

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**

т. в. о завідувача кафедри АКІТ

кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРСЬКА**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ**

Спеціальність «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ. – 471.21917112

**Студент**

\_\_\_\_\_ Є.В. Романов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Керівник** кандидат техн. наук,

\_\_\_\_\_ А.М. Войтасик

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Консультант** кандидат техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ А.О. Алексєєва

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Миколаїв – 2023**



5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Креслення до ескізної 3D моделі, ескізна 3D модель, електрично принципова схема інформаційної плати, електрично принципова схема силової плати, схема друкованої інформаційної плати, схема друкованої силової плати, макет друкованої інформаційної плати, макет друкованої силової плати, функціональна блок – схема системи керування маніпулятором підводного апарата, блок-схема алгоритму для управління автоматизованою системою керування маніпулятором підводного апарата, структура пакету керування, структура байту *M STATE*, структура команди відповіді, структура байту *STATE*.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	канд. техн. наук, ст. викладач Войтасик А.М	13.10.2022	
2	канд. техн. наук, ст. викладач Войтасик А.М	03.01.2023	
3	Алексєєва А.О., канд. техн. наук, доцент	19.04. 2023	

7. Дата видачі завдання «17» жовтня 2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2022	виконано
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	01.10.2022	виконано
3	Формування завдання	13.10.2022	виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2022	виконано

5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2022	виконано
6	Виконання першої частини	01.12.2022	виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	29.12.2022	виконано
8	Опрацювання другої частини	01.03.2023	виконано
9	Робота над третьою частиною	03.04. 2023	виконано
10	Робота над розділом з охорони праці	19.05. 2023	виконано
11	Передзахисти	21.05. 2023	виконано
12	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	16.06. 2023	виконано

\*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

«Автоматизована система керування технологічним підводним апаратом»

Студента 471 Романова Єгора Владиславовича

Керівник: канд. техн. наук, ст. викладач Войтасик А.М.

У даній кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається тема автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом. Зосереджуючись на деталях і основних аспектах, досліджено можливості та важливість використання автоматизації у керуванні підводними апаратами для виконання різноманітних технологічних процесів.

Проаналізовано переваги автоматизації у цьому контексті, зокрема підвищення продуктивності та ефективності роботи, зменшення ризиків для операторів та збільшення точності та повторюваності виконання завдань. Застосування автоматизованої системи керування дозволяє виконувати складні завдання у важкодоступних підводних умовах, забезпечуючи стабільність та безпеку операцій.

Розглянуто технології та алгоритми, що використовуються для реалізації автоматизованої системи керування підводним апаратом, такі як системи дистанційного керування та автономні системи. Підкреслено значення сучасних сенсорів, комунікаційних систем у вдосконаленні функціональності та продуктивності системи керування.

Вивчено практичні застосування автоматизованих систем керування технологічними підводними апаратами в різних галузях, включаючи наукові дослідження, розвідувальні місії, підводне будівництво, ремонт та обслуговування підводних споруд, океанографічні дослідження та інші сфери.

Розкрито потенційні переваги використання автоматизованих систем керування, такі як збільшення продуктивності, зниження витрат, підвищення безпеки та покращення якості робіт. Однак, також висвітлюються виклики, пов'язані з автоматизацією, включаючи надійність систем, проблеми з комунікацією, безпекою та потенційним впливом на довкілля.

Ця робота детально розкриває ключові аспекти автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом, відзначає її переваги та виклики у різних сферах застосування. Вона допоможе в отриманні загального уявлення про цю технологію та стане вихідною точкою для подальших досліджень у цій області.

Сторінок – 108. Рисуноків – 32. Таблиць – 11. Посилань – 29.

## **ABSTRACT**

to the qualification work of the bachelor

«Automated control system of a technological underwater vehicle»

Student 471 Romanov Yehor

Supervisor: candidate technical Sciences, Art. teacher Voytasyk A.M.

This bachelor's qualification work examines the topic of the automated control system of a technological underwater vehicle. Focusing on the details and the main aspects, the possibilities and importance of using automation in the control of underwater vehicles for the execution of various technological processes have been investigated.

The benefits of automation in this context are analyzed, including increased productivity and work efficiency, reduced risks for operators, and increased accuracy and repeatability of tasks. The use of an automated control system allows you to perform complex tasks in hard-to-reach underwater conditions, ensuring the stability and safety of operations.

Technologies and algorithms used to implement an automated underwater vehicle control system, such as remote control systems and autonomous systems, are considered. The importance of modern sensors and communication systems in improving the functionality and performance of the control system is emphasized.

The practical applications of automated control systems for technological underwater vehicles in various fields have been studied, including scientific research, reconnaissance missions, underwater construction, repair and maintenance of underwater structures, oceanographic research and other areas.

The potential benefits of using automated control systems are revealed, such as increased productivity, reduced costs, increased safety, and improved quality of work. However, challenges associated with automation are also highlighted, including systems reliability, communication issues, security and potential environmental impacts.

This work details the key aspects of an automated control system for a technological underwater vehicle, notes its advantages and challenges in various

fields of application. It will help in getting a general idea about this technology and will be a starting point for further research in this area.

Pages – 108. Figures – 32. Tables – 11. References – 29.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП .....	5
1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ МАНІПУЛЯТОРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ .....	8
1.1 Різновиди підводно-технічних робіт, які можна виконувати застосовуючи технологічні підводні апарати .....	8
1.2 Застосування технологічного підводного апарата для виконання підводно- технічних робіт .....	16
1.3 Порівняльний аналіз існуючих моделей технологічних маніпуляційних пристроїв як частини складової технологічного підводного апарата .....	20
Висновки до першого розділу.....	31
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ПІДВОДНОГО АПАРАТА .....	32
2.1 Структура прив'язної підводної системи .....	32
2.2 Загальна характеристика технологічного підводного апарата проекту «Бриз».....	38
2.3 Розробка структури системи керування маніпулятором підводного апарата .....	42
2.4 Розробка та опис ескізної 3d моделі конструкції маніпулятора підводного апарата.....	45
2.5 Опис та вибір складових компонентів автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом.....	51
2.6 Розробка блох-схеми автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом з маніпуляційним пристроєм .....	66

2.7 Розробка та опис електрично принципів схем .....	68
2.8 Розробка друкованих плат автоматизованої системи керування маніпулятором технологічного підводного апарата.....	73
2.9 Опис та розробка протоколу обміну .....	80
2.10 Розробка алгоритмів роботи мікроконтролера .....	82
Висновки до другого розділу .....	84
ВИСНОВКИ.....	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	87

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування

PWM – Pulse Width Modulation (укр. широтно-імпульсна модуляція, або ширина імпульсу)

ДКПА – дистанційно керований підводний апарат

АПА – автономний підводний апарат

ВМС – військово морські сили

ВМСУ – військово морські сили України

ПК – пост керування

ЛКТ – лебідка кабель-тросу

СН – судно-носії

КТ – кабель-трос

ТПА – технологічний підводний апарат

ЗК – засоби керування

ЗБ – засоби відео спостереження

СІО – система інформаційного обміну

МІО – модуль інформаційного обміну

ВК – відеокамери

ВП – виконавчі пристрої

ПМ – поворотний механізм

НС – навігаційні сенсори

РКК – рушійно-кермовий комплекс

СКПН – система керування підводним маніпулятором

## ВСТУП

Автоматизована система керування технологічним підводним апаратом відіграє важливу роль в контексті виконання операцій у підводних умовах. Її застосування сприяє поліпшенню точності, ефективності та безпеки підводних завдань, які часто здійснюються в обмежених просторових умовах і в умовах обмеженого доступу для людей.

Автоматизація в підводних операціях виконує ключову роль у підвищенні продуктивності, захисті операторів та успішному виконанні складних завдань, що вимагають виконання у важких умовах високого тиску та обмеженого простору. Ці автоматизовані системи використовуються в різних галузях, включаючи наукові дослідження, військові операції, океанографічні дослідження, підводне будівництво та обслуговування підводних споруд.

Сучасні технології, такі як штучний інтелект, сенсори та комунікаційні системи, грають важливу роль у розвитку автоматизованих систем керування підводними апаратами. Вони покращують функціональність, точність та надійність цих систем, а також дозволяють збирати та обробляти дані з більшою ефективністю.

Узагальнюючи, автоматизована система керування технологічним підводним апаратом є інноваційною технологією, яка забезпечує ефективне використання підводних ресурсів, підвищує безпеку та знижує витрати. Вона відкриває нові можливості для досліджень, експлуатації та розвитку підводних областей, сприяючи прогресу і забезпечуючи стабільність у різних галузях, які користуються підводними ресурсами.

**Метою** розробки системи керування маніпулятора підводного апарата є створення функціональної системи, що забезпечує ефективне управління рухом і функціями маніпулятора в підводному середовищі. Головним завданням є забезпечення точного позиціонування і контролю руху

маніпулятора для виконання різноманітних завдань, таких як підводні дослідження, ремонт та обслуговування підводних об'єктів, збір проб та інші роботи.

**Об'єктом** дослідження є сам підводний апарат з усіма його складовими: механічною структурою, електронікою, програмним забезпеченням та іншими компонентами. Дослідження спрямоване на вивчення та розробку оптимальних методів керування рухом маніпулятора в умовах підводного середовища.

**Предметом** дослідження є розробка та оптимізація алгоритмів керування, розробка інтерфейсу користувача, вивчення технологій підводної навігації та способів комунікації, а також дослідження взаємодії маніпулятора з оточуючим середовищем. Метою є розробка імовірностно-статистичних моделей та методів аналізу для покращення точності та надійності роботи системи керування.

Задачі, які були поставлені для досягнення мети в розробці системи керування маніпулятора підводного апарата:

1. Дослідження різновидів підводно-технічних робіт, які можна виконувати застосовуючи підводні апарати.
2. Вивчення застосування маніпулятора для виконання підводно-технічних робіт.
3. Порівняльний аналіз існуючих моделей маніпуляторів.
4. Розглядання структури прив'язної підводної системи.
5. Аналіз структури на загальній характеристиці самохідного прив'язного підводного апарата проекту "Бриз".
6. Розробка та опис 3D моделі конструкції маніпулятора підводного апарата.
7. Розробка структури системи керування маніпулятором підводного апарата.
8. Розробка електричних принципових схем.

9.Створення макету друкованих плат на основі електрично-принципових схем.

## 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ МАНПУЛЯТОРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

### 1.1 Різновиди підводно-технічних робіт, які можна виконувати застосовуючи технологічні підводні апарати

Необхідність у розробці підводних апаратів виникла ще у минулому столітті, коли людство тільки почало опановувати підводний світ. Першою суттєвою згадкою застосування прототипів дистанційно-керованих підводних апаратів є дослідження та розробка для військово-морських сил США у середині двадцятого століття. У 1950-х роках такі автономні прототипи підводних апаратів (рис. 1.1.1) використовували для пошуку торпед навчального призначення[1]. Саме з військового застосування і почалась ера досліджень і випробовувань дистанційно-керованих підводних апаратів.



Рисунок 1.1.1 – ДКПА Королівського флоту (Cutlet), вперше використаний у 1950-х роках для вилучення тренувальних торпед і мін

Визначною подією у військовому застосуванні та дослідженні функціоналу ДКПА стала поява найвідомішого попередника сучасних телекерованих апаратів CURV-1 (рис. 1.1.2). CURV був прототипом дистанційно-керованих підводних апаратів і першопрохідцем, що мав опцію

дистанційного керування. Він став відомим у 1966 році, коли за допомогою CURV-1 дістали з дна Середземного моря водневу бомбу.

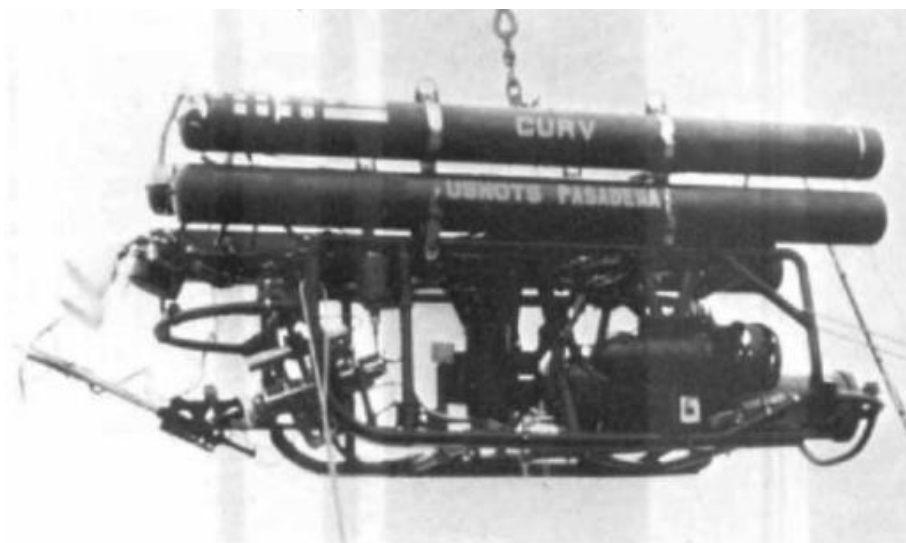


Рисунок 1.1.2 – Вид ДКА CURV-1 збоку

Характеристики подібного технологічного підводного апарата представлено в таблиці 1.1.1.

Таблиця 1.1.1 – Загальні характеристики CURV – 3

Найменування	Значення
Тип	підводний аварійно-рятувальний апарат із кабельним керуванням
Розмір, м	металевий каркас розміром 2,0 на 2,0 на 4,6
Маса, кг	2400
Максимальна глибина, м	3000



Датчики, системи обробки, маніпулятори	дві телевізійні камери Vidicon, чотири ртутні фари, два ртутні прожектори та 35-міліметрова камера з ємністю кольорової плівки 500 кадрів і стробоскопом, активний і пасивний ехолот, висотомір, глибиномір і компас, інструментальний вузол, маніпулятор
--	---

Як і в минулому, так і зараз, підводні апарати розвиваються дуже швидко і від громіздких та неповоротких, безпілотні підводні апарати все частіше застосовуються для військових цілей[2]. Різновиди підводно-технічних робіт, що може виконувати сучасний автономний підводний апарат розширився і тепер такі технічні засоби забезпечують виконання:

- 1) протимінних операцій;
- 2) забезпечення безпеки портів;
- 3) моніторингу стану оточуючого середовища;
- 4) підводної розвідки;
- 5) патрулювання акваторій;
- 6) рятувальних операцій та ін.

Яскравим прикладом такого технічного засобу, що є актуальним не тільки у наш час, а і в Україні є REMUS 100 (рис. 1.1.3). Цей підводний апарат-робот широко використовується у військових цілях та працює на глибині до 100 м близько 20-ти годин, керування забезпечують два оператори. REMUS 100 має вагу менше 36 кг і здатен пересуватися під водою зі швидкістю 3-5 вузлів. Запас ходу становить 60 км. REMUS 100 оснащений температурним датчиком, сенсором глибини та швидкості підводних течій, двочастотним

сонаром (900/1800 кГц), здатним формувати 3D зображення з розрізняювальною здатністю близько 6 см.



Рисунок 1.1.3 – Зовнішній вигляд ДКПА REMUS 100

Загальні характеристики ДКПА REMUS 100 наведені в таблиці 1.1.2.

Таблиця 1.1.2 – Загальні характеристики REMUS 100

Найменування	Значення
Тип	дистанційно-керована торпеда
Довжина, м	1,3
Вага, кг	37
Максимальна глибина, м	100
Матеріал покриття	алюміній
Максимальний час занурення, години	10
Живлення	1 кВт/год літій-іонний акумулятор з внутрішньою зарядкою
Датчики і системи обробки	інерціальна навігаційна система Kongsberg – включає Honeywell HG1700 або HG9900 IMU та набір обробки навігації NavP, процесор корисного навантаження

	<p>для ініціалізації та керування всіма датчиками, точна синхронізація часу та акустичних інструментів, операційна система Vx Works, тридіапазонна польова змінна антена для GPS, Iridium і Wi-Fi, точний GPS, акустичні комунікації, 1 Гбіт Ethernet – для високошвидкісного завантаження даних</p>
--	--

Наразі відомо, що 6 одиниць апаратів REMUS-100 було передано ВМС України від уряду Великої Британії для розмінування морської акваторії. Відповідно до звіту британських військових, застосовуючи REMUS 100 дозволить ВМСУ значно швидше провести моніторинг акваторії, ніж стандартними методами. Особливістю такого типу підводного апарата є відсутність потреби ризику життя для пошуку та знешкодження мін.

Основною перевагою будь-якого АПА є можливість функціонування без людей на борту. Без ризику для життя людини і великої ефективності у використанні зазнало комерційне використання таких апаратів, а саме з 1980-х років, коли було створено повністю автоматичні автономні телекеровані підводні апарати з робочою глибиною занурення до 6000 м. Такі апарати мали досконаліше обладнання у якості фототелевізійних і гідроакустичних станцій, маніпуляторних пристроїв. Саме такі покращення дали змогу сучасним проектувальникам газовидобувних станцій використовувати ДКПА для підводних робіт, а не живої робочої сили. Сучасні дистанційно-керовані апарати мають високоякісне обладнання для комерційного застосування і і таких підводно-технічних робіт як:

- 1) прокладання та ремонт підводних силових та кабелів зв'язку;

- 2) ремонт трубопроводів;
- 3) підйому вантажів з затонулих суден;
- 4) геологічної розвідки.

Значний вплинули ДКПА у наукових цілях. Наукове застосування підводних апаратів дало їм змогу працювати на глибині до 6000 м і більше. Розмір та форми наукових ДКПА відрізняються через їх специфіку застосування. Важливою складовою частиною будь-якого такого технічного засобу є якість відеоматеріалу, що може бути знятий під водою. Оснащені системами освітлення високої потужності та камерами високої розподільчої здатності, можуть мати різні пристрої для відбору проб і сенсор. Багато з цих пристроїв є єдиними в своєму роді, найсучаснішими експериментальними компонентами, які були налаштовані для роботи в екстремальних умовах глибин океану. Наукові ДКПА також містять багато технологій, розроблених для комерційного сектору ДКПА, таких як гідравлічні маніпулятори та високоточні підводні навігаційні системи. Такі системи дозволяють вченим застосовувати апарати для наступних цілей:

- 1) вивчення озер, океанів і морського ґрунту;
- 2) виміру концентрацій різних елементів або компонентів, поглинання чи відбиття світла водою, і наявність мікроскопічного життя;
- 3) доставка обладнання в підводному середовищі;
- 4) обслуговування та розгортання океанічних обсерваторій;
- 5) пошук і розвідка глибоководних жерл;
- 6) підводні археологічні проекти;
- 7) виявлення глибоководних рослин і тварин.

Прикладом таких досліджень і практичного використання наукових ДКПА є автоматичний роботизований підводний апарат NEREUS (рис. 1.1.4), створений співробітниками Океанографічного інституту у WOODS HALL найбільшою приватною дослідною океанографічною установою в США. У 2009 році апарат був занурений на глибину 10902 м з метою дослідження

Маріанської впадини, де розташовується місце зустрічі тектонічних плит. За його допомогою геологи змогли отримати відео, фотографії і зразки відкладень на дні [3].

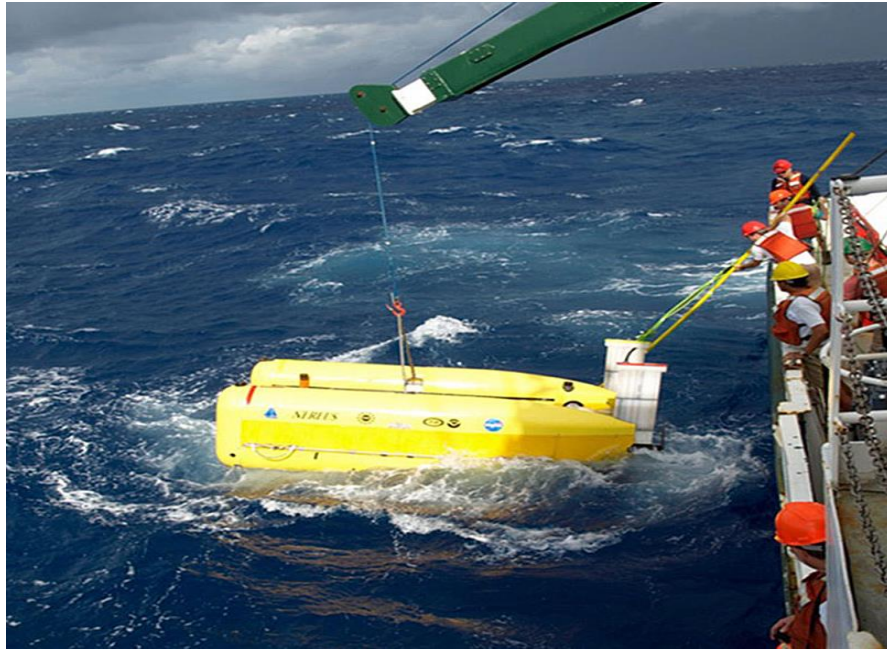


Рисунок 1.1.4 – Підводний апарат NEREUS

Загальні характеристики ДКПА NEREUS наведені в таблиці 1.1.3.

