

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТБАЕВА»



Институт Автоматики и информационных технологий  
Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

Земцов Владислав Игорьевич

«Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

Специальность 6В07113 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2025 г.

---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»



Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматизации

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой РТиТСА  
кандидат технических наук,  
профессор  
  
Ожикенов К. А.  
« 05 » 06 2025 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

На тему: «Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым  
подводным аппаратом»

6В07113 – Робототехника и мехатроника

Выполнил

Земцов Владислав Игоревич

Рецензент

Научный руководитель

PhD, ассоциированный профессор

Магистр технических наук

  
Муратов Мухит Мухаметнурулы

  
Кальменов Ермухамед

Тынысбекұлы

« 30 » май 2025 г.

« 30 » май 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»4



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Робототехники и технических средств автоматки

6B07111 – Робототехника и мехатроника

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой РТиТСА  
канд.тех.наук, профессор

Ожикенов К. А.

« 21 » 06 2025 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающегося: Земцов Владислав Игоревич

Тема: Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом

№ <u>521-П/0</u>	<u>13.11 2024</u>
Срок сдачи законченного проекта	<u>« 24 » мая</u> 2025 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Visual Studio Code, Arduino IDE.

Теоретические материалы по BLDC моторам Теоретические материалы по YOLOv5

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- разработка алгоритма управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом;
- разработка принципиальной схемы пульта управления Телеуправляемого необитаемого подводного аппарата;
- сборка прототипа: системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Таблицы: 3

Рисунки: 33

Представлены слайдов презентации работы \_\_\_\_\_

Рекомендуемая основная литература: из 22 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Анализ и исследование системы управления ТНПА	12.02	 выполнено
Разработка схемы управления и алгоритмов управления ТНПА	15.03	выполнено
Проектирование и выбор компонентов системы управления ТНПА	11.04	выполнено
Сборка прототипа ТНПА и системы управления ТНПА	10.05	выполнено

**Подписи**

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект)с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Кальменов Е.Т.	02.06.2025	
Исследовательская часть	Кальменов Е.Т.	02.06.2025	
Теоретическая часть и расчеты	Кальменов Е.Т.	02.06.2025	
Сборка ТНПА и системы управления ТНПА	Кальменов Е.Т.	02.06.2025	

Научный руководитель:  Кальменов Е.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся:  Земцов В.И.

Дата

«02» 06 2025

## АНДАПТА

Бұл дипломдық жұмыс су астындағы ортада әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін теледидармен басқарылатын адам тұрмайтын суасты аппараттарын басқару жүйесін әзірлеуге арналған. Жоба микроконтроллерді қолдана отырып басқаруды жүзеге асырады Arduino ол екі BLDC қозғалтқыштарын басқарады. Датчиктер ретінде 3 осьтік акселерометр және 3 осьтік MPU6050 гироскопы және апаттық су сенсоры ол басқару блогындағы судың ағып кетуін бекітеді. Басқару аналогтық джойстик, дисплей және индикаторлық түймелері бар сымды қашықтан басқару пульті арқылы жүзеге асырылады, бұл нақты уақыт режимінде интуитивті және қарапайым қолмен басқаруды қамтамасыз етеді. Соңғы кезең компьютерлік көруді біріктіру болды. Жүйенің автономиясын арттыру үшін су астындағы құбырларды анықтауға және олардың зақымдалуына арналған YOLOv5 негізіндегі модель оқытылды.

## АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена разработки системы управление телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом для выполнения различных задач в подводной среде. В проекте реализовано управление с использованием микроконтроллера Arduino который управляет двумя BLDC моторами. В качестве датчиков стоит 3-х осевого акселерометра и 3-х осевой гироскоп MPU6050 и аварийный Water Sensor который фиксирует протечку воды в блоке управления. Управление осуществляется с помощью проводного пульта с аналоговым джойстиком, дисплеем и кнопками с индикацией, обеспечивающие интуитивное и простое ручное управление в реальном времени. Завершающим этапом стала интеграция компьютерного зрения. Для повышения автономности системы была обучена модель на базе YOLOv5, предназначенная для обнаружения подводных труб и их повреждения.

## ANNOTATION

This diplom project is devoted to the development of a remote-controlled uninhabited underwater vehicle control system for performing various tasks in an underwater environment. The project implements control using an Arduino microcontroller that controls two BLDC motors. The sensors are a 3-axis accelerometer and an MPU6050 3-axis gyroscope and an emergency Water Sensor that detects water leaks in the control unit. The control is carried out using a wired remote control with an analog joystick, a display and buttons with indication, providing intuitive and simple manual control in real time. The final stage was the integration of computer vision. To increase the system's autonomy, a YOLOv5-based model was trained to detect underwater pipes and damage them.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Исследовательская часть	6
1.1 Актуальность проекта	6
1.2 Виды подводных роботов	6
1.3 Обзор существующих решений	7
1.4 Существующие решения для создание подводной робототехники	9
2 Теоретическая часть	12
2.1 Компоненты подводного робота	12
2.2 Принципиальная схема подводного робота	13
2.3 Принцип управление подводным роботом.	13
2.4 Принцип работы и управления BLDC двигателями	14
2.5 Стабилизация и ориентация	16
2.6 Условия плавучести подводного аппарата	17
2.7 Гидростатическое давление и подводная среда	19
2.8 Компьютерное зрение и использование нейросети YOLOv5	20
2.9 Безопасность и отказоустойчивость	21
2.10 Алгоритм управления подводного робота	22
3 Сборка ТНПА и пульта управления для ТНПА	23
3.1 Финансовый расчет	23
3.2 Обучение и использование модели YOLOv5	23
3.2 Разработка пульта управление и корпуса подводного робота	25
3.3 Разработка прототипа подводного робота	29
Заключение	32
Глоссарий	33
Список использованной литературы	34
Приложение А	35

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие технологий в области робототехники так же затрагивает и подводную робототехнику. Что открывает возможности для исследования, мониторинга и выполнения технических задач в морской среде. Особенно важную роль в этом направлении играют ТНПА, которые способны выполнять непосильные людям задачи.

Разработка системы управления ТНПА, представляет собой довольно сложную задачу, которая включает в себя несколько частей. Аппаратную часть – датчики, двигатели и микроконтроллеры. Программную часть – искусственный интеллект, интерфейс оператора для взаимодействия с роботом. А так же прочный, гидроизолированный корпус для защиты всей электроники.

Целью данной дипломной работы — разработка и реализация прототипа системы управления ТНПА, которое будет обеспечивать простое управление роботом в реальном времени и разработку самого ТНПА для тестирования управления которое может собрать каждый. В рамках проекта использованы современные аппаратные и программные решения, включая микроконтроллеры Arduino, сенсорные модули, IMU, камеры и машинное зрение на базе YOLOv5.

## 1. Исследовательская часть

### 1.1 Актуальность проекта

Актуальность подводной робототехники связано с несколькими факторами, такими как экономика, безопасность и наука. Подводные роботы широко используются в нефтегазовом секторе, а именно в буровых платформах, прокладки трубопроводов, поиск месторождений, мониторинг и ремонт инфраструктуры. Экологический мониторинг – сбор данных о состоянии подводной экосистемы. Обеспечение безопасности – военная промышленности, охрана, поиск и спасение утопающих или затонувших объектов. Научные исследования – составление картографии, сбор и исследования подводного мирах[22]

### 1.2 Виды подводных роботов

ROV – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат изображенный на рисунке 1. Управляется оператором с судна, с помощью джойстика. Минимальное оснащение – камера оператора, видеокамера для записи и освещение. Дополнительное оснащение – различные датчики, измерительные приборы и манипуляторы для выполнения задач. Управлению и передача данных осуществляется по проводу, благодаря этому данные и сигналы доходят практически моментально.[1]



Рисунок 1 – Подводный дрон ROV[1]

AUV – беспилотный подводный аппарата изображенный на рисунке 2. В отличие от ROV, которые привязаны к судну, не имеют связи с оператором. Вместо этого AUV программируются заранее или операторы задают им программу на судне. Данные записываются и передаются после всплытия робота. Минимальное оснащение – камера, видеокамера, освещение и блок с компьютером. Дополнительное оснащение – различные датчики, измерительный приборы, манипулятор и дополнительные инструменты для выполнение автономных задач.[2]



Рисунок 2 – Подводный дрон AUV[2]

### 1.3 Обзор существующих решений



Рисунок 3 – Подводный дрон Chasing M2 ROV[5]

Chasing M2 ROV — это профессиональный подводный дрон. Предназначен для подводных съемок, инспекций, исследований, а также активно используется в коммерческих и научных целях. Управление осуществляется через пульт и приложение, передача данных по кабелю[5]

