

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Моделювання дрону для морських рятувальних операцій
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-3

Александров Владислав Олексійович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. КІТАР Бронніков А.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Навчально-науковий центр заочної форми навчання
Кафедра _____ КІТАМ _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КІТАМ _____
(підпис)
« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Александрову Владиславу Олексійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Моделювання дрону для морських рятувальних операцій _____

Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 р. № 544Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 19.06.2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Тип управління – радіоуправління; _____

3.2 Напруга акумулятора – 36 В; _____

3.3 Повна маса – 300 кг; _____

3.4 Габаритні розміри – 1850мм×800мм×300мм; _____

3.5 Максимальна швидкість – 5 м/с; _____

3.6 Тип двигуна – електричний; _____

3.7 Потужність двигуна – не менше 5000 Вт; _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ; _____

4.2 Аналіз літератури за темою; _____

4.3 Вибір і обґрунтування технічних засобів для створення дрону; _____

4.4 Розробка моделі і симуляція; _____

4.5 Охорона праці; _____

4.6 Висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації 15 с;

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою	23.04 – 27.04.24	
2	Проведення розрахунків навантаження	28.04 – 10.05.24	
3	Вибір компонентів дрону	11.05 – 23.05.24	
4	Створення схеми підключення	26.05 – 30.05.24	
5	Розробка 3D моделі дрону	01.06 – 03.06.24	
6	Розробка програмного забезпечення	04.06 – 06.06.24	
7	Подання роботи на перевірку на плагіат	11.06 – 12.06.24	
8	Оформлення пояснювальної записки	13.06 – 14.06.24	
	Подання роботи на рецензію	15.06 – 16.06.24	
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	17.06 – 18.06.24	
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	19.06.2024	

Дата видачі завдання 22.04.2024 р.

Студент _____ Александров В.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Бронніков А.І.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент(ка) ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) незголену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"2" червня 2024 р.

Handwritten signature in blue ink, reading "В. Александров". The signature is written in a cursive style and is underlined.

Александров В.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 65 с., 3 табл., 38 рис., 2 дод., 26 джерел.

МОРСЬКИЙ ДРОН, ПЛАВУЧИСТЬ, РЯТУВАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ, АЛГОРИТМ, УПРАВЛІННЯ, СИСТЕМА.

Мета даної роботи – автоматизація процесу порятунку людини на воді.

Об'єкт розробки – система порятунку людини.

Предмет розробки – дрон, який дозволяє автоматизувати систему порятунку людини.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано аналіз літератури яка пов'язана з беспілотними апаратами, проведено розрахунки навантажень для побудови моделі рятувального дрона, виконано 3D моделювання та розроблено програмне забезпечення для управління дроном. Усі параметри виконано згідно наданого ТЗ.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 65 p., 3 tabl., 38 fig., 2 app., 26 sources.

MARINE DRONE, BUOYANCY, RESCUE OPERATIONS, ALGORITHM, CONTROL, SYSTEM.

The purpose of this work is to automate the process of saving a person on water.

The object of development is a human rescue system.

The object of development is a drone that allows automating the system of saving a person.

In the course of the qualification work, an analysis of the literature related to unmanned aerial vehicles was carried out, load calculations were carried out for the construction of a model of a rescue drone, 3D modeling was carried out and software for controlling the drone was developed. All parameters are performed according to the technical specifications provided.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	3
Вступ.....	4
1 Аналіз літератури за темою.....	6
1.1 Види сучасних дронів.....	6
1.2 Приклади використання дронів.....	8
1.3 Порівняння дронів.....	13
2 Вибір і обґрунтування технічних засобів для створення дрону.....	21
2.1 Розрахунки навантаження.....	21
2.2 Вибір компонентів для створення дрону.....	26
2.3 Створення схеми підключення компонентів.....	35
2.4 Перевірка стійкості системи за критеріями ТАУ.....	38
3 Розробка моделі і симуляція.....	42
3.1 Розробка схеми макету.....	42
3.2 Створення блок-схеми.....	49
3.3 Розробка програмного забезпечення.....	52
3.4 Охорона праці.....	68
Висновки.....	69
Перелік джерел посилань.....	70
Додаток А Код програми.....	74
Додаток Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентації.....	76

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВІ ПОЗНАКИ

БА – беспілотний апарат;

БПЛА – беспілотний літальний апарат;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТАУ – теорія автоматичного управління;

ВЕС – блок виключення батареї;

BLDC – безколекторний електродвигун постійного струму;

ESC – електронний регулятор швидкості;

KV – обертів на вольт;

PWM – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

Технологічний прогрес у двадцять першому столітті сягнув темпів при яких поява нових технологій та їх еволюція зменшилась з десятиліть до років або місяців. Теж саме стосується тих технологій які були винайдені раніше але через появу попиту та/або необхідність їх застосування в сучасних умовах були взяті на доопрацювання, модернізацію, уніфікацію з метою масового випуску виробів, що використовують таку технологію.

Сама ідея створення безпілотних засобів існувала ще на початку 20-го століття, приблизно в той же час було розпочато науково-дослідні роботи зі створення безекіпажних засобів. В умовах сучасного світу та технічного прогресу технологія БА стала широко застосовуватися у різних галузях. На сьогоднішній день технологія застосування безпілотних апаратів як за допомогою дистанційного керування так і в повністю автоматичному режимі добре освоєна та активно застосовується як у цивільній, так і у військовій сферах. Напрацьована матеріальна база, потужності виробництва по всьому світу, відносна дешевизна випуску комплектуючих дозволяють легко створювати та застосовувати БА у майже будь-якій сфері, адаптувати їх під конкретні цілі та завдання.

Мета даної роботи – автоматизація процесу порятунку людини на воді.

Об'єкт розробки – система порятунку людини.

Предмет розробки – дрон, який дозволяє автоматизувати процес порятунку людини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз літератури за темою;
- вибрати та обґрунтувати технічні засоби для створення моделі;
- розробити модель та провести симуляцію її роботи;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи

здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

1.1 Види сучасних дронів

Для подальшої розробки та симуляції моделі дрону необхідним є первинний аналіз існуючої інформації на цю тему. Ознайомлення з науковою літературою таким чином служить як систематизуючий засіб для тієї бази знань, що була накопичена за всі роки досліджень та класифікації технології БПЛА та інших видів безпілотних апаратів. Згідно з наказом №661 від 08.12.2016 Міністерства оборони України «Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України» термін «безпілотне повітряне судно (безпілотний літальний апарат)» визначається як [3]: повітряне судно, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування, що розташований поза повітряним судном, або повітряне судно, що здійснює політ автономно за відповідною програмою.

Прикладом розподілу саме БПЛА може бути робота "Узагальнена класифікація безпілотних літальних апаратів" авторів О.Г. Корченко, О.С. Ілляш, яка зокрема розробляє та пропонує наступну класифікацію за 16 ознаковими признаками [4]:

- використання;
- тип системи управління;
- правила польоту;
- клас ПП;
- тип ЛА;
- тип крила;
- напрям зльоту/посадки;
- тип зльоту/посадки;

- тип двигуна;
- паливна система;
- тип паливного бака;
- кількість використань;
- категорія (з урахуванням маси та максимальної дальності дії);
- радіус дії;
- висота;
- функціональне призначення.

Технологія безпілотних апаратів застосовується не тільки як літальні засоби але і як морські пристрої широкого спектру застосування. Розвиток цієї технології є високоефективним з огляду на те, що морське середовище несе певний ризик для життя людини при проведенні як надводних так і особливо підводних досліджень або операцій. До таких пристроїв (в залежності від виконуваних задач) застосовуються терміни «безпілотний надводний апарат» або «безпілотний підводний апарат». Безпілотні морські апарати можуть застосовуватися в [5]–[7]:

- цивільній галузі;
- науковій галузі;
- військовій галузі.

Класифікувати морські дрони можна не тільки за сферою застосування, але також і за конструкційними особливостями. Надводні апарати можуть мати форму катера або платформи, що плаває. Підводні у свою чергу матимуть форму підводного човна і головною відмінністю від класичного підводного човна у такому разі буде відсутність внутрішнього простору для знаходження там екіпажу.

Так само як повітряне і водне середовище схильні до застосування безпілотних апаратів, що діють автономно або за принципом дистанційного керування, також і наземне середовище є сферою застосування безпілотних

апаратів. Такі дрони можуть мати різну організацію конструкції та ходової частини. Виділити можна три основні платформи для наземних дронів:

- гусенична платформа;
- колісна платформа;
- шнекова платформа.

Найпоширенішими на сьогоднішній день є саме гусенична та колісна платформи. Такі дрони можуть використовуватися як у цивільних, так і військових цілях. Громадянський сектор застосовує наземні дрони в агрокультурній галузі для доставки корисних вантажів, моніторингу полів та розпилення добрив. Застосування у військовому секторі виражається у використанні наземних дронів для дистанційного розмінування місцевості, евакуації поранених або проведення військових операцій шляхом обладнання таких дронів системами озброєнь, що у свою чергу знижує ризик для життя людини, замінюючи його на дрона.

