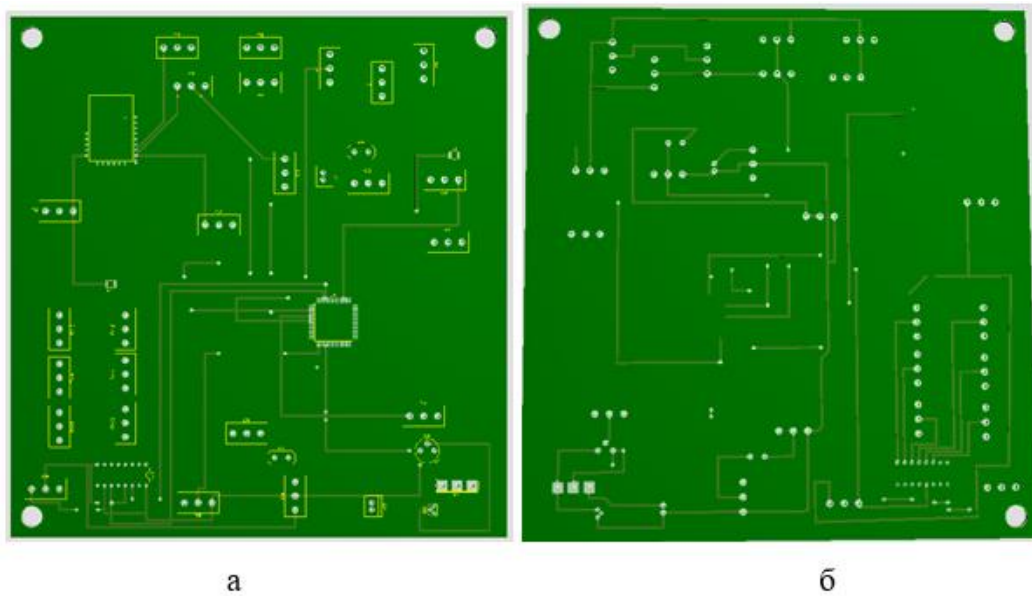


Рисунок 3.1 – Автотрасування та розміщення елементів схеми в середовищі ARES Proteus. а)вид зверху б)вид знизу.

Скориставшись функціональними можливостями ARES, побудуємо візуальну тривимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду Output > 3D Visualization. Побудована тривимірна модель зображена на рис. 3.2.

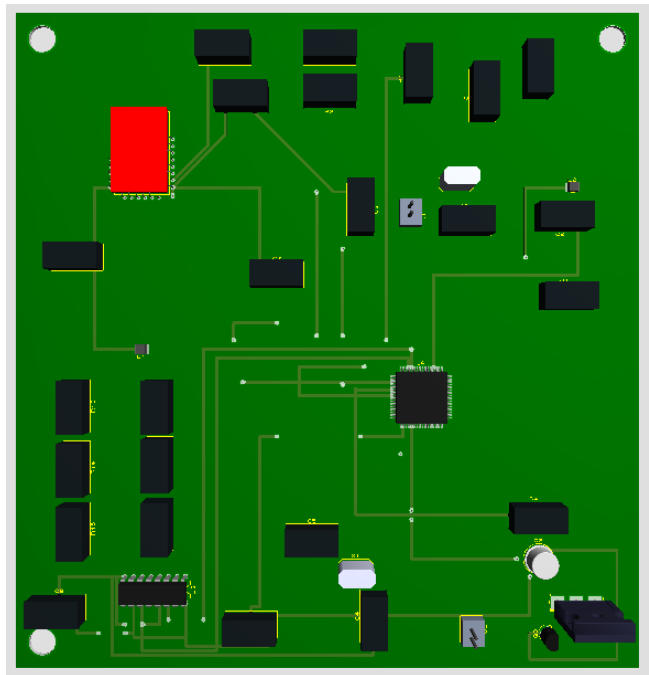


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд розробленої друкованої плати з встановленими компонентами

Складальне креслення та друкована плата, наведені в додатках Ж і Е відповідно.

3.6 Висновки до третього розділу

Структурна та електрична принципова схема були розроблені для багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Описано роботу даного блоку за допомогою алгоритму. Проведено моделювання роботи даного блоку в середовищі ISIS Proteus. Обраховано отвори з діаметрами контактних площадок 2,15; 2,65; 2,4; 5,9 мм, розраховано ширину провідників які складають 33 мкм, розраховану мінімальну ширину провідників яка складає 81 мкм.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота за темою «мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 4.1 [34].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					

Продовження таблиці 4.1

8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовують ся у військово промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій менше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій менше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х місяців до 3-х років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	2	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	3	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	3	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	4	4	4
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	5	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	4	4
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	3	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	3	3
Сума балів	38	41	42
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	40,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [Козловський, Лесько, Кавецький].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$, розрахована на основі висновків	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв» становить 40,3 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [34]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{базі}}} \quad (4.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;

P_i – значення i -го параметра виробу;

$P_{\text{базі}}$ – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Обсяг Flash-пам'яті	кБ	8	16	2	0,25
Тактова частота	МГц	16	24	1.5	0,12
Вага бруто	од.	0.2	0.183	0.9	0,15

Продовження таблиця 4.4

Напруга живлення	В	5	2..3	0.6	0,3
Кількість таймерів 16біт	од.	3	5	1,2	0,18
Експлуатаційні витрати	грн	60	60	1	0,45
Ціна (тарифний план)	грн	500	400	0,7	0,55

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [34]

$$I_{HP} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (4.2)$$

де I_{HP} – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

q_i – одиничний (частинний) показник за i -м нормативним параметром;

n – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому $I_{HP} = 1$.

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [34]

$$I_{TP} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

де I_{TP} – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

α_i – вагомість i -го параметричного показника, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.4.

$$I_{mn} = 2 \cdot 0,25 + 1,5 \cdot 0,12 + 0,9 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 0,3 + 1,2 \cdot 0,18 = 1,21.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [34]

$$I_{EP} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (4.4)$$

де I_{EP} – груповий параметричний індекс за економічними показниками;
 q_i – економічний параметр i -го виду;

$$\beta_i – \text{частка } i\text{-го економічного параметра, } \sum_{i=1}^m \beta_i = 1;$$

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці.

$$I_{EP} = 1 \cdot 0,45 + 0,7 \cdot 0,55 = 0,84.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розраховуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [34]

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (4.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 1,21 / 0,84 = 1,44.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності $K_{INT} > 1$, отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам,

аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [34]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.6)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 12000,00 \cdot 24 / 21 = 12000,00 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	11100,00	528,57	21	11100,00
Інженер-розробник мікро та наносистемної техніки	9650,00	459,52	15	6892,86
Інженер-проектувальник електронних компонентів	9550,00	454,76	5	2273,81
Технік	9500,00	254,76	17	7690,48
Всього				27957,14

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=2379,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [35];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 22,49 \text{ (грн)}.$$

$$З_{pl} = 22,49 \cdot 8,00 = 179,91 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинн а тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка офісного обладнання	6,00	2	1,10	22,49	134,94
Підготовка робочого місця розробника мікрота наносистемної техніки	5,00	2	1,10	22,49	112,45

Продовження таблиці 4.6

Інсталяція програмного забезпечення моделювання електронних пристроїв	4,00	5	1,70	34,76	139,04
Формування бази даних досліджень	10,00	4	1,50	30,67	306,67
Тренування системи	3,50	3	1,35	27,60	96,60
Налагодження електронних блоків	4,50	6	2,00	40,89	184,00
Тестування пристрою	7,00	4	1,50	30,67	214,67
Всього					1188,37

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.9)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (27957,14 + 1188,37) \cdot 10 / 100\% = 2914,55 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.10)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (27957,14 + 1188,37 + 2914,55) \cdot 22 / 100\% = 7053,21 \text{ (грн)}.$$

Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці,

які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$M_1 = 2,00 \cdot 130,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 286,00$ (грн).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір Prizma Ultra	115,00	3,00	0,000	0,00	379,5
Папір для записів Prizma Light A5	60,00	3,00	0,000	0,00	198,00
Органайзер офісний Prizma OFFICE	140,00	2,00	0,000	0,00	308,00
Канцелярське приладдя (набір офісного працівника)	205,00	4,00	0,000	0,00	902,00
Картридж для принтера Canon MP250	600,00	1,00	0,000	0,00	660,00