Преимущество

- Обладает высокой манёвренностью,
- оснащён 4K-камерой,
- двумя яркими прожекторами
- возможность установки дополнительного оборудования: манипулятор и лазерный измеритель

Недостатки

- Закрытое ПО, свой пульт, управление через Wifi.
- Цена



Рисунок 4 – Подводный дрон BlueROV2[4]

BlueROV2 от американской компании Blue Robotics. Модульный и настраиваемый дрон с открытым исходным кодом, очень популярен в научных кругах. Глубина погружения — до 100 метров. Управление осуществляется с помощью Raspberry Pi и Pixhawk, обеспечивая гибкость программной архитектуры.[4]

Преимущество:

- Гибкость и открытая архитектура
- Поддержка установки ИИ и алгоритмов через ROS
- Надёжная конструкция
- Подходит для кастомизации

Недостатки:

- Требуется технической подготовки



Рисунок 5 – Подводный дрон GNOM[3]

GNOM Один из самых распространённых российских подводных дронов малых размеров. Активно используется в Казахстане — в рыбных хозяйствах, энергетике и промышленности. Простой в эксплуатации и обслуживании, предназначен для осмотра объектов под водой. Управление включает в себя интерфейс оператора и управляется вручную с помощью пульта [3]

Преимущество:

- Простота в использовании
- Надёжность в суровых условиях
- Компактность и лёгкость
- Применение в реальных промышленных задачах

Недостатки:

- Низкое качество изображения по сравнению с зарубежными
- Нет интеллектуальных функций

В таблице 1.1 приведены технические характеристики вышеуказанных роботов.

Таблица 1.1 – сравнение технических характеристик

Модель робота	Chasing M2 ROV	BlueROV2	Супер GNOM
Изображения			
Время работы аккумулятора	2-4 часа	2-4 часов	2-4 часа
Максимальная глубина	100 метров	100-300 метров	150
Максимальная скорость	3 узла	3 узла	3 узла
Наличие искусственного интеллекта	Нет	Возможность встраивания	Нет
Управление	Закрытое ПО, свой пульт, управление через Wifi.	ROS, MAVLink, Python API. Raspberry Pi и Pixhawk	Чаще всего проводное управление через джойстик, аналоговое или цифровое.
Вес	4,5 кг	10-12 кг	5-30кг

#### 1.4 Существующие решение для создания системы управление подводными роботами

Существуют множество программных сред для создания и моделирования системы управление телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом.

ROS (Robot Operating System) – это набор библиотек и инструментов, упрощает создание сложных робототехнических систем. Основные языки программирование Python и C++. Инструменты для визуализации Rviz и Gazebo

DAVE Aquatic Virtual Environment (DAVE) – это среда моделирования для быстрого тестирования и оценки подводных решений в робототехнику. Среда построена на основе существующих инфраструктур ROS и Gazebo, в частности, UUV Simulator. Используется для моделирование и тестирование системы управления[19]

UUV Simulator – это пакет, содержит реализацию плагинов Gazebo и узлов ROS необходимым для моделирование ROV и AUV[18]

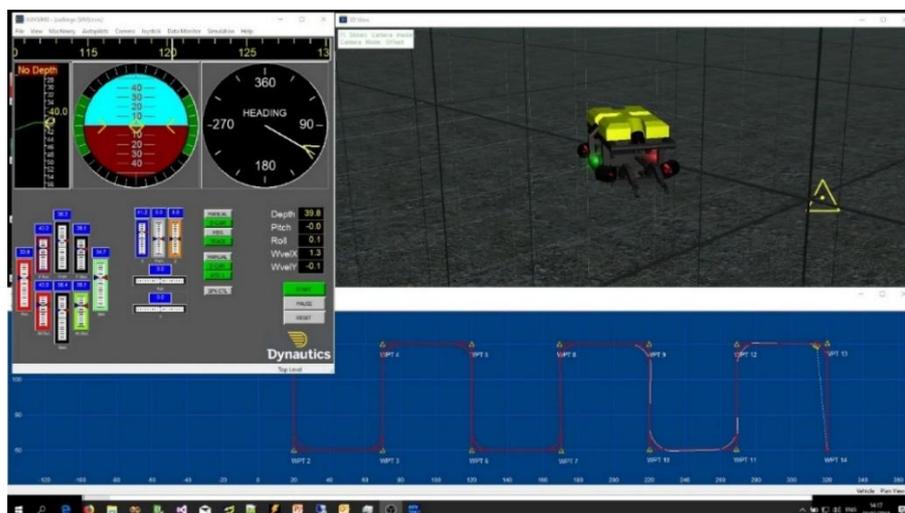


Рисунок 6 – Симуляция в UUV simulator[18]

Visual Studio Code – редактор исходного кода, разработанный Microsoft для Windows, Linux и macOS. Легкий и кроссплатформенный редактор кода для разработки. Поддерживается множество библиотек и микроконтроллеров Упрощает разработку сложных проектов.

Unav Sim – симулятор подводной робототехники с открытым исходным кодом который использует возможности Unreal Engine 5 и AirSim. Может использоваться для моделирование и симуляции будущей системы управление с использование искусственного интеллекта [20]



Рисунок 7 – Симуляция в Unav Sim

Arduino IDE – популярная среда программирования для Arduino, STM32, ESP32 и других микроконтроллеров. Имеется быстрый доступ к различным библиотекам и инструментам для разработки.

EasyEDA – кроссплатформенная среда проектирования электроники. Включает в себя редактор печатных плат, SPICE-симулятор и множество других функций.

UwSim – инструмент для визуализации подводных сценариев для исследования и разработок в области морской робототехники.

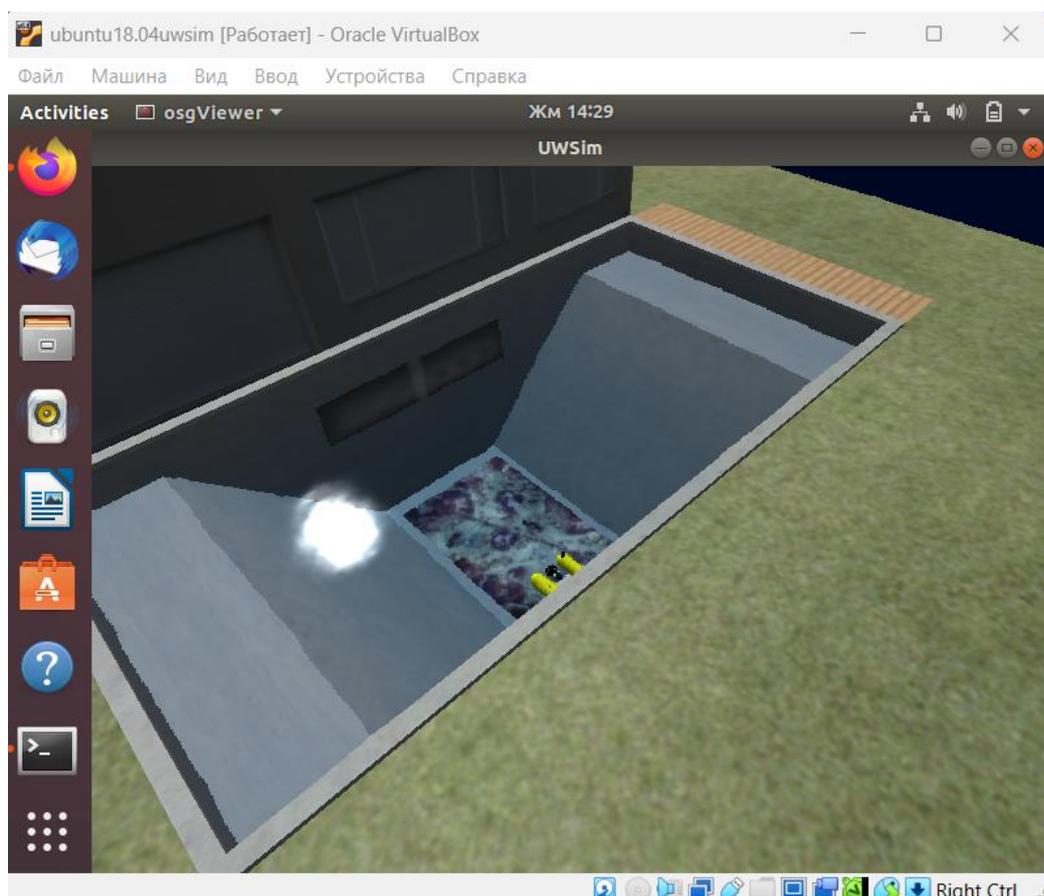


Рисунок 8 –Запуск симулятора Uwsim на виртуальной машине

## 2. Теоретическая часть и расчёты

### 2.1 Компоненты подводного робота и его характеристики

Для разработки управления и его тестирования, необходимо разработать прототип подводного робота. В качестве компонентов робота и пульта управления входят:

- Два BLDC двигателя с двумя трехфазными контроллерами скорости ESC – обеспечивают движение вперед–назад–влево–вправо.
- Arduino – микроконтроллер, обрабатывает сигналы от пульта, сенсоров и управляет двигателями.
- LuckFox Pico – микрокомпьютер на NPU чипе, используется для YOLOv5
- MPU6050 – гироскоп и акселерометр, используемый для стабилизации.
- Water Sensor – модуль обнаружения протечек в блоке управления
- Аналоговая камера – передает видеоизображение в реально времени
- Пультр управление с джойстиком кнопками LCD дисплеем и световой индикации.
- Монитор для оператора
- Автомобильный аккумулятор 12v 300A

Таблица 2 – Характеристики робота

Прототип	Вид управление	Вес	Размеры	Способ навигации	Источник питания и время работы	Скорость и глубина
ТНПА	Manual + частично стабилизирован ное с возможностью расширения в автономность	1кг	25x40x15	Мпу6050	Аккумулятор, время работы от 2-4 часов	2 узла, 15-20м

## 2.2 Принципиальная схема системы управления

На рисунке 9 изображена принципиальная схема управления пульта и блока управления на ТПНА

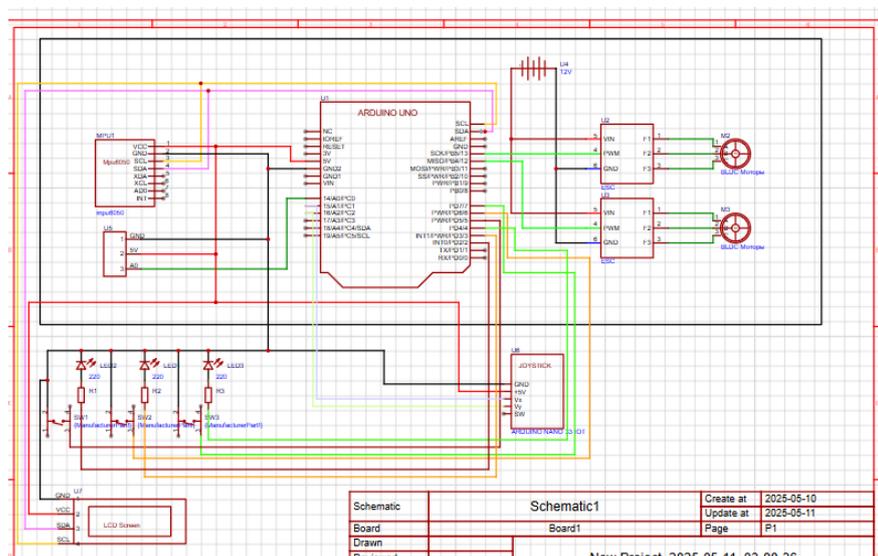


Рисунок 9 – Принципиальная схема системы управления сделанное в программной среде EasyEDA

## 2.3 Принцип управление подводным роботом.

Управление подводный робот осуществляется с помощью внешнего пульта, связанный с микроконтроллером Arduino. Основные сигналы поступают с аналогового джостика и кнопок, после чего формируются сигналы на исполнительный устройства.

Для описания движения робота используется прямоугольная система координат с тремя осями показанная на рисунке 10 [13]

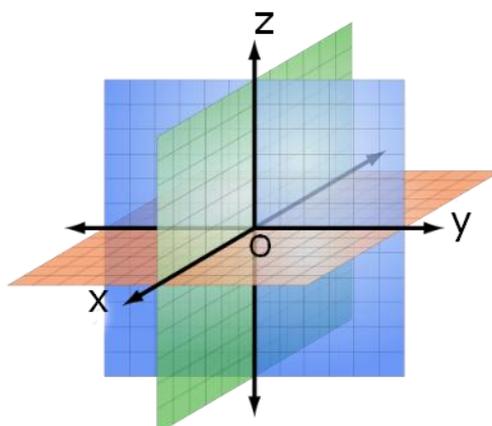


Рисунок 10 – Система координат по 3 осям

Ось X – Движение вдоль X осуществляется с помощью двух бесщеточных BLDC двигателей. При одновременной работе обоих двигателей в одном направлении робот движется вперед или назад

Ось Y – Подъем и погружение реализованы механически.

Погружение достигается за счет заполнения корпуса водой

Всплытие осуществляется с помощью лебедки. Это реализовано как система подъема в тестовых условиях

Ось Z – Разворот осуществляется дифференциальным включением двигателей. Включение только правого двигателя, робот поворачивается влево. Включение только левого двигателя, робот поворачивается вправо. Добавление еще четырех моторов можно реализовать полное управление по 6 осям

## 2.4 Принцип работы и управления BLDC двигателями

Работа BLDC двигателей основана на взаимодействии магнитного статора с магнитами ротора. Чтобы ротор начал вращаться необходимо подавать ток в обмотки статора в определенной последовательности. Ток – влияет на крутящий момент. Напряжения влияет на предельную скорость вращения [8]

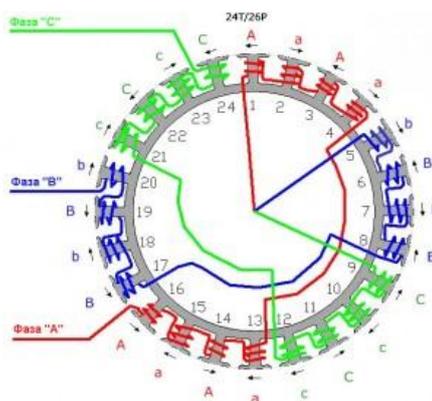


Рисунок 11 – Схема трехфазного двигателя

Управление BLDC в рамках дипломной работы осуществляется с помощью широтно импульсной модуляции и контроллера ESC. Скорость вращения – задается ШИМ. Arduino передает сигналы через ШИМ от 1000 до 2000 мкс. [9]

Расчёт максимальной скорости работы робота.

Моторы ArisQueen U1 [обеспечивают тягу до 2кг, эквивалентно 19.6 Н. Вес робота 1 кг. Используя второй закон Ньютона [7]:

$$a = \frac{F}{m}, \quad (1)$$

Теоретическое ускорения без учёта сопротивление воды и других факторов.

$$a = \frac{19.6H}{1\text{кг}} = 19.6 \text{ м/с}^2 \quad (2)$$

Реальная максимальная скорость зависит от разных факторов, включая сопротивление воды, форму корпуса и эффективности самого мотора. Однако на тестах и опытах с использованием подобных моторов менее мощных, можно предположить что скорость 1.2 м/с. На рисунке 12 и 13 были проведены тесты двух моторов ArisQueen и трюмной помпы. На обоих из них подвалось напряжение 12 вольт от автомобильного аккумулятора и визуальнo определил что моторы ArisQueen быстрее и мощнее. Для точного определения нужно использовать энкедоры или с помощью DVL - датчика

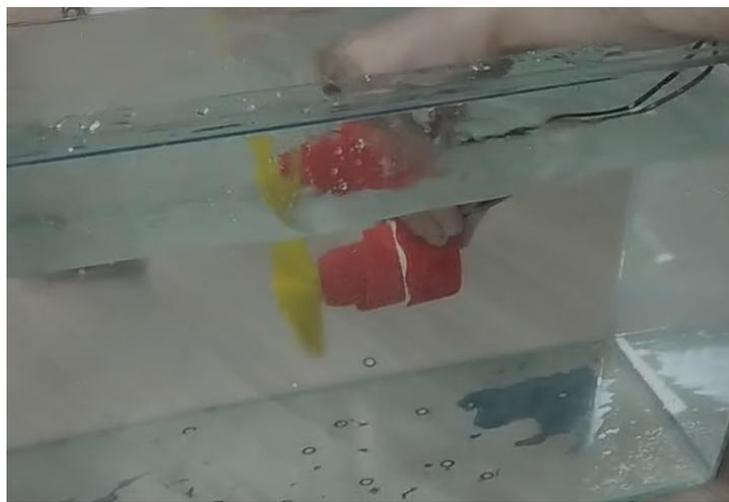


Рисунок 12 – Тест модифицированного трюмного насоса в аквариуме



Рисунок 13 – Тест ArisQueen в аквариуме

1 узел = 0.514 м/с

$$\text{скорость в узлах} = \frac{1.2\text{м/с}}{0.514\text{м/с}} = 2.33 \text{ узла}, \quad (3)$$