Таблиця 1.1.3 – Загальні характеристики ДКПА NEREUS

Найменування	Значення
Тип	дистанційно керований підводний апарат
Вантажопідйомність, кг	2800
Довжина, м	3
Встановлене електроживлення	аккумуляторні літій-іонні батареї
Швидкість, вузли	3
Випробувальна глибина, м	10902

Комплектація	безпілотний
Датчики і системи обробки	ехолот бокового огляду та світлодіодні пошукові вогні

У міру розвитку камер і сенсорів, а транспортні засоби стали більш гнучкими та простими в керуванні, ДКПА стали популярними, особливо серед режисерів документальних фільмів, завдяки їхній здатності отримати доступ до глибоких, небезпечних і обмежених місць, недоступних для дайверів. У порівнянні з людиною існує менша кількість обмежень щодо того, як довго ДКПА може бути занурений у воду та знімати кадри, що дозволяє отримати раніше небачені перспективи.

Зі збільшенням інтересу до океану з боку багатьох людей, як молодих, так і похилого віку, а також збільшення доступності колись дорогого та некомерційного обладнання, автономні ДКПА стали популярним захопленням серед багатьох. Це хобі передбачає будівництво невеликих автономних ДКПА, які зазвичай виготовляються з ПВХ труб і часто можуть занурюватися на глибину від 50 до 100 футів, але деяким вдалося дістатися до 300 футів. Цей новий інтерес привів до створення багатьох змагань, зокрема MATE (Marine Advanced Technology Education) і NURC (National Underwater Robotics Challenge). Це змагання, в яких учасники, найчастіше школи та інші організації, змагаються один з одним у серії завдань за допомогою ДКПА, які вони створили. Більшість аматорських ДКПА (рис. 1.1.5) випробовуються в басейнах і озерах, де вода спокійна і не має хвилювання водної поверхні, а деякі випробували особисті апарати в морі. Однак це створює багато труднощів через хвилі та течії, які можуть призвести до того, що підводний апарат зіб'ється курсу або просуватиметься з труднощами крізь прибії через малопотужні двигуни, які встановлені на більшості таких технічних засобів.

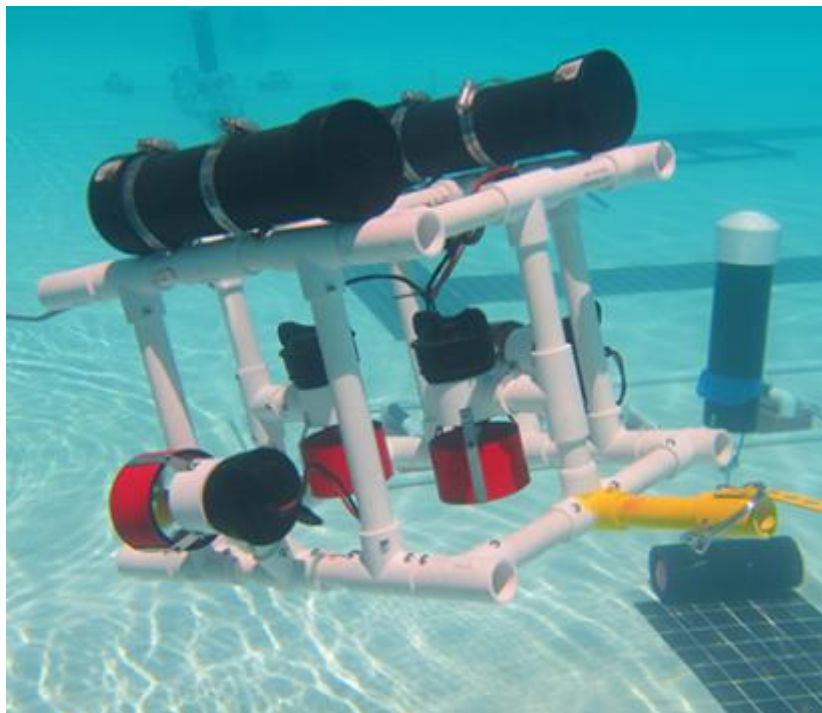


Рисунок 1.1.5 – Приклад саморобного ДКПА для змагань МАТЕ

## **1.2 Застосування технологічного підводного апарата для виконання підводно-технічних робіт**

Якщо взяти до уваги всі вище перелічені підводні апарати, то можна побачити, що кожен з них так чи інакше обладнаний певною кількістю пристроїв. Чим буде обладнаний будь-який підводний апарат залежить від поставлених перед ним задач. Одним з різновидів такого технологічного обладнання є маніпулятор. Маніпулятор – це технологічний пристрій, який використовується для маніпулювання матеріалами без прямого фізичного контакту оператора.

Головною перевагою більшості ДКПА є їх автономність та можливість не ризикувати людським життям і виконувати при цьому поставлені задачі. Завдяки маніпуляторам людство змогло працювати з радіоактивними або біологічно небезпечними матеріалами, що значно прискорило розвиток великої кількості наукових напрямів. Як і на землі так і під водою маніпулятор це необхідний пристрій, що дає змогу оператору доставати предмети з

важкодоступних місць, маневрувати та розміщувати в процесі роботи предмети, які є надто важкими, завеликими, працювати на глибинах, що є надто небезпечними для водолаза.

На практиці маніпулятор це необхідний пристрій для виконання задач. Телеманіпулятор – це технологічний пристрій, який через електронні, гідравлічні або механічні зв'язки, дозволяє оператору керувати механізмом, схожим на руку. Призначення такого пристрою зазвичай полягає в переміщенні або маніпулюванні небезпечними матеріалами з міркувань безпеки. Наприклад, телескопічний маніпулятор, що є невід'ємною складовою механізму бурової вежі для перестановки, керування стабілізацією труб різного діаметра. На суходолі хорошим прикладом роботи маніпулятора може бути видалення великих штампованих деталей із преса та розміщення їх у стійці чи подібному кріпленні. У зварюванні маніпулятор стріли колони використовується для збільшення швидкості наплавлення, зменшення людських помилок та інших витрат у виробничих умовах.

Сучасна промисловість потребує робото-технічного втручання для роботи у підводному середовищі. Наприклад, процеси зварювання під водою стають все більш важливими майже в усіх галузях промисловості та для конструкцій по видобутку корисних копалин. Більшість морських ремонтних і спливаючих робіт виконується на невеликій глибині або в регіоні, який періодично покривається водою. Однак найбільш технологічно складним завданням є ремонт на великих глибинах, особливо при будівництві трубопроводів і ремонті розривів, морських споруд і суден. На глибинах, де водолаз не зможе дістатися ураженої ділянки прийде на допомогу ДКПА. Невибагливий до навколишнього середовища та запрограмований на ідеальне зварювання під водою, зможе виконувати ті самі операції що і водолаз, але з більшою ефективністю. Підводне зварювання ДКПА може бути найдешевшим варіантом для технічного обслуговування та ремонту суден, оскільки воно обходить необхідність витягування конструкції з моря та економить



дорогоцінний час і витрати на сухий док. Це також дає можливість екстреного ремонту, що дозволяє безпечно транспортувати пошкоджену конструкцію маніпулятором до сухих приміщень для остаточного ремонту або утилізації. Зараз найпоширенішим методом занурення для підводних зварювальників є повітря, що подається з поверхні, коли для підводного апарата повітря не важливе. Раніше сезонна погода б перешкоджала підводному зварюванню в морі взимку, але тепер є можливість ігнорувати все навколишнє середовище та виконувати роботу згідно з планом. Щодо безпеки для життя та здоров'я людини підводний апарат обладнаний маніпулятором виключає можливість ураження електричним струмом для зварника під час підводного зварювання та інших наслідків і хвороб.

На промисловому етапі використання маніпулятора у складі підводного апарата не закінчується. З розвитком технологій відео зйомки та керування маніпулятора через зображення на моніторі дозволило науковцям різного рівня направленості досліджувати підводний світ ефективніше та якість таких досліджень значно збільшилась. Для наочності дослідження роботи маніпулятора у підводному середовищі для наукового застосування розглянемо підводну археологію, як вид наукової діяльності [4]. Зараз цей напрямок розвивається дуже повільно через те, що до підводних місць важко дістатися і вони є більш небезпечними порівняно з роботою на суші.

Дослідження археологами під водою вкрай складна робота, що вимагає міцного здоров'я та навичок. Для того, щоб отримати прямий доступ до місця дослідження, необхідне обладнання для дайвінгу та відповідні навички щодо його застосування. Глибини, доступні дайверам, і тривалість перебування на глибинах обмежені. Підводна археологія є галуззю, ураженою проблемами логістики. Робоча платформа для підводної археології повинна бути обладнана для забезпечення доставки повітря, наприклад, рекомпресії та медичних установ, або спеціалізованого обладнання дистанційного зондування, аналізу археологічних результатів, підтримки діяльності, що

проводиться у воді, зберігання запасів, засобів для збереження будь-яких предметів, вилучених з води, а також для розміщення працівників. Крім того, морські об'єкти можуть бути піддані сильним припливним потокам або поганій погоді, що означає, що об'єкт доступний лише протягом обмеженого періоду часу. Деякі морські істоти також становлять загрозу для безпеки дайверів. Підводні місця можуть бути хімічно активними або взагалі не придатними для людини, коли маніпулятор з легкістю добереться та зможе взяти проби ґрунтів, а також зафіксувати положення різноманітних знахідок за формою та масою, і підняти їх на поверхню для подальшого розслідування [4]. Особливо при підводній археології телекерований підводний апарат з маніпулятором вирішує низку наступних проблем:

- 1) клопітка робота протягом значного періоду часу;
- 2) глибина води;
- 3) несприятливі умови, течії;
- 4) потреба у вартісному обладнанні для підтримки життєздатності аквалангіста та іншому обладнанні для розгортання підводних розкопок.

Тож дослідження підводного світу, ймовірно, можна пришвидшити та зробити економнішими, безпечними для науковців шляхом зменшення присутності людини під водою, що і дозволяє зробити маніпулятор встановлений на борту ДКПА.

Як і в науковому напрямку, так і у військовому, розвиваються та ще частіше застосовуються маніпулятори підводного призначення. Тут вже не можна сказати, що це дасть якусь економію по затратах ресурсів, але значно підвищить ефективність проведення багатьох підводно-технічних робіт, як цивільного так і військового призначення, серед яких можна відзначити:

- 1) гідрографічне дослідження;
- 2) знешкодження вибухових боєприпасів, підрив без втручання водолаза;
- 3) підводна інженерія;

- 4) порятунок;
- 5) проникнення;
- 6) диверсія;
- 7) підводний бій і охорона.

Звісно, що розробка та використання таких маніпуляторів і підводних апаратів на які вони будуть встановлені вартісна, але все ж таки це дозволяє уникнути великих людських втрат, затрат у часі на підготовку водолазів. Для невеликих глибин можливо і доцільно використовувати військових водолазів. Наприклад, у розмінуванні менших предметів, що водолаз зможе просто підняти. Більш важкі об'єкти представляють суттєві зміни для контролю плавучості дайвера, і можуть наражати його на небезпеку неконтрольованого спливання, якщо контакт з об'єктом буде втрачено під час спливання. З маніпулятором такого не відбудеться тому, що відсутній людський фактор і це стосується не тільки у захваті і підйому об'єктів з води, а й взагалі у всіх підводно-технічних роботах, де необхідний фізичний контакт. Більше не потрібно буде проводити виснажливі заняття. Якісно навчений оператор маніпулятора зможе ефективно та безпечно знешкоджувати та проводити більшість операцій військового призначення.

### **1.3 Порівняльний аналіз існуючих моделей технологічних маніпуляційних пристроїв як частини складової технологічного підводного апарата**

На сьогоднішній день ключовий фактор у ефективності використання ТМП відіграє його захватний пристрій. Ще до появи маніпуляторів з повноцінним захватним пристроєм людство вже практикувало захватні пристрої у вигляді звичайних інструментів монтажного напрямку таких як ключі, тиски, плоскогубці. Саме цей досвід і шлях розвитку активно розвивається у розробці сучасних маніпуляторів з захватним пристроєм. Коли йдеться про механізм захоплення, існує чотири загальні категорії захвату:

- 1) Імпактивний: щелепи (рис. 1.3.1) або пазури, які фізично схоплюють шляхом прямого удару по об'єкту.

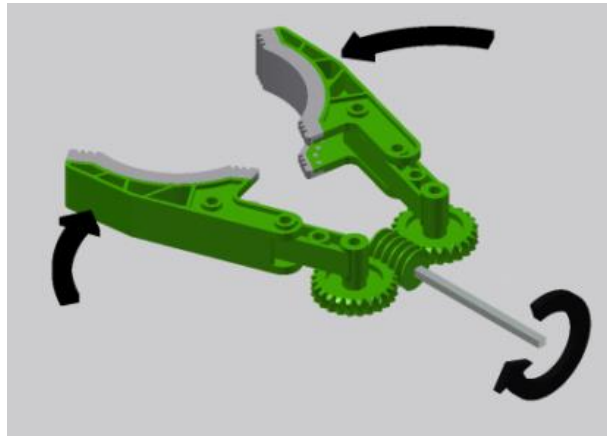


Рисунок 1.3.1 – Модель щелеп захватного пристрою

- 2) Агресивні: шпильки, голки або зачіпки, які фізично проникають у поверхню об'єкта (використовуються для обробки текстилю, вуглецю та скловолокна).
- 3) Астриктивні: сили тяжіння, що діють на поверхню об'єкта (через вакуум, магніто- чи електроадгезію).
- 4) Зчеплення: вимагає прямого контакту для зчеплення (наприклад, клей, поверхневий (рис. 1.3.2) натяг або замерзання).



Рисунок 1.3.2 – Захватний пристрій поверхневого натягу

Ці категорії описують фізичні ефекти, які використовуються для досягнення стабільного захоплення між захватом і об'єктом, який потрібно зафіксувати [5].

Найбільш поширеною серед підводних апаратів є імпаکتивна категорія механізму захвату. Особливою категорією фрикційних/щелепних захватів є голчасті захвати. Вони називаються інтрузивними захватами, які використовують як тертя, так і закриття форми, як стандартні механічні захвати. Найвідоміший механічний захват може бути з двох, трьох і навіть п'яти пальців. Кінцеві ефектори, які можна використовувати як інструменти, служать для різних цілей, включаючи точкове зварювання в зборі, фарбування розпиленням, де необхідна однорідність фарби, та інші цілі, коли умови праці небезпечні для людей. Сам захватний механізм для маніпулятора підводного апарата виступає найчастіше у формі силового замикання.

Як правило, механізм захоплення здійснюється за допомогою захватів або механічних пальців. Захвати з двома пальцями, як правило, призначені для промислових робіт, які виконують певні завдання в менш складних програмах. Два типи механізмів, що використовуються для захоплення двома пальцями, враховують форму поверхні, яку потрібно захопити, і силу, необхідну для захоплення об'єкта. Форму поверхні захоплення пальців можна вибрати відповідно до форми об'єктів, якими потрібно маніпулювати. Наприклад, якщо маніпулятор призначений для підйому круглого предмета, форма поверхні захоплення може бути увігнутим відбитком, щоб зробити захоплення ефективним. Для квадратної форми поверхня може бути співвідносною і адаптованою у площині [6].

У практичному застосуванні можна побачити, що на тіло, підняте рукою маніпулятора, діють численні сили, основною силою є сила тертя. Поверхня захоплення може бути виконана з м'якого матеріалу з високим коефіцієнтом тертя, щоб не пошкодити поверхню предмета. Щелепний захват повинен витримувати не тільки масу об'єкта, але також прискорення та рух, викликані частими рухами об'єкта. Щоб дізнатися силу, необхідну для захоплення предмета, використовується наступна формула:

$$F = \frac{ma}{\mu n} \quad (1.3.1)$$

де:  $F$  – сила , необхідна для захоплення об'єкта;  $m$  – маса об'єкта;  $a$  - прискорення об'єкта;  $\mu$  - коефіцієнт тертя;  $n$  — кількість пальців у захваті.

Більш повне рівняння враховує напрямок руху. Наприклад, коли тіло рухається вгору проти сили тяжіння, необхідна сила буде більшою, ніж сила тяжіння. Тому вводиться інший термін і формула виглядає так:

$$F = \frac{m(a + g)}{\mu n} \quad (1.3.2)$$

де:  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $a$  – прискорення внаслідок руху.

Прикладом маніпулятора з захватним пристроєм щелепного типу, що може бути встановлений на підводний апарат є HLK-25000 (рис. 1.3.3). Його було розроблено для середніх навантажень щелепи та може бути модернізовано до будь-якої системи, яка потребує функції або механізму обертання щелеп. Функція обертання використовує промисловий стандартний гідравлічний орбітальний двигун для приводу всередині основного корпусу та циліндр подвійної дії для відкривання та закривання вузла щелеп. Низькошвидкісний гідравлічний двигун із високим крутним моментом може забезпечувати безперервний крутний момент 60 Нм при 140 бар, а щелепний механізм може створювати силу стиснення 630 Н при 140 бар. Характеристики HLK-25000 представлено в таблиці 1.3.1.

Таблиця 1.3.1 – Характеристики HLK-25000

Характеристики	
Загальні	
Функціональність	поворот щелепи та зап'ястя
Матеріали	нержавіюча сталь 316, алюміній 6082, Нітрл

151 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології»  
 Автоматизована система транспортування вантажів в зоні ускладненого проходження

Оздоблення продукту	тверде анодування
Порти	7/16" SAE (SAE J1926-1)
Розміри, мм	(Д) 428 x (Ш) 116 x (В) 75
Вага в повітрі, кг	7,5
Вага у воді, кг	5,92
Обертання зап'ястя	безперервне
Отвір щелепи, мм	154
Діаметр канавки Т-образної ручки, мм	42,7
<b>Гідравлічні</b>	
Макс. Робочий тиск, бар	140
Потік	від 0,5 л/хв до 6 л/хв (від 0,13 г/хв до 1,32 г/хв.)
Тип рідини	Мінерал: DIN 51524, ISO 11158, ISO 6743-4 «Синтетика: Panolin Atlantis, HLP-Synth»
В'язкість	від 16 сСт до 220 сСт. VG 22-32
Температура рідини	5-60°C (41-140°F)
Вимоги до чистоти	ISO 4406:19/17/14, NAS 1638:8, AS4059:9A/8B/8C
<b>Сили</b>	
Крутний момент зап'ястя	60 Нм 140 бар (44,25 lbf.ft 2000 фунтів на квадратний дюйм)
Сила щелепи	630 Н 140 бар (141,63 lbf.ft 2000 фунтів на квадратний дюйм)

Діаметр розрізу м'якої мотузки, мм	19
Навколишнє середовище	
Операційна глибина, м	6000
Робоча температура, °С	5-60
Температура зберігання, °С	0-70
Вологість	від 0% до 100% конденсації

У кожен щелепу приварено пару круглих ріжучих лез, які забезпечують можливість різання м'якої мотузки до 19 мм (3/4 дюйма), а поперечне свердління 12,7 мм (1/2 дюйма) доступне для захоплення Т- подібної ручки або інші типи інструментальних ручок ДКПА.



Рисунок 1.3.3 – Маніпулятор HLK – 25000

Якщо брати до уваги попередній маніпулятор HLK-25000 з середнім навантаженням і можливістю модифікації, що і представляє собою наступна модель. Маніпулятор моделі HLK-5680 (рис. 1.3.4) — це 6-функціональний маніпулятор з контрольованою швидкістю обертання щелепи HLK-25000, що забезпечує безперервне обертання на зап'ясті, діапазон відкриття щелепи 154 мм (6 дюймів) і можливість різання мокрої мотузки 19 мм (3/4 дюйма) з тильної сторони щелепних пластинок. Характеристики HLK-5680 представлені в таблиці 1.3.2.



Таблиця 1.3.2 – Характеристики HLK-5680

Характеристики	
Загальні	
Функціональність	6
Матеріали	нержавіюча сталь 316, алюміній 6082, Нітрил
Оздоблення продукту	тверде анодування
Порти	7/16" SAE (SAE J1926-1) 1/8" BSPP (ISO 1179)
Тип управління	Контрольована швидкість
Маса в повітрі, кг	27,8
Вага у воді, кг	21
Обертання зап'ястя	безперервне
Отвір щелепи, мм	164
Максимальний радіус дії, мм	1050
Гідравлічні	
Макс. Робочий тиск, бар	140
Потік	від 0,5 л/хв до 6 л/хв (від 0,13 г/хв до 1,58 г/хв.)
Тип рідини	Мінерал: DIN 51524, ISO 11158, ISO 6743-4 Синтетика: Panolin Atlantis, HLP-Synth
В'язкість	від 16 сСт до 220 сСт. VG 22-32
Температура рідини	5-60°C (41-140°F)
Вимоги до чистоти	ISO 4406:19/17/14, NAS 1638:8, AS4059:9A/8B/8C

Сили	
Крутний момент зап'ястя	60 Нм @ 140 бар (44,25 lbf.ft @ 2000 фунтів на квадратний дюйм)
Сила щелепи	690 Н @ 140 бар (155 lbf.ft @ 2000 фунтів на квадратний дюйм)
Діаметр розрізу м'якої мотузки, мм	19
Підйом при повному розгинанні, кг	40
Навколишнє середовище	
Операційна глибина, м	6000
Робоча температура, °С	5-60
Температура зберігання, °С	0-70
Вологість	від 0% до 100% конденсації

Цей маніпулятор був спеціально розроблений для використання під час спостереження легких транспортних засобів робочого класу, щоб забезпечити можливості маніпуляції та ідеально підходить для таких застосувань, як струменеві та чистячі операції, розчищення сміття, поворот клапанів і затягування болтів, розрізання мотузок, ремонт кабелів, біологічні та геологічні проби, археологічні роботи, встановлення транспондерів і зондів, порятунок і відновлення. Головною перевагою цієї модифікації є його режим роботи для великих навантажень, що і дозволяє йому виконувати такий об'єм робіт [7].