Продовження таблиці 4.7

Диск оптичний NewVybir CD-R	13,25	3,00	0,000	0,00	43,73
Flesh-пам'ять Kingston 24 GB	160,00	1,00	0,000	0,00	176,00
Тека для паперів Prizma BOX-ZX	110,00	2,00	0,000	0,00	242,00
Всього					2909,23

Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.12)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$K_6 = 1 \cdot 34,00 \cdot 1,1 = 37,40$ (грн).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Плата пристрою	1	35,00	38,50
LM317	2	22,00	48,40
Світлодіод	1	14,00	15,40
Роз'єми SIL-100-01	4	2,50	11,00
Ресистор 10 КОм	4	1,50	6,60
Ресистор 4.7 Ом	1	1,20	1,32
Конденсатор 2,2мкФ	5	1,15	6,33
Ресистор 39 Ом	1	1,25	1,38
Конденсатор 0.68мкФ	3	0,85	2,81

Продовження таблиці 4.8

Роз'єми SIL-100-03	9	6,25	61,88
Ресистор 680 Ом	1	1,10	1,21
STM32F100C4T6B Мікроконтролер	1	80,00	88,00
Всього			282,83

Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спеу}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.13)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спеу}} = 20000,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 22000,00 \text{ (грн)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Безпілотний апарат	1	20000,00	22000,00
Всього			22000,00

Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних)

необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прг}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прг.}i} \cdot K_i, \quad (4.14)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прг.}i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прг}} = 8000,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8800,00 \text{ (грн)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Середовище математичного інженерного моделювання Matchcad 15	1	8000,00	8800,00
Всього			8800,00

Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{\text{обл}} = \frac{C_{\text{б}}}{T_{\text{е}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.15)$$

де $C_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{\text{е}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{\text{обл}} = (26800,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1116,67 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер розробника мікро- та наносистемної техніки	26800,00	2	1	1116,67
Персональний комп'ютер інженера-розробника електронних компонент	24000,00	2	1	1000,00
Оргтехніка	8150,00	5	1	135,83
Приміщення дослідної лабораторії	326000,00	4	1	6791,67
ОС Windows 10	5720,00	25	1	19,07
Прикладний пакет Microsoft Office 2016	5142,00	2	1	214,25
Прикладний пакет Microsoft Office 2020	6000,00	2	1	250,00
Всього				9527,49

Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.16)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 4,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,4 \cdot 104,0 \cdot 4,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 183,34 \text{ (грн)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника мікро- та наносистемної техніки	0,4	160,0	282,06
Персональний комп'ютер інженера-розробника електронних компонент	0,25	140,0	154,25
Оргтехніка	0,6	10,0	33,75
Безпілотний апарат	0,2	25,0	22,00
Всього			492,06

Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та

приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (4.17)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cb} = (27957,14 + 1188,37) \cdot 20 / 100\% = 5829,10 \text{ (грн)}.$$

Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.18)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (27957,14 + 1188,37) \cdot 30 / 100\% = 8743,65 \text{ (грн)}.$$

4.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.19)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $H_{ie} = 60\%$.

$$I_e = (24458,33 + 1429,99) \cdot 50 / 100\% = 17487,30 \text{ (грн)}.$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків;

витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.20)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийємо $H_{нзв} = 110\%$.

$$B_{нзв} = (27957,14 + 1188,37) \cdot 110 / 100\% = 32060,06 \text{ (грн)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{дод} + Z_n + M + K_{г} + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сн} + I_{г} + B_{нзв}. \quad (4.21)$$

$$B_{заг} = 27957,14 + 1188,37 + 2914,55 + 7053,21 + 2909,23 + 282,83 + 22000,00 + 8800,00 + 9527,49 + 492,06 + 5829,10 + 8743,65 + 17487,30 + 32060,06 = 147244,99 \text{ (грн)}.$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.22)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийємо $\eta = 0,9$.

$$ZB = 122456,80 / 0,9 = 163605,54 \text{ (грн)}.$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	1000	2000	2000	1000

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 15000 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 300,00 (грн);

$\pm\Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 50,00 (грн).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta\Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [35]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (4.23)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2021 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

\mathcal{G} – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2021 році $\mathcal{G} = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року

$$\Delta\Pi_1 = (50,00 \cdot 15000,00 + 350,00 \cdot 1000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 318974,81 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року

$$\Delta\Pi_2 = (50,00 \cdot 15000,00 + 350,00 \cdot 3000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 522900,00 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року

$$\Delta\Pi_3 = (50,00 \cdot 15000,00 + 350,00 \cdot 5000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 724942,75 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року

$$\Delta\Pi_4 = (50,00 \cdot 15000,00 + 350,00 \cdot 6000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 826434,735 \text{ (грн)}.$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.24)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 318974,81 / (1+0,15)^1 + 522900,00 / (1+0,15)^2 + 724942,75 / (1+0,15)^3 + \\ &\quad + 826434,735 / (1+0,15)^4 = 277369,4 + 395387,52 + 476661,62 + 472516,74 = 1621935,28 \text{ (грн)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.25)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо $163605,54$ (грн).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 163605,54 = 327211,08 \text{ (грн)}.$$

Абсолютний економічний ефект E_{abc} для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{abc} = III - PV \quad (4.26)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1621935,28 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 32721,08 (грн).

$$E_{abc} = III - PV = 1621935,28 - 32721,08 = 1589214,2 \text{ (грн)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.27)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 1589214,2 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 32721,08 (грн);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 1589214,2 / 32721,08)^{1/4} = 2,65.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.28)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні $d = 0,1$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25.

$\tau_{\min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 2,65$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_e , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Мікроелектронні сенсори вологості з частотним виходом» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (4.29)$$

де E_e – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 2,65 = 0,38 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв» становить 40,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,44 рази.

Також термін окупності становить 0,38 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення розробки пристрою за темою «Мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв».

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечення захисту працюючих під час трудового процесу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які справляють негативний вплив на життя, здоров'я та працездатність людини, гарантування належних умов праці є важливими аспектами охорони праці, як складової безпеки життєдіяльності. У цьому розділі проводиться аналіз небезпечних, шкідливих [82] та уражаючих для людини і навколишнього довкілля чинників, які утворюються при проведенні дослідження радіовимірального параметричного перетворювача оптичного випромінювання. Тут розглядаються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення безпечної відстані при оптичному випромінюванні, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Наявність великої кількості прикладних програм сприяє тому, що ЕОМ є основним робочим інструментом інженера в галузі радіотехніки.

5.1.1 Безпека щодо організації робочих місць

Розміщення робочих місць, оснащених ЕОМ виконується в приміщеннях з однобічним розміщенням вікон, що неодмінно повинні бути обладнані сонцезахисним пристроями жалюзями та шторами [88].

При розміщенні робочих місць у приміщеннях з джерелами небезпечних та шкідливих промислових чинників, вони повинні розташовуватися в абсолютно ізольованих кабінетах з природним освітленням та організованою вентиляцією. Площа одного робочого місця має складати не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм – не менше як 20 м^3 , а висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [89].

Поверхня підлоги повинна бути рівною, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється використовувати для оздоблення інтер'єру полімери, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

5.1.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом у цьому приміщенні може бути робота під напругою під час проведення ремонтних робіт, несправність устаткування, випадкове торкання до металевих частин, що опинилися під напругою чи струмоведучих частин. У відповідності до [90] це приміщення належить до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності високої (понад 75 %) відносної вологості. Через це безпека використання електрообладнання має забезпечуватись рядом заходів, що включають застосування ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення та ін [91].