Данные двигатели обладают рядом преимуществ

- Высокая эффективность работы
- Надежность и долговечность за счет отсутствия щеток
- Высокая удельная мощность
- Плавность работы и возможность точного управления скоростью

Для подводного робота особенно важна компактность, герметичность и высокая эффективность что делает данные моторы идеальными кандидатами

## 2.5 Стабилизация и ориентация

Для стабилизации и ориентации используется модуль MPU6050 – это инерциальный датчик сочетает в себе акселерометр и гироскоп

Он используется для измерения по ускорению по трем осям угловых скоростей о XYZ. Это позволяет определить ориентацию подводного робота в пространстве[10]

Угол наклона определяется из данных от акселерометра

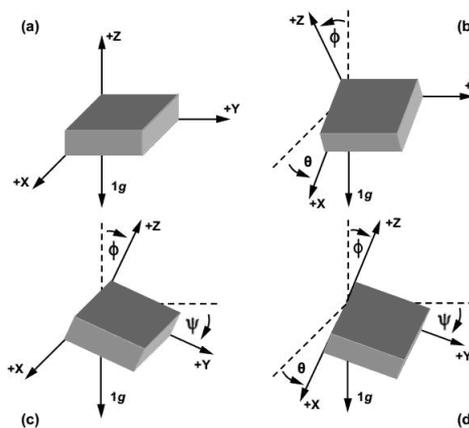


Рисунок 14 – Углы для независимого определения наклона[10]

$$\theta_{pitch} = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right), \quad (4)$$

$$\theta_{roll} = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right), \quad (5)$$

Измерение угла по гироскопу за малый промежуток времени

$$\Delta\theta = \omega \times \Delta t, \quad (6)$$

Где  $\omega$  – угловая скорость,  $\Delta t$  – шаг измерения.

Комбинированная фильтрация – комплиментраный фильтр

$$\theta = a \times (\theta + \omega \times \Delta t) + (1 - a) \times \theta_{acc}, \quad (7)$$

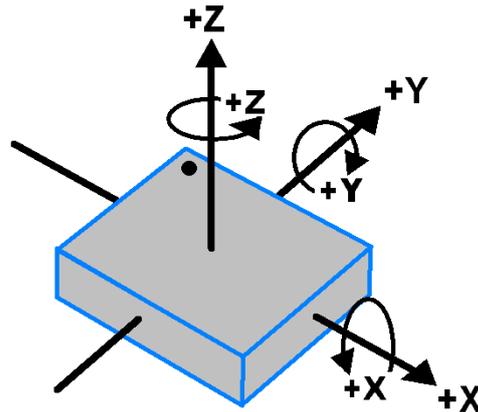


Рисунок 15 – Оси модуля MPU-6050[10]

Стабилизация положение и ориентации подводного робота необходима для четкого управление движением, точной навигации в пространстве, и чтобы оператор видел состояние робота. Данный датчик идеально подходил для тестирования системы в лабораторных условиях, но для реализации в реальном прототипе нужно применять дорогостоящие и более точные датчики.

## 2.6 Условия плавучести подводного аппарата

Согласно закону Архимеда на погруженной в жидкость тело действует выталкивающая сила, равна весу вытесненной жидкости [6]

$$F_A = \rho_b \times g \times V, \quad (8)$$

Где  $\rho_b$  – плотность воды (около  $1000 \text{ кг/м}^3$ ),  $g$  – ускорение свободного падения ( $9.81 \text{ м/с}^2$ ),  $V$  – объём вытесненной воды (в  $\text{м}^3$ )

На рисунке 16 показаны условия всплытия и погружение

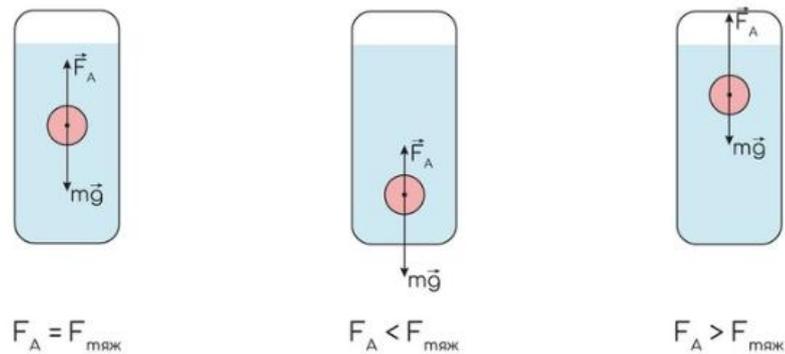


Рисунок 16 – Анализ ситуации плавания тел

Робот всплывает, если выталкивающая сила больше силы тяжести

$$F_A > F_{\text{тяж}}, \quad (10)$$

Погружается, если наоборот:

$$F_A < F_{\text{тяж}}, \quad (11)$$

Для нейтральной плавучести:

$$F_A = F_{\text{тяж}}, \quad (12)$$

Используя геометрические характеристики подводного робота, рассчитывается объем корпуса.

$$V_{\text{робота}} = 0.21 \times 0.32 \times 0.15 = 0.01008 \text{ м}^3, \quad (13)$$

Выталкивающая сила

$$F_A = 100 \times 9.81 \times 0.01008 = 98.9 \text{ Н}, \quad (14)$$

Так как  $F_A \gg F_{\text{тяж}}$  то при полном заполнение корпуса воздухом робот всплывает. На практике для всплытия используется лебедка, которая тянет робота вверх

При заполнении корпуса водой происходит следующее

$$m_{\text{воды}} = \rho_{\text{в}} \times V = 1000 \times 0.01008 = 10.08 \text{ кг}, \quad (15)$$

Общая масса робота с водой внутри:

$$m_{\text{общ}} = m_{\text{робот}} + m_{\text{воды}} = 1 + 10.08 = 11.08 \text{ кг}, \quad (16)$$

Сила тяжести

$$F_{\text{тяж}} = 11.08 \times 9.81 \approx 108.7 \text{ Н}, \quad (17)$$

Сравнение сил:

$$F_{\text{тяж}} \gg F_A, \quad (18)$$

На основе теории, можно сделать вывод, что мой робот может погрузиться под воду если корпус полностью заполнится водой, потому что сила тяжести будет больше выталкивающей силы.

## 2.7 Гидростатическое давление и подводная среда

Подводная среда накладывает ограничение на конструкцию и разработку системы управления подводным роботом.

Гидростатическое давление – это давление, которое оказывается столбом жидкости на погруженное тело [11]

Оно рассчитывается по формуле.

$$P = \rho * g * h, \quad (19)$$

Где

$P$  – гидростатическое давление (Па),

$\rho$  – плотность жидкости ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),

$g$  – ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ )

$h$  – глубина погружения (м).

1 атмосфера = 101 325 Па

Таким образом на каждый 10 метров глубины давления увеличивается примерно на 1 атмосферу [15]

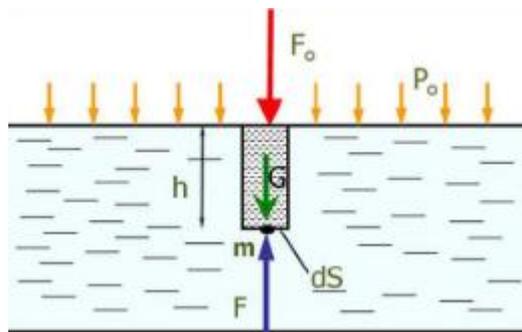


Рисунок 17 – Гидростатическое давление [11]

Теоретически можно рассчитать погружение подводного робота. Обычные ПВХ трубы, к примеру PN10, рассчитаны на давление 10 атмосфер изнутри. При

герметичном корпусе критическим считается 1.5-2 или 150-200кПа атмосфер внешнего давления, после этого возможна деформация трубы.