Рисунок 1.3.4 – Маніпулятор HLK-5680

Попередні два маніпулятори мають вузько направлене застосування, один є основою, а другий його модифікацією з можливістю роботи з великим навантаженням. Але якщо потрібен універсальний механізм захвату, який включає у себе відносно не велику маса як перший і підйом на повний витяг кронштейну як у другого, то безсумнівно підійде HLK-MB4 (рис 1.3.5). Технічні характеристики HLK-MB4 представлені в таблиці 1.3.3.

Таблиця 1.3.3 Технічні характеристики HLK-MB4

Розміри	
Довжина кронштейна, мм	630
Довжина поворотної пластини, мм	210
Висота, мм	125
Ширина, мм	100
Потужність	
Обертання щелепи	безперервно
Крутний момент щелеп при 140 бар (через порти)	40 Нм 15 Нм

Підйомна сила при 140 бар, кг	40
Вага	
У повітрі, кг	13,3 , 10,3
У воді, кг	11 , 8,3
Конструкція	тверде епоксидне покриття , анодований алюміній

Єдине у чому він уступає попереднім – це те, що він має 4 ступені свободи, коли у попередніх це значення дорівнює 6. Перевагою є відмінна спритність, артикуляція та універсальність. А його довжина кронштейну дозволяє дотягуватись у щілини або діставатись об'єктів на відстані 630 мм від ДКПА. Така робоча довжина дозволяє оператору наглядно та якісно виконувати робочі завдання.



Рисунок 1.3.5 – Маніпулятор HLK-MB4

Оглядаючи вище згадані маніпулятори можна дійти висновку, що за призначенням та своєю вартістю вони є занадто дорогими та складними у використанні для не підготовлених осіб. Їх застосування має лише наукове чи високо кваліфікаційне призначення. Якщо ж повернутися до аматорського

застосування, то звичайний обертовий двофункціональний маніпулятор для підводного відбору проб та низької складності задач є хорошим варіантом.

Приклад подібного маніпулятора представлено на рисунку 1.3.6.



Рисунок 1.3.6 – Обертовий двофункціональний маніпулятор

Його перевага у простій конфігурації (табл. 1.3.4), що дозволяє підключати і одразу працювати. Захватний пристрій цього маніпулятора має губки, що відкриваються до 125 мм в ширину та закриваються із силою блокування приблизно 32кг.

Щелепи можна замінити різними іншими опціями за допомогою комплекту маніпулятора. Очевидно, що довжина не дозволить йому протискатися у щілини або виконувати задачі вибагливі до точних дій. Даний захват може виконувати обмежений, але великий перелік завдань, у тому числі діставати жертв потоплення, загублене спорядження, зразки, а також утримувати такі інструменти, як пляшки з барвником для виявлення витoku, лінійки для вимірювання, карабіни для розгортання шнурів тощо.

Таблиця 1.3.4 Загальні характеристики захвату обертового маніпулятора

Найменування	Значення
Функціональність	2

Ширина захвату, мм	125
Сила захвату, кг	32
Радіус обертання	360°
Плавучість	нейтральна

### **Висновки до першого розділу**

У розділах 1.1, 1.2 та 1.3 було досліджено різновиди підводно-технічних робіт, які можна виконувати з використанням технологічних підводних апаратів. Було з'ясовано, що такі роботи включають огляд, ремонт, пошук та підйом втрачених об'єктів, установку та зняття обладнання, заміну деталей та багато іншого. Було досліджено застосування технологічного підводного апарата для виконання цих робіт і визначено його переваги та можливості.

Також було проведено порівняльний аналіз існуючих моделей технологічних маніпуляційних пристроїв як складової технологічного підводного апарата. Цей аналіз дозволив виявити переваги та недоліки кожної моделі, а також зробити висновки щодо їхньої придатності та ефективності в контексті підводних технічних робіт.

В цілому, дослідження розділів 1.1, 1.2 та 1.3 надють уявлення про різновиди підводно-технічних робіт, можливості застосування технологічного підводного апарата для їх виконання та порівняльний аналіз існуючих моделей маніпуляційних пристроїв. Ця інформація є важливою для подальшої розробки та вдосконалення технологічних підводних апаратів та підвищення ефективності підводно-технічних робіт.

## **2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНПУЛЯТОРОМ ПІДВОДНОГО АПАРАТА**

### **2.1 Структура прив'язної підводної системи**

Прив'язні підводні системи – це засоби зв'язку між підводними апаратами та наземними станціями, які використовуються для передачі даних, команд та контролю. Прив'язні системи можуть бути як провідними, так і бездротовими, і зазвичай використовуються в морській та глибоководній експлуатації для дослідження морського життя, нафтовидобування та інших процесів. Прив'язні системи забезпечують надійний зв'язок та контроль за підводними об'єктами, що покращує їхню безпеку та ефективність. Будь яка система має взаємозалежні блоки і ППС не є виключенням та потребує функціональної визначеності, що може бути представлено графічно у вигляді блок – схеми. Презентована нижче функціональна блок – схема на рисунок 2.1.1 є узагальненою і максимально спрощеною, що починається з блока судно – носія до самохідного прив'язного підводного апарату. Така наглядна демонстрація дозволить зрозуміти і розібратися в алгоритмах та деталях роботи ППС на базі СППА [9].

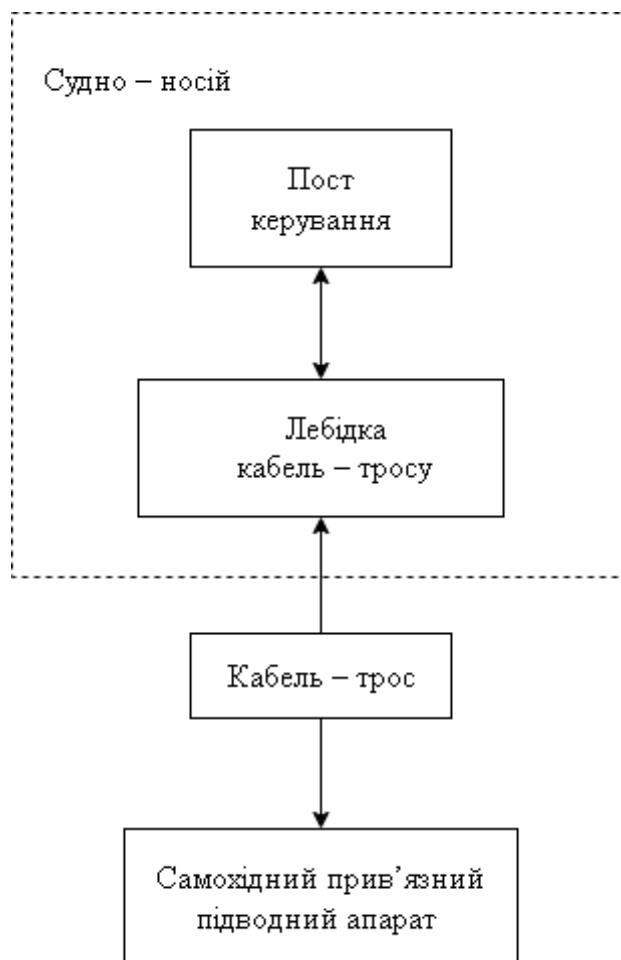


Рисунок 2.1.1 – Функціональна блок – схема типової ППС на базі СППА

Щоб ознайомитись с принципом роботи типової ППС, що зазначена у блок – схемі вище, необхідно оглянути кожен її блок окремо та встановити взаємозалежний фактор. У випадку, де розглядається така схема можна побачити, що вона має п'ять основних блоків, а саме:

- 1) судно - носій – це судно, яке може перевозити та встановлювати у потрібному місці підводне обладнання, наприклад, систему підводного кабельного телекомунікаційного обладнання чи інші необхідні механізми;
- 2) пост керування – це місце на судні, де є інструменти управління та контролю, що дозволяють керувати судном, а також контролювати роботу підводного обладнання;
- 3) лебідка кабель – тросу – це механізм, який використовується для підйому та опускання кабелю або троса, для підводної роботи;



4) кабель-трос – це гнучкий елемент, який використовується передачі електричної потужності, сигналів чи інших даних між різними підводними компонентами;

5) самохідний прив'язний підводний апарат у прив'язній підводній системі – це рухлива частина, яка знаходиться на глибині і з'єднана з судном за допомогою кабелю троса. Він може мати власний двигун та керування для переміщення навколо своєї осі. СППА використовується як для зйомки дна, так і для наукових та дослідницьких робіт у глибинах моря.

Загалом, окремий опис кожного блоку вище демонструє важливість взаємодії елементів та дає їм можливість працювати з підводним обладнанням, його ефективного застосування та відповідними процесами у безпеці для людини.

Тепер, коли є загальне уявлення принципу роботи ППС, виникає необхідність у дослідженні окремих блоків, що мають найбільше значення у системі керування маніпулятора підводного апарату, пост керування та СППА. Дослідження цих блоків репрезентовано нижче у вигляді блок – схеми на рисунку 2.1.2, що дозволяє більш детально та змістовно зрозуміти процеси і алгоритми послідовності взаємодії окремих елементів цих блоків.

151 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології»  
 Автоматизована система транспортування вантажів в зоні ускладненого проходження



Рисунок 2.1.2 – Функціональна блок – схема ППС на базі СППА при використанні підводного маніпулятора

Згідно блок – схеми вище, та попереднього опису, наглядно зрозумілий принцип роботи усіх елементів та їх взаємодія між собою. Для більш детального ознайомлення краще також розглянути окремо кожен компонент.

Пост керування у підводній прив'язній системі – це місце, звідки відбувається управління прив'язною системою. Він зазвичай розміщується на березі водойми або як у випадку з першою загальною схемою на кораблі, що плаває поруч з прив'язною системою. У такому ПК знаходяться наступні елементи:

- 1) засіб керування – це спеціальний комп'ютер, який дозволяє оператору віддалено керувати прив'язною системою;
- 2) засоби відеоспостереження дозволяють оператору відслідковувати стан прив'язної системи за допомогою камер, розміщених в кількох точках. Це допомагає оператору швидко реагувати на будь-які проблеми або поставлені задачі у дослідженні чи роботі;
- 3) обидва засоби з'єднується з системою інформаційного обміну, яка передає дані про стан прив'язної системи та навколишнього середовища.

У цілому, пост керування – це центральний елемент підводної прив'язної системи, який допомагає забезпечити безпеку та ефективність її роботи. Дуже важливим є ретельний підбір засобів керування та відеоспостереження.

Перед тим як розглянути елементи СППА, треба зазначити, що з'єднується та працює така система керування маніпулятором лише завдяки кабель – тросу, що з'єднує пост керування і підводний апарат, передає інформацію про стан апарату, її навігаційні дані, відеопотік та керувальні сигнали.

Сам СППА – це підводний апарат, який може рухатися самостійно і при цьому бути пов'язаний з прив'язною системою на поверхні води. Такий апарат може має вбудовані системи, що дозволяють йому контролювати своє положення та глибину занурення, а також може бути обладнаний різними датчиками, що дозволяють збирати різні дані про стан водоймища, температуру, рівень забруднення води та інші параметри. У схемі, яка зазначена вище можна побачити такі елементи СППА:

- 1) модуль інформаційного обміну забезпечує передачу та отримання інформації між підводним апаратом та зовнішньою середою, а також між різними компонентами апарату. Це дозволяє операторам контролювати та керувати підводним апаратом;
- 2) навігаційні сенсори допомагають визначати місцезнаходження та орієнтацію підводного апарату у воді. Це дозволяє операторам контролювати рух апарату та точно визначати його положення у просторі;
- 3) рушійно – кермовий комплекс відповідає за рух підводного апарату у воді. Він складається з рушійних механізмів та конструкцій, які дозволяють змінювати напрямок та швидкість руху апарату;
- 4) акумуляторне живлення забезпечує живлення всіх електронних та електричних компонентів підводного апарату. Висока потужність та міцність акумуляторів дозволяють операційному часу апарату бути значною;
- 5) відеокамери дозволяють операторам контролювати та візуалізувати все, що відбувається під водою. Вони дозволяють знімати відео та фото, що допомагає у роботі з об'єктами на дні;
- 6) системи управління підводним маніпулятором дозволяють операторам керувати та маніпулювати об'єктами на дні. Це дозволяє підводному апарату виконувати різноманітні завдання, які потребують контактів з об'єктами;
- 7) виконавчі пристрої відповідають за виконання різних завдань, які необхідно виконати на дні. Це можуть бути маніпулятори, збірні механізми та інші спеціальні пристрої;
- 8) поворотний механізм у самохідному прив'язному підводному апараті забезпечує рух та маневреність апарату на дні водойми. Він дозволяє підводному апарату виконувати різні маніпуляції та рухатися у воді.

Ознайомившись окремо з кожним елементом ППС на базі СППА при використанні підводного маніпулятора стає зрозуміла необхідність дотримання вимог взаємодії елементів, де пост керування – це центральна точка керування

підводним апаратом. Він забезпечує інформаційний обмін між пілотом підводного апарату та наглядачами на поверхні, дозволяє контролювати процес руху апарату, виконувати маніпуляції з використанням підводного маніпулятора та вести відеоспостереження. Кабель-трос, який з'єднує пост керування та підводний апарат, передає інформацію про стан апарату, її навігаційні дані, відеопотік та керувальні сигнали. Самохідний підводний апарат оснащений різноманітними сенсорами, які дозволяють йому детально відстежувати своє розташування та стан довкілля. Керувальний комплекс регулює прискорення та поворот апарату, контролює рух маніпулятора та інші виконавчі пристрої.

Усі ці елементи інформаційної, навігаційної та керувальної системи співпрацюють, щоб забезпечити успішне проведення місії підводного апарату.

## **2.2 Загальна характеристика технологічного підводного апарата проекту «Бриз»**

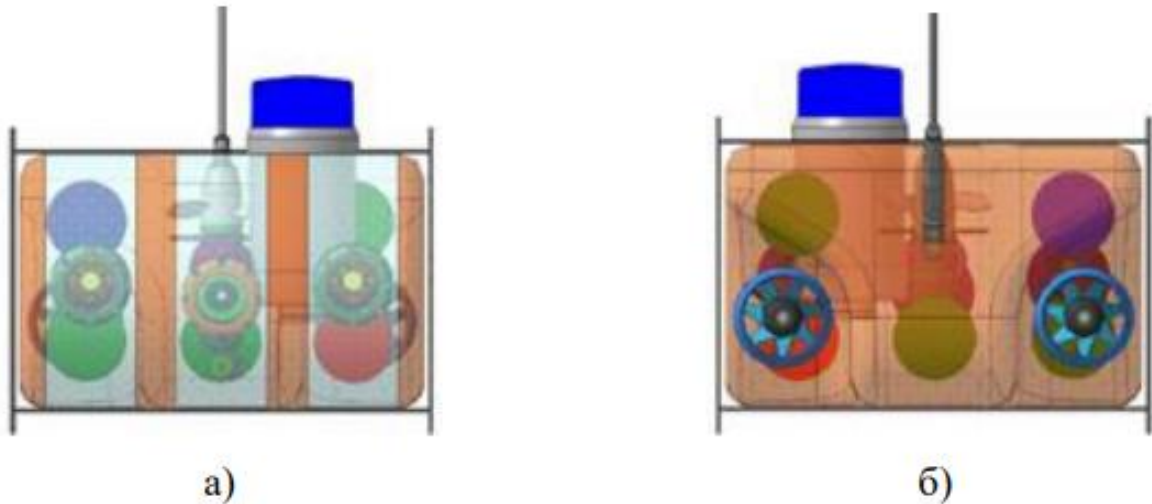
Прикладом роботи взаємозалежних компонентів, що наведені у схемах вище можна вважати ТПА проекту «Бриз». Його призначення полягає у реалізації технологій без прямого контакту з людиною під водою на глибині до 100 метрів. Відповідно до попередніх функціональних схем він також оснащений наступними взаємозалежними блоками:

- 1) ТПА;
- 2) засіб керування;
- 3) кабельна лебідка;
- 4) транспортний – монтажний модуль.

Перелічені елементи дозволяють такій ППС мати широку базу таких підводних технологій:

- 1) високоякісне цифрове відеодокументування процесу і результатів підводної роботи з Global Position System (GPS) прив'язкою координат;

- 2) пошуку, ідентифікації, обстеження підводних об'єктів відео-, гідроакустичними і магнітометричними засобами.



а) – вид спереду; б) – вид ззаду

Рисунок 2.2.1 – Зовнішній вигляд СППА проекту «Бриз»

Технічні характеристики СППА проекту «Бриз» представлені в таблиці 2.2.1

Таблиця 2.2.1 – Технічні характеристики СППА проекту «Бриз»

Найменування параметра	Значення
Максимальна робоча глибина, м	50
Швидкість маршового руху, вузлів	1
Довжина КТ, м	до 150
Електроживлення	12В, 0,5 кВт
Час автономної роботи, год	2
Кількість членів екіпажу, чел.	2
Габаритні розміри, мм	850x420x350
Маса апарата, кг	35

Як вже відомо, що такий СППА є прив'язним і потребує додатково механізм підйому та опускання кабель – тросу. У випадку СППА проекту «Бриз» використовується кабельна лебідка, зовнішній вигляд якої наведено на рисунку 2.2.2

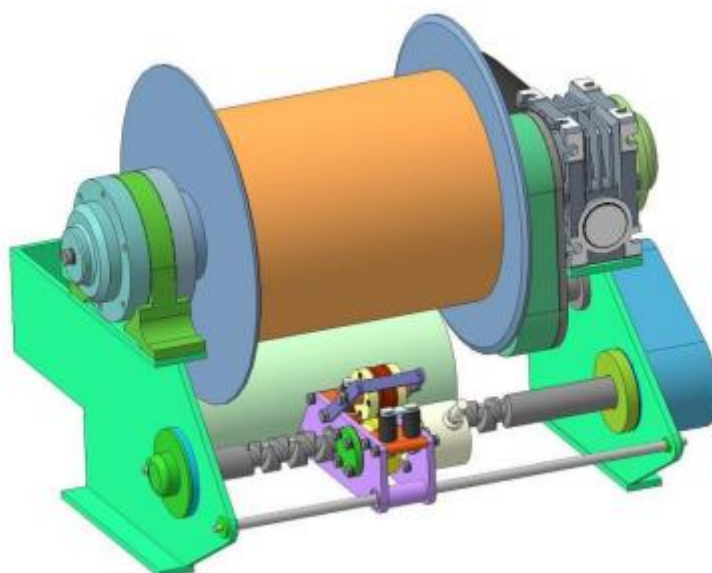


Рисунок 2.2.2 – Зовнішній вигляд КЛ для СППА проекту «Бриз»

Технічні характеристики КЛ для СППА проекту «Бриз» представлені в таблиці 2.2.2

Таблиця 2.2.2 – Технічні характеристики КЛ для СППА проекту «Бриз»

Найменування параметра	Значення
Напруга постійного живлення, В	12
Споживча потужність, Вт	100
Тип КТ	оптичний
Діаметр КТ, мм	3
Габаритні розміри, мм	310x350x270
Маса КЛ, кг	12

Попередньо було досліджено, що будь – який СППА має пост керування на якому встановлено засіб керування РКК. СППА проекту «Бриз» не є

винятком і керується оператором за допомогою провідного джойстика керування.



Рисунок 2.2.3 – Зовнішній вигляд засобу керування для СППА проекту «Бриз»

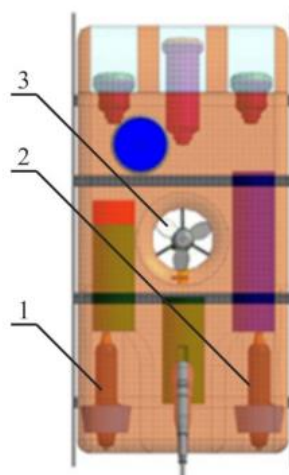
Детальні характеристики засобу для керування представлені в таблиці 2.2.3

Таблиця 2.2.3 – Технічні характеристики засобу керування СППА

Найменування параметра	Значення
Напруга постійного живлення, В	12
Електроживлення	автономне
Час безперервної роботи, год	20
Габаритні розміри, мм	240x100x60
Маса, кг	0,6

За допомогою вище представленого засобу керування здійснюється управління рушійно – кермовим комплексом СППА. Зовнішній вигляд РП надано на рисунку 2.2.4.





1) – маршовий лівий РП; 2) – маршовий правий РП; 3) – вертикальний РП

Рисунок 2.2.4 – Місце розташування РП на СППА проекту «Бриз»

Інформація передається від оператора до системи інформаційного обміну і через кабель – трос потрапляє у модуль інформаційного обміну, що дозволяє РКК коректно служити для пересування і маневрування СППА на поверхні і під водою. До РКК входять два маршеві рушійні пристрої (РП) та один вертикальний РП.