У зв'язку з темою даної роботи саме безпілотні надводні апарати надалі розглядатимуться детальніше.

1.2 Приклади використання дронів

Розглянувши вище приклад класифікації БА за широким переліком критеріїв і параметрів доцільним є приведення прикладів використання конкретних класів і детальний розгляд типових представників кожного з них.

Розглянемо конкретні приклади використання в кожному з класів: цивільному, науковому, військовому.

Військові дрони можуть виконувати різні завдання як по моніторингу водних просторів так і по ураженню цілей: мостів, кораблів, мін, підводних човнів. Застосування морських дронів у військовій сфері є високотехнологічним і вигідним рішенням, оскільки знижує чисельність особового складу та дозволяє

військам, задіяним у морських операціях діяти дистанційно без ризику для життя. Морські дрони також є платформою, яка дозволяє використовувати різні модулі та змінювати компонування обладнання в залежності від поставленого завдання, виконувати широкий спектр завдань. Таким чином дрони можуть використовуватися як для патрулювання узбережжя або спостереження за певним сектором так і для проведення ударних операцій з метою знищення засобів протидії та морської техніки. Яскравим прикладом застосування такого виду дронів є удар дронами-камікадзе Magura V5 які перебувають на озброєнні ВМС України по кораблям Чорноморського флоту [8]. Дрон є одноразовим, несе в носі бойову частину з вибуховою речовиною і по досягненню цілі здійснює підрив бойової частини з подальшим знищенням цілі та самого дрона.

Зовнішній вигляд дрону приведено на рис. 1.1 [9].



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд Magura V5

Технічні характеристики дрона наведені у таблиці 1.1 [10].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики дрону

Характеристика	Значення
Довжина	5,5 м
Повна вага	до 1000 кг
Операційний радіус дії	до 400 км
Дальність ходу	до 800 км
Автономність	до 60 годин

Продовження таблиці 1.1

Характеристика	Значення
Способи навігації	автоматична GNSS, інерційна, візуальна
Передача відео інформації	до трьох відеопотоків HD
Криптозахист шифрування	256 біт
Бойове навантаження	до 200 кг
Максимальна швидкість	80 км/год

Безпілотні надводні апарати у науковій галузі також використовуються. Примітним є той факт, що такі апарати не обов'язково мають форму безекіпажного катера, човна або корабля. Прикладом цього може бути Autonomous spaceport drone ship (автономний безпілотний корабель-космопорт) компанії SpaceX. Даний пристрій являє собою плавучу платформу яка використовується як посадковий майданчик для керуваної посадки першого ступеня ракети-носія Falcon 9, з метою її подальшого відновлення та повторного використання. Використання такої платформи значно підвищує ефективність проведення космічних польотів і знижує їх вартість через можливість багаторазового використання прискорювачів першого ступеня ракети Falcon 9. Платформу розміщують на зазначеному місці заздалегідь за допомогою буксира. Дальність базування плавучої платформи відносно місця запуску ракети становить 300-400 км. Надалі платформа працює в автономному режимі, але є можливість дистанційного керування платформою наприклад для ручного коригування положення в просторі.

На сьогоднішній день компанія SpaceX має у своєму розпорядженні три такі платформи: на Атлантичному океані – «Just Read the Instructions» та «A Shortfall of Gravitas», на Тихому океані – «Of Course I Still Love You». Назви платформам дано на основі творів письменника-фантаста Іена Бенкса.

На рисунку 1.2 приведено зовнішній вигляд платформи [11].

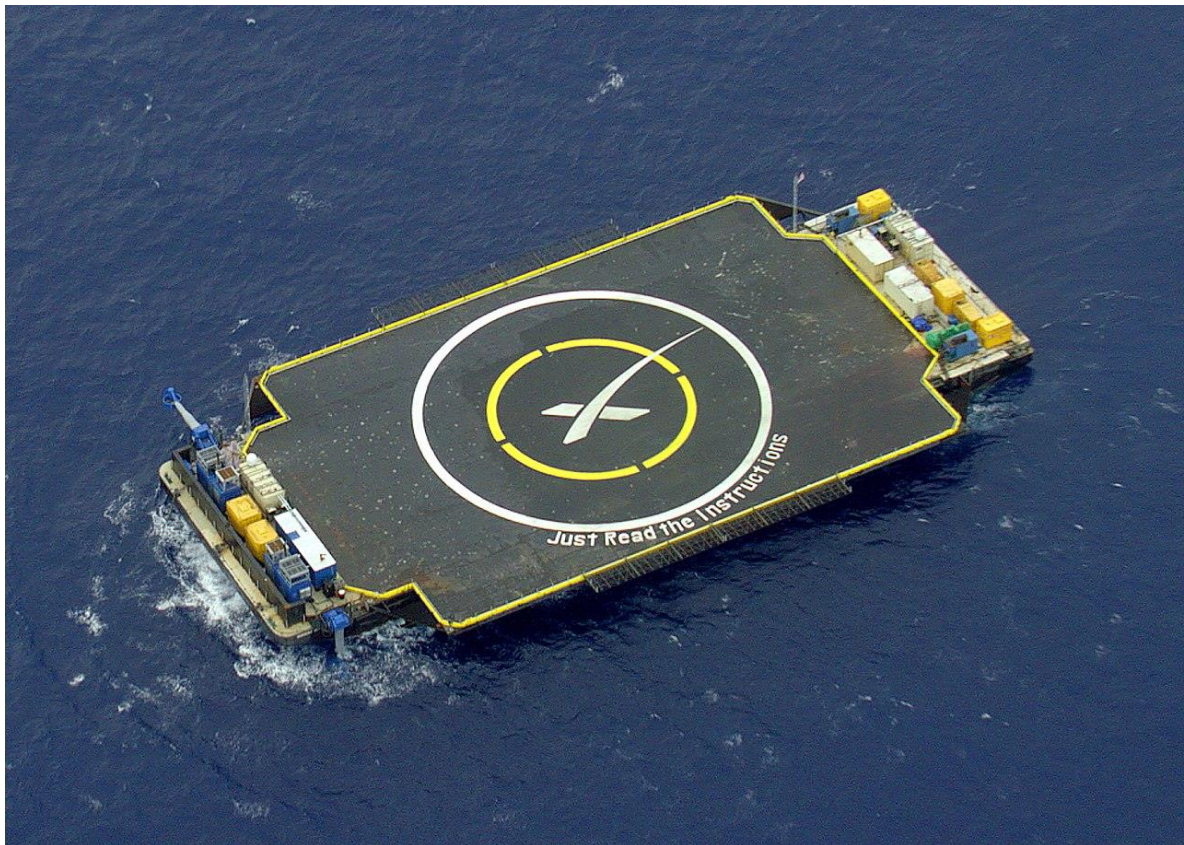


Рисунок 1.2 – Плавуча платформа «Just Read the Instructions»

Технічні характеристики платформи приведено в таблиці 1.2 [12].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики плавучої платформи

Характеристика	Значення
Довжина	87,8 м
Ширина	30,5 м
Висота	6 м
Точність утримання положення	± 3 м
Двигун	4 дизельні азимутальні двигуни Thrustmaster
Способи навігації	GPS

Морські дрони також можуть ефективно застосовуватися в галузі збору інформації про навколишнє середовище, океанографії, екосистемі морів. Прикладом є безпілотні надводні апарати компанії Saildrone. Дрони даного типу мають назву аналогічну назві компанії: вітрильні дрони. Вітрильний дрон – це

тип безпілотного надводного транспортного засобу, що використовується в основному в океанах для збору даних. Вітрильні дрони працюють на енергії вітру та сонця та оснащені набором наукових датчиків та навігаційних інструментів. Вітрильні дрони використовувалися вченими та дослідницькими організаціями, такими як Національне управління океанічних та атмосферних досліджень (NOAA), для дослідження морської екосистеми, рибних ресурсів та погоди [13]. У січні 2019 року було запущено невеликий флот вітрильних дронів для спроби першого автономного навколосвітнього плавання над Антарктидою. Один із вітрильних дронів завершив місію, подолавши 20 100 км за сім місяців подорожі, одночасно збираючи докладний набір даних за допомогою бортових приладів для моніторингу навколишнього середовища [14]. Saildrone та NOAA розмістили п'ять модифікованих суден класу «Ураган» у ключових точках Атлантичного океану перед початком сезону ураганів у Червні 2021 року. У вересні дрон SD 1045 знаходився на місці, щоб отримати відео та дані зсередини урагану Сем. Це був перший дослідний дрон, який опинився в центрі сильного урагану [15]. Конфігурація дрона SD 1045 включала наступне обладнання:

- відеокамери;
- датчик вітру;
- проблісковий маячок;
- датчик рівня освітленості;
- датчик температури та вологості повітря;
- датчик температури та солоності води;
- барометр;
- датчик висоти та періодичності хвиль;
- датчик океанських течій.