Обратная формула для расчета глубины  $h$  на которое создается давление  $P$

$$h = \frac{P}{\rho * g}, \quad (20)$$

Если допустимое внешнее давление = 200 кПа = 200000Па:

$$h = \frac{200000}{1000 * 9.81} \approx 20.4 \text{ м}, \quad (21)$$

Мой робот может безопасно погружаться примерно до глубины 15-20 метров при идеальных условиях и при использовании герметичных материалов. Для увеличения глубины и надежности нужно изготавливать подводного робота из более прочных материалов

## 2.8 Компьютерное зрение и использование нейросети YOLOv5

YOLOv – это алгоритмы нейросетевого детектирование объектов в реальном времени. В отличие от других методов, где сканирование изображение происходит несколько раз для классификации, YOLO делают это одновременно за один проход сети[12]

Принцип работы основан на том, что входное изображение разбивается на сетку 640x640 пикселей или другое разрешение. Для каждой ячейки предсказывает координаты ограничивающего прямоугольника, вероятность наличия объекта и вероятность принадлежности определенному классу

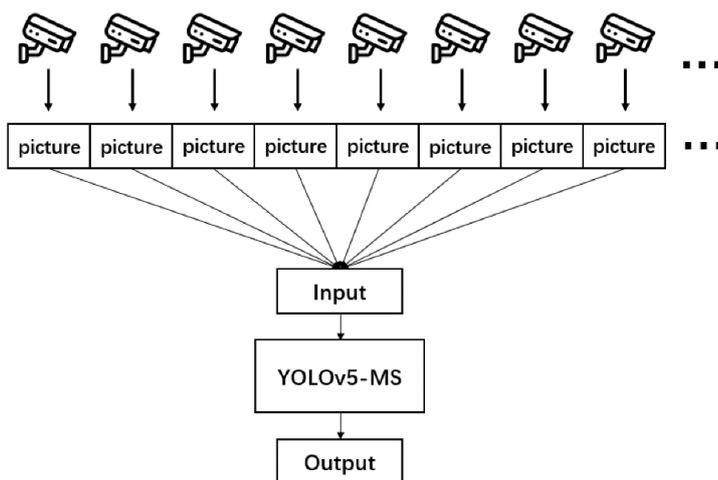


Рисунок 18 – Схема с принципом работы YOLOv5

Теоретический процесс распознавание и принятие решений

На борту робота установлена аналоговая камера, изображение с которой подается на вычислительный модуль. LuckFox в связке с Raspberry Pi или Jetson Nano.

На практике принятия решения может выглядеть так:

Команда –  $f(C, P, T)$

C – класс объекта. В рамках дипломной работы – это труба

P – позиция объекта в кадре

T – уровень доверия  $> 0.7$

Если C = “труба”, P = “лево”,  $T > 0.7$ . Если YOLO обнаружил трубу и с вероятностью  $>80\%$  определил что это труба, то команда от LuckFox GPIO идет на микроконтроллер и двигателям дается команда плавно повернуть влево и двигаться вперед. Я считаю что это послужит для дальнейшей разработки подводного робота. Так же использования YOLOv5 в подводном роботе оправдано тем, что:

- Важно быстро определять препятствия и цели
- Есть ограничение по ресурсами
- Наличие автономности
- Помощь оператору в обнаружении

## 2.9 Безопасность и отказоустойчивость

Устойчивость подводного робота к аварийным ситуациям важна и тесно связана с управлением, поскольку работа происходит в труднодоступной и агрессивной среде. Для обеспечения надежности используются аппаратные и программные меры, включая датчик утечек, визуальные сигналы оператору и всплытие.

Сценарий 1 – в результате повреждение герметичности корпуса, внутрь корпуса начинает поступать вода.

Датчик Water Sensor моментально фиксирует наличие влаги внутри корпуса. Сигнал подаётся на Arduino после чего:

- Оператору на LCD дисплей выдается предупреждение “Water Detection”
- Оператор срочно поднимает робота лебедкой

Сценарий 2 – Отказ двигателей в результате отсутствия питания. Arduino фиксирует отсутствие ожидания реакции от двигателя

- Выводиться сообщение “Motor Fail”
- Если управление становится невозможным оператор начинает поднимать робота лебедкой

Сценарий 3 – Потеря связи с пультом управления в связи с обрывом провода или проблем с питанием. Робот перестает получать информацию от пульта в течении 3 минут, не приходит сигнал от джойстика – считается, что связь утеряна.

- Arduino прекращает подавать питание и сигналы на двигатели
- Оператор поднимает робота на поверхность

## 2.10 Алгоритм управления подводного робота

Алгоритм работы подводного робота включает следующие этапы: при включении питание происходит инициализация всех компонентов – дисплея, датчиков и пинов микроконтроллера. Затем выполняется проверка модуля MPU6050, Water Sensor и двигателей, при ошибке система переходит в аварийный режим с выводом сообщения. После успешной инициализации по нажатию кнопки запускается этап калибровки, включающий проверку наличия воды в блоке управления и снятие данных с инерциального датчика. Через 10 секунд после калибровки активируются сенсоры и робот переходит в рабочий режим. В этом режиме он отображает телемитрию на дисплее, управляется оператором с помощью аналогового джойстика, а изображение с камеры используется для помощи оператору и обнаружение труб с помощью нейросети YOLOv5. На рисунке 19 изображена блок схема алгоритмов управления.

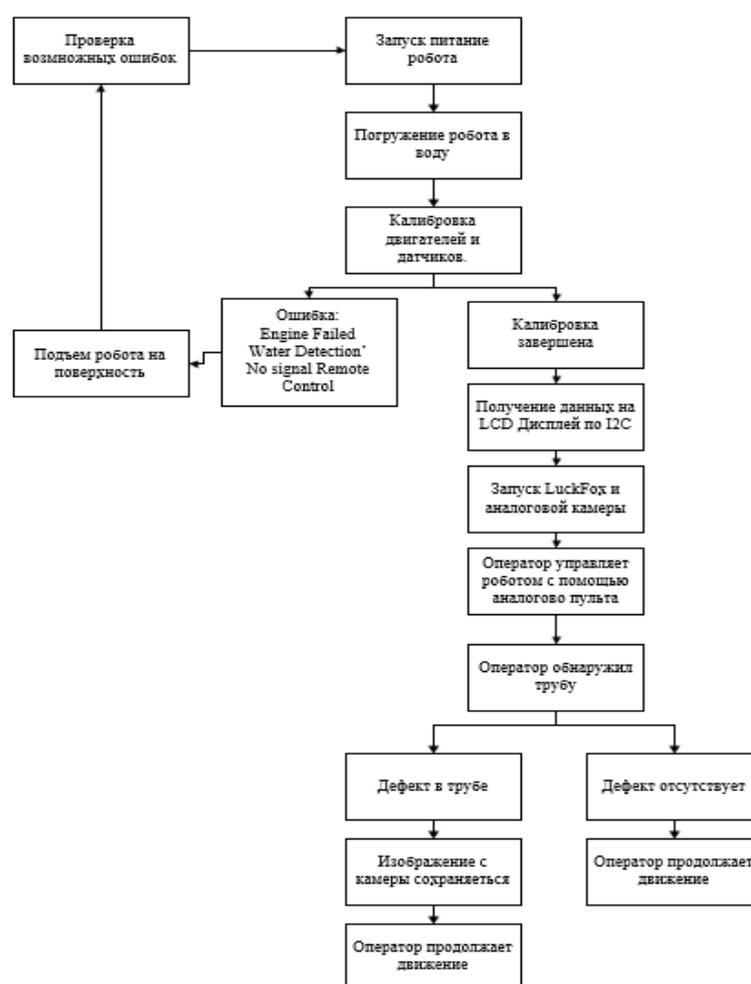


Рисунок 19 – Блок схема алгоритма управления подводного робота.

## 3 Сборка ТНПА и пульта управления для ТНПА

### 3.1 Финансовый расчет

Товар	Кол-во шт	Цена в тг
Arduino Uno	1	4100
LuckFox Pico Pro Max	1	6200
Аналоговая камера	1	2500
Дисплей для камеры автомобильный аналоговый	1	5000
ApisQueen U1 BLDC моторы	2	51000
MPU6050	1	1100
Water Sensor	1	300
ПВХ трубки	17	4500
Распределительная коробка	2	3600
Расходники	1	5000
Итого:		82000



Рисунок 20 – Комплектующие для сборки робота

### 3.2 Обучение и использование модели YOLOv5

Для задачи распознавания объектов под водой – была выбрана модель YOLOv5s, как компромисс между скоростью и точностью. Обучение проводилось на размеченном датасете с изображениями труб, полученный из открытых источников