### 2.3 Розробка структури системи керування маніпулятором підводного апарата

Система керування підводним маніпулятором — це система, призначена для керування рухом та маніпулюванням робототехнічних рук і інструментів на підводному апараті, який зазвичай використовується для підводних розвідок і досліджень. Система керування зазвичай складається з кількох компонентів, у тому числі датчиків для визначення положення та руху підводного апарату та маніпулятора, комп'ютерної системи для обробки даних датчиків і видачі команд маніпулятору, а також приводів для керування рухом маніпулятора та його різні інструменти. Система також може включати спеціалізоване програмне забезпечення для керування підводним апаратом і рукою-маніпулятором, а також інтерфейси для операторів – людей для моніторингу та взаємодії з системою. Кінцева мета системи керування

занурювальним маніпулятором полягає в тому, щоб забезпечити точне маніпулювання інструментами та об'єктами в підводному середовищі для наукових, промислових або військових цілей. Як і у попередньому дослідженні так у поточній розробці було розроблено функціональну блок – схему на рисунку 2.3.1, що дозволяє ознайомитись з окремими компонентами у вигляді блоків та оцінити їх взаємозалежну складову.

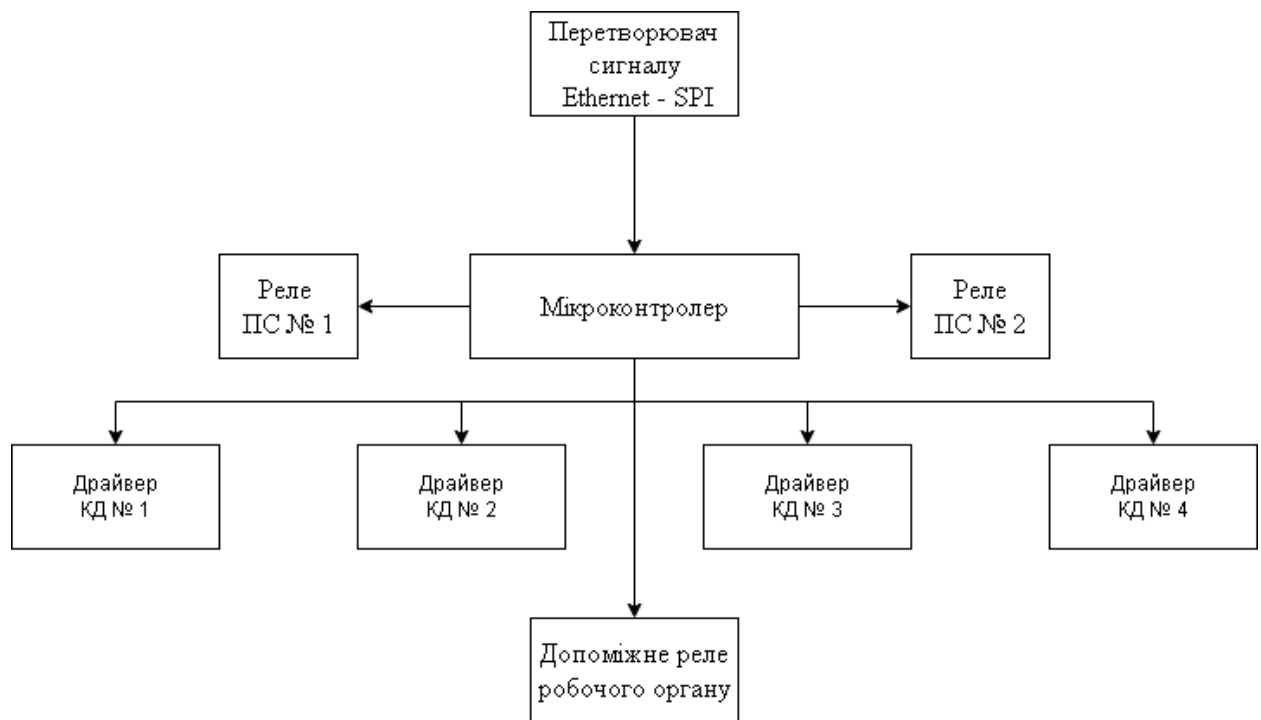


Рисунок 2.3.1 – Функціональна блок – схема системи керування маніпулятором підводного апарата

Перетворювач сигналу Ethernet в SPI – це пристрій, який можна використовувати для підключення мережі Ethernet до інтерфейсу SPI мікроконтролера. Перетворювач зазвичай складається з контролера Ethernet, який взаємодіє з мережею Ethernet, і контролера SPI, який взаємодіє з мікроконтролером. Контролер Ethernet і контролер SPI спілкуються один з одним за допомогою протоколу, такого як послідовний периферійний інтерфейс або універсальний асинхронний приймач/передавач.

В автономному підводному апараті перетворювач Ethernet в SPI можна використовувати для підключення бортового комп'ютера АПА до різних

датчиків і виконавчих механізмів, якими керує мікроконтролер. Наприклад, АПА може мати набір підводних камер, підключених до мікроконтролера через SPI. Використовуючи конвертер Ethernet в SPI, бортовий комп'ютер може спілкуватися з мікроконтролером і отримувати дані з камер. Для взаємодії з мікроконтролером в АПА бортовий комп'ютер може надсилати команди та отримувати дані через мережу Ethernet за допомогою мережевого протоколу, такого як протокол керування передачею/протокол Інтернету або протокол датаграм користувача. Потім конвертер Ethernet в SPI перетворює ці мережеві команди та дані в сигнали SPI, які може зрозуміти мікроконтролер.

Загалом, конвертер Ethernet в SPI є важливим компонентом архітектури зв'язку АПА, оскільки він дозволяє бортовому комп'ютеру спілкуватися з різними компонентами АПА, які підключені до мікроконтролера через SPI, і керувати ними.

Невід'ємною частиною такої структури є мікроконтролер. Мікроконтролер – це компактна інтегральна схема, яка містить ядро процесора, пам'ять і периферійні пристрої введення/виведення. У системі управління маніпулятором мікроконтролер виконує роль мозку, приймаючи і обробляючи вхідні сигнали від датчиків і посылаючи вихідні сигнали на керуючі виконавчі механізми.

У випадку реле лампи мікроконтролер може взаємодіяти з ним, надсилаючи сигнали для ввімкнення або вимкнення реле на основі запрограмованої логіки або зворотного зв'язку від датчиків. Наприклад, мікроконтролер може вмикати реле лампи, коли датчик світла виявляє низький рівень зовнішнього освітлення.

Так само мікроконтролер може взаємодіяти з драйверами крокового двигуна, надсилаючи сигнали, які контролюють швидкість і напрямок крокового двигуна. Крокові двигуни часто використовуються в роботах-маніпуляторах для точного керування рухом руки чи інших компонентів, і

мікроконтролер може надсилати імпульси драйверу крокового двигуна, щоб досягти цього.

Що стосується допоміжного реле робочого органу, то з ним може працювати мікроконтролер, керуючи його включенням або вимиканням. Наприклад, якщо робочим органом маніпулятора є захват, мікроконтролер може активувати допоміжне реле для відкриття або закриття захвату на основі зворотного зв'язку від датчиків або запрограмованої логіки.

Загалом, мікроконтролер відіграє вирішальну роль у системі керування маніпулятором, дозволяючи йому виконувати широкий спектр складних завдань з точністю та точністю.

#### **2.4 Розробка та опис ескізної 3D моделі конструкції маніпулятора підводного апарата**

Для успішної реалізації роботи по розробці маніпулятора підводного апарата необхідна ескізна модель, яка відобразить зовнішній вигляд та функціональність конструкції. Ескізна 3D модель є потужним інструментом, що дозволяє нам візуалізувати та передбачити роботу маніпулятора перед його фактичним створенням.

Для створення ескізної 3D моделі будемо використовувати програму Onshape [20]. Onshape – це веб-базована комп'ютерна програма для проектування та моделювання 3D об'єктів. Вона надає широкі можливості для розробки складних конструкцій, включаючи механізми та механічні системи.

У даному випадку, за допомогою програми Onshape, є змога створити ескізну модель конструкції маніпулятора підводного апарата. Ця модель буде включати ланки маніпулятора з анімацією захвату щелеп, а також змогу обертати головку, на якій встановлені щелепи маніпулятора, на 360 градусів. Також буде забезпечена можливість піднімати робочу частину маніпулятора вгору та вниз на кут до 60 градусів.

Створення ескізної 3D моделі в програмі Onshape дозволить нам отримати детальне представлення конструкції, оцінити її працездатність та взаємодію з навколишнім середовищем. Також ця модель буде використана для подальшого аналізу, тестування та вдосконалення маніпулятора перед його фізичною реалізацією.

Завдяки програмі Onshape можна легко маніпулювати ескізною моделлю, змінювати параметри, вносити корективи та вирішувати різні технічні завдання. Крім того, програма Onshape надає можливість спільної роботи та обміну даними між учасниками проекту, що спрощує комунікацію та співпрацю команди розробника.

Будь-яка розробка моделі починається з її креслення. Цей перший крок у створенні будь-якої конструкції надає візуальне представлення та технічні вказівки для подальшої роботи. Креслення виступає як основний документ, за допомогою якого відбувається наступний етап - моделювання.

У процесі роботи було виготовлено всі необхідні креслення ескізної моделі та взято їх в роботу для подальшої розробки. Ці креслення (рис. 2.4.1) включають усі необхідні деталі та компоненти, що складатимуть 3D модель. Вони детально описують геометрію, основні вузли та з'єднання, що надає чітке уявлення про кінцеву конструкцію та створює зручну основу для подальшого моделювання та розробки.

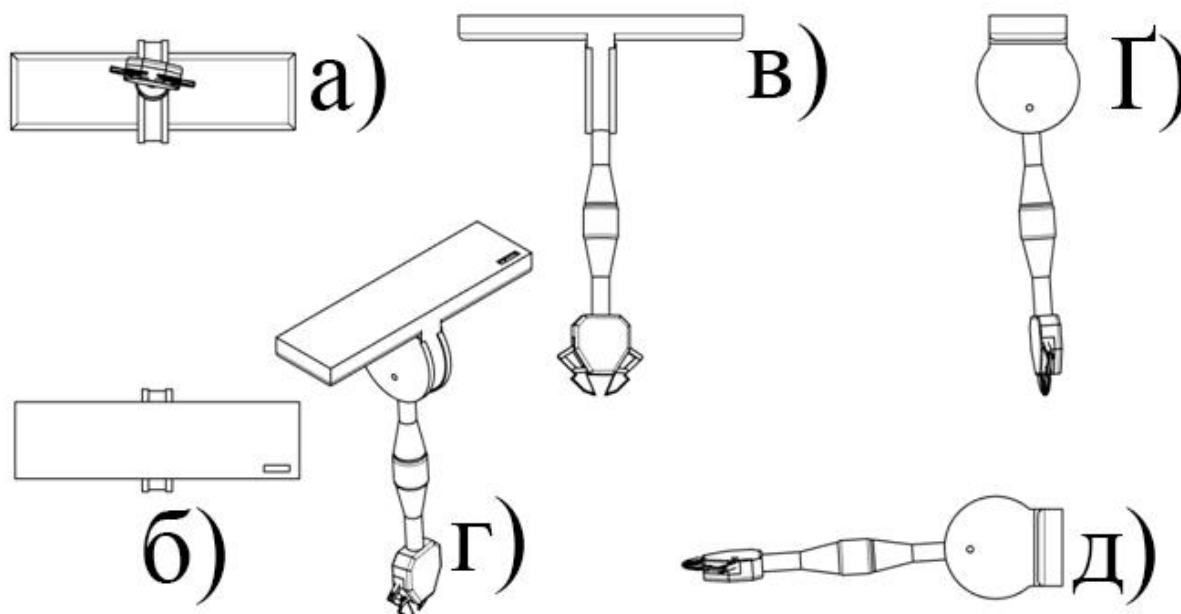


Рисунок 2.4.1 – Загальні креслення ескізної 3D моделі

Завдяки наявності цих креслень можна точно відтворити всі деталі та складові автоматизованої системи керування. Вони слугують вихідним пунктом для моделювання та конструювання, дозволяючи створити віртуальну 3D модель, яка відповідає вимогам та специфікаціям. Такий підхід дозволяє ефективно працювати над розробкою, вносити зміни та вдосконалювати конструкцію за необхідності, а також передавати інформацію про модель.

Робота над моделюванням починається з детального моделювання частини ескізної моделі, де буде розташований імпактивний механізм захвату. Ця частина моделі (рис. 2.4.2) відіграє важливу роль у функціонуванні автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом, оскільки від неї залежить процес захоплення та утримання об'єктів.

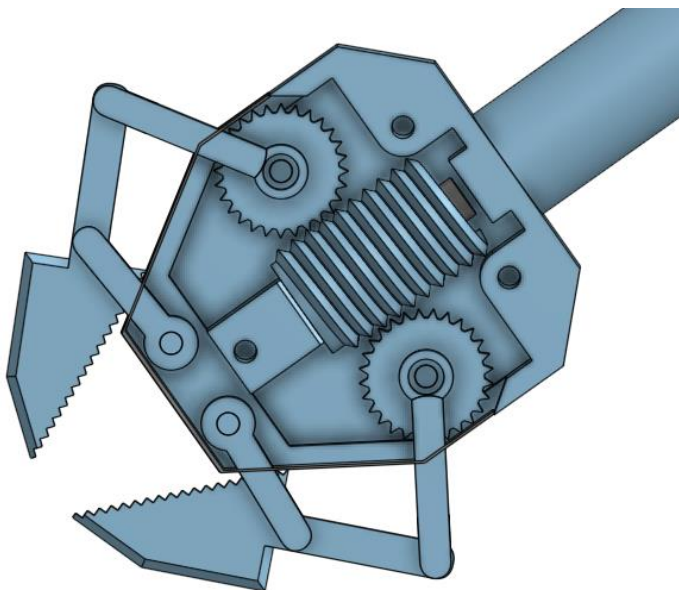


Рисунок 2.4.2 – Вигляд механізму імпактивного захвату ескізної моделі без верхньої кришки

Під час моделювання імпактивного механізму захвату важливо врахувати такі фактори, як міцність та надійність конструкції, оптимальні параметри руху та сили захвату, а також взаємодію з іншими компонентами системи керування. Ретельний аналіз та моделювання дозволяють виявити можливі проблеми та внести відповідні корективи до конструкції, забезпечуючи ефективну та надійну роботу імпактивного механізму захвату.

Після успішного моделювання частини ескізної моделі з імпактивним механізмом захвату, можна переходити до інших аспектів розробки автоматизованої системи керування. Цей етап є важливим кроком у створенні функціональної та ефективної системи, яка відповідає поставленим вимогам та задовольняє потреби користувачів.

На наступному етапі розробки автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом проводиться моделювання кубіту маніпулятора та його променя. Ці дві ланки відіграють важливу роль у руховій системі маніпулятора, забезпечуючи обертальний рух на 360 градусів та рух вгору і вниз до 60 градусів. На рисунку 2.4.3 можна побачити розширення для

кубіту, після імпаکتивного механізму, а також сам промінь, що буде підіймати робочу частину маніпулятора вгору і вниз.

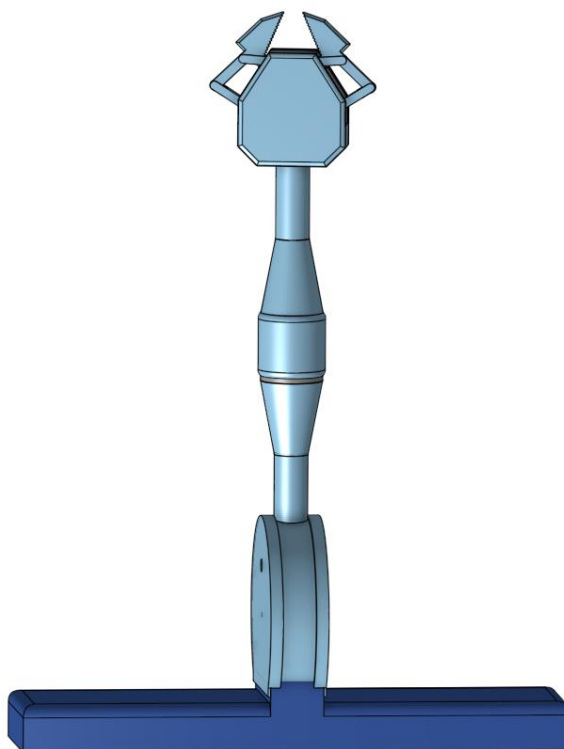


Рисунок 2.4.3 – Загальний вид ескізної моделі зверху

Моделювання кубіту та променя включає в себе створення детальних 3D-моделей цих компонентів з урахуванням їх геометрії, розмірів та механічних особливостей. Використовуючи спеціалізовані програмні засоби, дизайнери можуть точно відтворити ці ланки, визначити їх оптимальні параметри та взаємодію з іншими елементами системи. Один з ключових аспектів моделювання цих складових полягає у забезпеченні їх плавного руху та стабільності під час виконання завдань.

У рамках розробки була також змодельована платформа (рис.2.4.4) , до якої буде кріпитись рухомий механізм маніпулятора, камери та світильники. Ця платформа є важливою складовою частиною системи, оскільки вона забезпечує базову структуру та стійкість для розміщення маніпулятора.



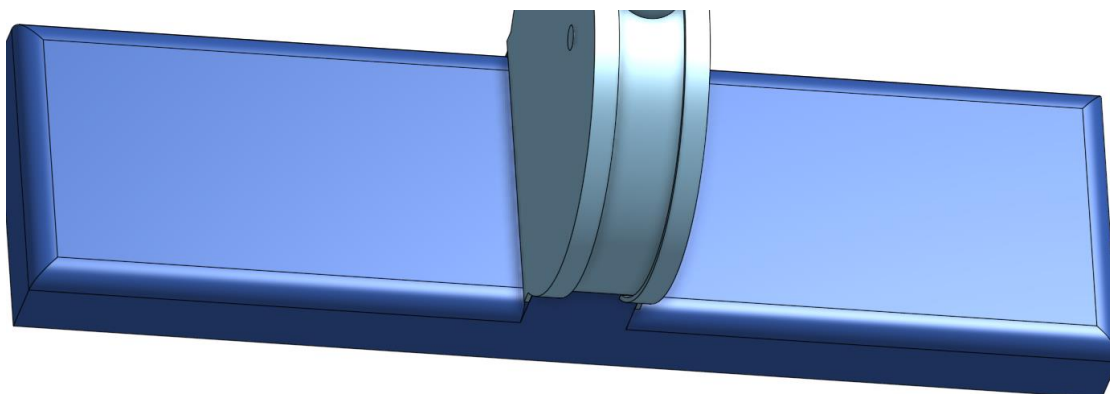


Рисунок 2.4.4 – Платформа для кріплення маніпулятора, камер та світильників

Створення моделі платформи дозволяє виконати кілька важливих завдань у процесі розробки. Перш за все, це дозволяє забезпечити правильне розташування та кріплення рухомого механізму маніпулятора, що є важливим для забезпечення його правильної роботи та ефективності. Крім того, моделювання платформи дозволяє проводити аналіз стійкості та навантажень на систему, що сприяє покращенню її дизайну та функціональності.

Окрім основної структури, у платформі був передбачений та змодельований отвір на зворотній стороні. Цей отвір призначений для комутації елементів маніпулятора з підводним технологічним апаратом. Він забезпечує зручний доступ до з'єднань та комунікаційних інтерфейсів, що дозволяє ефективно здійснювати з'єднання та комунікацію між системою управління маніпулятором та підводним апаратом.

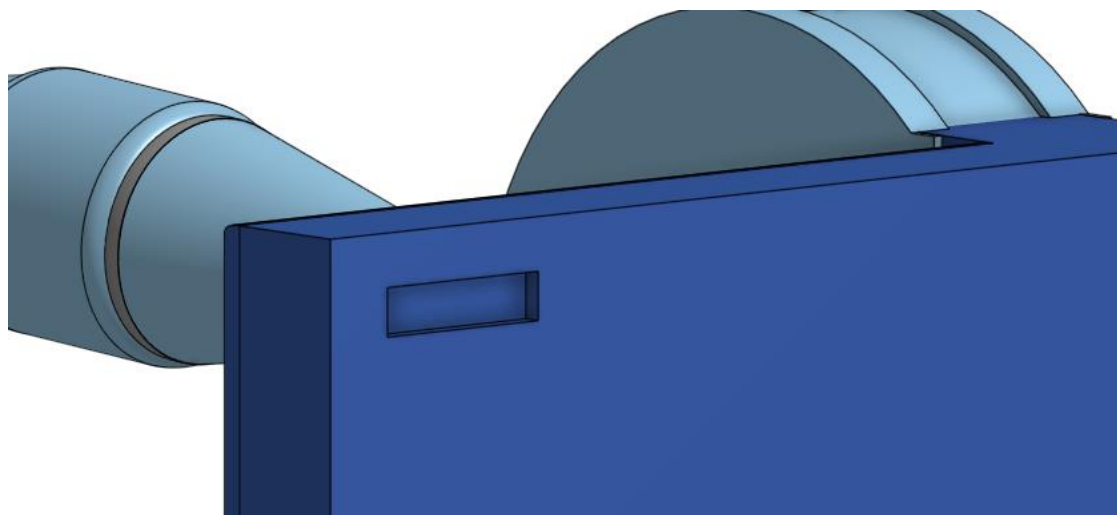


Рисунок 2.4.5 – Спеціальний отвір для комутації маніпулятора з технологічним підводним апаратом

Моделювання платформи та врахування отвору для комутації елементів маніпулятора забезпечують зручність та функціональність в процесі розробки та налагодження автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом. Вони дозволяють забезпечити зручне розміщення та з'єднання елементів маніпулятора з підводним апаратом, сприяючи ефективній та надійній роботі всієї системи.