5.2 Гігієна праці та виробнича санітарія

5.2.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження радіовимірювального параметричного перетворювача оптичного випромінювання, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Згідно із [83] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні для холодного та теплого періодів року наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий		21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) у повітрі робочої зони та підлягає

систематичному контролю з метою запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

При роботі з ЕОМ джерелом зараження повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться в повітрі. Рівні позитивних та негативних іонів мають відповідати [85] і приведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Число іонів в 1 см³ повітря приміщення під час роботи на ЕОМ

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
позитивний	400	1500-3000	50000
негативний	600	3000-5000	50000

З метою забезпечення нормованих параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони запропоновано такі заходи:

- 1) у приміщенні має бути розміщена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року;
- 2) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

5.1.2 Виробниче освітлення

Для створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються щодо якісних та кількісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження радіовимірювального параметричного перетворювача оптичного випромінювання, згідно [84] визначаємо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт г.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Нормовані значення КПО та мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		Природного	Суміщеного	
						всього	у т. ч. від загального			загальне
Середньої точності	0,5-1	IV	г	великий	середній	300	150	150	1,5	0,9

Оскільки приміщення розташоване в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а світлові проєми розташовані за азимутом 315 о , то за таких умов КПО визначатиметься за виразом [84,85]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_n – табличне значення КПО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення

$$e_{N,b} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4 (\%);$$

$$e_{N,c} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 (\%).$$

З метою встановлення нормативних значень показників освітлення передбачено такі заходи:

1) за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування загального штучного освітлення у темний час доби.

5.2.2 Виробничий шум

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому відбувається робота з дослідження радіовимірювального параметричного перетворювача оптичного випромінювання може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється вентиляторами блоку живлення комп'ютера та кулерами мікропроцесора, відеокарти.

Для запобігання травмуванню працюючих під дією шуму він підпадає під нормування. Головним нормативом стосовно промислового шуму, що діє в нашій країні, є [86], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в промислових приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Нормовані рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5.6 для локальної вібрації.

Таблиця 5.6 – Нормовані рівні віброприскорення [87]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
73	73	79	85	91	97	103	109	76

Для покращення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) оздоблення стін спеціальними перфорованими плитами, панелями з метою шумопоглинання;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

5.2.3 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з дослідження може містити лазерні випромінювання.

В якості засобу захисту працюючих від лазерного випромінювання вибираємо захист відстанню.

Безпечну відстань L можна розрахувати за формулою

$$L = \frac{1,2}{\varphi} \sqrt{\frac{W}{E}} \quad [\text{м}], \quad (5.2)$$

де W – потужність лазера, Вт;

E – гранично допустима щільність потужності, Вт/м²;

φ – кут розсіювання променя, рад.

Гранично допустима щільність потужності для хвилі з довжиною

$L=1800\dots2500$ нм і тривалості опромінення від 3 до 100 с визначається за формулою

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t} \quad [\text{Вт/м}^2]. \quad (5.3)$$

Підставивши у формулу (5.3) відоме значення тривалість опромінення, отримаємо гранично допустима щільність потужності

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{6} = 2041,24 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Використовуючи формулу (5.2) визначимо безпечну відстань

$$L = \frac{1,2}{0,05} \sqrt{\frac{0,2}{2041,24}} = 0,24 \text{ (м)}.$$

Небезпечну зону слід чітко відокремити дисциплінарним бар'єром.

Відповідно до [92] регламентуються гранично допустимі рівні (ГДР) для кожного режиму роботи лазера і його спектрального діапазону. Граничні дози

при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінювання наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Граничні дози при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінюванні

Довжина хвилі λ , нм	Тривалість опромінення t , с	$H_{ГДР}$, Дж/м ² ; $E_{ГДР}$, Вт/м ²
1400 < λ δ 1800	$10^{-10} < t \delta 1$	$H_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$1 < t \delta 10^2$	$E_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 / \sqrt[5]{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \oplus 10^2$
1800 < λ δ 2500	$10^{-10} < t \delta 3$	$H_{ГДР} = 7 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \delta 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \oplus 10^2$
2500 < λ δ 10 ⁵	$10^{-10} < t \delta 10^{-1}$	$H_{ГДР} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$10^{-1} < t \delta 1$	$H_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{t}$
	$1 < t \delta 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \oplus 10^2$

5.2.4 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні небезпеки у сучасному світі є чинниками цілісності чи розладу, стійкості чи дисгармонії, спокою чи тривоги, успіху чи невдач, фізичного та морального благополуччя. На сьогодні не існує жодного фактора психофізіологічних небезпек, що не впливав би на людину. Кожен з цих факторів залежно від тривалості дії можна віднести до постійних чи тимчасових. Психофізіологічними факторами потенційної небезпеки постійної дії слід вважати: - недоліки органів відчуття (дефекти зору, слуху тощо); - порушення зв'язків між сенсорними та моторними центрами, внаслідок чого людина не здатна реагувати адекватно на ті чи інші зміни, що сприймаються органами відчуття; - дефекти координації рухів (особливо складних рухів та операцій, прийомів тощо); - підвищена емоційність; - відсутність мотивації до трудової діяльності (незацікавленість в досягненні цілей, невдоволення оплатою праці, монотонність праці); - відсутність пізнавального моменту, тобто нецікава робота, тощо.

Психофізіологічними факторами потенційної небезпеки тимчасової дії є: - недостатність досвіду (поява імовірної помилки, невірні дії, - напруження нервово-психічної системи, побоювання допустити помилку); - необережність (може призвести до ураження не лише окремої людини, а й всього колективу); - втома (розрізняють фізіологічне та психологічне втомлення); - емоційні явища (особливо конфліктні ситуації, душевні стреси, пов'язані з побутом, сім'єю, друзями, керівництвом. Діяльність людини можна поділити на дві категорії — фізичну та розумову. Фізична діяльність — діяльність, пов'язана з конкретними предметними діями (наприклад, перевезення вантажу, інструментальне виробництво тощо). Розумова діяльність пов'язана з психічними процесами, під час яких людина планує свої дії, оперуючи образами та мовними символами. Людина в діяльності виступає як особистість, що має певні мотиви і намічені цілі. Мотивами можуть виступати потреби, почуття тощо. Для здійснення діяльності необхідно мати об'єкт діяльності, внутрішні спонуки, а також співвідношення спонук і цілей людини, які вона хоче досягнути в результаті своєї діяльності. Наприклад, людину до діяльності спонукає або особисте збагачення (задоволення особистих потреб), або неможливість фізичного існування без діяльності. Фізична діяльність людини складається з роботи м'язів під час руху або виконання фізичних операцій на постійному робочому місці. Фізичну роботу (роботу м'язів) можна поділити за її характером на два види — статичну і динамічну. При статичній роботі підвищується обмін речовин, збільшується витрата енергетичних ресурсів, але меншою мірою ніж при динамічній. Особливістю такого виду праці є її виражена втомлювальна дія, що зумовлена довготривалим скороченням і напруженням м'язів, відсутністю умов для кровообігу, внаслідок чого відбувається накопичення кінцевих і проміжних продуктів обміну. Це дуже швидко призводить до розвитку втоми. Динамічна робота пов'язана з переміщенням у просторі частин тіла або усього тіла. У результаті енергія, яка витрачається при такій праці, перетворюється на механічну і теплову. Динамічні скорочення м'язів мають перервний характер, що сприяє повноцінному кровопостачанню і кисневому обміну, а це, своєю чергою, призводить до меншої втомлюваності. Працездатність м'язів залежить також і від обсягу навантаження — чим воно більше, тим швидше втомлюються м'язи. Для виконання фізичної роботи дуже важливо добрати середні величини ритму і навантаження. Це сприятиме підвищенню продуктивності і скороченню періоду втомлюваності (втома настане пізніше). У процесі роботи будь-якої частини тіла до неї надходить більше крові, ніж при стані спокою. Чим більшу