Обучение выполнялось в среде Anaconda через терминал с использованием локальной среды.

```
Администратор: Anaconda Prompt
(base) C:\Users\mrtom>
(base) C:\Users\mrtom>cd yolov_project
системе не удается найти указанный путь.
(base) C:\Users\mrtom>cd yolov5_project
(base) C:\Users\mrtom\yolov5_project>cd yolov5
(base) C:\Users\mrtom\yolov5_project\yolov5>conda activate yolov5
environmentNameNotFound: Could not find conda environment: yolov5
You can list all discoverable environments with `conda info --envs`.
(base) C:\Users\mrtom\yolov5_project\yolov5>conda activate yolov5
(yolov5) C:\Users\mrtom\yolov5_project\yolov5>python train.py --img 640 --batch 16 --epochs 100 --data data.yaml --weights yolov5s.pt --name pipe_detector
train: weights=yolov5s.pt, cfg=, data=data.yaml, hyp=data\hyp\hyp.scratch-low.yaml, epochs=100, batch_size=16, imgsz=640, rect=False, resume=False, nosave=False, noval=False, noautoanchor=False, noplots=False, evolve=None, evolve_population=0, data=hyps, resume_evolve=None, bucket=, cache=None, image_weights=False, device=, multi_scale=False, single_cls=False, optimizer=SGD, sync_bn=False, workers=8, project=runs\train, name=pipe_detector, exist_ok=False, quad=False, cos_lr=False, label_smoothing=0.0, patience=100, freeze=[0], save_period=1, seed=0, local_rank=-1, entity=None, upload_dataset=False, bbox_interval=1, artifact_alias=latest, ndjson_console=False, ndjson_file=False
emote: Enumerating objects: 56, done.
emote: Counting objects: 100% (55/55), done.
emote: Compressing objects: 100% (20/20), done.
emote: Total 56 (delta 38), reused 40 (delta 35), pack-reused 1 (from 1)
```

Рисунок 21 – Терминал с запуском обучение модели на базе датасета

- Img – размер входного изображения (640x640 пикселей).
- Epochs – количество эпох (100)
- Weights – предобученные веса YOLOv5s
- Data.yaml – файл с описанием классов и путей к данным

После окончания обученная модель была протестирована. На рисунке 22 изображен результат после обучения модели. С вероятностью 81% что это классифицируется как труба

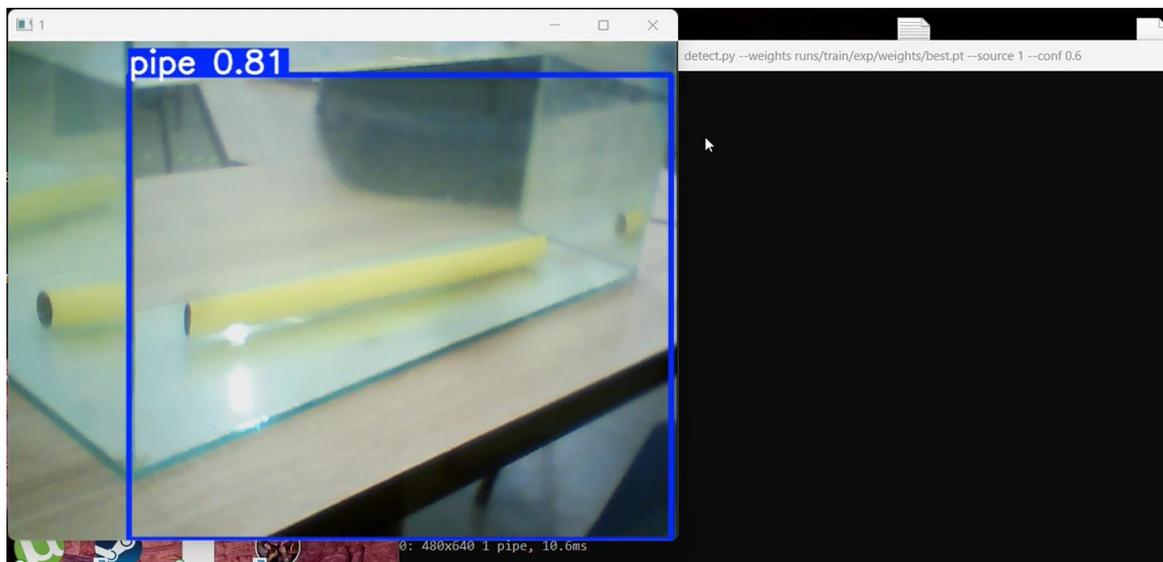


Рисунок 22 – Окно с демонстрацией обученной модели

Далее модель экспортируется ONNX, для переноса модель на одноплатный компьютер Luck Fox Pico изображенный на рисунке 23



Пультр представляет собой модульную панель оснащенную аналоговым джойстиком, индикаторами и LCD дисплеем. Изготовлен из корпусов блоков питания. Я считаю, что этот прототип идеально подходит для тестирования системы управление и позволяет интегрировать дополнительные элементы системы управления для будущей разработки.



Рисунок 25 – Прототип пульта управления

Управляющая логика реализована на базе Arduino Uno, которая управляет исполнительными механизмами и датчиками. На рисунке 26 изображена часть кода которые отвечает за инициализацию всех устройств