Зовнішній вигляд дрону приведено на рисунку 1.3 [16].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд Saildrone

1.3 Порівняння дронів

Розглянемо переваги та недоліки кожної можливої моделі у контексті порівняння їх між собою. Головними визначальними параметрами катера як плавального засобу є мореплавство та маневреність, швидкість. Вони в свою чергу визначаються і досягають конкретних значень вибором двох основних чинників: рушій і корпус. Розглянемо та порівняємо детально всі переваги та недоліки матеріалів корпусу, а саме:

- склопластик;
- дерево;
- сталь;
- алюміній.

Також необхідним є аналіз і порівняння видів рушіїв, серед яких:

- гвинтовий двигун;
- водометний двигун;
- двигун із підводними крилами.

Склопластик є сучасним високотехнологічним композитним матеріалом, що складається зі скляних або кварцових волокон і сполучного матеріалу на основі термореактивних та термопластичних полімерів.

Безумовними плюсами такого матеріалу є його міцність та довговічність. В основі цих якостей лежить той факт, що даний матеріал не сприйнятливий до корозії та впливу ультрафіолетових променів. Щільність склопластику, отриманого шляхом пресування чи намотування, становить від $1,8 \text{ г/см}^3$ до $2,0 \text{ г/см}^3$, що робить його легким відносно інших матеріалів. При цьому варто відзначити, що міцність такого матеріалу є достатньою для його використання у створенні корпусу та окремих його структурних елементів. Висока міцність, несприйнятливості до корозії та інших факторів, довговічність даного матеріалу роблять його невибагливим до догляду та ремонту під час експлуатації. Високотехнологічність склопластику також тягне за собою той факт, що на стадії його створення стає можливим надання йому практично будь-якої форми, переходів, вигинів шляхом використання заготівельних форм, на які накладають шари матеріалу вручну або методом напилення. Гладкість поверхні склопластику також є безумовним плюсом у контексті використання його для створення корпусу надводного безпілотного апарату.

Як і будь-який матеріал, склопластик має низку недоліків. Будучи композитним матеріалом, він вимагає наявності дорогого обладнання та кваліфікованого робочого персоналу, що загалом підвищує труднощі його створення. Хоча сам матеріал на сьогоднішній день добре освоєний у виробництві та застосуванні, а його власна ціна є відносно невеликою, первинні витрати на створення виробничих потужностей ускладнюють процес. Будучи шаруватим композитом склопластик схильний до розколювання при сильних ударах, що є недоліком у порівнянні з іншими матеріалами, які здатні до

амортизації та деформації із збереженням своєї структури. Смола яка використовується для зв'язування між собою скловолокна не є повністю водонепроникною, що робить склопластик схильним до водонасичення з часом. Цей фактор може порушувати структуру матеріалу і змінювати його форму.

Деревина є одним із найдавніших матеріалів які використовуються у створенні кораблів та інших плавальних засобів. Її плюси в контексті використання як матеріал корпусу добре вивчені і багаторазово підтверджені на практиці, але ряд недоліків робить деревину недоцільною для використання в окремих випадках.

Безумовними плюсом цього матеріалу є його природна плавучість. Деревина має щільність меншої щільності води, що дозволяє їй знаходитися на поверхні, а при достатньому обсязі навіть перевозити на собі корисне навантаження. Даний фактор був визначальним для кораблебудування в минулому, так як деревина була широко поширена і була добре податливою до обробки. Волокниста структура дерева та його щільність надають цьому матеріалу гнучкість і можливість до деформації без розколювання, що у свою чергу підвищує удароміцність і в цілому робить деревину здатною переносити та амортизувати удари. До того ж даний матеріал має малу теплопровідність, що дозволяє ізолювати внутрішній простір корпусу від впливу температури води як у спекотному так і в холодному кліматі.

Ряд недоліків все ж таки обмежує застосування деревини в якості матеріалу для створення корпусу. Так наприклад можна виділити вимогливість даного матеріалу до первинної обробки та постійного обслуговування. Для використання деревини у створенні корпусів морських апаратів необхідне її покриття спеціальними водовідштовхувальними та консервуючими засобами з метою запобігання гниття та руйнування структури. У ході експлуатації необхідний постійний догляд та регулярне оновлення покриття деревини, що робить її більш трудомістким матеріалом у порівнянні з іншими. Зважаючи на дані фактори деревина є менш довговічною ніж композитні матеріали та метали, має менший термін служби. До того ж вага в окремих випадках і конструкціях

може бути навіть більшою ніж у металів і значно більше ніж у композитних матеріалів.

Алюміній є одним із найпоширеніших металів і знаходиться у великих запасах у земному ґрунті. За своїми характеристиками ваги, міцності, щільності добре підходить для застосування в широкому спектрі інженерних споруд та пристроїв, та активно застосовується як у будівництві, машинобудуванні, літакобудуванні так і в морській галузі.

Великим плюсом є фізичні та хімічні властивості даного металу в контексті використання його як матеріалу для корпусів морських апаратів. Алюміній є легким металом, при цьому досить міцним і гнучким, що ставить його в більш вигідне положення щодо сталі або інших металів. До того ж важливим у контексті морської галузі є природна стійкість до корозії, характерна для алюмінію. Така характеристика пояснюється здатністю алюмінію утворювати на своїй поверхні оксидну плівку, яка захищає структуру матеріалу від впливу зовнішнього середовища (в даному випадку прісної та солоної води). Ремонтнопридатність алюмінію полягає у простоті його зварювання у разі утворення тріщин або пробоїн. Така характеристика властива більшості металів, але по ряду інших переваг даний матеріал є кращим до використання. Загалом весь перелік переваг даного матеріалу робить його термін служби більшим, а експлуатацію невибагливою. Корпуси з алюмінію довговічні.

Головним мінусом алюмінію є його ціна. Залежно від якості та товщини листа алюміній може бути значно дорожчим за сталь. Варто також зазначити фактор шуму. Звукові хвилі дуже швидко поширюються в металі і при ударах об хвилі алюмінієвий корпус може резонувати, доставляючи дискомфорт у тому випадку, якщо поблизу є люди. Важливим фактором є обмежена в порівнянні з композитними матеріалами можливість до надання форми алюмінію. Формування алюмінію можливе і здійснюється в умовах сьогоденного технологічного розвитку, але не може зрівнятися з можливостями формування, наприклад склопластику. Дані недоліки не є критичними, але все ж таки вносять обмеження у повсюдне використання даного матеріалу.

Сталь є одним із найпоширеніших сплавів, виробляється із заліза та вуглецю, вміст якого чітко регламентується й лежить в показниках від 0,02 % до 2,14 %. Широко застосовується практично у всіх сферах промисловості (як легкої так і важкої), інфраструктурі, медицині, енергетиці, при виробництві побутових виробів, в оборонній промисловості.

Головною перевагою сталі як матеріал є її невибагливість до експлуатації. Сталеві вироби можуть десятками років перебувати в експлуатації без зниження характеристик самого матеріалу. Прикладом цього можуть стати сталеві мости. З-за своєї щільності лежить в межах від 7,7 г/см до 7,9 г/см сталь є дуже міцним матеріалом, здатним переносити тривалі навантаження, різні температурні режими, удари, вібронанавантаженість. У суднобудівництві сталь використовується як для будівництва малих катерів так і великих вантажних кораблів для міжнародної торгівлі. Сталеві корпуси та конструкційні елементи давно використовуються в цій сфері, добре вивчені їх властивості, поведінка під час експлуатації, вимоги до ремонту, термін служби та зносостійкість. Ремонтопридатність сталі навіть вища ніж у алюмінію, адже для зварювання алюмінію потрібне спеціальне зварювання з використанням аргону. Сталь у свою чергу піддається звичайному електродуговому зварюванню. Для проведення ремонту потрібен невеликий спектр інструментів та обладнання, а витрати за часом та працею не такі великі як у випадку з деревом чи алюмінієм.

Серед всіх матеріалів у сталі найвища щільність, що позитивно позначається на її міцності але прямо впливає на вагу. Сталеві конструкції та корпуси можуть важити значно більше ніж алюмінієві, дерев'яні або композитні корпуси при тих самих розмірах та формі. На відміну від алюмінію сталь не має стійкості до корозії і у разі сферою морських апаратів на прикладах торгових кораблів можна чітко простежити, що сталеві корпуси вимагають фарбування для захисту від корозії, до того ж виникає необхідність регулярного зняття окисленого шару методом шліфування та частого оновлення шару. Виникає необхідність регулярного дрібного ремонту або використання в якості альтернативи нержавіючої сталі: сплаву, що має у своєму складі хром.

При побудові моделі безпілотного надводного апарату варто уважно віднестись до вибору рушія. З цією метою нижче наведено аналіз та порівняння різних варіантів двигунів.