роботу виконують м'язи, тим більше поживних речовин і кисню надходитиме до них за допомогою крові. Чим більше фізичної праці, занять фізичною культурою, спортом, тим швидше ростуть м'язові волокна, людина стає сильнішою. Фізичні вправи добре впливають на весь організм, зміцнюють здоров'я, загартовують людину, роблять її здатною витримувати різні несприятливі впливи навколишнього середовища. Фізичні навантаження зумовлюють активізацію обмінних процесів. При інтенсивному навантаженні хвилинний об'єм серця зростає порівняно зі станом спокою в 6 разів, кількість засвоєння кисню — в 3 рази. Внаслідок цього збільшується постачання киснем тканин у 18 разів. Обсяг фізичної роботи залежить від конкретної професійної діяльності, особливостей людини, ступеня тренуваності, фізичного розвитку тощо. Як тільки людина приступає до конкретної роботи, незалежно від рівня її інтенсивності, з'являється потреба у збільшенні кількості кисню в організмі людини. Кожній людині відповідає свій показник максимального споживання кисню (МСК). Чим вище МСК, тим вища працездатність, стійкість до впливу екстремальних факторів. У чоловіків віком до 25 років МСК становить приблизно 2,8—3,0 л/хв, а у спортсменів — 5,0-6,0 л/хв. Споживання кисню зростає із збільшенням навантаження на організм людини. Через певний проміжок часу збільшення навантаження не призводить до збільшення концентрації кисню в організмі. Такий стан насичення киснем називається кисневою межею. Відповідно, таке навантаження за невеликий проміжок часу повністю виснажує людину (за 5—10 хв). Отже, інтенсивна фізична праця ставить високі вимоги до функцій основних органів і систем людини. Нетренованість призводить до погіршення стану серцево-судинної, дихальної та центральної нервової систем, а постійна фізична активність поліпшує їх функції. На відміну від фізичної, розумова діяльність супроводжується меншими витратами енергетичних запасів, але це не значить, що вона є легкою. Основним робочим органом під час такого виду діяльності виступає мозок. Під час розумової діяльності «значно активізуються аналітичні та синтетичні функції ЦНС, «ускладнюється прийом і переробка інформації, виникають функціональні зв'язки, нові комплекси умовних рефлексів, зростає роль функцій уваги, пам'яті, напруження зорового та слухового аналізаторів і навантаження на них. Для розумової діяльності характерні; напруження уваги, неприйняття пам'яті, велика кількість стресів, малорухомість, вимушена поза.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

У зв'язку з тим, що системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів має важливе значення для систем подвійного призначення, а на них можуть справляти значний вплив загрозливі чинники надзвичайні ситуації різного типу то необхідно провести оцінку безпеки роботи пристрою. До таких НС можна віднести: стихійні лиха (блискавка, зливи, вибухи), а особливо впливовими на РЕА мають іонізуючі випромінювання та ЕМІ. Тому при забезпеченні даних пристроїв слід забезпечити найвищий рівень захисту від тої чи іншої НС, оскільки кожна НС справляє свій вплив на даний пристрій.

Тож, в даній частині розділу необхідно виконати дослідження стійкості роботи та розробку заходів по підвищенню стійкості роботи системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

В РЕА застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (в основному діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки (смоли). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінень створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою.

При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки і електроавтоматики. В результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробної та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів[].

В органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута

втратах. Неорганічні матеріали не так чутливі до впливу іонізуючих випромінювань.

Вплив ЕМІ являє велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Тому слід пам'ятати про такий захист апаратури від ЕМІ, який би забезпечив стійку роботу пристрою 3D зображення постави тіла.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

За критерій безпеки роботи технологічного обладнання в цих умовах приймається таке граничне значення експозиційної дози, при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але пристрій буде працювати.

Приймаючи до уваги елементну базу, що використовується для реалізації пристрою, складається таблиця потужностей експозиційної дози опромінення для кожного елемента $D_{гр,i}$, що викликають початок зворотних змін. Отримані значення занесемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення експозиційних доз елементів пристрою

№	Елементи пристрою	$D_{гр.і}, P$	$D_{гр.}, P$
1	Інтегральні мікросхеми	10^5	10 ⁴
2	Діоди загального призначення	10^4	
3	Транзистори загального призначення	10^4	
4	Мікросхеми	10^5	
5	Конденсатори	10^7	
6	Резистори	10^8	

Проаналізувавши дані таблиці 5.1, визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{гр.і} = 10^4 P$ є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{K_{осл}}, \quad (5.1)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 4,91$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (5 років));

$t_{п}$ – час початку опромінення ($t_{п} = 1$ год).

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 2$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,91 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 1774,92 \text{ (P)}.$$

Оскільки $D_{гр.і} > D_m$, то дана РЕА стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою

$$t_{\delta} = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.2)$$

$$t_{\delta} = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,91 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,91} = 2037,66 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_m = 1774,92$ P, а допустима 10^4 P. Отже, РЕА є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи пристрою в заданих умовах становить 2037,66 год., при рівні радіації 4,91 Р/год, а це більше ніж час морального старіння мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

5.3.2 Дослідження стійкості мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в умовах дії електромагнітного імпульсу.

За критерієм безпеки роботи системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки

$$K_{\sigma} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.3)$$

де $U_{\text{д}}$ – допустиме коливання напруги живлення (для мікросхем 5 В);

$U_{\text{г}}$ – напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

В зв'язку з тим, що окремі елементи пристрою можуть мати різні значення коефіцієнтів безпеки, то стійкість його роботи в цілому визначається мінімальним значенням коефіцієнта безпеки.

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля

$$E_{\text{г}} = 9,89 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,89 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки [15].

$$U_{\text{г}} = 9,89 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 4945 \text{ (В)}.$$

$$U_{\text{в}} = 9,89 \cdot 0,8 = 7,912 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.4)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_{\text{д}1} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

$$U_{\text{д}2} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)},$$

$$U_{\text{д}3} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки

Горизонтальної

$$K_{\sigma_{\text{г}1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4945} = -51,25 \text{ (дБ)};$$

Вертикальної

$$K_{\sigma_{\text{в}1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{7,912} = 8,75 \text{ (дБ)};$$

$$Kb_{\epsilon 2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{4945} = -45,23 \text{ (дБ)}; \quad Kb_{\epsilon 2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{7,912} = 14,77 \text{ (дБ)};$$

$$Kb_{\epsilon 3} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{4945} = -23,15 \text{ (дБ)}; \quad Kb_{\epsilon 3} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{7,912} = 36,85 \text{ (дБ)}.$$

Розрахункові дані заносимо в таблицю 13.2.

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнтів безпеки мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

№	Найменування блоків	Kb_{Γ} , дБ	Kb_{ν} , дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-51.25	8.75	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-45.23	14.77	Нестійкий
3	Основний блок, 5 В	-23.15	36.85	Нестійкі

Границя стійкості системи керування $Kb_{\min} = -51,25$ дБ, а $Kb_{\Gamma p} = 36,85$. Отже, система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати екранування мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв.

5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв в умовах дії загрозливих чинників НС

Для мінімізації впливу на мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв можна використати наступне. Для захисту пристрою від іонізуючих випромінювань можна використати алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Використовують також захисні покриття радіоелектронної апаратури, що розміщується на поверхнях елементів, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання. Захисне покриття виконане у вигляді наноструктур, які включають сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці і утворює її захисний шар.

Для захисту від електромагнітного імпульсу є екранування металевим екраном, в якому розміщена радіоелектронна апаратура. Оскільки такий захист в ряді випадків неможливо виконати, то використовуються менш надійні засоби захисту, такі як струмопровідні сітки та плівкові покриття вікон, стільникові металеві конструкції для повітрозбірників та вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, що розміщуються по периметру дверей і люків. Від проникнення електромагнітного імпульсу в апаратуру через різні кабельні вводи використовують перехід від електричних мереж зв'язку до практично незалежних від впливів ЕМІ волоконно-оптичних. Також для захисту кабельних ввідів використовують в їх конструкції фільтрів та вбудованих зенерівських діодів.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі

$$A = 40 - K\beta_{\text{мін}}, \quad (5.5)$$

Для БЖ $A_1 = 40 + 51,25 = 91,25$ (дБ);

Для БУ $A_2 = 40 + 45,23 = 85,23$ (дБ);

Для ОБ $A_3 = 40 + 23,15 = 63,15$ (дБ).

Розрахуємо товщини захисних екранів

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.6)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для БЖ $t_1 = \frac{91,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,14$ (см);

Для БУ $t_2 = \frac{85,23}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,13$ (см);

Для ОБ $t_3 = \frac{63,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1$ (см).