Після успішного моделювання складових маніпулятора, отримуємо віртуальну 3D-модель, яка відображає їх форму, рухові можливості та взаємодію з іншими компонентами системи. Це дозволяє проводити віртуальні симуляції руху, перевіряти функціональність та виявляти можливі проблеми ще до фізичного виготовлення прототипу. Такий підхід дозволяє економити час та ресурси, а також забезпечує більшу точність та якість у розробці системи керування технологічним підводним апаратом.

## **2.5 Опис та вибір складових компонентів автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом**

Перетворювач сигналу Ethernet - SPI (Ethernet to SPI Converter) - це електронний пристрій, що використовується для забезпечення комунікації між

пристроями, що підключені до мережі Ethernet, і мікроконтролерами, які працюють з SPI (Serial Peripheral Interface).

Перетворювач зазвичай складається з мікросхеми, яка здійснює фізичний рівень Ethernet (PHY), та мікросхеми, яка забезпечує інтерфейс SPI з мікроконтролером. Функції перетворювача включають в себе отримання даних від мережі Ethernet, їх передачу до мікроконтролера через SPI і обернений процес передачі даних з мікроконтролера до мережі Ethernet.

Перетворювач сигналу Ethernet - SPI зазвичай використовуються в промислових автоматизованих системах, IoT-пристроях та інших пристроях, що підключені до мережі Ethernet і вимагають взаємодії з мікроконтролерами через інтерфейс SPI.

Одна з найпоширеніших мікросхем для перетворення сигналу Ethernet - SPI є ENC28J60, яка була розроблена фірмою Microchip Technology. Ця мікросхема має вбудований контролер Ethernet і підтримує 10BASE-T і 100BASE-TX Ethernet. ENC28J60 також має вбудований 8-бітовий контролер SPI і підтримує повнодуплексний і напівдуплексний режими роботи.

ENC28J60 має низьку споживану потужність і може працювати в діапазоні температур від -40 до +85 градусів Цельсія. Крім того, вона має вбудовані функції безпеки, такі як WEP, WPA і WPA2, які дозволяють забезпечити безпеку даних, що передаються через мережу Ethernet.

Для перетворення сигналу Ethernet - SPI в цій роботі можна використати мікросхему ENC28J60, яка вже використовується для з'єднання з підводним апаратом по інтерфейсу Ethernet. Ця мікросхема є досить поширеною і доступною для замовлення в Інтернеті.

Мікросхема ENC28J60 - це 8-бітний Ethernet контролер, що використовується для забезпечення з'єднання з мережами Ethernet. Вона підтримує передачу даних з швидкістю до 10 Мбіт/с і підтримує протоколи TCP/IP та UDP.

Ця мікросхема має вбудований MAC (Media Access Control) контролер, який забезпечує доступ до мережі Ethernet. Вона також має вбудований РНУ (Physical) контролер, який забезпечує з'єднання з фізичними мережевими пристроями.

Мікросхема ENC28J60 працює з різними мікроконтролерами і має інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) для обміну даними з ними. Вона має вбудовану підтримку декількох режимів енергозбереження, що дозволяє зменшити споживання енергії в пристрої.

Ця мікросхема дуже популярна серед розробників, які створюють мережеві пристрої, такі як маршрутизатори, комутатори, контролери доступу і т.д. Вона є відносно недорогою і має високу надійність і швидкість передачі даних.

Для роботи з мікросхемою ENC28J60 рекомендується використовувати спеціальні бібліотеки для мікроконтролерів, такі як EtherCard, UIPEthernet і т.д. Ці бібліотеки мають готові функції для налаштування і взаємодії з мікросхемою, що спрощує процес розробки мережевих пристроїв.

Ще однією важливою характеристикою мікросхеми ENC28J60 є можливість працювати в різних режимах передачі даних. Зокрема, вона підтримує режими половинної та повної дуплексної передачі даних, а також може працювати в режимі зіткнення. Вона підтримує стандарти Ethernet із швидкістю передачі даних до 10 Мбіт/с, а також підтримує протоколи TCP/IP, UDP, ARP, ICMP та DHCP.

Крім того, мікросхема ENC28J60 підтримує можливість зберігання до 8КВ буферу передачі та прийому даних, що дозволяє забезпечити стійкість та швидкість передачі даних.

Узагалі, мікросхема ENC28J60 є ефективним рішенням для забезпечення з'єднання з підводним апаратом по інтерфейсу Ethernet. Вона має досить великий набір функцій та можливостей, а також є досить економічною в порівнянні з іншими рішеннями.

Мікроконтролер - це компактний електронний пристрій, що містить в собі процесор, пам'ять та інші периферійні пристрої, які необхідні для керування певним пристроєм або системою. У даній роботі мікроконтролер використовується для прийому сигналу від Перетворювача сигналу Ethernet - SPI та подальшої обробки цього сигналу для керування реле підводних світильників та крокових двигунів.

Мікроконтролер має свою внутрішню пам'ять, що дозволяє зберігати програмне забезпечення, яке він виконує, а також дані, що необхідні для його роботи. Також мікроконтролер має можливість взаємодії зі зовнішніми пристроями, наприклад, з реле підводних світильників та кроковими двигунами.

У даній роботі мікроконтролер використовується як основний керуючий пристрій, що забезпечує обробку сигналів та керування пристроями на основі цих сигналів. Він приймає дані від Перетворювача сигналу Ethernet - SPI та виконує певні дії на основі цих даних, наприклад, управління реле підводних світильників та крокових двигунів.

Мікроконтролери мають різноманітні параметри, такі як швидкість обробки даних, кількість входів-виходів, розміри та інші. У виборі мікроконтролера для даної роботи важливо враховувати необхідні функціональні можливості та параметри, щоб забезпечити ефективну роботу системи.

Крім того, мікроконтролер виконує роль інтелектуального керуючого пристрою, який розуміє отримані від датчиків дані, обробляє їх та виконує потрібні дії в залежності від отриманих результатів. Наприклад, мікроконтролер може зчитувати дані з датчиків температури та вологості ґрунту та на основі цих даних керувати системою.

У даній конкретній роботі мікроконтролер не тільки отримує дані від Перетворювача сигналу Ethernet-SPI, а й керує реле підводного світильника та драйверами крокових двигунів, що використовуються для переміщення

робочого органу. Мікроконтролер може виконувати інші функції, які необхідні для правильної роботи системи, наприклад, зберігати дані про стан робочого органу, контролювати температуру, якщо вона є критичною для роботи системи, і т.д.

Загалом, мікроконтролер є невід'ємною частиною багатьох автоматизованих систем, оскільки він забезпечує виконання різноманітних завдань, що дозволяє зробити роботу системи більш ефективною та точною.

В якості основного керуючого пристрою обираємо мікроконтролер PIC24FJ256GB206 (DD1). Мікроконтролер PIC24FJ256GB206 - це 16-бітний мікроконтролер від компанії Microchip. Він базується на ядрі MIPS M4K і має такі особливості:

- 1) Частота роботи до 32 МГц;
- 2) об'єм флеш-пам'яті 256 КБ;
- 3) об'єм оперативної пам'яті 96 КБ;
- 4) 6 DMA-каналів;
- 5) 16-бітний АЦП з роздільною здатністю до 12 біт;
- 6) 4-канальний ШІМ-генератор;
- 7) 4-канальний PWM-генератор;
- 8) 2-канальний CAN-інтерфейс;
- 9) 2-канальний UART-інтерфейс;
- 10) SPI-інтерфейс;
- 11) I2C-інтерфейс;
- 12) USB 2.0-інтерфейс.

Цей мікроконтролер є досить потужним і досить гнучким, що дозволяє його використовувати в різноманітних застосуваннях. У даному випадку, він використовується як основний керуючий пристрій, який здійснює керування роботою всіх інших компонентів системи, зчитування даних з Перетворювача сигналу Ethernet – SPI, керування реле підводних світильників та драйверів

крокових двигунів, а також взаємодіє з користувачем через відповідні інтерфейси.

PIC24FJ256GB206 є 16-бітним мікроконтролером з архітектурою MIPS і відноситься до сімейства PIC24FJxxGB2xx. Він має частоту роботи до 40 МГц і підтримує широкий набір периферії, таких як UART, SPI, I2C, USB, ADC, DAC, PWM, ECCP та ін.

Даний мікроконтролер має вбудовану пам'ять програм та даних: програмна пам'ять (Flash) об'ємом 256 Кбайт та оперативна пам'ять (RAM) об'ємом 96 Кбайт. Він також підтримує пристрій програмування та відлагодження MPLAB® ICD 3.

Для забезпечення надійності і безпеки пристроїв, PIC24FJ256GB206 містить апаратну підтримку забезпечення захисту від копіювання інтелектуальної власності, таких як функції захисту пам'яті і виявлення спроб вторгнення.

Застосування PIC24FJ256GB206 може бути різноманітним, від контролю світла до керування роботами. В даній конкретній роботі він буде використовуватися для обробки даних з Перетворювача сигналу Ethernet - SPI та відправки сигналу до реле підводних світильників та драйверів крокових двигунів.

Підводні світильники – це пристрої, які встановлюються під водою для підсвічування водойм, басейнів або акваріумів. Вони можуть мати різні розміри та форми, і використовуються для створення ефектів освітлення, наприклад, для підсвічування об'єктів або створення настрою.

Підводні світильники зазвичай складаються з корпусу, внутрішнього світлодіода (LED), лінзи, яка розсіює світло, та електричної схеми. Для забезпечення відповідної захисту від води, корпус світильника зазвичай виготовляють зі стійкого до корозії матеріалу, такого як нержавіюча сталь, алюміній або пластик.

Підводні світильники можуть мати різну яскравість та кольори світла, такі як білий, жовтий, синій, зелений або червоний. Яскравість світла вимірюється в люменах (lm), а кут розсіювання світла вимірюється в градусах.

Для підключення підводних світильників до джерела живлення, зазвичай використовують реле або блоки живлення. Також, для додаткової безпеки можуть бути встановлені автоматичні вимикачі або гальванічно розділені ізолятори.

Підводні світильники використовуються для декоративного освітлення басейнів, фонтанів, ставків, акваріумів та інших водойм. Також вони можуть використовуватися для освітлення водних спортивних майданчиків або для освітлення підводного ландшафту під час занурення.

Підводні світильники мають ключове значення у системі керування підводним маніпулятором, особливо в умовах обмеженої видимості під водою. Вони дозволяють освітлювати робочу область, що дозволяє керувати маніпулятором точніше і зменшує ризик пошкодження об'єкта або навколишнього середовища. Крім того, підводні світильники можуть бути використані для створення певних ефектів, наприклад, для приваблення риби або підсвічування об'єктів під водою для фото- і відеозйомки.

Для системи керування підводним маніпулятором можуть бути використані різні типи підводних світильників, залежно від умов експлуатації і завдань. Наприклад, для роботи в глибинах до 50 метрів можна використовувати світильники з діаметром корпусу до 80 мм, а для роботи на більшій глибині можуть використовуватися світильники з більшими розмірами і більш потужними джерелами живлення. Крім того, важливо враховувати особливості середовища, в якому працює маніпулятор, а також типи робіт, які виконуються, для вибору підходящого типу світильника.

Для системи керування підводним маніпулятором буде обрано підводний світильник Aqualuma Gen III. Підводний світильник Aqualuma Gen



III - це високоякісний LED-світильник, який призначений для використання під водою. Він має наступні характеристики:

- 1) Максимальна потужність: 12 ват;
- 2) світловий потік: 2,300 люменів;
- 3) колір світла: білий, синій або зелений;
- 4) напруга живлення: 12-32 вольти постійного струму;
- 5) кут розсіювання світла: 60 градусів;
- 6) матеріал корпусу: алюміній.

Серед переваг підводного світильника Aqualuma Gen III можна відзначити:

- 7) Висока якість світла, яка забезпечує чітку видимість під водою;
- 8) енергоефективність, що знижує споживання електроенергії;
- 9) міцний алюмінієвий корпус, що забезпечує захист від ударів і корозії;
- 10) простота монтажу і підключення.

Серед недоліків можна відзначити:

- 11) Відносно висока ціна порівняно з іншими підводними світильниками;
- 12) обмежені варіанти кольору світла.

Однак, зважаючи на високу якість та надійність Aqualuma Gen III, цей підводний світильник (рис. 2.5.1) є дуже популярним в середині любителів підводних робіт, дайвінгу та відпочинку на воді.

Одна з головних переваг підводних світильників Aqualuma Gen III - це їхній високий рівень якості. Вони виготовлені з високоякісних матеріалів, які забезпечують стійкість до корозії та інших впливів довкілля. Крім того, Aqualuma Gen III є енергоефективними світильниками, які використовують мало енергії, що дозволяє заощадити на енергозатратах та забезпечує довгу тривалість роботи від акумулятора.

Іншою важливою перевагою підводних світильників Aqualuma Gen III є їхній дизайн та ергономіка. Вони мають компактні розміри та низький профіль, що дозволяє їм легко встановлюватися на дно водойми та не заважати роботі підводного маніпулятора. Крім того, ці світильники мають широкий кут освітлення, що забезпечує якісне освітлення навколишнього середовища та дозволяє підводному маніпулятору працювати з більшим комфортом та ефективністю.

Недоліком підводних світильників Aqualuma Gen III може бути їхня вартість, яка може бути значно вищою порівняно з іншими підводними світильниками на ринку. Однак, це може бути окуплено за рахунок їхньої високої якості та тривалої роботи. Також, деякі користувачі можуть бути незадоволені тим, що підводні світильники Aqualuma Gen III не мають різноманітних кольорів освітлення, що може бути корисним у деяких випадках.



Рисунок 2.5.1 – Підводний світильник Aqualuma Gen III

Для роботи такого світильника необхідно мати Реле. Реле – це електромеханічний пристрій, який дозволяє відкривати або закривати електричне коло з використанням електромагнітного поля. Реле складається з

котушки, яка створює магнітне поле, та контактів, які перемикаються під впливом цього поля.

Реле можуть використовуватися для різноманітних цілей, включаючи керування електричними навантаженнями, захисту електричних ланцюгів від перевантаження, автоматизації промислових процесів, віддаленого керування, і т.д.

У залежності від призначення, реле можуть мати різні характеристики, такі як напруга котушки, максимальний струм і напруга контактів, кількість контактів, тип контактів і т.д.

Основні типи реле:

- 1) нормально відкрите (НВ);
- 2) нормально закрите (НЗ);
- 3) перемикаючі (П);
- 4) імпульсні (І);
- 5) твердотільні (Т).

Реле можуть мати різні конфігурації контактів, такі як один зворотний (SPST), один перехідний (SPDT), два зворотні (DPST), два перехідні (DPDT) і т.д.

Реле є електромеханічним пристроєм, який дозволяє керувати електричними схемами шляхом переривання або з'єднання електричного струму. Реле складається з котушки, яка створює магнітне поле при підключенні до джерела живлення, та контактів, які переривають або з'єднують електричну схему в залежності від стану котушки.

У реле можуть бути різні типи контактів, наприклад, normally open (НО) - контакти відкриті у вимкненому стані котушки, та normally closed (НЗ) - контакти замкнуті у вимкненому стані котушки. Реле можуть мати також одно- та двопозиційні контакти, які залежать від кількості рухомих частин контактів.

У реле можуть бути різні типи котушок, залежно від потреб споживача. Наприклад, можуть бути реле з котушкою на постійному або змінному струмі, реле з низькою споживаною енергією, реле з напругою живлення різної величини тощо.

Реле широко використовуються в електричних системах та пристроях, які потребують контролю над електричним струмом. Деякі з найбільш поширених використань реле включають контроль над світлодіодними та іншими освітлювальними системами, керуванням пристроями з електричними двигунами, автоматичним вимиканням електроприладів у випадку перевантаження або перегріву, та інші застосування, що вимагають контролю над електричним струмом.

Для підводного світильника Aqualuma Gen III можна використовувати реле, яке підтримує напругу живлення 12 В та струм, необхідний для живлення світильника. Наприклад, можна використовувати реле з контактами, які підтримують струм 2-3 А, такі як G5LA-14-DC12 або RWH-SH-112D. Також слід звернути увагу на параметри реле, що стосуються водонепроникності та стійкості до корозії, оскільки воно буде встановлено у вологому середовищі.

Реле з контактами, які підтримують струм 2-3 А, є електромеханічним пристроєм, що використовується для керування електричними схемами. Реле складається з двох основних частин - котушки та контактів.

Котушка реле може працювати при різних напругах, зазвичай від 5 до 24 В, залежно від типу реле. При подачі напруги на котушку вона стає магнітною, що приводить до перемикання контактів. Контакти можуть мати різні конфігурації, наприклад, один з них може бути нормальним відкритим (НВ), а інший - нормальним замкнутим (НЗ), або мати перехідну контактну групу (ПКГ).

Реле з контактами, які підтримують струм 2-3 А, можуть використовуватись для керування різними електричними пристроями зі

струмом споживання у вказаному діапазоні, наприклад, світильниками, моторами, насосами та іншими.

При виборі реле необхідно звернути увагу на параметри контактів (максимальний струм, напруга, тип контактів), а також на тип котушки (напруга, опір, максимальна потужність). Для підводного світильника Aqualuma Gen III можна використовувати реле з контактами, які підтримують струм більше 3 А, залежно від потужності світильника та вимог системи керування.

Для Aqualuma Gen III було обрано реле G5LA-14-DC12. G5LA-14-DC12 – це мініатюрне промислове реле від компанії Omron з кількома контактами, що підтримують струм до 10А. Це реле працює з напругою живлення 12 В, має 4 змінні контакти і може бути використане для керування різними електричними пристроями і системами.

Основні характеристики реле G5LA-14-DC12:

- 1) робоча напруга: 12 В постійного струму (DC);
- 2) максимальний струм комутації: 10А;
- 3) тип контактів: 4 змінні контакти;
- 4) кількість контактів: 4;
- 5) контактна форма: 1С (SPDT);
- 6) кріплення: на плату;
- 7) термінали: для пайки;
- 8) мінімальна потужність: 200 мВт;
- 9) температурний діапазон: від -40 до +85 градусів Цельсія;
- 10) кількість контактів: 1 перехідний контакт (SPDT);
- 11) максимальна потужність комутації: 1250 ВА або 150 Вт;
- 12) максимальна напруга комутації: 250 В перемінного струму або 30 В постійного струму;
- 13) максимальний струм комутації: 10 А при 250 В перемінного струму або 30 В постійного струму;

- 14) чутливість котушки: 400 мВт;
- 15) номінальна напруга котушки: 12 В постійного струму.

G5LA-14-DC12 – це реле є надійним і має широке застосування в різних промислових та електронних пристроях, де потрібно комутувати струми до 10 А. Його можна використовувати для комутації постійного та перемінного струму, що робить його універсальним і зручним в електротехніці. Крім того, завдяки чутливості котушки всього 400 мВт, реле вимагає мало електроенергії для своєї роботи, що є важливим показником для деяких застосувань, де енергозбереження має значення.

Драйвер крокового двигуна – це електронний компонент, який використовується для керування роботою крокового двигуна. Драйвер забезпечує потрібну потужність та точність керування, що дозволяє кроковому двигуну рухатися з заданою швидкістю та точністю.

Основні характеристики драйвера крокового двигуна включають:

1.Максимальну струмову потужність: це максимальна кількість струму, яку драйвер може постачати для роботи крокового двигуна. Ця величина залежить від типу крокового двигуна і може варіюватись від декількох міліампер до кількох ампер.

2.Мінімальний крок: це найменший крок, який кроковий двигун може зробити за один цикл. Мінімальний крок залежить від конструкції крокового двигуна та може бути в діапазоні від декількох мікрометрів до кількох міліметрів.

3.Максимальна швидкість: це максимальна швидкість, з якою може рухатися кроковий двигун. Ця величина залежить від типу крокового двигуна та може варіюватись від кількох обертів на хвилину до кількох тисяч обертів на хвилину.

4.Режим керування: існують два основних режими керування кроковими двигунами – півкрок та повний крок. У повному кроці кроковий двигун переходить з одного кроку до наступного з повною швидкістю, тоді як у

півкроці рух відбувається з половиною швидкості. Режим керування вибирається в залежності від потреб системи.

Драйвер крокового двигуна - це пристрій, який використовується для контролю руху крокового двигуна. Драйвер отримує сигнали від мікроконтролера або іншого джерела керування, інтерпретує їх та відправляє сигнали на кроковий двигун для здійснення руху.