Гребний гвинт є найпоширенішим сучасним рушієм на морських апаратах усіх класів. Будь-який сучасний гребний гвинт є лопатевим. Складається з лопатей та маточини. Лопаті встановлені на ступиці радіально, на однаковій відстані один від одного, повернені на однаковий кут щодо площини обертання.

Плюсом такого рушія є його простота у виготовленні та масовість. Гребні гвинти можуть бути виготовлені як єдина деталь методом виливка металу у форму з подальшою чистовою обробкою. Широке поширення робить цю конфігурацію ремонтно-придатною і у разі пошкодження гвинта легко здійснити повну його заміну на новий. Застосовуватися можуть як двох так і трилопатеві конфігурації. На високих швидкостях такі двигуни працюють стабільно і тим самим створюють високу паливну ефективність роботи. Такі гвинти забезпечують гарне зчеплення з водою, що сприяє активному набору швидкості та маневрування.

Серед недоліків можна виділити незахищеність та вразливість гребних гвинтів від пошкоджень у вигляді каменів, водоростей чи сміття. Вплив даного фактора знижується шляхом встановлення імпеллерів, але не прибирає проблему повністю. Ефективність гребних гвинтів спостерігається тільки при наборі швидкості та її підтримці. У разі є гвинт зупинений він працює як перешкода водному потоку, тим самим виступаючи як активне гальмо. Маневрування є ефективним лише на високій швидкості, здатність до активного маневру значно знижується зі зниженням швидкості руху. Гребні гвинти схильні до негативного впливу ефекту кавітації при тривалому терміні експлуатації. Під час роботи гребні гвинти створюють значний шум і вібрацію, яка може негативно позначатися на навколишньому середовищі, або у випадку з військовими кораблями може бути використана противником для виявлення та наведення озброєнь на корабель. Також гребний гвинт під час роботи може нести серйозну небезпеку, якщо поруч у воді або під водою знаходиться людина.

Водометний рушій – тип рушія, у якого сила, що рушить судно, створюється за допомогою струменя води, що виштовхується з нього, тобто за допомогою реактивної тяги. Конструкційно є водяний насос, що працює під водою. Складається з імпелера, водометної труби та реверсивного пристрою для руху назад.

Перевагами такого рушія є висока маневреність плавального засобу, можливість переднього і заднього ходу, в окремих випадках можливість ходу боком. Сам гвинт усередині водомета працює фактично в ідеальних умовах і не схильний до впливу водних потоків і течій ззовні. Така конфігурація рушія дозволяє ефективно маневрувати на малих швидкостях та у вузьких отворах. З'являється можливість розвороту дома. У порівнянні з гребним гвинтом водометний рушій є безпечним через те, що у нього відсутні виступаючі частини, а імпелери розміщені всередині водометної труби. Так само з'являється можливість проходження по мілководді або в місцях де дно засмічене, тому що весь механізм рушія захищений, що в порівнянні зі звичайним гребним гвинтом є значною перевагою. Під час руху катери обладнані таким рушієм більш стійкі через те, що рушій "притягує" апарат до води, з'являється можливість здійснювати різкі маневри. Також у порівнянні з гребними гвинтами знижується гідродинамічний шум, що особливо важливо для підводних човнів та військових кораблів.

Недоліком є менший у порівнянні з гребними гвинтами ККД на малих швидкостях через те, що крім корисного навантаження доводиться перевозити ще й вагу води, що знаходиться всередині водометної труби, є втрати потужності через тертя води об стінки трубопроводу і втрати потужності через турбулентні завихрення потоку води в каналах водомета. Більш складна конструкція вимагає більше часу і витрат на ремонт у разі виходу з ладу, що в свою чергу підвищує вартість ремонту. На вартість також впливає вища ціна на комплектуючі, а перелік комплектуючих може бути обмежений і не вироблятися масово. В цілому управління апаратом обладнаним водометним рушієм на малих швидкостях є складнішим і своєрідним.

Двигун у вигляді підводних крил працює наступним чином. Підводні крила, що знаходяться під корпусом, створюють підйомну силу і частково або повністю піднімають корпус судна над поверхнею води, що призводить до значного зменшення опору руху крізь воду і дозволяє розвивати високу швидкість. На стоянці та при ході на малій швидкості апарат на підводних крилах утримується на воді за рахунок сили Архімеда, як і звичайний плавальний засіб. При виході на високу швидкість за рахунок створюваної цими крилами підйомної сили апарат піднімається над водою. При цьому значно зменшується площа контакту з водою та гідродинамічний та лобовий опір води, що дозволяє розвивати більш високу швидкість. Управління підводними крилами здійснюється як шляхом зміни кута атаки (повороту всього крила) так і за допомогою закрилків. При цьому існує два типи підводних крил: частково занурене крило (U-подібне) і повністю занурене крило (крило у формі перевернутої букви T).

Головною перевагою такої конфігурації є висока швидкість ходу, яка перевищує швидкість ходу при використанні гребного винта або водомета. Час подолання відстані до пункту призначення значно знижується. При русі на крилах опір навколишнього середовища значно нижчий, що дозволяє легко підтримувати високу швидкість. Хороші морехідні якості пов'язані з тим, що при достатній довжині стійок крил такий апарат може стати несприйнятливим до хитання і хвилювання.

Головним мінусом таких апаратів є низька економічність у порівнянні з класичними типами. При великому хвилюванні хвиля може ударити об корпус плавального засобу, збиваючи його з курсу або дестабілізуючи, або оголювати крила при проходженні найвищої точки хвилі. Неможливість підходу апаратів такого типу до берега або до звичайних стоянок через глибоке осідання крил. Також існує необхідність наявності двигунів (бензинових або дизельних) достатньої потужності, які можуть забезпечити виведення апарату зі звичайного положення в положення ходу на крилах, за недостатньої потужності вся концепція руху на підводних крилах втрачає сенс.

2 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДРОНУ

2.1 Розрахунки навантаження

Виходячи з проведеного в попередньому розділі аналізу літератури на тему і розглянувши приклади використання дронів, їх можливі види, провівши їх порівняння наступним кроком є розрахунок навантажень на структурні елементи дрона, що розробляється.

В теорії кораблебудування існує широкий спектр параметрів, розрахунок яких є обов'язковим для коректного проектування корпусу корабля. Так наприклад обов'язковим є розрахунок поздовжньої та поперечної міцності, що є критичним фактором у тому випадку, якщо йдеться про великі промислові кораблі, довжина корпусу яких вимірюється десятками або сотнями метрів. Виділяють місцеву та загальну міцність для проведення розрахунків у таких випадках. При неправильному розрахунку навантажень і міцності корпус корабля довжиною, наприклад, у 100 метрів може переломитися надвоє, проходячи через пік хвилі в сильний шторм. Спектр подібних детальних розрахунків важливий у разі побудови великих плавальних засобів, але деякі з них можна опустити через малі габарити розроблюваного корпусу дрону. Серед необхідних в даному випадку параметрів для корпусу можна виділити:

- щільність матеріалу;
- вага корпусу;
- водотоннажність;
- плавучість.

До двигуна в даному випадку необхідно буде застосувати розрахунки потужності.

Дрон призначений для проведення морських рятувальних операцій. Розміри дрону в такому разі розробляються під одну дорослу

середньостатистичну людину. Концепція дрону має на увазі його прибуття на точку порятунку людини, наступним кроком людина забирається на дрон або тримається за рятувальну петлю, і сидячи верхи або знаходячись у воді прибуває в пункт першої допомоги, на берег або в будь-яку іншу позначену наперед точку. З цього випливає, що масо-габаритні параметри дрона повинні приблизно відповідати розмірам та формам невеликого гідроциклу. З метою встановлення необхідних мінімальних характеристик нижче наведено розрахунки ключових параметрів та формули за якими здійснювалися розрахунки.

Розміри дрону повинні бути достатніми для розміщення всього необхідного обладнання та для перевезення/буксирування середньостатистичної людини. Розміри корпусу в такому випадку прийняті такими:

- довжина 1850 мм;
- ширина 800 мм;
- висота 300 мм.

Попередньо як матеріал для корпусу взятий склопластик. Відомо, що щільність склопластику лежить в межах від 1,8 г/см³ до 2,0 г/см³.

Для розрахунку приблизної маси корпусу використовується така формула:

$$M = S \cdot l \cdot \rho, \quad (1)$$

де M – маса корпусу, г;

S – площа корпусу, см²;

l – товщина матеріалу, см;

ρ – густина матеріалу, г/см³.

При відомих розмірах та формі дрона його площа приблизно дорівнює 42597,3 см², густина склопластику дорівнює 2 г/см³, а товщина стінки корпусу прийнята як 5 мм. При підстановці в формулу (1) отримано наступний результат:

$$M = 42597,3 \cdot 0,5 \cdot 2,$$

$$M = 42597,3 \text{ г.}$$

Для розрахунку потужності використовується формула наступного вигляду :

$$P = F_D \cdot v, \quad (2)$$

де P – потужність, Вт;

F_D – гідродинамічний опір, Н;

v – максимальна швидкість, м/с.