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною 0,14 см зі сталі, мікроелектронна багатоканальна система моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв буде стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні основного блоку з використанням екрану товщиною 0,1 см, цей блок теж буде стійким в умовах дії електромагнітного імпульсу.

5.5 Висновки до розділу

В результаті написання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимого часу перебування в зоні дії магнітної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової безпеки. Під час проектування мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було проаналізовано методи оптичного дослідження мутності води. Виходячи з класифікації нефелометрія є найбільш підходящим для конструювання блоку моніторингу стану води.

Проаналізовано існуючі безпілотні літальні апарати для дослідження водного середовища, їх технічні характеристики та особливості конструкцій.

Запропоновано математичну модель процесу вимірювання масових часток забруднюючих воду речовин, отримані залежності вказують на те, що із збільшенням густини брудної води напруга засобу вимірювального контролю масових часток компонентів брудної води зменшується в діапазоні від 1,35 до 1,29 В при температурі -4°C , від 1,33 до 1,275 В при температурі 4°C та від 1,32 до 1,26 В при температурі 12°C . Розроблено структурну та функціональну схеми мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Проведено підбір елементної бази для мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв. Розроблено електрично принципову схему мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, наведено принцип її роботи. Розроблено блок схему алгоритму роботи програми та написано програму для мікроконтролерів (Додаток Г). Проведено моделювання розробленої схеми по блокам, яке показало працездатність мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів та правильність написання програм, Результати цього моделювання показав виведення значення масової частки декану 3.54 октану 3.13 масові частки чистої води 93.33. Описано роботу даного блоку за допомогою алгоритму.

Проведено моделювання роботи даного блоку в середовищі ISIS Proteus. Обраховано отвори з діаметрами контактних площадок 2,15; 2,65; 2,4; 5,9 мм, розраховано ширину провідників які складають 33 мкм, розраховано мінімальну ширину провідників яка складає 81 мкм.

Розглянуто такі аспекти охорони праці, як безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимого часу перебування в зоні дії магнітної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової безпеки. Під час проектування

мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Розроблено розділ економічної частини який показав, що термін окупності становить 0,38 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мушинський Ю.І. Блок моніторингу стану води безпілотним літальним апаратом. КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (2020) [Електронний ресурс]. –

Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2020/paper/view/8885>

2. КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_3/jrn/pdf/42.pdf

3. EagleRay: дрон, здатний однаково добре плавати під водою та літати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.leu.com.ua/eagleray-dron-zdatnyjj-odnakovo-dobre-plavaty-pid-vodoyu-litaty/>

4. AquaMAV - гибридный дрон, способный нырять в воду и взлетать обратно _____ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotechnica.com.ua/transport/2035-video-aquamav-gibridnyj-dron-sposobnyj-nyryat-v-vodu-i-vzletat-obratno.html> Loon Copter drone flies, floats and dives underwater [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://newatlas.com/loon-copter-amphibious-drone/41485/>

5. ТИПИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ І ЇХ НАСЛІДКИ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.akvantis.com.ua/ua/stati-i-obzory/tipy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya>

6. Оптичні методи аналізу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studopedia.su/2_31745_optichni-metodi-analizu.html

7. Преображенский Н. И. Сжиженные углеводородные газы /Н. И. Преображенский. – Л. : Недра, 1975. – 279 с.

8. Чертков Я. Б. Современные и перспективные углеводородные реактивные и дизельные топлива / Я. Б. Чертков. – М. : Химия, 1968. – 352 с.
9. Иванов В. И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы : справочник / В. И. Иванов, А. И. Аксенов, А. М. Юшин. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 448 с.
10. Гильярди Р. М. Оптическая связь / Р. М. Гильярди, Ш. Карп. – М. : Связь, 1978. – 456 с.
11. Гринев А. Ю. Постоение передающих устройств оптического диапазона волн / А. Ю. Гринев, А. М. Братчиков, Е. Н. Воронин. – М. : МАИ, 1985. – 560 с.
12. Совлуков А. С. Сравнительный анализ существующих методов измерений массы светлых нефтепродуктов в резервуарах / А. С. Совлуков, В. И. Терешин // Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов : тезисы докладов 3-й Международной метрологической конференции – Казань, 2015. – С. 72–78.
13. Виноградов, К.А. Абсолютные и относительные лаги // К.А. Виноградов, В.Н. Кошкарев, Б.А. Осюхин, А.А. Хребтов. – Л.: Судостроение, 1990. – 264 с.
14. Термоэлектронный кулер элемент Пельтье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod1357-termoelektronnii-kyler-element-pelte-tec1-12706-12v-6a>
15. Зинченко, О. Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс] / О. Н. Зинченко. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=681>.
16. Рогатюк А.А. Реалізація інформаційної технології розпізнавання, детектування та ідентифікації у вигляді додатку обробки відеоданих / А.А. Рогатюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5 – С. 237-242.

17. Кутовий, О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів / О.П. Кутовий // Наука і озброєння – 2014. – № 4. – С. 39 – 47.
18. Дементьев Д.О. Бойові Літальні комплекси в складі єдиної інформаційно-розвідувально-навігаційно-ударної системи / Дементьев Д.О. // Зб. наук. пр. Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2015. – №27. – С. 74-77.
19. Беспилотный летательный аппарат «R-100» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eizvestia.com/armiya/full/475-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-r-100>.
20. Беспилотный летательный аппарат «R-400» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eizvestia.com/armiya/full/386-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-r-400>.
21. Системы энергоснабжения для БПЛА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://atenergy.pro/products/energoobespechenie-bpla.html>.
22. Луцкий М.Г. Развитие международного регулирования та нормативной базы использования беспилотных летательных аппаратов / М.Г. Луцкий, В.П. Харченко, Д.О. Бугайко // Вісник НАУ. – 2015. – № 4. – С. 5-14.
23. Моисеев, В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография / В. С. Моисеев. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»), 2013. – С. 768.
24. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
25. ПДК 4617-88. Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".
26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

27. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

28. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

29. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

30. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

31. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Атестація робочих місць за умовами праці" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів усіх спеціальностей / Уклад. О.В. Березюк, М.С. Лемешев. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 21 с.

32. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

33. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

34. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

35. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри РТ ВНТУ,
докт.техн.наук, професор
О.В. Осадчук
” 4 ” _____10_____ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ
ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ
БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**
08-36.МКР. 002.00.000 ТЗ

Керівник роботи
докт.техн.наук, професор каф. РТ
Осадчук В.С.

Виконавець: ст. гр. МНТ-20м
Мушинський Ю.І.

Вінниця-2021

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 277 “24 ” 09 2021 року та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “03” вересня 2021 р.

Дата закінчення: “20” грудня 2021 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Мета роботи

Метою Магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення точності вимірювання масових часток компонентів забрудненої води за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Задачі дослідження

- проаналізувати існуючі безпілотні літальні апарати, які володіють характеристиками, що дозволяють їх використання для дослідження водного середовища;
- розробити блок моніторингу стану води для дослідження водного середовища.
- змодельовати структурну та електричну принципову схему блоку моніторингу стану води , провести схемотехнічне моделювання;
- змодельовати друковану плату блоку моніторингу стану води ;
- розробити заходи охорони праці для забезпечення оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату при розробці блоку моніторингу стану води.

Об’єкт дослідження

Об’єктом дослідження є процес зміни концентрації компонентів забрудненої води при різних температурних режимах.

4 ДжЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Мушинський Ю.І. Блок моніторингу стану води безпілотним літальним апаратом. КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (2020) [Електронний ресурс]. –

Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2020/paper/view/8885>

2. КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_3/jrn/pdf/42.pdf

3. EagleRay: дрон, здатний однаково добре плавати під водою та літати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.leu.com.ua/eagleray-dron-zdatnyjj-odnakovo-dobre-plavaty-pid-vodoyu-litaty/>

4. AquaMAV - гибридный дрон, способный нырять в воду и взлетать обратно _____ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotechnica.com.ua/transport/2035-video-aquamav-gibridnyj-dron-sposobnyj-nyryat-v-vodu-i-vzletat-obratno.html> Loon Copter drone flies, floats and dives underwater [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://newatlas.com/loon-copter-amphibious-drone/41485/>

5. ТИПИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ І ЇХ НАСЛІДКИ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.akvantis.com.ua/ua/stati-i-obzory/tipy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya>

6. Оптичні методи аналізу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studopedia.su/2_31745_optichni-metodi-analizu.html

7. Преображенский Н. И. Сжиженные углеводородные газы /Н. И. Преображенский. – Л. : Недра, 1975. – 279 с.