Основна функція драйвера крокового двигуна - забезпечення точного керування кроковими двигунами. Драйвери крокових двигунів можуть мати різні характеристики, такі як кількість кроків на оберт, максимальна частота кроків, максимальний струм та напруга.

Деякі драйвери крокового двигуна мають режим мікрокрокування, що дозволяє зменшити розмір кроку та забезпечити більш плавний рух. Інші драйвери можуть мати захист від перевантаження, захист від короткого замикання та інші функції захисту.

Драйвери крокових двигунів широко використовуються в різних промислових та автоматизованих системах, таких як CNC-машини, 3D-принтери, роботи та інші системи з точним рухом. Вони також можуть бути використані в різних проектах DIY, де необхідно точне та плавне керування рухом.

Для системи керування підводним апаратом драйвер крокового двигуна є дуже важливим компонентом. Цей драйвер забезпечує точне і плавне переміщення крокового двигуна, що в свою чергу дозволяє керувати рухом підводного апарату.

Один з найпоширеніших драйверів крокових двигунів - це драйвер A4988. Він забезпечує мікрокроковий режим, що дозволяє зменшити вібрації і покращити точність переміщення крокового двигуна. Також цей драйвер має захист від перевантаження та перегрівання, що забезпечує безпеку роботи системи.

Драйвер А4988 може керувати кроковими двигунами зі струмом до 2 ампер, що робить його досить потужним і надійним для застосування в системі керування підводним апаратом. Для керування драйвером можна використовувати мікроконтролери або спеціальні контролери крокових двигунів.

Перевагами драйвера А4988 є його висока ефективність, мінімальне відведення енергії, широка робоча напруга і можливість мікрокрокування. Недоліком може бути складність установки, особливо якщо користувач не має достатнього досвіду з електронікою. Також він може бути дещо дорожчим, ніж інші драйвери крокових двигунів.

Для системи керування підводним апаратом, зазвичай використовують драйвери крокових двигунів, які забезпечують точне позиціонування маніпулятора і стабільність руху.

Один з популярних драйверів крокового двигуна - це DRV8825 від компанії Texas Instruments. Він забезпечує можливість керування кроковими двигунами з напругою від 8,2 В до 45 В і струмом до 2,5 А, що дозволяє використовувати його з різними типами крокових двигунів.

DRV8825 має мікроконтролерний інтерфейс, який дозволяє програмно налаштовувати параметри роботи драйвера, включаючи максимальну частоту крокування і режими мікрокрокування. Він також має вбудовану захист від перевантажень і перегрівання.

Переваги DRV8825 включають високу ефективність і точність керування, швидкість роботи до 32 мікрокроків на крок, а також можливість підключення високовольтних джерел живлення, що робить його ідеальним вибором для систем керування підводними апаратами.

Однак, варто зазначити, що драйвер DRV8825 має певні недоліки, включаючи гучну роботу, що може бути проблемою для деяких застосувань, а також високу вартість порівняно з деякими іншими драйверами.



DRV8825 було обрано як драйвер крокового двигуна для системи керування підводним апаратом. Цей драйвер є популярним серед розробників, оскільки він має високу точність керування і підтримує різні режими роботи. DRV8825 також має захист від перевантаження, з коротким замиканням і змінним напругою, що робить його надійним і безпечним для використання в системі керування підводним апаратом. DRV8825 має високу частоту крокового сигналу до 250 кГц і може працювати з моторами крокового типу з напругою живлення до 45 Вольт.

## **2.6 Розробка блох-схеми автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом з маніпуляційним пристроєм**

Блок-схема алгоритму – це графічне представлення послідовності операцій, необхідних для виконання певного завдання. Вона використовується для аналізу, проектування та документування алгоритмів різного роду задач.

У даному випадку, блок-схема алгоритму (рис. 2.6.1) використовується для управління автоматизованою системою керування маніпулятором підводного апарата. Алгоритм містить послідовність операцій, що необхідні для передачі сигналу з перетворювача Ethernet - SPI до мікроконтролера, подальшої обробки та відправки сигналів до реле світильників та драйверів крокових двигунів.



## 2.7 Розробка та опис електрично принципівих схем

Систему керування можна розділити на дві окремі плати, що обумовлено габаритними обмеженням міцного корпусу підводного апарата: інформаційна (рис. 2.7.1) та силова.

В якості основного керуючого пристрою обираємо мікроконтролер *PIC24FJ256GB206 (DD1)*, основними вимогами для його вибору є наявність в ньому чотирьох модулів *PWM*, модулю *SPI* та доступність в Україні.

Для роботи мікроконтролера згідно рекомендації в його технічній документації було обрано:

- *ZQ1* – кварцовий резонатор 8 МГц, для задання частоти роботи мікроконтролера;
- *C4, C5* – конденсатори номіналом 20 пФ, для запуску кварцового резонатора;
- *C6-C8, C10* – фільтр живлення мікроконтролера 100 нФ;
- *C9* – фільтр живлення мікроконтролера 10 мкФ;

Для перезапуску мікроконтролера використовується нормально замкнена кнопка *SA1*, також резистори *R8=20* кОм та *R9=4,7* кОм та конденсатор *C3=100* нФ, згідно технічній документації на мікроконтролер.

Для індикації роботи використовується світло діоди *HL1* та *HL2*. Світлодіод зеленого кольору *HL1* для індикації наявності живлення, *HL2* – жовтого для індикації роботи мікроконтролера. Резистори *R7* та *R10* розраховуються за формулою:

$$R = \frac{U_{ж} - U_c}{I_m} = \frac{3,3 - 2}{0,01} = 130 \text{ Ом.} \quad (2.7.1)$$

Для обмеження струму що надходить до порту мікроконтролера від блоку вимикачів використовуються резистори *R1-R6*. Вхідний струм на вивід

мікроконтролера буде становити не більше 5 мА таким чином за законом Ома резистори будуть становити:

$$R = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{\text{м}}} = \frac{3,3}{0,01} = 330 \text{ Ом.} \quad (2.7.2)$$



### Рисунок 2.7.1 – Електрична принципова схема інформаційної плати

Для з'єднання з підводним апаратом по інтерфейсу *Ethernet* використовується мікросхема *ENC28J60 (DD2)*. Згідно до рекомендацій від виробника було обрано наступні елементи:

- *R15-R18* – вихідні резистори номіналом 50 Ом;
- *C12-C14, C17, C18* – фільтруючі конденсатори 100 нФ;
- *C17* – конденсатор 10 мкФ;
- *L1* – індуктивний фільтр імпедансом 1 кОм;
- *R11, R12* – вихідні резистори номіналом 1к Ом;
- *ZQ2* – кварцовий резонатор 20 МГц, для задання частоти роботи мікросхеми;
- *C15, C16* – конденсатори номіналом 33 пФ, для запуску кварцового резонатора.

Для індикації роботи інтерфейсу *Ethernet* використовуються світлодіоди, що вмонтовані в роз'єм, а для обмеження їх струму використовуються резистори *R13, R14*:

$$R = \frac{U_{ж} - U_c}{I_m} = \frac{3,3 - 2}{0,01} = 130 \text{ Ом.} \quad (2.7.3)$$

Для зниження вхідної напруги на інформаційній платі використовується *DC/DC* перетворювач *P10AU-123R3ELF*. Згідно технічної документації для зменшення пульсацій живлення встановлюються фільтруючі конденсатори *C1, C2* по 10 мкФ та індуктивність *L2* (12мкГн).

Електрична принципова схема силової плати зображена на рисунку 2.7.2. Вона включає в себе драйвери керування кроковими двигунами *DRV8825 (DD1)*. Він дозволяє керувати одним біполярним двигуном з максимальним вихідним струмом 2 А та напругою 12 В. Простий інтерфейс керування під'єднується напряду з системою напруги від 3 до 5 В.

Згідно технічної документації на драйвери було прийнято наступні номінали:  $C1$ – 470 нФ,  $C2$ –10 нФ,  $C3$ ,  $C5$ – 100 нФ,  $C4$  – 4,7 мкФ,  $R6$ – 10 кОм,  $R8$ ,  $R9$  – 0,1 Ом,  $R7$  – 1,5 кОм.

Резистори  $R4$  та  $R5$  встановлюються в залежності від струму обраного двигуна. В нашому випадку струм становить 1А. Встановлений струм розраховується за формулою:

$$I = \frac{U_{ref}}{5 \cdot R8}. \quad (2.7.4)$$

Виходячи з даної формули отримаємо:

$$U_{ref} = 5 \cdot I \cdot R8 = 5 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,5В. \quad (2.7.5)$$

Резистори  $R4$  та  $R5$  утворюють дільник напруги при якому:

$$U_{ref} = U_p \frac{R4}{R4 + R5}. \quad (2.7.6)$$

Задавшись резистором  $R5$  1 кОм отримаємо:

$$R4 = \frac{R5 \cdot U_{ref}}{U_p - U_{ref}} = \frac{1 \cdot 0,5}{3,3 - 0,5} = 185. \quad (2.7.7)$$

Резистор обираємо найближчий з номінального ряду 180 Ом.

Для роботи з світло діодами використовуються оптореле  $PVG612SPBF$  ( $DA1$ –  $DA3$ ). Для обмеження струму діода резистори  $R1$ :

$$R = \frac{U_{ж} - U_c}{I_m} = \frac{3,3 - 2}{0,01} = 130 \text{ Ом}. \quad (2.7.8)$$

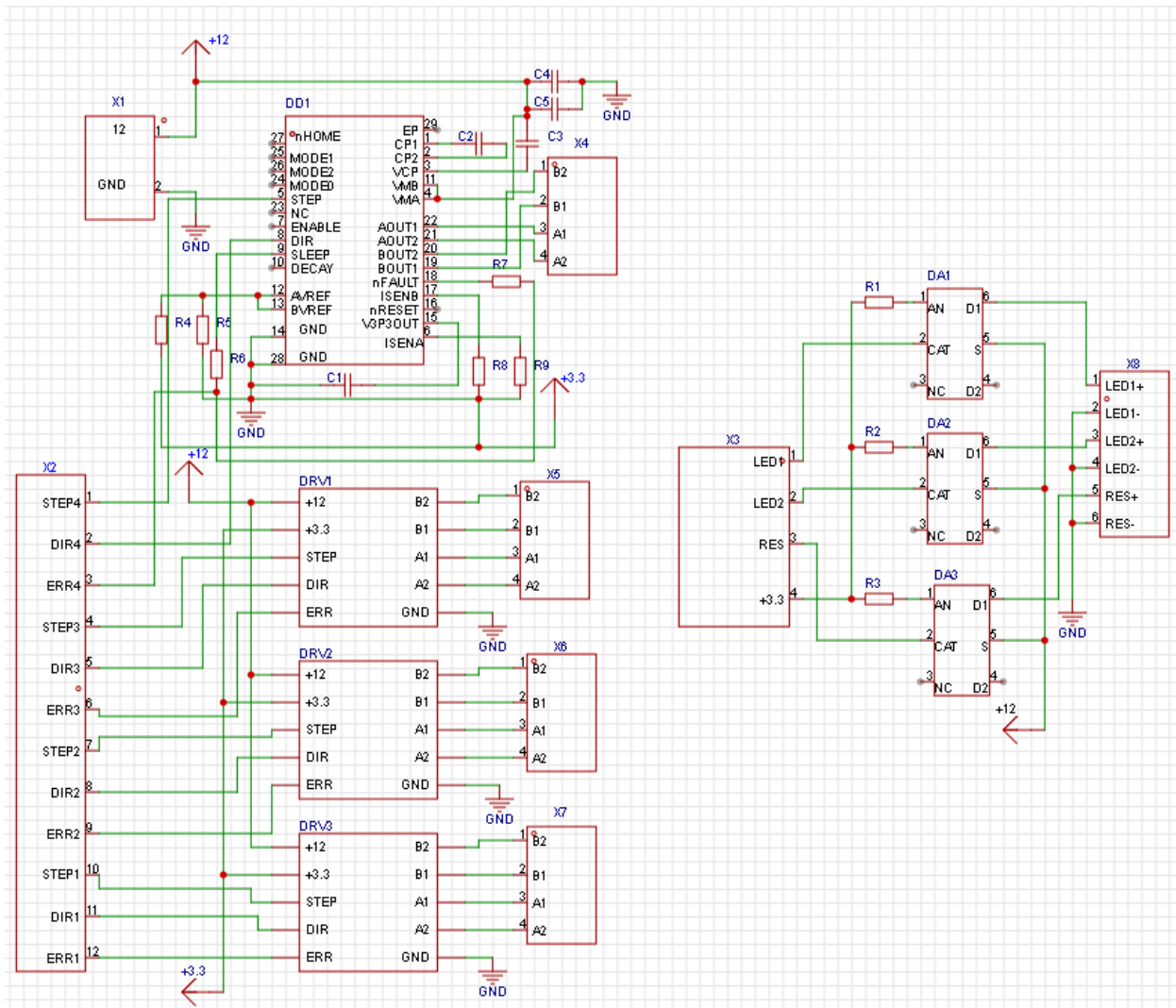


Рисунок 2.7.2 – Електрична принципова схема силової плати

## 2.8 Розробка друкованих плат автоматизованої системи керування маніпулятором технологічного підводного апарата

Для створення друкованих плат використовуються різні технології та процеси, які дозволяють перенести доріжки, свердлити отвори та напаяти елементи на плату. Нижче описані деякі з них:

Перенесення доріжок (луження): після виготовлення базової плати з ізолюваним шаром міді на поверхні, доріжки переносяться на плату за допомогою технології луження. Луження полягає у нанесенні тонкого шару міді на поверхню плати, використовуючи хімічні процеси або методи



електрохімічного осадження. Це дозволяє створити потрібну мідну провідну доріжку на платі.

Свердління отворів: друковані плати часто мають отвори для компонентів та з'єднань. Ці отвори свердляться на спеціальних свердлильних верстатах або лазерних свердлильних системах. Свердління виконується з точністю і діаметром, необхідним для підключення компонентів та створення з'єднань.

Напайка елементів: після виготовлення друкованої плати та свердління отворів, компоненти, такі як резистори, конденсатори, інтегральні схеми тощо, можуть бути напаяні на плату. Це виконується за допомогою процесу напайки, який може бути ручним або автоматизованим. У ручному процесі оператори вручну розміщують компоненти на платі і виконують напайку, використовуючи паяльник та паяльну пасту. У випадку автоматизованого процесу використовуються машини для точного розміщення компонентів та безпомилкової напайки.

Ці процедури виготовлення друкованих плат у промислових масштабах дозволяють створити якісні та надійні плати для розміщення компонентів та забезпечення ефективної роботи електронних пристроїв. Вони є важливим кроком у розробці технологічних систем, таких як автоматизована система керування технологічним підводним апаратом, та гарантують правильне підключення та функціонування елементів на друкованій платі.

У даній роботі було виготовлено макети друкованих плат за допомогою програми EasyEda [21]. EasyEda – це веб-програма для проектування електронних схем та розробки друкованих плат. Вона надає зручне та інтуїтивно зрозуміле середовище для створення схем, моделювання, розміщення компонентів та трасування доріжок.

Перший макет – інформаційна плата, що зображена на рисунку 2.8.1, має округлу форму з радіусом 60 мм.

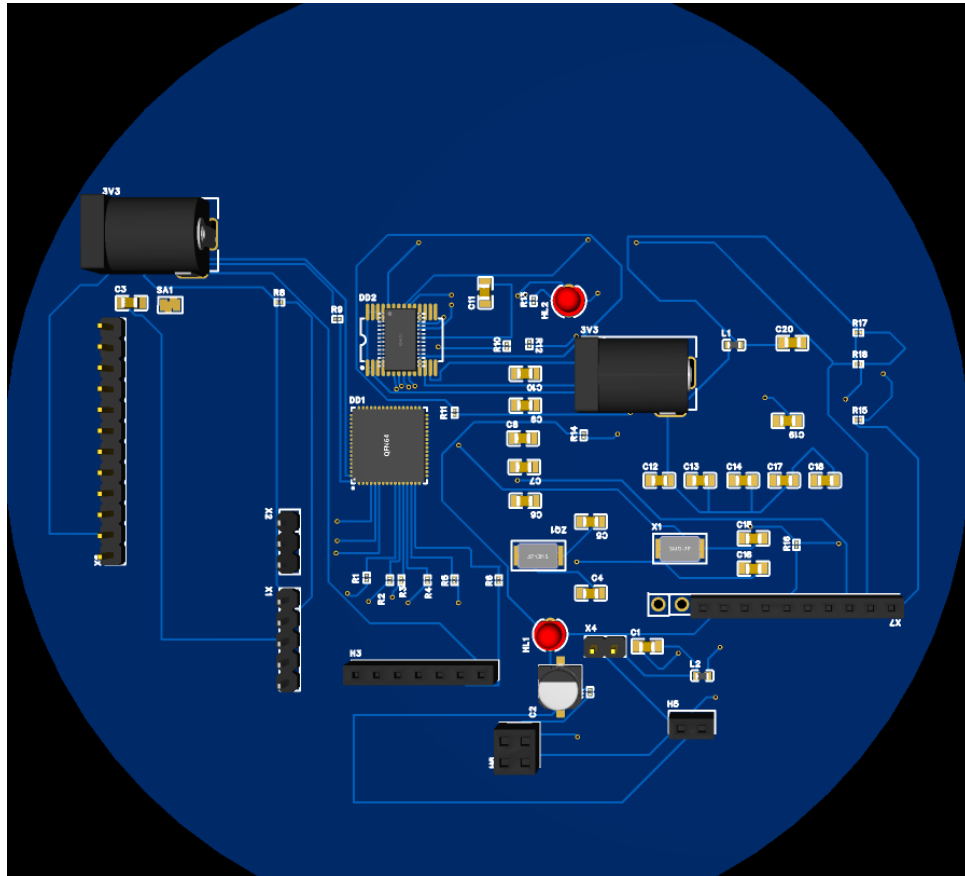


Рисунок 6.8.1 – 3D модель друкованої інформаційної плати з напаяними деталями

Для цього макету була створена 3D модель, що відображає фізичний вигляд плати разом з напаяними елементами.

Також були розроблені дві схеми: вид зверху (рис. 2.8.2) та вид знизу (рис. 2.8.3), що надають інформацію про розміщення компонентів та доріжок на платі.

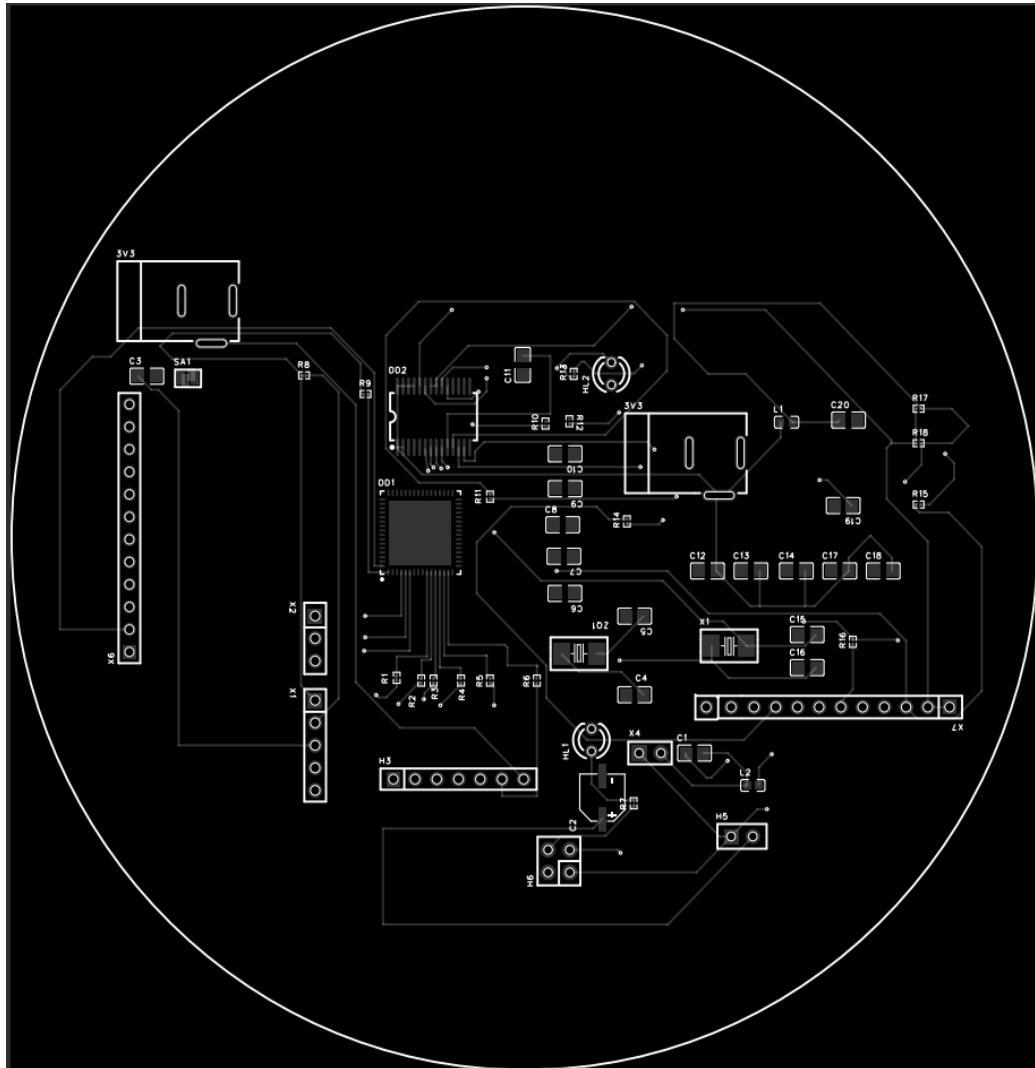


Рисунок 2.8.2 – Вид схеми друкованої інформаційної плати зверху

Верхня частина схеми друкованої плати містить розташування та підключення електронних компонентів, таких як мікросхеми, резистори, конденсатори і транзистори. Вона представляє вид зверху на плату і містить розміщення контактних площин, кілець для паяння та доріжок, що з'єднують компоненти між собою. Верхня частина схеми часто використовується для ідентифікації компонентів та забезпечення правильного підключення.