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit MPU6050.h>
3 #include <Adafruit_Sensor.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 #include <Servo.h>
6
7 // модули SDA SCL
8 Adafruit MPU6050 mpu;
9 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
10
11 // Пины
12 const int buttonPowerPin = 4;
13 const int buttonCalibPin = 3;
14 const int ledRed = 7;
15 const int ledYellow = 6;
16 const int ledGreen = 5;
17 const int waterSensorPin = A0;
18
19 // Пины джойстика и двигателей
20 const int joystickXPin = A1;
21 const int joystickYPin = A2;
22 const int motor1Pin = 9;
23 const int motor2Pin = 10;
24
25 Servo motor1;
26 Servo motor2;
27
28 // Состояния
29 bool powerOn = false;
30 bool calibrated = false;
31 bool sensorActive = false;
32 bool underwaterchecked = false;
33 unsigned long readyTime = 0;
34
```

Рисунок 26 – Подключение компонентов и инициализация ROV

Аналоговый джойстик изображенный на рисунке 27 обеспечивает управление движением вперед/назад, влево/вправо



Рисунок 27 – Аналоговый джойстик

LCD дисплей отображается текущее состояние всей системы, данные с датчика и сообщения об ошибке. На рисунке 28 показано тестирование MPU6050



Рисунок 28 – LCD дисплей с данными MPU6050

Water Sensor – сигнализирует об протечки в блок управления. На рисунке 29 изображено тест аварийной системы.



Рисунок 29 – LCD дисплей с данными теста Датчика воды

На рисунке 30 изображена кнопка активации системы – включает работу и инициализацию всего кода.



Рисунок 30 – LCD дисплей и кнопка активации системы

На рисунке 31 происходит калибровка – проверка состояния всех исполнительных механизмов и датчиков

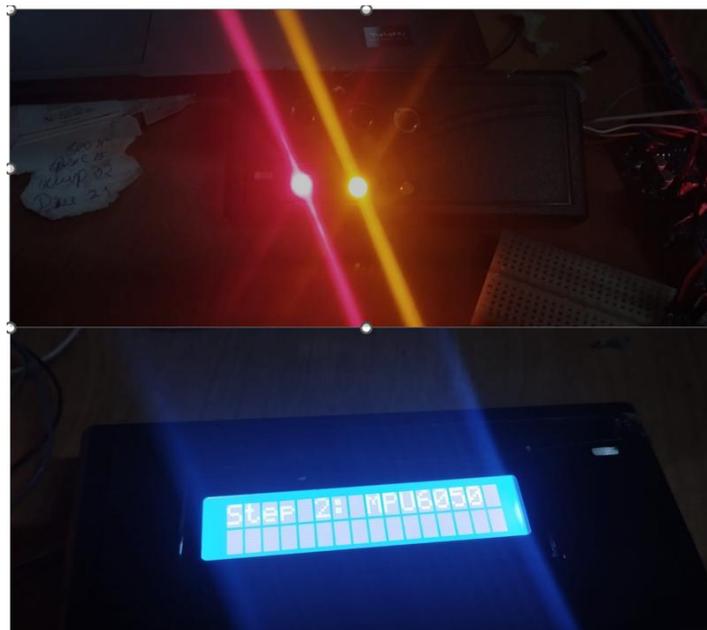


Рисунок 31– LCD дисплей и информация о калибровки

Состояние светодиодов

- Красный – питание есть
- Желтый – проверка состояния всех механизмов и об ошибках в системе.
- Зеленый – система готова к работе



Рисунок 32 – Цветовая индикация о состоянии готовности

### 3.3 Разработка прототипа подводного робота

Корпус подводного робота изготовлен вручную на основе ПВХ-труб, что обеспечило необходимую прочность, герметичность и легкость при сборке. Данная конструкция является практичным решением для самодельных роботов.

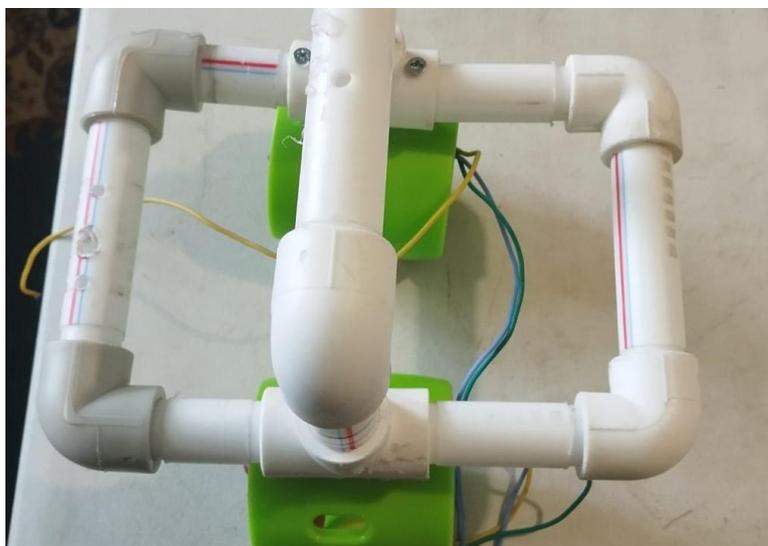


Рисунок 33 – Корпус робота с двигателями

В качестве корпуса для блока управления была выбрана распределительная коробка со степенью защиты IP55. В данной коробке уже есть своя степень защиты и достаточно места для всей электроники



Рисунок 34 – Готовый макет робота

Камера используется аналоговая для передачи изображение на аналоговый дисплей. К данной камере имеется аналоговый дисплей.



Рисунок 35 – Готовый макет робота с пультом управления

Так как радио и беспроводная связь под водой сложно реализуемая задача из-за агрессивной среды. передача сигналов и питание осуществляется кабелю. Это обеспечивает быструю передачу сигналов под водой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломного проекта была реализован прототип подводного робота, предназначенный для тестирования и отладки созданной системы управления подводного робота. Подводя итоги хочется подчеркнуть практическую важность и проведенного исследование в сфере подводной робототехнике. В ходе работы над дипломным проектом был проведен анализ и исследования применение подводных роботов, а также изучение новых инструментов для развития в этой области.

В исследовательской части были приведены обзоры на виды роботов и на существующие аналоги а так же инструменты для будущей разработки ROS2 и симуляции подводной робототехники. Это позволило мне выявить цели для разработки собственного прототипа управления.

В теоретической части были описаны все элементы системы управления включая двигатели, датчики, и сам пульт управления. Были проведены расчеты прочности, погружения и ориентации робота в воде. Так же в теоретической части был описан принцип работы искусственного интеллекта на базе YOLOv5 и возможность внедрение его в систему управления.

В практической части был разработан прототип аналогового пульта и самого ТНПА. А так же внедрение системы компьютерного зрения для оператора ТНПА.

Разработанный макет демонстрирует жизнеспособность всей системы и закладывает основу дальнейших исследований и инженерных разработок в области подводной робототехники.

## ГЛОССАРИЙ

ROV –телеуправляемый необитаемый подводный аппарат

ТНПА – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат

AUV – автономный необитаемый подводный аппарат

ONNX – это формат для предоставления моделей машинного обучения

Позволяет обмениваться между разными платформами

YOLOv – архитектура CNN используется для задач компьютерного зрения

DVL – Doppler Velocity Log измеряет скорость относительно дна или воды

GPIO – интерфейс ввода и вывода используемый в различных микроконтроллерах и микрокомпьютерах

Anaconda – дистрибутив языков программирования, программная среда позволяющая использовать ее для машинного обучения

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ноаа исследование в области подводной робототехники ROV – Электронный ресурс  
<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/rov.html>
- [2] Ноаа исследование в области подводной робототехники AUV – Электронный ресурс  
<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/auv.html>
- [3] Подводный робот GNOM – Электронный ресурс  
<http://vodolaz.by/shop/podvodnyye-roboty-gnom>
- [4] Подводный робот BlueROV – Электронный ресурс  
<https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>
- [5] Подводный робот Chasing-M2 – Электронный ресурс  
<https://chasing-russia.ru/chasing-m2>
- [6] Законы Архимеда – Электронный ресурс  
<https://zachteno.net/stati/arhimedova-sila.html>
- [7] Закон Ньютона – Электронный ресурс  
<https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter1/section/paragraph8/theory.html>
- [8] Бесколлекторные двигатели постоянного тока. Устройство бесколлекторного двигателя. © 2011-2024 Андрий Корягин, – Электронный ресурс –  
<https://blog.avislab.com/brushless02/>
- [9] Подключение бесколлекторного электродвигателя постоянного тока (BLDC) к Arduino – Электронный ресурс  
<https://microkontroller.ru/arduino-projects/podklyuchenie-elektrodvigatelya-blcdc-k-arduino/>
- [10] Учебное пособие по акселерометру и гироскопу Arduino и MPU6050 – Электронный ресурс  
[https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-mpu6050-accelerometer-and-gyroscope-tutorial/?utm\\_source=chatgpt.com](https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-mpu6050-accelerometer-and-gyroscope-tutorial/?utm_source=chatgpt.com)
- [11] Arkronix Гидростатическое давление: формула, свойства и особенности Электронный ресурс –  
[https://www.arkronix.ru/blog/gidrostaticheskoe\\_davlenie/](https://www.arkronix.ru/blog/gidrostaticheskoe_davlenie/)
- [12] Работа с YOLOv8. Детекция, сегментация, трекинг объектов, а также подготовка собственного датасета и обучение – Электронный ресурс  
<https://habr.com/ru/articles/821971/>
- [13] Трёхмерное пространство Wikipedia – Электронный ресурс  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE)
- [14] Гидростатическое давление Wikipedia – Электронный ресурс  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA>

[%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](#)

- [15] Гидростатическое\_давление – Электронный ресурс  
<https://www.hydro-pnevmo.ru/topic.php?ID=158#:~>
- [16] Казахстанский ученый создал подводного робота для мировых океанологических исследований 11 декабря 2023, 00:14  
<https://dknews.kz/ru/dk-life/310233-kazahstanskiy-uchenyi-sozdal-podvodnogo-robotu-dlya>
- [17] ApisQueen официальный веб сайт Электронный ресурс –  
<https://www.underwaterthruster.com/ru/products/u01-12v-16v-200w-2kg-thrust-brushless-underwater-subsea-thruster-propeller-propulsion-with-bi-directional-control-esc-for-rov-boat?>
- [18] UUVsimulator официальный сайт Электронный ресурс –  
<https://uuvsimulator.github.io/installation/>
- [19] Dave Project официальный репозиторий. Электронный ресурс –  
<https://field-robotics-lab.github.io/dave.doc/>
- [20] Статья А. Amer, О. Álvarez-Tuñón, Н. Í. Uğurlu, J. Le Fevre Sejersen, Y. Brodskiy и Е. Kayacan, «UNav-Sim: визуально реалистичный симулятор подводной робототехники и структура генерации синтетических данных», 2023 21-я Международная конференция по передовой робототехнике (ICAR), Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты, 2023, стр. 570-576, doi: 10.1109/ICAR58858.2023.10406819. Электронный ресурс –  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10406819>
- [21] Uwsim Пратс, М.; Перес, Х.; Фернандес, Дж. Дж.; Санс, П. Дж., «Открытый исходный код для моделирования и контроля подводных интервенционных миссий», Международная конференция IEEE/RSJ по интеллектуальным роботам и системам (IROS) 2012 г., стр. 2577–2582, 7–12 октября 2012 г. Электронный ресурс –  
<https://www.irs.uji.es/uwsim/>
- [22] Развитие подводной робототехники Электронный ресурс –  
<https://profholod.ru/press/news/publikatsii/rossiyskie-roboty-pod-vodoy-novye-tehnologii-rossiyskih-uchenyh>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>

// модули SDA SCL
Adafruit_MPU6050 mpu;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// ПИНЫ
const int buttonPowerPin = 4;
const int buttonCalibPin = 3;
const int ledRed = 7;
const int ledYellow = 6;
const int ledGreen = 5;
const int waterSensorPin = A0;

// ПИНЫ джойстика и двигателей
const int joystickXPin = A1;
const int joystickYPin = A2;
const int motor1Pin = 9;
const int motor2Pin = 10;

Servo motor1;
Servo motor2;

// Состояния
bool powerOn = false;
bool calibrated = false;
bool sensorActive = false;
bool underwaterChecked = false;
unsigned long readyTime = 0;

void setup() {
  pinMode(buttonPowerPin, INPUT_PULLUP);
```

```

pinMode(buttonCalibPin, INPUT_PULLUP);
pinMode(ledRed, OUTPUT);
pinMode(ledYellow, OUTPUT);
pinMode(ledGreen, OUTPUT);

digitalWrite(ledRed, LOW);
digitalWrite(ledYellow, LOW);
digitalWrite(ledGreen, LOW);

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("POWER OFF");

Wire.begin();

if (!mpu.begin()) {
  lcd.clear();
  lcd.print("MPU FAIL");
  while (1) delay(10);
}

motor1.attach(motor1Pin);
motor2.attach(motor2Pin);
motor1.writeMicroseconds(1000); // Стоп
motor2.writeMicroseconds(1000); // Стоп
delay(3000); // Время на инициализацию ESC
}

void loop() {
  //Включение
  if (!powerOn && digitalRead(buttonPowerPin) == LOW) {
    powerOn = true;
    digitalWrite(ledRed, HIGH);
    lcd.clear();
    lcd.print("POWER ON");
    delay(500);
  }
}