8. Чертков Я. Б. Современные и перспективные углеводородные реактивные и дизельные топлива / Я. Б. Чертков. – М. : Химия, 1968. – 352 с.

9. Иванов В. И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы : справочник / В. И. Иванов, А. И. Аксенов, А. М. Юшин. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 448 с.

10. Гильярди Р. М. Оптическая связь / Р. М. Гильярди, Ш. Карп. – М. : Связь, 1978. – 456 с.

11. Гринев А. Ю. Постоение передающих устройств оптического диапазона волн / А. Ю. Гринев, А. М. Братчиков, Е. Н. Воронин. – М. : МАИ, 1985. – 560 с.

12. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

13. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки,
студент групи МНТ-20м Мушинський Ю.І.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

- проаналізувати існуючі безпілотні літальні апарати, які володіють характеристиками, що дозволяють їх використання для дослідження водного середовища;
- розробити блок моніторингу стану води для дослідження водного середовища.
- змоделювати структурну та електричну принципову схему блоку моніторингу стану води , провести схемотехнічне моделювання;

Технічні вимоги

- центральна частота генерації радіосигналів -1,12 ГГц із вихідною потужністю 0,3 мВт (1,45 дБм);

- коефіцієнт корисної дії 7,5%;

- струм живлення 70 мА при напрузі живлення 12 В

6. ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2021	14.09.2021	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР по кафедрі
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	15.09.2021	21.09.2021	Аналіз літературних джерел. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	21.09.2021	25.09.2021	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження теми Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	26.09. 2021	09.10. 2021	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Вступ Розділ 1-2 Звіт по переддипломній практиці
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	10.10.2021	03.11. 2021	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	04.11. 2021	12.11. 2021	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка графічної частини МКР	13.11. 2021	23.11. 2021	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	19.11. 2021	24.11. 2021	Економічна частина	Розділ 4
9.	Охорона праці (ОП)	25.11. 2021	30.11. 2021	Частина БЖД	Розділ 5
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12. 2021	08.12. 2021	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	09.12. 2021	12.12. 2021	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	13.12. 2021	19.12. 2021	Позитивні відгуки	Відгук. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	21.12. 2021	23.12. 2021	Позитивний захист	Протокол ЕК

7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- проаналізовано існуючі безпілотні літальні апарати, які володіють характеристиками, що дозволяють їх використання для дослідження водного середовища;
- розроблено блок мікроелектронний блок моніторингу стану води для дослідження водного середовища.
- змоделювати структурну та електричну принципову схему блоку моніторингу стану води , провести схемотехнічне моделювання;

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ІЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

проаналізовані існуючі безпілотні літальні апарати, які володіють характеристиками, що дозволяють їх використання для дослідження водного середовища;

розроблений блок мікроелектронний блок моніторингу стану води для дослідження водного середовища.

змоделювати структурну та електричну принципову схему блоку моніторингу стану води , провести схемотехнічне моделювання;

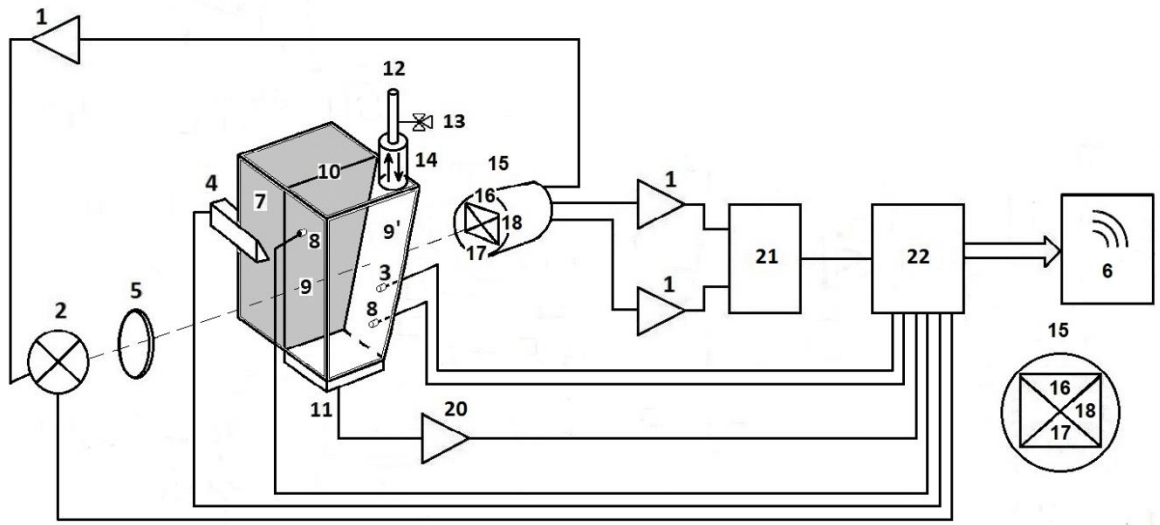
11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ
РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

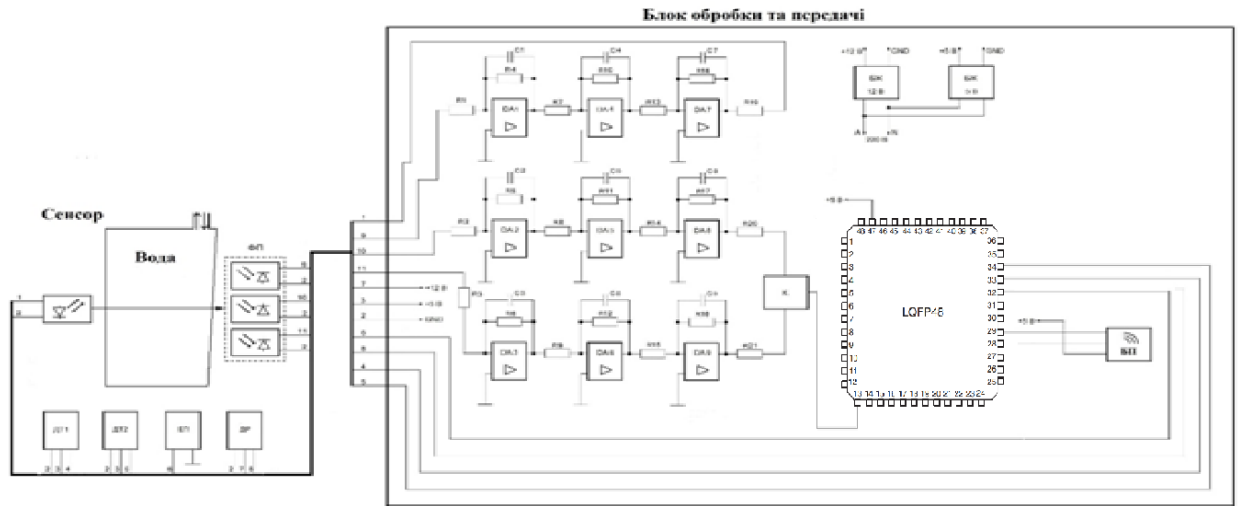
Структурна схема



Додаток В
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ
РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