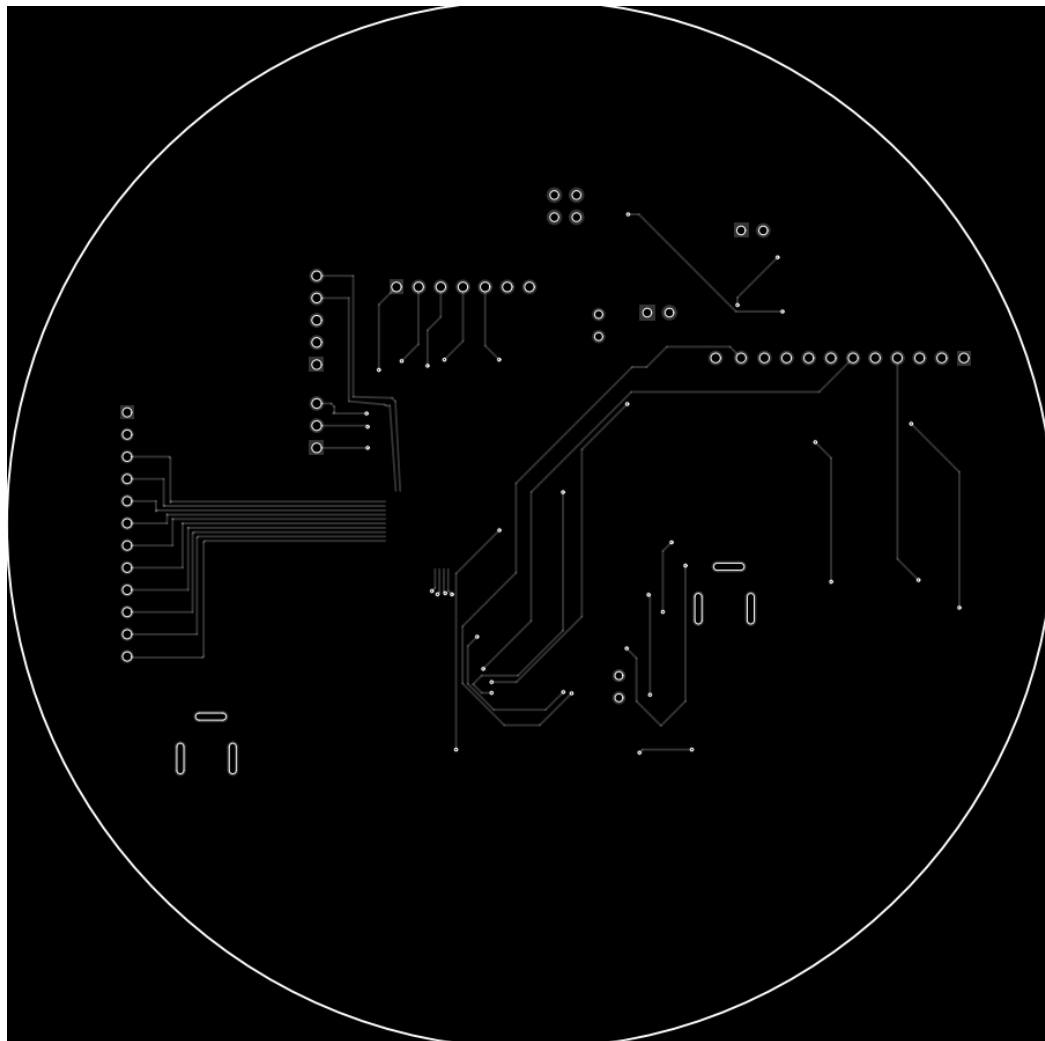


Рисунок 2.8.3 – Вид схеми друкованої інформаційної плати знизу

Другий макет – силова плата, також має округлу форму з радіусом 50 мм. Для цієї плати також була створена 3D модель (рис. 2.8.4) з напаяними елементами.

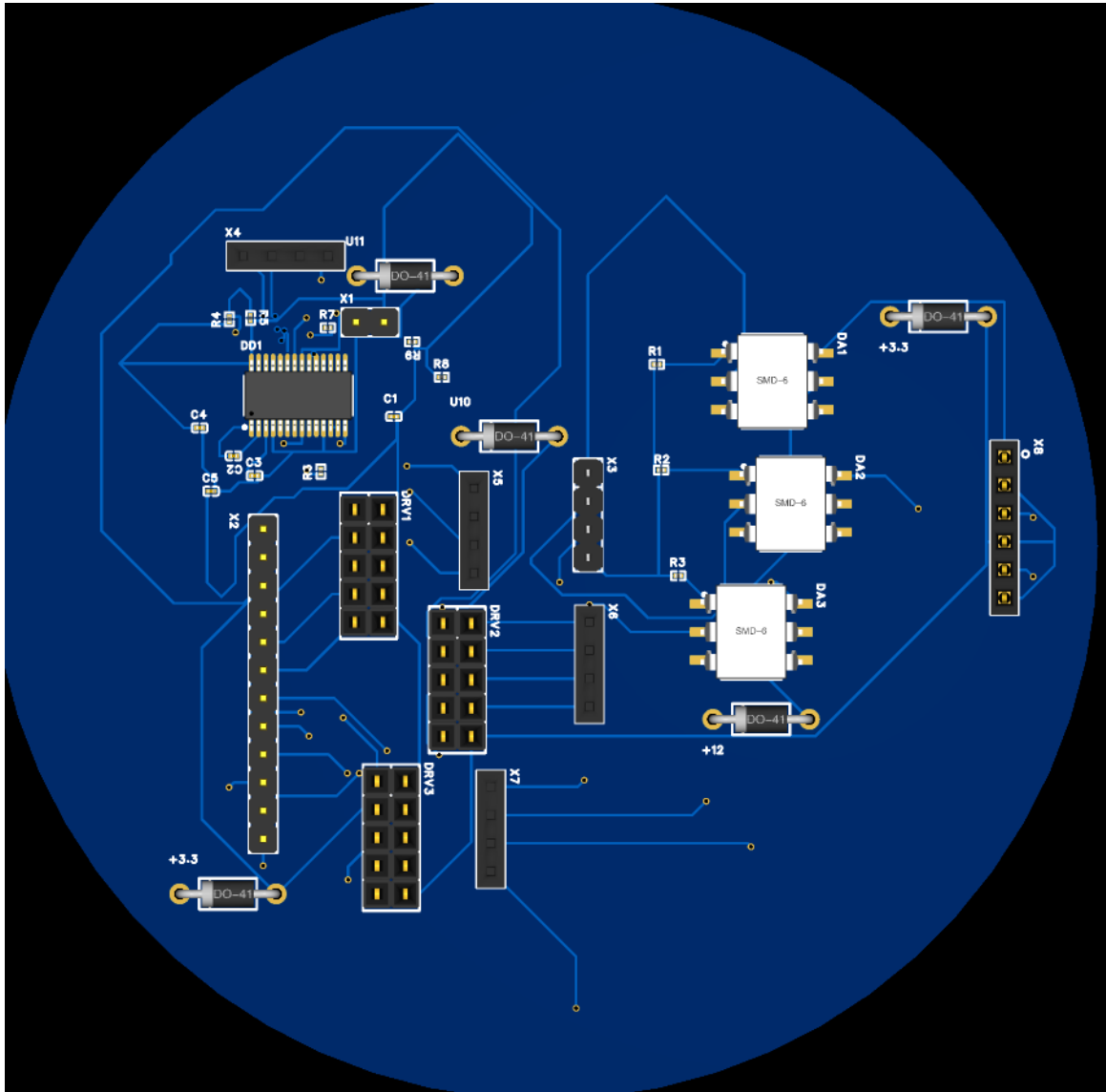


Рисунок 2.8.4 – 3D модель друкованої силової плати з напаяними деталями

Крім того, були розроблені дві схеми: вид зверху (рис. 2.8.5) та вид знизу (рис. 2.8.6), що дають повну інформацію про компоненти та доріжки на платі.

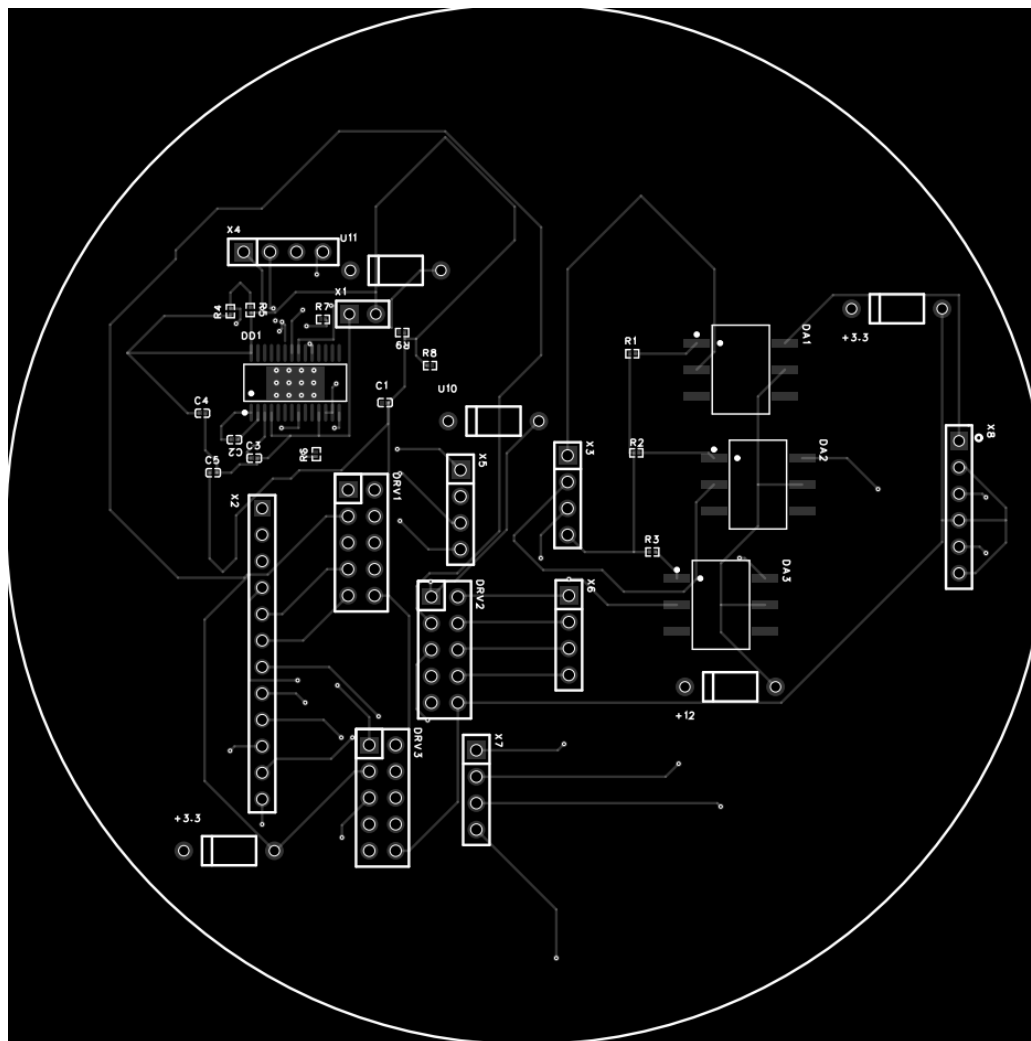


Рисунок 2.8.5 – Вид схеми друкованої силової плати зверху

Нижня частина схеми друкованої плати містить шари міді, які використовуються для створення електричних з'єднань між компонентами на верхній частині та іншими елементами системи, такими як джерела живлення, сигнальні лінії тощо. Ці шари міді з'єднуються за допомогою отворів у платі, що дозволяє електричному струму протікати через відповідні з'єднання. Враховуючи значення схем друкованих плат, розуміння їх верхньої і нижньої структури є важливим для електронного проектування та виробництва.

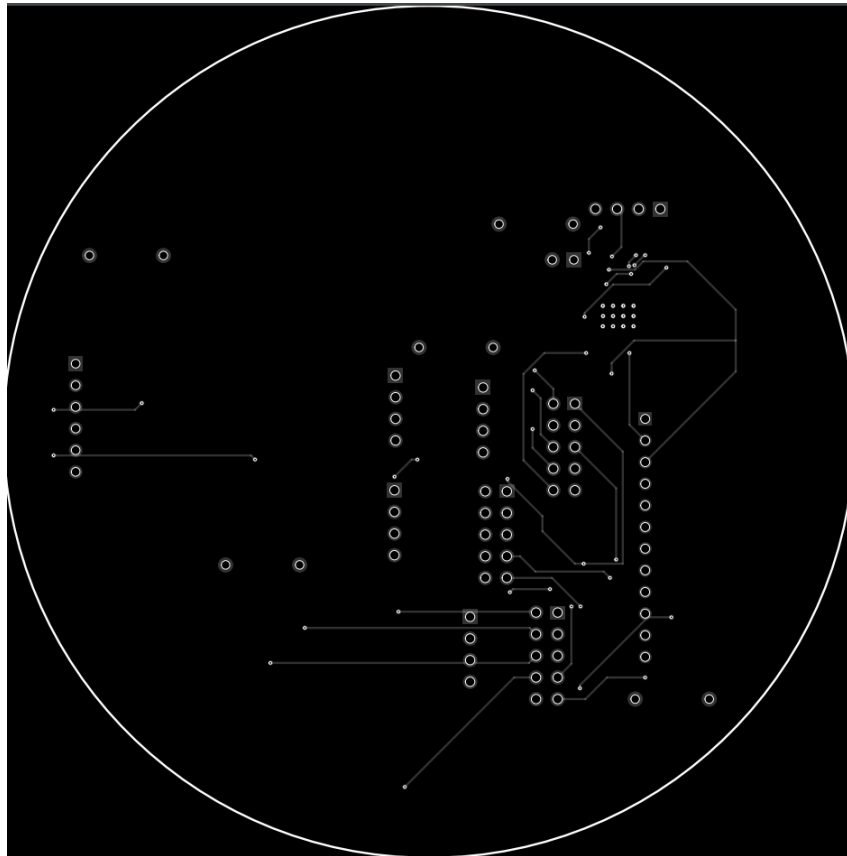


Рисунок 2.8.6 – Вид схеми друкованої силової плати знизу

## 2.9 Опис та розробка протоколу обміну

Обмін між ТПА та постом керування відбувається в асинхронному режимі по транспортному протоколу *UDP*.

Структура команди керування складається з 8 байт даних (рис. 2.9.1).

<i>R</i>	<i>M</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3_</i>	<i>M4_</i>	<i>C</i>
<i>ELAY</i>	<i>_STATE</i>	<i>_SPEED</i>	<i>_SPEED</i>	<i>SPEED</i>	<i>SPEED</i>	<i>RC</i>

Рисунок 2.9.1 – Структура пакету керування

де *RELAY* – байт стану реле системи керування:

- *xx1/0* – ввімкнення/вимкнення лівого світлодіодного світильника;
- *x1/0x* – ввімкнення/вимкнення правого світлодіодного світильника;
- *1/0xx* – ввімкнення/вимкнення резервного реле.

*M\_STATE* – байт стану двигунів (рис. 2.9.2):

– *RX* – напрям обертання двигуна: 0 – проти часової стрілки; 1 – за часовою стрілкою;

– *SX* – старт двигуна: 0 – зупинка двигуна; 1 – старт вигуна.

<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
4	3	2	1	4	3	2	1

Рисунок 2.9.2 – Структура байту *M\_STATE*

де *MX\_SPEED* – швидкість обертання крокового двигуна в діапазоні 0...255.

*CRC* – перевірка контрольної суми складається з 2 байт.

Команда відповіді також складається з 8 байт даних (рис. 2.9.3).

<i>S</i>	<i>M_</i>	<i>M1_</i>	<i>M2_</i>	<i>M3_</i>	<i>M4_</i>	<i>C</i>
<i>TATE</i>	<i>STATE</i>	<i>SPEED</i>	<i>SPEED</i>	<i>SPEED</i>	<i>SPEED</i>	<i>RC</i>

Рисунок 2.9.3 – Структура команди відповіді

*STATE* – байт стану системи керування (рис. 2.9.4):

- *LED1* – ввімкнення/вимкнення лівого світлодіодного світильника;
- *LED2* – ввімкнення/вимкнення правого світлодіодного світильника;
- *RES3* – ввімкнення/вимкнення резервного реле;
- *NC* – не використовується;
- *MxERR* – ввімкнення/вимкнення резервного реле

<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
<i>4ERR</i>	<i>3ERR</i>	<i>2ERR</i>	<i>1ERR</i>	<i>C</i>	<i>ES3</i>	<i>ED2</i>	<i>ED1</i>

Рисунок 2.9.4 – Структура байту *STATE*

*M\_STATE* – байт стану двигунів повторює стан команди керування.



*MX\_SPEED* – поточна швидкість обертання крокового двигуна в діапазоні 0...255.

*CRC* – перевірка контрольної суми складається з 2 байт.

## 2.10 Розробка алгоритмів роботи мікроконтролера

Основною програмою керування мікроконтролером виступає функція *main*. Функція *Init()* включає в себе:

- налаштування портів введення виведення;
- налаштування таймеру 1 на спрацювання інтервалом 1 мс;
- налаштування модулю *PWM*;
- налаштування модулю *SPI*;
- налаштування сокета *UDP*;
- налаштування переривань.

При налаштуванні портів введення/виведення в першу чергу вимикаються всі аналогові виходи та порти *RG6*, *RG10*, *RE4–RE7*, *RD10*, *RD3*, *RD6*, *RE4-RE7* налаштовуються на вхід, а інші на вихід.

Налаштування таймеру починається з встановлення переддільника в значення 256 бітами *TCKPS* значенням 0b11. Потім необхідно розрахувати значення регістра періоду таймера. Значення періоду розраховується за формулою:

$$PREG = \frac{t \cdot F_{osc}}{2 \cdot Pe} = \frac{10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^6}{2 \cdot 256} = 62; \quad (2.10.1)$$

де *t* – час затримки 1 мс;

*F<sub>osc</sub>* – частота кварцового резонатору без *PLL* мікроконтролера 8 мГц;

*Pe* – переддільник значення 256.

Модуль *MCCP* та *SCCP* налаштовується на роботу в асинхронному режимі та режим роботи широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Оскільки період ШІМ необхідно поставити 2 кГц то таймер даного модулю необхідно

налаштувати на спрацювання 0,5 мс. Таким чином в байт  $CCP \times TMRH$  необхідно записати значення:

$$CCP \times TMRH = \frac{t \cdot F_{osc}}{2 \cdot PeCCP} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 32 \cdot 10^6}{2 \cdot 64} = 125; \quad (2.10.2)$$

де  $PeCCP$  – перед дільник модулю  $CCP$  значення 64.

Безпосередньо перед ініціалізацією потрібно відключити інтерфейс SPI шляхом скидання біта SPIEN регістру стану  $SPI1STAT$ .

Оскільки ми будемо окремо змінювати кожний біт конфігурації, те попередньо бажане очистити регістр управління інтерфейсу  $SPI1$ .

У даній конфігурації інтерфейсу ми будемо використовувати чотири сигнальних лінії, які будуть управлятися самим мікроконтролером. Із цієї причини біти  $DISSCK$  і  $DISSDO$  регістру керування  $SPI1CON$  повинні бути скинуті.

Далі в нашому проекті використовується 8 бітний перетворювач інтерфейсів, тому слід указати кількість оброблюваних бітів. Для 8 бітної послідовності даних біт  $MODE16$  регістру керування повинен бути скинутий.

При налаштуванні сонета  $UDP$  необхідно вказати його  $IP$  та  $MAC$  адресу, також номер порту для відправки та прийняття даних.

Потім вмикаються переривання від наступних модулів: приймання даних модулів  $UART$ , переривання від таймера та від сокета.

Функція *Control* забезпечує обробку даних та обмін інформацією між постом керування та системою керування. До складу *Control* входять наступні функції:

- *GetEthData* – бібліотечна функція отримання даних модулю  $UDP$  сокета через інтерфейс  $SPI$ ;
- *PacketBild* – функція обробки прийнятого пакету та формування пакету відповіді;

– *SendEthData* – бібліотечна функція відправлення даних модулю *UDP* сокета через інтерфейс *SPI*;

– *SetMotorSpeed* – встановлює задане значення в модулі *PWM*, що відповідає за швидкість зміни кроку двигуна;

– *SetState* – встановлюється напрям обертання двигуна, оброблюється команда зупинки та старту двигуна та вмикаються реле .