Для розрахунку потужності за цією формулою потрібний попередній розрахунок гідродинамічного опору. Він здійснюється за формулою:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_D \cdot A, \quad (3)$$

де F_D – гідродинамічний опір, Н;

ρ – густина води, г/см³;

v – максимальна швидкість, м/с;

C_D – коефіцієнт опору;

A – площа поперечного перерізу дрона, м².

Щільність води дорівнює 1000 кг/м³, бажана швидкість для буксирування людини прийнята за 5 м/с, площа поперечного перерізу при габаритах дрону приблизно дорівнює 0,24 м², коефіцієнт опору прийнято за 0,5. При підстановці значень в формулу (3) був отриманий наступний результат:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 5^2 \cdot 0,5 \cdot 0,24,$$

$$F_D = 1500 \text{ Н.}$$

Отримане значення підставлено у формулу (2) і обчислено наступний результат:

$$P = 1500 \cdot 5,$$

$$P = 7500 \text{ Вт.}$$

Водотоннажність це одна з основних характеристик будь-якого водного транспортного засобу. Є загальною кількістю води, що витісняється зануреною у воду частиною корабля. Відповідно до закону Архімеда маса цієї кількості рідини дорівнює масі всього корабля, незалежно від його розміру. В даному випадку водотоннажність дорівнюватиме 300 кг.

Плавучість – це здатність тіла залишатися в рівновазі, не занурюючись далі і не виходячи на поверхню. Плавучість може бути позитивна, нейтральна та негативна. При позитивній тіло прагне спливати до тих пір, поки сила тяжкості і сила виштовхування не зрівняються. При негативній плавучості тіло тонутиме. При нейтральній плавучості тіло зберігатиме своє становище. В даному випадку необхідно дізнатися межу плавучості для дрона, що розробляється. Враховуючи його приблизні параметри внутрішній обсяг дрону буде прийнято за $0,3 \text{ м}^3$. Далі згідно із законом Архімеда для розрахунку використовується формула:

$$F_b = V \cdot \rho \cdot g, \quad (4)$$

де F_b – сила плавучості, Н;

V – об'єм виштовхнутої води, м^3 ;

ρ – густина води, г/см^3 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Перетворивши цю формулу можна дізнатися межу плавучості виражену через масу, така формула представлена нижче:

$$M = \frac{F_b}{g}, \quad (5)$$

де M – критична маса, кг;

F_b – сила плавучості, Н;

g – прискорення вільного падіння, м/с.

Підставивши значення було отримано такий вираз:

$$F_b = 0,3 \cdot 1000 \cdot 9,81,$$

$$F_b = 2943 \text{ Н.}$$

Отримавши значення сили плавучості було використано другий вираз, з чого випливає:

$$M = \frac{2943}{9.81},$$

$$M = 300 \text{ кг.}$$

Таким чином було встановлено, що при внутрішньому обсязі в 0,3 м межа плавучості дорівнює 300 кг, тобто дана маса є максимальною, при якій корпус зможе зберігати нейтральну плавучість.

В результаті всіх проведених розрахунків були отримані параметри дрона, що розробляється. Важливо відзначити, що параметри та їх значення не є суворими і виступають як граничні значення, які повинні бути дотримані в ході проектування та симуляції. Перелік всіх даних представлений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри розроблюваного дрона

Параметр	Значення
Довжина	1850 мм
Ширина	800 мм
Висота	300 мм
Повна маса	300 кг
Максимальна швидкість	5 м/с
Потужність двигуна	7500 Вт
Водотоннажність	300 кг
Межа плавучості	300 кг

2.2 Вибір компонентів для створення дрону

Наступним кроком після проведення теоретичних розрахунків технічних характеристик дрону є вибір необхідних компонентів, які будуть задовольняти вищезазначені вимоги. Обов'язковими системами для дрону є:

- система керування;
- система живлення електронних компонентів;
- система навігації.

Виходячи з цього перелік необхідних компонентів наступний:

- двигун;
- блок керування;
- відеокамера;
- приводи керування;
- джерело живлення для електрокомпонентів.

В якості двигуна для дрона може виступати як електродвигун так і двигун внутрішнього згорання. Відомим є той факт, що ККД електродвигунів значно вище ніж ККД двигунів внутрішнього згорання, але при однаковій потужності електродвигуни мають значно меншу вагу і розміри в порівнянні з двигунами внутрішнього згорання, що в даному випадку є визначальним фактором через обмеженість внутрішнього об'єму корпусу дрону. Тому вибір був зроблений на користь електродвигуна.

При розгляді та порівнянні видів рушіїв у попередньому розділі було з'ясовано, що водометний двигун є найбільш безпечним відносно людини, яка знаходиться у воді через те, що такий двигун працює за принципом руху за рахунок реактивного струменя (в даному випадку водних мас) і не має виступаючих частин, здатних травмувати людину. Сам по собі водомет являє собою імпелер, водну магістраль в якій він розташований і сопло для викидання води, і для створення реактивного струменя йому потрібен зовнішній двигун, який обертає вал імпелера. У побудові малотоннажних і радіокерованих катерів для цих цілей використовують або малогабаритні двигуни внутрішнього згорання або електродвигуни. В даному випадку силова установка буде являти собою електродвигун і водомет. Визначальною характеристикою водомета є діаметр імпелера. У разі доцільно використовувати водомет діаметром 120 мм. Також водомет має бути оснащений поворотним соплом для можливості спрямування реактивного струменя, що дозволить дрону повертати. Зовнішній вигляд водомета такої конструкції наведено на рисунку 2.1 [17].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд водомета

Для створення водометом потрібної тяги необхідно, щоб швидкість обертання імелера була в районі 6000 об/хв. Вже відомо, що потужність двигуна для водомета повинна бути не менше 7500 Вт. У побудові радіокерованих катерів та електросерфів використовуються безколекторні двигуни постійного струму (BLDC). Головною характеристикою цього двигуна є KV (оборот на вольт). Наприклад, при значенні 200 KV такий двигун буде здійснювати 200 оборотів в хвилину при подачі на нього 1 вольту напруги. Таким чином при використанні мотора зі значенням 320 kv для досягнення 6000 об/хв необхідно подати 18.75 вольт напруги. Варто відзначити, що кількість обертів під навантаженням знижується, отже необхідний запас по напрузі. У такому випадку максимальна напруга, що подається на двигун, буде 36 вольт, що дасть 11520 об/хв, і під навантаженням дозволить тримати обороти в межах необхідного значення. На рисунку 2.2 представлений зовнішній вигляд двигуна який задовільняє умовам розрахунків [18].



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд безколекторного двигуна постійного струму

Також необхідне встановлення силового контролера. При відомих напрузі і потужності можна дізнатися силу струму використовуючи формулу наступного виду:

$$I = \frac{W}{U}, \quad (6)$$

де I – сила струма, А;

W – потужність, Вт;

U – напруга, В.

Виходячи з того що батарея повинна видавати напругу 36 вольт, а потужність мотора дорівнює 7500 Вт при підстановці значень в формулу отримується наступне значення:

$$I = \frac{7500}{36},$$

$$I = 208 \text{ A} .$$

Таким чином з'ясовано що силовий контролер повинен тримати 208 ампер струму у постійному режимі. Зовнішній вигляд силового контролера що задовільняє потребам представлено на рисунку 2.3 [19].



Рисунок 2.3 – Силовий контролер

Акумуляторна батарея повинна тримати максимальну силу струму 200 ампер та видавати напругу 36 вольт. Тепер необхідно зробити розрахунок ємності. Середній струм взято за 130 А і припущено, що запас ходу дорівнюватиме 15 хвилин (0,25 години). Розрахунок ємності акумулятора проводиться за такою формулою:

$$Q = I \cdot T, \quad (7)$$

де Q – ємність акумулятора, А · год;

I – сила струму розрядки, А;

T – час роботи, год.

При підстановці значень в формулу отримано наступний результат:

$$Q = 130 \cdot 0,25,$$

$$Q = 32,5 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

При використанні акумуляторів формату 18650 Panasonic NCR18650GA з номінальною напругою 3,7 вольт та ємністю 3,5 А · год (рис. 2.3) [20] необхідне складання схеми 10s10p. Напруга такої збірки дорівнюватиме 37 вольт, ємність 35 А · год, що повністю задовольняє вимогам до електроживлення двигуна. Загальна кількість елементів у збірці дорівнює 100 штук.



Рисунок 2.4 – Акумулятор 18650

Відомо що контроль тяги водомета здійснюється за рахунок регуляції напруги, що подається на електромотор через силовий контролер. У свою чергу, управління поворотним соплом водомета реалізується через використання

металевої тяги з сервоприводом. Сервоприводи можуть бути аналоговими або цифровими. Різниця полягає в частоті обробки сигналу від управляючого пристрою. З урахуванням тягового зусилля необхідного керувати соплом водомета достатнім є цифровий сервопривод із зусиллям 35 кг/см представлений рисунку 2.5 [21].