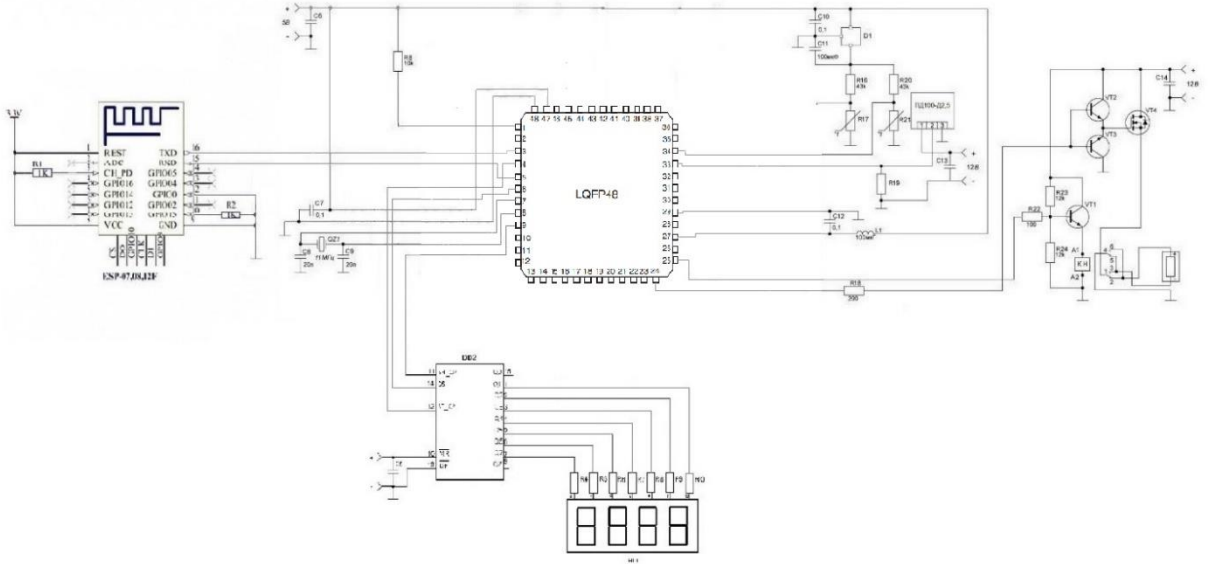
Функціональна схема



Додаток Г
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ
РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

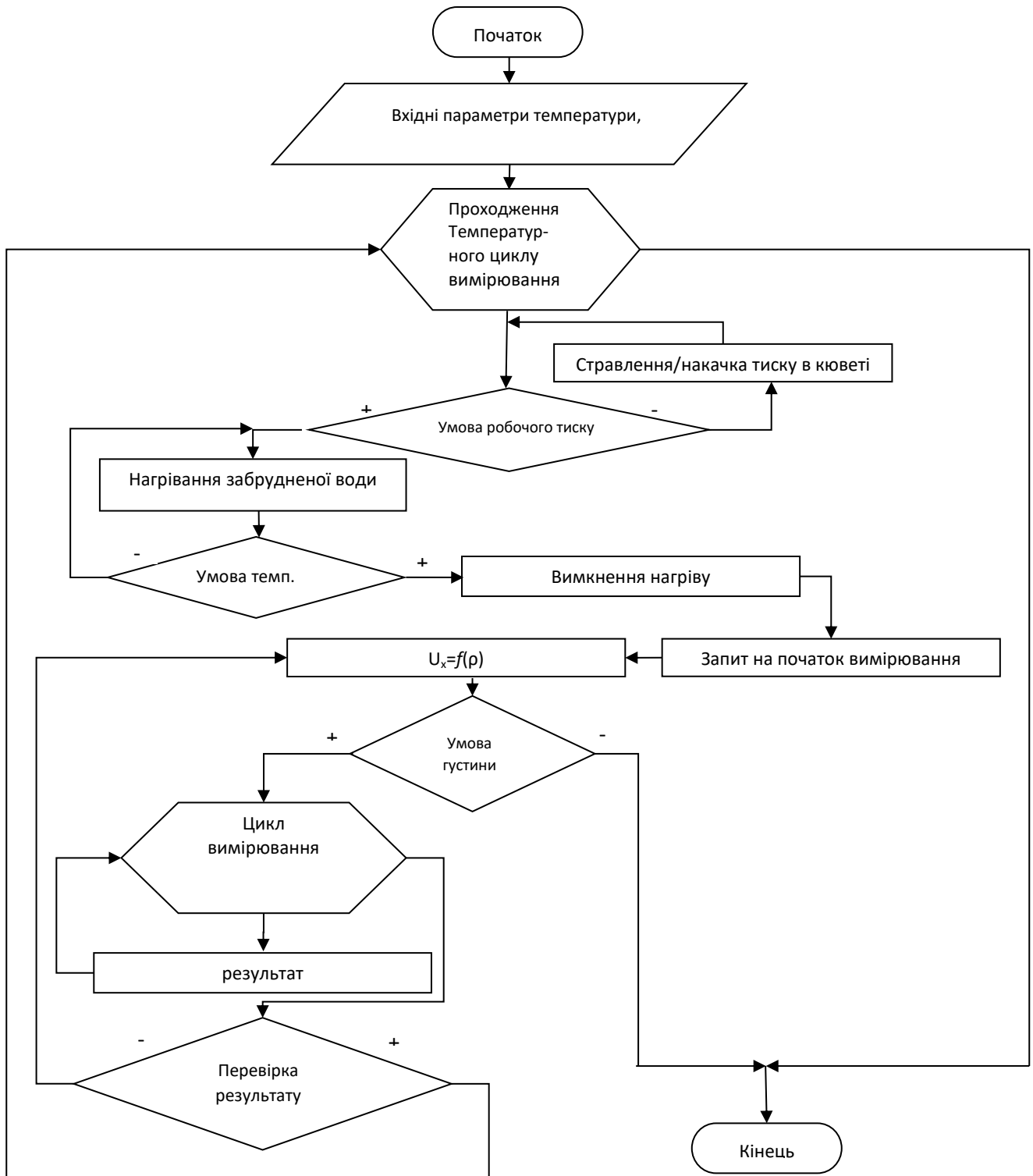
Електрична принципова схема



Додаток Д
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ
РЕСУРСІВ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

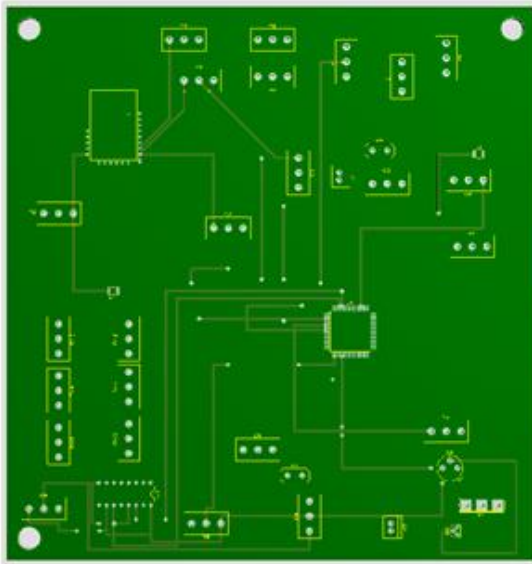
Алгоритм роботи блоку моніторингу стану води



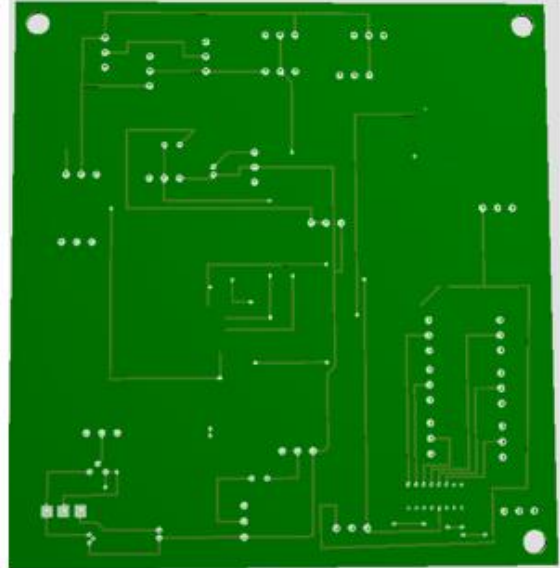
Додаток Е
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ
ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ
БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

Автотрасування та розміщення елементів схеми в середовищі
ARES Proteus. а) вид зверху б) вид знизу.