*SetMotorSpeed* – функція задачами якої є перерахунок заданого сигналу з 8 бітного режиму в 10 бітний та запис її в відповідний регістр.

Алгоритм функції *SetState* передбачає не тільки встановлення напрямку обертання двигунів, а й контроль крайніх положень маніпулятора.

Основною задачею алгоритму є запуск двигуна причини відмови запуску або зупинки двигуна можуть бути наступні:

- команда зупинки від оператора;
- спрацювання помилки на драйвері двигуна;
- рух двигуна в напрямку в якому спрацював кінцевий вимикач.

Обробка переривань таймеру складається з декількох лічильників при переповненні яких встановлює певні біти подій:

– *cLed* – період мигання світлодіода, що сигналізує безперебійну роботу мікроконтроллера, період мигання світлодіода становить 1 с;

– *USPTime* – лічильник часу між пакетами відправлення даних, період якого складає 100 мс.

### **Висновки до другого розділу**

У цих розділах було проведено детальне дослідження та розробку різних аспектів технологічного підводного апарата проекту "Бриз". Була описана структура прив'язної підводної системи, що включає різноманітні компоненти та підсистеми. Була надана загальна характеристика технологічного підводного апарата проекту "Бриз", включаючи його основні параметри та можливості.

Далі, було проведено розробку системи керування маніпулятором підводного апарата, включаючи розробку структури системи керування та опис ескізної 3D моделі конструкції маніпулятора. Були вибрані та описані складові компоненти автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом.

Крім того, була розроблена блок-схема автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом з маніпуляційним пристроєм, а також електрично-принципові схеми. Було розроблено друковані плати для автоматизованої системи керування маніпулятором технологічного підводного апарата.

Для забезпечення комунікації та обміну даними було розроблено та описано протокол обміну. Крім того, було проведено розробку алгоритмів роботи мікроконтролера, які використовуються для керування технологічним підводним апаратом та його маніпуляційним пристроєм.

Усі ці розробки спрямовані на вдосконалення технологічного підводного апарата та його системи керування, що дозволить виконувати різноманітні підводно-технічні роботи з високою ефективністю та точністю.

## ВИСНОВКИ

В результаті розробки системи автоматизованого керування технологічного підводного апарата отримано наступні висновки:

1. Проведений аналіз потреб та особливостей роботи підводного апарата, що підтверджує актуальність розробки системи автоматизованого керування. Система дозволить підвищити ефективність та точність виконання завдань, знизити витрати людських ресурсів та ризики.

2. Обрана конфігурація маніпулятора, враховуючи особливості його роботи, сприяє оптимізації рухів та забезпечує потрібну маневреність. Використання ефективних кінематичних параметрів дозволяє забезпечити точність та стабільність роботи маніпулятора.

3. Розроблена система автоматизованого керування включає комплексну модель динаміки механізму, що дозволяє враховувати вплив різних факторів на рухи маніпулятора. Це дозволяє досягти більш точного та стабільного керування, покращує безпеку та надійність роботи підводного апарата.

4. Проведена теоретична оцінка системи, яка підтверджує її ефективність та відповідність поставленим вимогам. Результати демонструють високу точність і швидкість реакції системи на зміни вхідних параметрів та команд.

5. Врахування специфіки роботи та характеристик навколишнього середовища, де здійснюється керування маніпулятором, дозволяє забезпечити безпечність та надійність роботи системи.

В цілому, розроблена система автоматизованого керування маніпулятором підводного апарата відповідає поставленим вимогам, забезпечує високу точність, ефективність та безпеку роботи. Її впровадження може позитивно вплинути на різні сфери використання підводних апаратів, такі як наукові дослідження, океанографія, рятувальні операції та інші.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. "Underwater Robotics: Science, Design, and Fabrication" - Richard Lane.
2. "Subsea Engineering Handbook" - Bjørn Åstrand, Knut A. Lefstad, Cornelius Schmitz-Linneweber.
3. "Introduction to Autonomous Robots: Mechanisms, Sensors, Actuators, and Algorithms" - Nikola Pinzoli, Matteo Matteucci.
4. "Underwater Robotics: From Design to Implementation" - Gianluca Antonelli, Ivo Almeida, João Almeida.
5. "Introduction to Marine Robotics: Underwater Robots, Vehicles, and Other Technologies" - Saeed B. Niku.
6. "Underwater Robotics: Techniques and Applications" - Gianluca Antonelli.
7. <http://www.hydro-lek.com/manipulators.php> (дата звернення: 20.11.22)
8. "Underwater Robotics: Science, Design and Fabrication" - Martin F. Galloway.
9. "Marine Robotics and Applications" - Stefan Williams, Jonathan Roberts.
10. "Introduction to Autonomous Robots: Mechanisms, Sensors, Actuators, and Algorithms" - Nikolaus Correll, Bradley Hayes, Springer.
11. "Underwater Robotics: Science, Design, and Fabrication" - автори: Benjamin M. Groves, Ferial El-Hawary.
12. "Ocean Engineering Handbook" - редагована М.М. Bernitsas.
13. "Introduction to Marine Engineering" - автор: D.A. Taylor.
14. "Underwater Robotics: Science, Design, and Fabrication" - автор Річард Лоупіс-Ібарра (Richard Lopez-Iborra).

15. "Design and Control of Underwater Manipulator Systems: A Review"  
- автори С. Нікпай (S. Nikpay), М. Махмуді (M. Mahmudi), М. Расти (M. Rasti).
16. "Development of an Underwater Manipulator System for Subsea Operations" - автори А. Сміт (A. Smith), Д. Джонсон (D. Johnson), К. Вільямс (K. Williams).
17. "Introduction to Solid Modeling Using SolidWorks" - William E. Marti.
18. "Design and Simulation of Underwater Manipulator System using 3D Modeling Software" - Lee S. Chou, Kevin R. Harvey, Emily J. McKenna.
19. "Development and Analysis of 3D Model for Underwater Manipulator"  
- James Smith, Robert Jones, Sarah Davis.
20. <https://www.onshape.com/en/> (дата звернення 19.11.22)
21. <https://easyeda.com> (дата звернення 18.11.22)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРСЬКА

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ**

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ

151 – КРБ. – 471.21917112

*Студент*

\_\_\_\_\_ Є.В. Романов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Консультант** кандидат техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ А.О. Алексеєва  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Миколаїв – 2023** Миколаїв 2023



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП .....	4
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА .....	5
3.4. Використання автоматизованої системи для зниження ризиків для працівників.....	9
3.5. Підготовка персоналу та навчання з питань безпеки .....	10
3.6 Контроль та аналіз безпеки роботи .....	11
ВИСНОВКИ.....	12
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	14

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

ОП	–	охорона праці
ТПА	–	технологічний підводний апарат
АСК	–	автоматизована система керування
РМ	–	робоче місце
БЗ	–	безпека праці

## ВСТУП

Охорона праці є невід'ємною складовою роботи з розробки "Автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом". Основною метою охорони праці є запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням під час експлуатації підводних апаратів та взаємодії з ними.

У даному розділі будуть розглянуті питання організації охорони праці при розробці технологічного підводного апарата, використання автоматизованої системи для зниження ризиків для працівників, підготовки персоналу та навчання з питань безпеки, контролю та аналізу безпеки роботи.

Результати проведеного дослідження та рекомендації щодо забезпечення безпеки праці будуть представлені з метою покращення умов праці та запобігання можливим негативним наслідкам для працівників.

## **3 ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА**

### **3.1 Загальні вимоги до охорони праці**

ОП є невід'ємною частиною розробки технологічного підводного апарата. Загальні вимоги до охорони праці включають в себе створення безпечного робочого середовища, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Для досягнення цих цілей необхідно враховувати наступні аспекти [1]:

- Розробка технічних вимог і стандартів безпеки для конструкції та експлуатації підводного апарата;
- визначення нормативних вимог до умов праці, включаючи температурний режим, вологості, освітленість тощо;
- забезпечення належного устаткування та інструментів для роботи, що відповідають нормам безпеки;
- розробка та впровадження процедур і правил, спрямованих на запобігання нещасним випадкам і аваріям;
- організація системи контролю за дотриманням вимог безпеки праці та вжиття необхідних заходів у разі виявлення порушень.

Загальні вимоги до охорони праці в контексті розробки автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом є критичними для забезпечення безпеки працівників. Ці вимоги мають на меті забезпечити належні умови праці, запобігти можливим ризикам та нещасним випадкам, а також забезпечити дотримання відповідних норм, стандартів та правил охорони праці.

Однією з ключових вимог є управління ризиками. Під час розробки автоматизованої системи керування підводним апаратом необхідно ідентифікувати потенційні ризики, оцінити їх ймовірність та наслідки, а також розробити та впровадити відповідні заходи для зменшення ризику до прийняттого рівня.

Організація безпечного робочого середовища є ще однією важливою вимогою. Для забезпечення безпеки працівників підводного апарату необхідно створити таке робоче середовище, де мінімізовані потенційні загрози для здоров'я і життя людей. Це може включати регулярну перевірку та обслуговування обладнання, забезпечення належного освітлення та вентиляції, а також впровадження ефективних систем попередження пожеж та евакуації.

Додатковою вимогою є використання відповідних норм та стандартів безпеки. Під час розробки автоматизованої системи керування підводним апаратом слід дотримуватися національних та міжнародних стандартів, які регулюють безпеку праці. Це включає в себе дотримання вимог щодо конструкції та безпеки обладнання, використання безпечних матеріалів та технологій, а також надання необхідних інструкцій та навчання персоналу з питань охорони праці.

Усі ці загальні вимоги до охорони праці мають на меті забезпечити безпеку працівників та зменшити ризики, пов'язані з розробкою та експлуатацією автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом. Дотримання цих вимог є важливим етапом у створенні безпечного робочого середовища та запобіганні можливим нещасним випадкам.

### **3.2 Аналіз ризиків та визначення заходів безпеки**

Аналіз ризиків є важливим етапом у визначенні заходів безпеки під час розробки технологічного підводного апарата. Під час аналізу необхідно виявити потенційні небезпеки та оцінити ймовірність їх виникнення та наслідки. Після цього визначаються заходи безпеки, спрямовані на зменшення ризику та запобігання нещасним випадкам. Деякі з них можуть включати [2]:

- усунення або зниження небезпечних факторів шляхом впровадження технічних рішень (наприклад, застосування захисних систем або інженерних засобів);

- розробка стандартів та процедур безпеки, які враховують потенційні небезпеки та передбачають дії працівників у випадку аварійних ситуацій;
- проведення регулярного навчання та тренінгів з питань безпеки для персоналу, щоб забезпечити свідоме та правильне виконання роботи в умовах, що можуть бути небезпечними.

Першим кроком в аналізі ризиків є ідентифікація потенційних небезпек та загроз, пов'язаних з роботою з автоматизованою системою керування. Це можуть бути фізичні ризики, такі як травми при роботі з обладнанням, або психологічні ризики, пов'язані з високим рівнем стресу або монотонною роботою. Для ідентифікації ризиків можна використовувати методи, такі як аналіз причинно-наслідкових зв'язків, експертні оцінки та досвід попередніх проектів.

Після ідентифікації ризиків необхідно оцінити їх ймовірність та наслідки. Це допоможе визначити, які ризики є найбільш значущими та потенційно небезпечними. Оцінка ризиків може включати в себе врахування таких факторів, як імовірність виникнення небезпеки, потенційний вплив на здоров'я та безпеку працівників, а також можливі наслідки для оточуючого середовища.

На основі оцінки ризиків необхідно розробити та впровадити відповідні заходи безпеки для зменшення ризиків до прийняттого рівня. Це можуть бути технічні заходи, такі як використання захисних систем або покращення конструкції обладнання, а також організаційні заходи, такі як розробка протоколів та процедур безпеки, навчання персоналу та встановлення відповідних правил та обмежень.

Важливим аспектом аналізу ризиків є постійний моніторинг та оновлення заходів безпеки залежно від змінних умов роботи та нових ризиків, що можуть виникнути. Регулярний аналіз ризиків дозволяє забезпечити постійну безпеку праці та вчасно реагувати на можливі загрози.

### 3.3 Організація безпечного робочого середовища

Організація безпечного робочого середовища має на меті забезпечити оптимальні умови праці для працівників, уникнення фізичного та психологічного перевантаження, а також запобігання професійним захворюванням. Деякі аспекти, які варто розглянути в цьому підрозділі, включають [3]:

- раціональне планування робочих місць та організація робочого простору з урахуванням безпеки та зручності працівників;
- забезпечення належного освітлення, вентиляції та комфортних умов роботи;
- розробка та виконання заходів щодо профілактики професійних захворювань, включаючи контроль за шкідливими речовинами та фізичними чинниками.

Першим кроком у організації безпечного робочого середовища є ідентифікація потенційних небезпек та факторів ризику, які можуть вплинути на здоров'я та безпеку працівників. Це можуть бути фізичні фактори, такі як шум, вібрація, радіація або небезпечні речовини, а також психосоціальні фактори, такі як стрес, перевантаження або недостатній рівень комунікації. Ідентифікація цих факторів дозволяє визначити пріоритетність та розробити відповідні заходи безпеки.

Організаційні заходи, такі як розробка політики охорони праці, встановлення процедур та правил безпеки, розподіл відповідальності та обов'язків, графіки відпочинку та роботи, є важливою складовою організації безпечного робочого середовища. Вони створюють систему управління безпекою, яка дозволяє контролювати та координувати дії працівників та забезпечувати їх безпеку.

Крім організаційних заходів, технічні заходи також грають важливу роль у створенні безпечного робочого середовища. Це можуть бути використання

захисного обладнання, ізоляція небезпечних ділянок, автоматичні системи безпеки, які контролюють та реагують на потенційні небезпеки, а також правильне проектування робочих місць та обладнання з урахуванням безпеки.

Однак, безпечне робоче середовище також вимагає активної участі працівників. Залучення працівників до процесу прийняття рішень щодо безпеки, проведення навчань та тренінгів, а також створення механізмів зворотного зв'язку та звітності підвищує свідомість та відповідальність працівників щодо власної безпеки та безпеки оточуючих.

### **3.4. Використання автоматизованої системи для зниження ризиків для працівників**

#### **3.4.1 Автоматизація робочих процесів**

Автоматизація робочих процесів є ефективним способом зниження ризиків для працівників при роботі з технологічним підводним апаратом. Це передбачає використання автоматичних систем та роботів для виконання рутинних або небезпечних завдань. Деякі переваги автоматизації робочих процесів включають [4]:

- зменшення впливу людського фактору на робочі процеси та, відповідно, ризику помилок або нещасних випадків;
- збільшення точності та швидкості виконання завдань;
- можливість виконання роботи у важкодоступних або небезпечних умовах, де працівникам загрожує ризик для життя та здоров'я.

#### **3.4.2 Застосування датчиків та систем моніторингу**

Застосування датчиків та систем моніторингу є важливим аспектом забезпечення безпеки працівників під час роботи з технологічним підводним апаратом. Це дозволяє виявляти небезпечні умови або несправності та вживати вчасних заходів для їх усунення. Деякі приклади використання датчиків та систем моніторингу включають [5]:



- датчики виявлення рівня кисню, шкідливих речовин або радіації для забезпечення безпеки працівників у небезпечних середовищах;
- системи моніторингу тиску, температури та інших параметрів для виявлення несправностей або небезпеки в робочому процесі.

### **3.4.3 Заходи безпеки при роботі з автоматизованою системою**

При роботі з автоматизованою системою необхідно вживати певні заходи безпеки для забезпечення безпеки працівників. Деякі з них можуть включати [6]:

- належне навчання та підготовка персоналу з питань роботи з автоматизованою системою;
- розробка інструкцій з експлуатації та безпеки для користувачів автоматизованої системи;
- забезпечення резервного живлення та заходів безпеки для запобігання аварійній зупинці або несправності автоматизованої системи.

## **3.5. Підготовка персоналу та навчання з питань безпеки**

### **3.5.1 Освіта та кваліфікація персоналу**

Освіта та кваліфікація персоналу є ключовими аспектами забезпечення безпеки праці в розробці технологічного підводного апарата. Персонал повинен мати належні знання, навички та кваліфікацію для безпечного виконання своїх обов'язків. Деякі важливі пункти включають [7]:

- забезпечення належного рівня освіти та фахової підготовки персоналу, включаючи технічні знання та розуміння безпекових процедур;
- встановлення системи оцінки та підтримки кваліфікації персоналу, включаючи періодичне оновлення знань та навичок.

### **3.5.2 Тренінги та навчання з питань охорони праці**

Регулярні тренінги та навчання з питань охорони праці є важливими для підготовки персоналу до роботи з технологічним підводним апаратом. Деякі аспекти тренінгів та навчання можуть включати [8]:

- навчання персоналу про правила безпеки, процедури екстреної реакції та використання захисного обладнання;
- симуляційні тренування та практичні вправи для ознайомлення з реальними ситуаціями та виконання необхідних дій в них.

### **3.6 Контроль та аналіз безпеки роботи**

#### **3.6.1 Системи контролю та моніторингу**

Системи контролю та моніторингу використовуються для постійного відстеження безпеки роботи під час розробки технологічного підводного апарата. Деякі аспекти систем контролю та моніторингу включають [9]:

- використання датчиків та систем моніторингу для виявлення небезпечних умов або несправностей у робочому процесі;
- реєстрація та аналіз даних з моніторингових систем для виявлення тенденцій та покращення безпеки роботи.

#### **3.6.2 Аналіз нещасних випадків та заходи щодо їх запобігання**

Аналіз нещасних випадків та заходи щодо їх запобігання є важливими етапами забезпечення безпеки праці в розробці технологічного підводного апарата. Деякі аспекти включають [9]:

- вивчення причин та обставин нещасних випадків з метою вжиття заходів для їх запобігання у майбутньому;
- вдосконалення безпекових процедур та робочих інструкцій на основі отриманих відомостей;
- систематичний контроль та аудит безпеки роботи для забезпечення постійного вдосконалення процесів та заходів безпеки.

## ВИСНОВКИ

Організація охорони праці в розробці технологічного підводного апарата є невід'ємною частиною процесу. Вона передбачає встановлення загальних вимог до охорони праці, аналіз ризиків та визначення заходів безпеки, а також організацію безпечного робочого середовища.

Використання автоматизованої системи керування технологічним підводним апаратом дозволяє знизити ризики для працівників шляхом автоматизації робочих процесів, застосування датчиків та систем моніторингу, а також впровадження заходів безпеки.

Важливо підготувати персонал та надати їм належну освіту та кваліфікацію, а також проводити тренінги з питань охорони праці. Це допомагає забезпечити правильне розуміння безпекових процедур та дієве виконання роботи.

Контроль та аналіз безпеки роботи є важливою складовою охорони праці. Встановлення систем контролю та моніторингу, а також аналіз нещасних випадків допомагають виявляти потенційні проблеми та вживати необхідні заходи для поліпшення безпеки роботи.

Забезпечення безпечного робочого середовища та дотримання вимог охорони праці є важливими факторами для успішної розробки технологічного підводного апарата. Це включає правильне організування робочого простору, використання захисного обладнання та створення належних умов для роботи.

Загальною метою охорони праці є забезпечення безпеки працівників та запобігання можливим аваріям та нещасним випадкам. Впровадження відповідних заходів безпеки та систем контролю допомагає забезпечити безпеку роботи і успішне виконання завдань з розробки технологічного підводного апарата.

Враховуючи ці висновки, важливо пам'ятати, що ОП є невід'ємною складовою будь-якої розробки ТПА. Правильне впровадження заходів безпеки

151 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології»  
Автоматизована система транспортування вантажів в зоні ускладненого проходження

та систем контролю допоможе забезпечити безпеку працівників і успішне виконання завдань з розробки ТПА.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Kohn, James & Friend, Mark & Winterberger, Celeste. (2023). Fundamentals of Occupational Safety and Health / J.P. Kohn, M.A. Friend, C.A. Winterberger.
2. Hughes, Phil & Ferrett, Ed. (2020). Introduction to Health and Safety at Work: for the NEBOSH National General Certificate in Occupational Health and Safety.
3. Brauer, Roger. (2006). The Importance of Safety and Health for Engineers.
4. Gardiner, K. & Harrington, J.M.. (2008). Occupational Hygiene.
5. Goetsch, David. (2023). Occupational Safety and Health for Technologist, Engineers, and Managers / D.L. Goetsch.
6. Конвенція Міжнародної організації праці (МОП) № 155 "Про безпеку та охорону здоров'я праці" (1981 рік). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993\\_050](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_050) (дата звернення 17.05.2023).
7. Методичні рекомендації з організації охорони праці на підприємствах. Київ: Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2008. URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/80307\\_80307](https://zakononline.com.ua/documents/show/80307_80307) (дата звернення 19.05.2023).
8. Технічний регламент про безпечність судноплавства. Міністерство інфраструктури України. URL: [http://www.mtu.gov.ua/files/Bezpeka/Reestr/2020\\_12%2030\\_TR\\_Bezpeka\\_sudnoplavstva\\_v2\\_3.pdf](http://www.mtu.gov.ua/files/Bezpeka/Reestr/2020_12%2030_TR_Bezpeka_sudnoplavstva_v2_3.pdf) (дата звернення 18.05.2023).