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд сервоприводу

Як мікроконтролер управління підходять плати від компанії Arduino. З урахуванням всіх пристроїв, якими необхідно керувати підійде модель Uno Rev3 зображена на рисунку 2.6 [22].

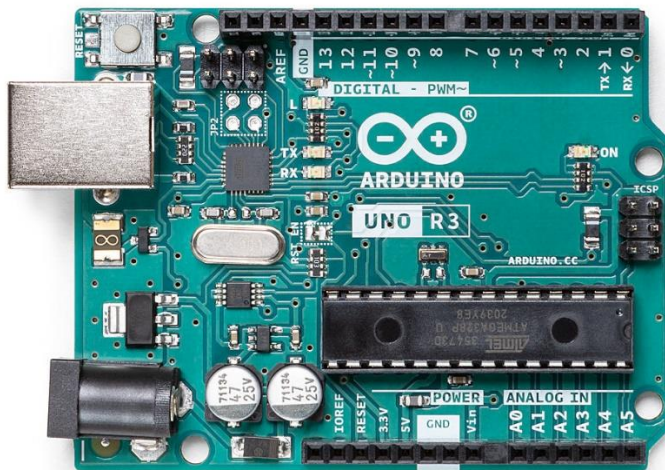


Рисунок 2.6 – Arduino Uno Rev3

Для управління дроном буде використаний пульт управління з приймачем на частоті 2,4 ГГц. Під ці задачі підходить пульт Flysky I6S з кріпленням під дисплей для виводу відео та ресивером FS-iA6B. Зовнішній вигляд пульта зображено на рисунку 2.7 [23].



Рисунок 2.7 – Пульт управління Flysky I6S

В якості камери підійде будь яка FPV камера для дронів в парі з використанням дисплею з приймачем відеосигналу. Взято камеру зі вбудованим відеопередавачем та антеною Eachine TX02 (рисунок 2.8) [24].



Рисунок 2.7 – Камера Eachine TX02

В якості дисплею було обрано дисплей SoloGood 5803D. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 2.8 [25].



Рисунок 2.8 – Дисплей SoloGood 5803D

2.3 Створення схеми підключення компонентів

Провівши вибір компонентів, необхідно перейти до створення схеми підключення. Як головний контролер вибрано плату Arduino Uno Rev3. Плата має як аналогові піни так і цифрові, причому деякі з цифрових пінів здатні видавати ШІМ сигнал як сигнал управління для тих пристроїв який використовують такий метод управління. На платі такі піни позначені символом "~" та підписом PWM (pulse-width modulation – широтно-імпульсна модуляція).

Як вже відомо, електромотор управляється силовим контролером шляхом регуляції вольтажу. Силовий контролер підключається двома проводами (живлення та земля) до акумулятора. У таких схемах зазвичай використовуються роз'єми xt60 або xt90. Другий набір дротів використовується для підключення контролера до плати. У даному разі ці три дроти це "живлення", "земля" і дріт керуючого сигналу. Примітним є той факт, що якщо силовий контролер обладнаний модулем ВЕС (Battery eliminator circuit) то стає здатним передавати живлення від батареї до інших елементів пристрою, таким як сервоприводи польотні контролери або мікроконтролери. В даному випадку такий модуль ВЕС на силовому контролері є і перетворює вхідну напругу акумуляторної батареї 36 вольт в 5 вольт живлення для плати управління. Таким чином при підключенні силового контролера чорним проводом у роз'єм GND а червоним у +5 В вся плата стає заживленою. Провід управління необхідно підключити в цифровий пін з підтримкою ШІМ, наприклад, пін №3. На рисунку 2.9 приведено умовний вигляд зв'язку електромотора, акумуляторної батареї та силового контролера.

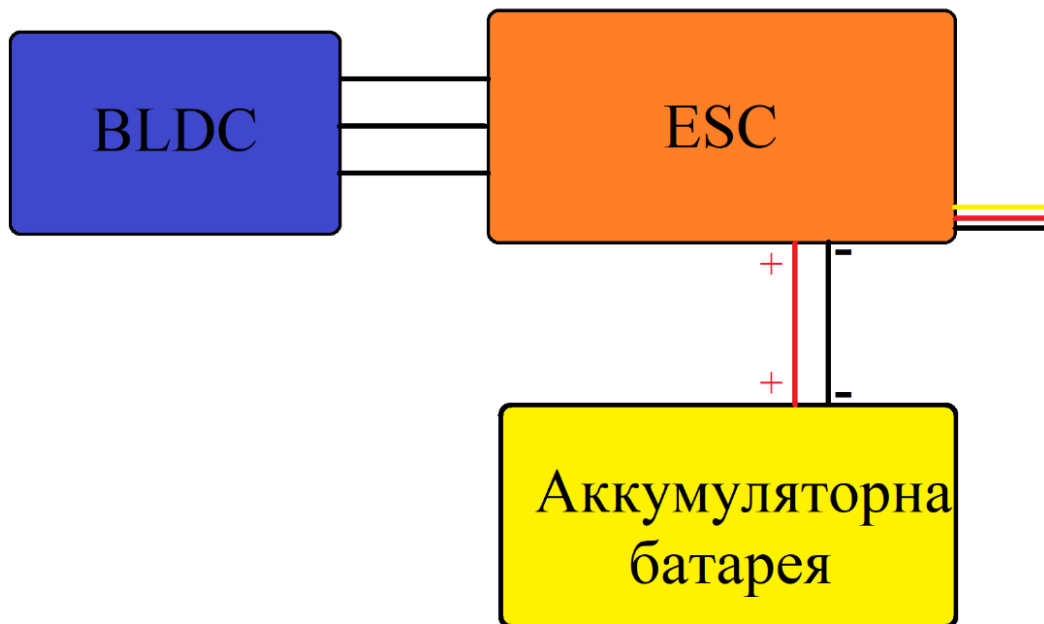


Рисунок 2.9 – Блок системи керування тягою

Сервопривід має таку ж конфігурацію дротів як і силовий контролер: червоний (живлення), чорний (земля), і дріт управляючого сигналу. Варто відзначити що управління сервоприводом здійснюється також за допомогою ШІМ сигналу. Таким чином червоний і чорний дроти будуть підключені до +5 В і GND відповідно, дріт управління підключений до цифрового піна з підтримкою ШІМ сигналу, наприклад пін №5. На рисунку 2.10 приведено схему підключення сервопривода.

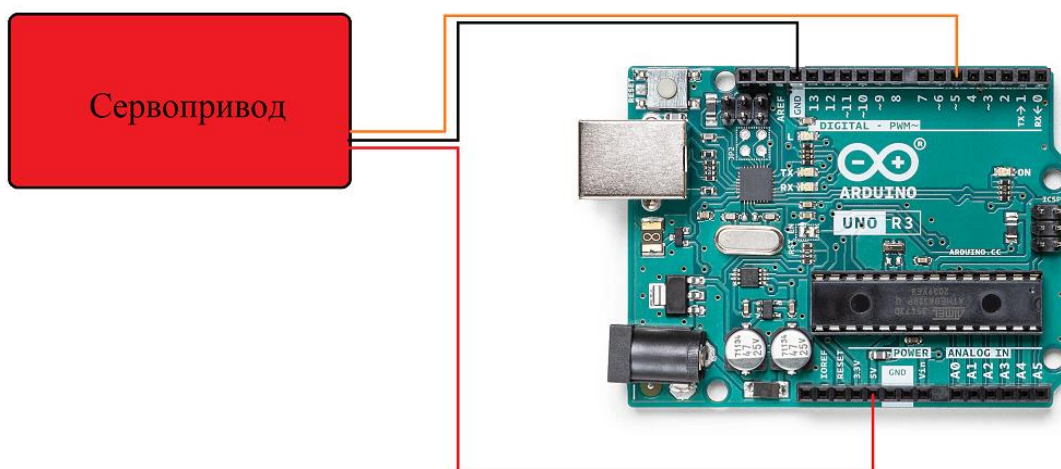


Рисунок 2.10 – Схема підключення сервопривода

Так як камера обладнана вбудованою антеною та відеопередавачем, на виході вона має тільки два дроти: "живлення" та "земля". Передача зображення здійснюється на частоті 5,8 ГГц, дисплей обладнаний відеоприймачем та антеною виводить зображення на екран. Підключення здійснюється в +5 В та GND відповідно. На рисунку 2.11 представлено підключення блоку камери до плати мікроконтролера.