a

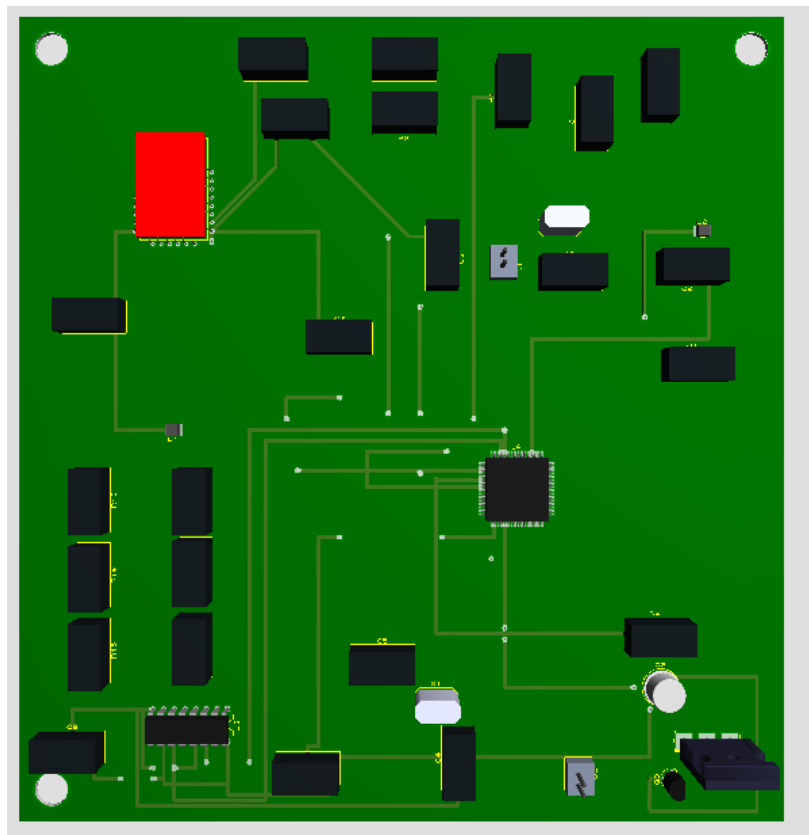


б

Додаток Ж
(обов'язковий)

**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ
ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ
БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

Зовнішній вигляд розробленої друкованої плати з встановленими компонентами



Додаток К

(обов'язковий)

Програма моделювання мікроелектронної багатоканальної системи моніторингу основних показників стану водних ресурсів для безпілотних літальних пристроїв

```

// include the libraries
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//set variable
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
SoftwareSerial portOne(0, 1);
Servo myservoFirst;
Servo myservoSecond;
Sd2Card card;
SdVolume volume;
File root;
int DeletedCount = 0;
int FolderDeleteCount = 0;
int FailCount = 0;
String rootpath = "/";
int potpin = 0;
int val;
int i;
const int SDChipSelect = 4;
char inByte;

void setup() {
  //set pins motors
  myservoFirst.attach(5);
  myservoSecond.attach(6);
  //run RX-TX
  //softSerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  portOne.begin(9600);
  Serial.print("\nInitializing SD card...");
  //run lcd display
  lcd.begin();
  lcd.backlight();

  if (!card.init(SPI_HALF_SPEED, SDChipSelect)) {
    Serial.println("initialization failed. Things to check:");
    Serial.println("* is a card inserted?");
    Serial.println("* is your wiring correct?");
    Serial.println("* did you change the chipSelect pin to match your shield or module?");
    while (1);
  } else {
    Serial.println("Wiring is correct and a card is present.");
  }
}

```

```

}

// print the type of card
Serial.println();
Serial.print("Card type:   ");
switch (card.type()) {
  case SD_CARD_TYPE_SD1:
    Serial.println("SD1");
    break;
  case SD_CARD_TYPE_SD2:
    Serial.println("SD2");
    break;
  case SD_CARD_TYPE_SDHC:
    Serial.println("SDHC");
    break;
  default:
    Serial.println("Unknown");
}

// Now we will try to open the 'volume'/partition' - it should be FAT16 or FAT32
if (!volume.init(card)) {
  Serial.println("Could not find FAT16/FAT32 partition.\nMake sure you've formatted the card");
  while (1);
}

Serial.print("Clusters:   ");
Serial.println(volume.clusterCount());
Serial.print("Blocks x Cluster: ");
Serial.println(volume.blocksPerCluster());

Serial.print("Total Blocks:   ");
Serial.println(volume.blocksPerCluster() * volume.clusterCount());
Serial.println();

// print the type and size of the first FAT-type volume
uint32_t volumesize;
Serial.print("Volume type is:  FAT");
Serial.println(volume.fatType(), DEC);

volumesize = volume.blocksPerCluster(); // clusters are collections of blocks
volumesize *= volume.clusterCount();   // we'll have a lot of clusters
volumesize /= 2;                        // SD card blocks are always 512 bytes (2 blocks are 1KB)
Serial.print("Volume size (Kb): ");
Serial.println(volumesize);
Serial.print("Volume size (Mb): ");
volumesize /= 1024;
Serial.println(volumesize);
Serial.println(volumesize);
if(volumesize == 0){
  Serial.println("Not have size");
  SD.begin(SDChipSelect);

  root = SD.open("/");
  delay(2000);

  rm(root, rootpath);

  if( !DeletedCount && !FailCount && !FolderDeleteCount ){

```



```

}
else{
  Serial.print("Deleted ");
  Serial.print(DeletedCount);
  Serial.print(" file");
  if( DeletedCount != 1 ){
    Serial.print("s");
  }
  Serial.print(" and ");
  Serial.print(FolderDeleteCount);
  Serial.print(" folder");
  if ( FolderDeleteCount != 1 ){
    Serial.print("s");
  }
  Serial.println(" from SD card.");
  if( FailCount > 0 ){
    Serial.print("Failed to delete ");
    Serial.print(FailCount);
    Serial.print(" item");
    if( FailCount != 1 ){
      Serial.print("s");
    }
  }
}
} else if(volumesize >= 20){
  Serial.println("Have size");
};
}

void loop(void) {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Initialization");
  lcd.clear();
  delay(200);
  lcd.print("Data analyze");
  val = analogRead(potpin);
  val = map(val, 0, 1023, 0, 180);
  //get information from motors
  if(val >= 0 && val <= 88){
    for(i = val; i>=0; i--){
      myservoFirst.write(i);
      delay(150);
      myservoFirst.detach();
    }
  }else if(val >= 88 && val <=92){
    myservoFirst.write(90);
    myservoSecond.write(90);
    delay(150);
    myservoFirst.detach();
    myservoSecond.detach();
    lcd.clear();
    delay(1000);
    //get date from COM2
    portOne.listen();
    while (portOne.available() > 0) {
      char inByte = portOne.read();
      Serial.print(inByte);
    }
  }
}

```

```

    }
    //save file on SD card
    File datafile = SD.open('text.txt', FILE_WRITE);
    if (dataFile) {
        while (dataFile.available()) {
            Serial.write(dataFile.read());
        }
        dataFile.close();
    }
    // if the file isn't open, pop up an error:
    else {
        Serial.println("error opening datalog.txt");
    }
}

}else if(val >= 92 && val <=180) {
    for(i = val; i>=0; i=i-1){
        myservoSecond.write(i);
        delay(15);
        myservoSecond.detach();
    }
}

}

//formate SD card
void rm(File dir, String tempPath) {
while(true) {
    File entry = dir.openNextFile();
    String localPath;

    Serial.println("");
    if (entry) {
        if ( entry.isDirectory() )
        {
            localPath = tempPath + entry.name() + rootpath + '\0';
            char folderBuf[localPath.length()];
            localPath.toCharArray(folderBuf, localPath.length() );
            rm(entry, folderBuf);

            if( SD.rmdir( folderBuf ) )
            {
                Serial.print("Deleted folder ");
                Serial.println(folderBuf);
                FolderDeleteCount++;
            }
            else
            {
                Serial.print("Unable to delete folder ");
                Serial.println(folderBuf);
                FailCount++;
            }
        }
        else
        {
            localPath = tempPath + entry.name() + '\0';
            char charBuf[localPath.length()];

```

```
localPath.toCharArray(charBuf, localPath.length() );

if( SD.remove( charBuf ) )
{
    Serial.print("Deleted ");
    Serial.println(localPath);
    DeletedCount++;
}
else
{
    Serial.print("Failed to delete ");
    Serial.println(localPath);
    FailCount++;
}
{
    else {

        // break out of recursion
        break;
    }
}
}
```