```

```

// Калибровка
if (powerOn && !calibrated && digitalRead(buttonCalibPin) == LOW) {
calibrated = true;

digitalWrite(ledYellow, HIGH);
lcd.clear();
lcd.print("Calibrating...");
delay(1000);

// Вода
lcd.clear();
lcd.print("Step 1: Water");
delay(2000);

// MPU
lcd.clear();
lcd.print("Step 2: IMU");
sensors_event_t a, g, temp;
mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
delay(2000);

// Готово
lcd.clear();

lcd.print("Step 3: DONE");
delay(1000);

lcd.clear();
lcd.print("ROV READY");
digitalWrite(ledYellow, LOW);

digitalWrite(ledGreen, HIGH);
readyTime = millis();
}

// Проверка воды

```

```

if (powerOn && calibrated && millis() - readyTime > 10000 &&
!underwaterChecked) {
underwaterChecked = true;
int waterValue = analogRead(waterSensorPin);
if (waterValue > 500) {
lcd.clear();
lcd.print("UNDERWATER!");
delay(5000);
}
sensorActive = true;
}

```

```
// Подводный режим
```

```

if (sensorActive) {
sensors_event_t a, g, temp;
mpu.getEvent(&a, &g, &temp);

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("X:");
lcd.print(a.acceleration.x, 1);
lcd.print(" Y:");

```

```
lcd.print(a.acceleration.y, 1);
```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Z:");
lcd.print(g.gyro.z, 1);
lcd.print(" ");

```

```
// Управление моторами
```

```

int joyX = analogRead(joystickXPin); // Вперёд-назад
int joyY = analogRead(joystickYPin); // Повороты

```

```

int speed1 = map(joyX + joyY - 1023, 0, 1023, 1000, 2000);
int speed2 = map(joyX - joyY, 0, 1023, 1000, 2000);

```

```
// Управление значениями
```

```
speed1 = constrain(speed1, 1000, 2000);  
speed2 = constrain(speed2, 1000, 2000);
```

```
motor1.writeMicroseconds(speed1);  
motor2.writeMicroseconds(speed2);
```

```
delay(200); // Обновление
```

```
} else {
```

```
motor1.writeMicroseconds(1000);
```

```
motor2.writeMicroseconds(1000);
```

```
}
```

```
}
```

## РЕЦЕНЗИЯ

Дипломного проекта Земцова Владислава Игорьевича  
по специальности 6В07113 – “Робототехника и мехатроника”  
Satbayev University

На тему: Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным  
аппаратом

Выполнено:

- а) графическая часть на 35 листах  
б) пояснительная записка на 39 страницах

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

**Актуальность темы.** Дипломный проект посвящён разработке системы управления для телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, что является актуальной задачей в условиях роста интереса к подводным исследованиям.

Для сборки робота были применены доступные микроконтроллеры и материалы. Так же стоит отметить использование компьютерного зрения на базе YOLOv5 и микрокомпьютера Luckfox придаёт системе новизну и отражает современные тенденции в области робототехники.

**Структура работы.** Дипломная работа состоит из 3 глав и 18 подразделов, по мимо этого, в работе имеется заключение и указан список используемой литературы.

Первая глава посвящена исследовательской части, в ней описаны актуальность проекта, приведены аналоги и инструменты для разработки.

Во второй главе студент концентрируется на теоретической части, описал характеристики ТНПА и провел расчеты скорости, устойчивости и описал принцип работы исполнительных механизмов и датчиков.

Третья глава посвящена сборке ТНПА и пульта управления для ТНПА, обучил модель на базе YOLOv5.

Автор работы принимал участие в выставках:

- Конференция международной федерация по теории механизмов и машин IFTOOM
- Внутриуниверситетские выставки
- Выставка “I Конгрессе молодых ученых Казахстана «Жас Сәтбаевшылар»”

### Оценка работы

Дипломная работа Земцова В.И. посвящена разработке системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом и свидетельствует о значимости в подводную робототехнику. Работа охватывает актуальные направления в области робототехники для исследований и практического применения в водной среде. Работа заслуживает высокой оценки 93 % и рекомендуется к защите.

#### Рецензент

PhD, Ассоциированный профессор  
Кафедра физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики  
КазНУ им. аль-Фараби

  
Муратов М.М.

2025 г.

## ОТЗЫВ

дипломного проекта

студента специальность 6В07113 – «Робототехника и мехатроника»

**Земцова Владислава Игорьевича**

**На тему: «Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом»**

Бакалаврский дипломный проект Земцова Владислава Игорьевич посвящен "Разработке системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом".

Для достижения поставленных целей предусмотрены следующие задачи: изучить аналоги ТНПА ;отобрать компоненты системы управления и самого ТНПА; выбрать и обосновать программные решения, протестировать систему управления. В основе системы управления ТНПА лежит Arduino Uno в качестве контроллера, датчик MPU6050 и датчик воды, BLDC моторы, Аналоговая камера, LuckFox Pico в качестве микрокомпьютера с YOLOv5. LCD дисплей, аналоговые кнопки со светодиодами и экран для передачи изображения для оператора.

В первой части описаны существующие аналоги ТНПА и инструменты для разработки ТНПА.

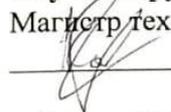
Во второй части проведены расчеты и описаны компоненты ТНПА

В третьем разделе показан готовый макет ТНПА.

Дипломный проект разработан по стандарту организации в соответствии с общими требованиями к созданию, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов. Считаю, что дипломный проект студента Земцова Владислава " Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом " выполнен на очень высоком уровне и полностью выполнен. Я считаю, что дипломный проект очень хорошо оценен, и студент Земцов Владислав заслуживает академической степени бакалавра.

**Научный руководитель**

Магистр технических наук

 Кальменов.Е.Т

« 9 » июля 2025 ж.



## Отчет подобия

## Метаданные

Название организации  
**Satbayev University**

Название  
**Разработка системы управления телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом**

Автор  
Научный руководитель / Эксперт  
**Земцов Владислав Игоревич/Ермухамед Кальменов**

Подразделение  
**ИАИИТ**

## Объем найденных подоби

КПТ не определяет, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



## Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер техники конвертации документа и его сохранения, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		1
Интервалы		0
Микропробелы		3
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		5

## Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Источники и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

## 10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Разработка виртуального помощника для абитуриентов Казахстанско-Американского свободного университета 5/26/2022 Kazakh-American Free University (Научно-исследовательский отдел)	19 0.45 %
2	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1">https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1</a>	13 0.31 %
3	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1">https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1</a>	12 0.28 %

## из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

## из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

## из программы обмена базами данных (0.45 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Разработка виртуального помощника для абитуриентов Казахстанско-Американского свободного университета 5/26/2022 Kazakh-American Free University (Научно-исследовательский отдел)	19 (1) 0.45 %

## из интернета (0.59 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1">https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-magnitnyh-muft-1</a>	25 (2) 0.59 %

## Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---

## АНДАПТА

Бұл дипломдық жұмыс су астындағы ортада әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін теледидармен басқарылатын адам тұрмайтын суасты аппараттарын басқару жүйесін әзірлеуге арналған. Жоба микроконтроллерді қолдану жүйесі асырады Arduino ол екі BLDC қозғалтқыштарын басқарады. Датчиктер ретінде 3 осьтік акселерометр және 3 осьтік MPU6050 гироскопы және апаттық су сенсоры ол басқару блогындағы судың ағып кетуін бейтреді. Б джойстик, дисплей және индикаторлық түймелері бар сымды қашықтан басқару пульті арқылы жүзеге асырылады, бұл нақты уақыт режимінде интуитивті және қарапайым қолмен басқаруды қамтамасыз етеді. Соңғы кезең к біріктіру болды. Жүйенің автономиясын арттыру үшін су астындағы құбырларды анықтауға және олардың зақымдалуына арналған YOLOv5 негізіндегі модель оқытылды.