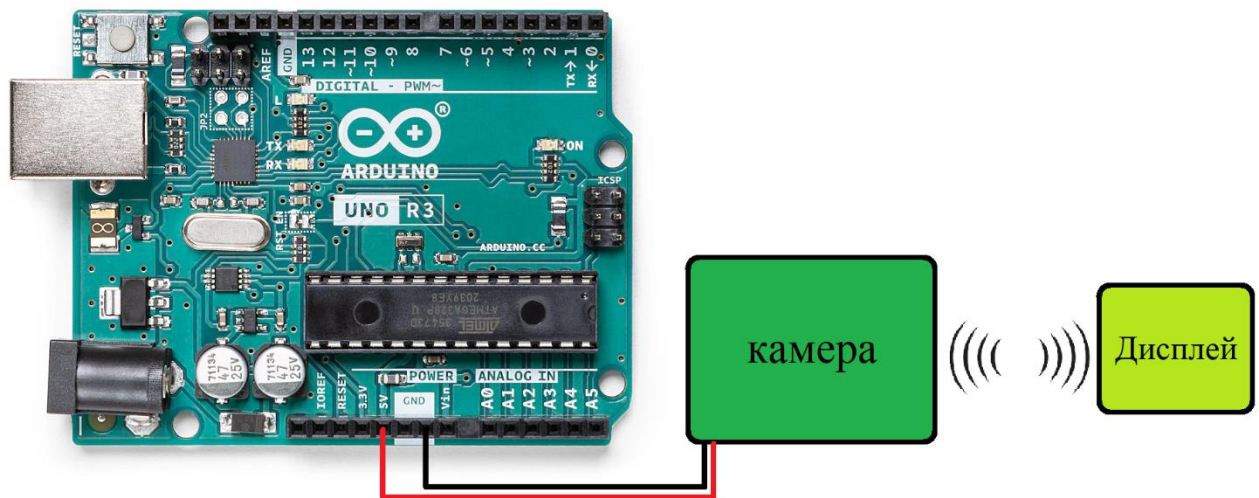


Рисунок 2.11 – Схема підключення камери

Радіопередавач має 6 каналів, з яких два будуть задіяні. В даному випадку це керування тягою (силовий контролер) та поворот сопла водомета (сервопривід). Для цього ch1 і ch2 (перші два канали) будуть підключені в сьомий і восьмий піни плати мікроконтролера, а дроти живлення +5 В і GND відповідно. Зв'язок із пультом управління радіопередавач здійснює на частоті 2,4 ГГц. Логіка роботи наступна: з пульта приходить радіосигнал, який радіоприймач відправляє на плату мікроконтролера, плата мікроконтролера конвертує сигнал у ШІМ сигнал і по керуючому дроту відправляє на виконавчий механізм. На рисунку 2.12 зображено схему підключення радіопередавача.

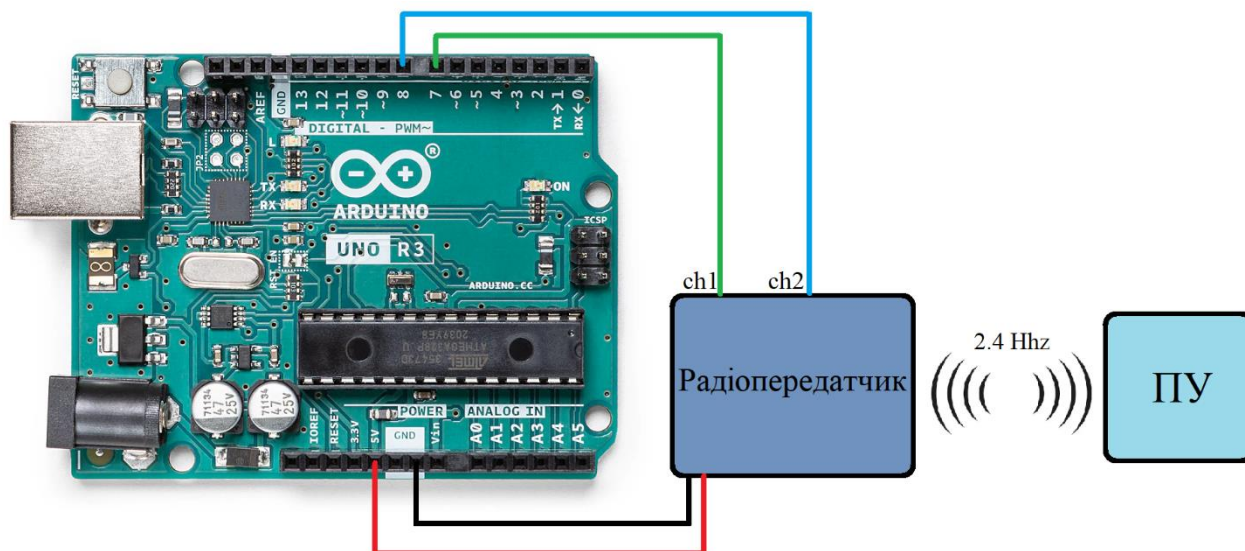


Рисунок 2.12 – Схема підключення радіопередатчика

Розглянувши детально схеми підключення всіх необхідних елементів, окремо була розроблена загальна схема підключення компонентів до плати мікроконтролера. Її вид представлений малюнку 2.13.

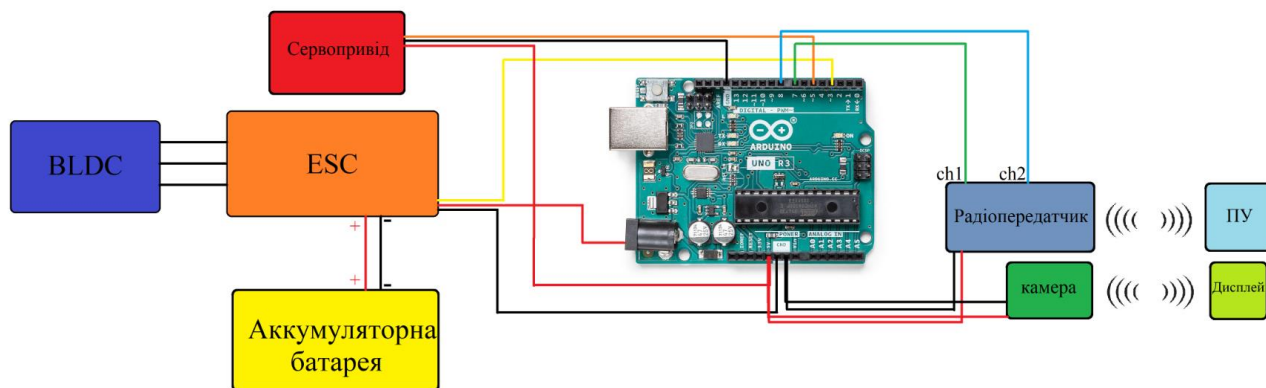


Рисунок 2.13 – Схема підключення компонентів

2.4 Перевірка стійкості системи за критеріями ТАУ

При проектуванні морського дрону необхідним і важливим пунктом є використання методів дослідження, розрахунків та створення систем

автоматичного управління. Розділ, який займається проблематикою та вирішенням подібних завдань, називається теорія автоматичного управління. Відомо, що проведення розрахунків і моделювання систем автоматичного управління може проводитися як з використанням комп'ютерних технологій моделювання, так і суто в математичному вигляді. Теорія автоматичного управління пропонує широкий спектр методів перевірки систем автоматичного управління різного ступеня складності (одноконтурних/багатоконтурних) та великий перелік варіантів їх вирішення за різними критеріями.

В даному випадку необхідно визначити об'єкт який виступає як така система. З погляду визначення відповідного елемента (комплектуючого) щодо критерію важливості у структурі системи найбільше підходить електромотор. Такий вибір обумовлений тим фактом, що найголовнішою характеристикою для морського дрона є його здатність переміщатися в просторі. Таким чином, виходячи з вищенаписаного, необхідно перевірити стійкість електромотора як головної ланки, представивши його у вигляді окремої системи. Скласти передавальну функцію, вибрати відповідний критерій стійкості та зробити зіставлення. Зробити всі необхідні для поставленого завдання розрахунки.

Для створення передавальної функції необхідними параметрами є опір обмотки електродвигуна, константа крутного моменту, константа проти-ЕРС, момент інерції ротора, коефіцієнт в'язкого тертя, коефіцієнт корисної дії.

Параметри електродвигуна що розглядається наступні:

- опір обмотки ($R = 0,185$), Ом;
- константа крутного моменту ($k_t = 0,0544$), Н·м/А;
- константа проти-ЕРС ($k_b = 0,05$), В·с/рад;
- момент інерції ротора ($J = 0,01$), кг·м²;
- коефіцієнт в'язкого тертя ($b = 0,02$), Н·м·с/рад;
- коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,89$).

Ці значення підставлено у передавальну функцію наступного виду:

$$G(s) = \frac{k_t}{s(J+b)(R+k_b s)+\eta}. \quad (8)$$

При підстановці отримано наступне рівняння:

$$G(s) = \frac{0,0544}{s(0,01+0,02)(0,185+0,05s)+0,89}.$$

Та спрощено його до виду:

$$G(s) = \frac{0,0544}{0,0015s^2+0,00555s+0,89}.$$

Під стійкістю системи мається на увазі її здатність повертатися у вихідний стан після дії зовнішніх сил. Необхідно, щоб система була стійка, інакше вона не є працездатною. Відомо, що розрахунок стійкості системи можна зробити виходячи з її алгебраїчних критеріїв. Для систем порядок яких вищий або дорівнює трьом необхідно використовувати один із відомих критеріїв стійкості (Гурвіца, Рауса або Ляпунова-Шипара). В даному випадку система є системою другого порядку і для перевірки її стійкості достатньо щоб всі коефіцієнти характеристичного рівняння мали однаковий знак:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0. \quad a_0 < 0, a_1 < 0, \dots, a_n < 0. \quad (9)$$

Характеристичне рівняння має вид:

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (10)$$

При підстановці значень до рівняння (3) отримано:

$$0,0015\lambda^2 + 0,00555\lambda + 0,89 = 0.$$

З чого можна зробити перевірку:

$$0,0015 > 0,0555 > 0,089 > 0.$$

Отже така система є стійкою.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ І СИМУЛЯЦІЯ

3.1 Розробка схеми макету

Для подальшої розробки всіх аспектів дрону необхідно здійснити створення макета. Зважаючи на те, що дана робота не передбачає складання фізичного зразка, під створенням макета мається на увазі розробка та проектування його 3D моделі. Створення 3D моделі дрону можна розділити на дві основні частини: створення корпусу та створення розташування деталей у внутрішньому просторі дрону.

Для поставлених цілей необхідне середовище розробки та 3D моделювання. У даному випадку під ці завдання підходить професійне вільне, відкрите програмне забезпечення для створення тривимірної комп'ютерної графіки Blender. Усі наступні дії виконуватимуться у цьому середовищі.

Створення корпусу здійснюється шляхом маніпуляцій із простою геометричною фігурою виду циліндр. Циліндр розгорнуто по осі X і обрізано половину (рис. 3.1).

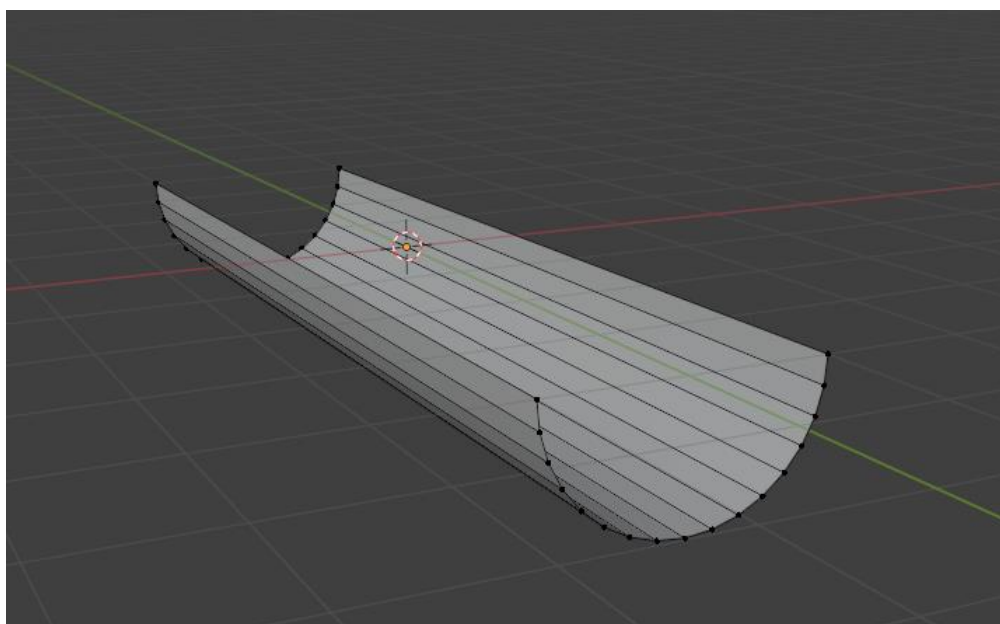


Рисунок 3.1 – Первинна робота з фігурою

Наступним кроком було виділено переднє ребро моделі та зведено один до одного для утворення контурів носа дрону. Додані поперечні ребра для більш детальної обробки корпусу (рис. 3.2).

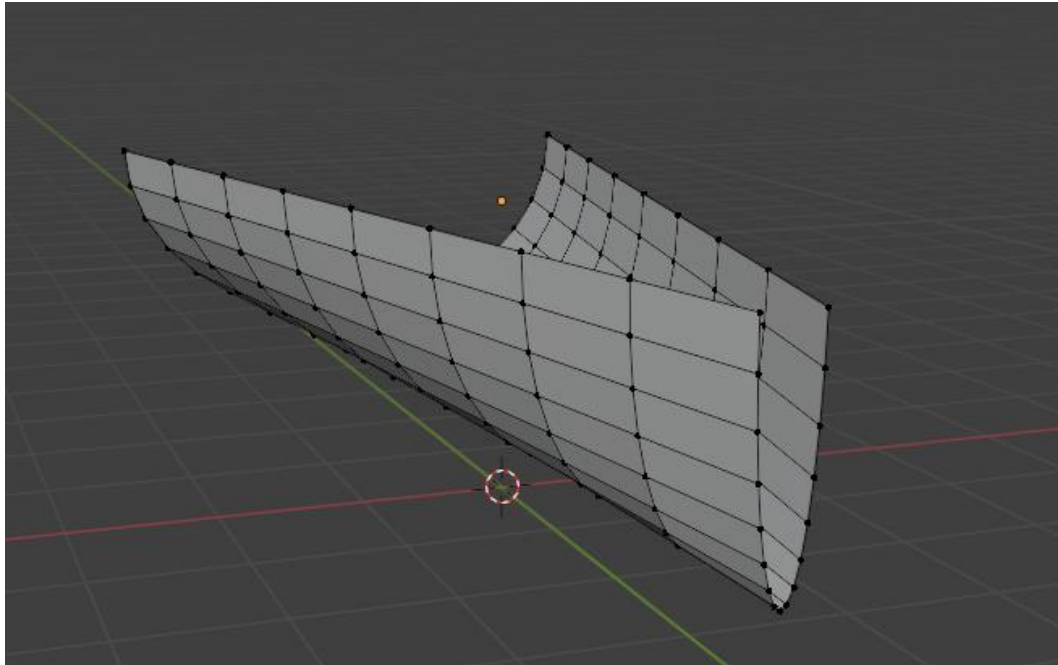


Рисунок 3.2 – Створення контурів носа дрона

Виконано формування корпусу. Ніс та задня частина дрону перекриті, зроблено панель верхньої (надводної) частини дрону (рис. 3.3).

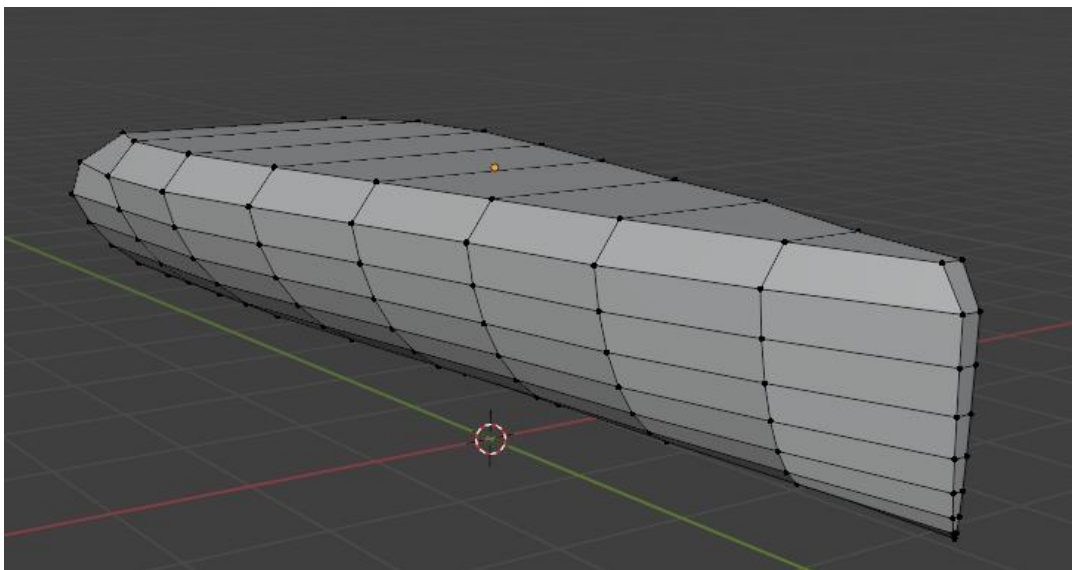


Рисунок 3.3 – Створення додаткових поверхонь

Для функціонування водомета необхідний забір води в днищі дрону. Для запобігання попаданню сміття у водомет на вході буде встановлена решітка. Решітку створено за допомогою об'єкта «площина» (рис. 3.4).

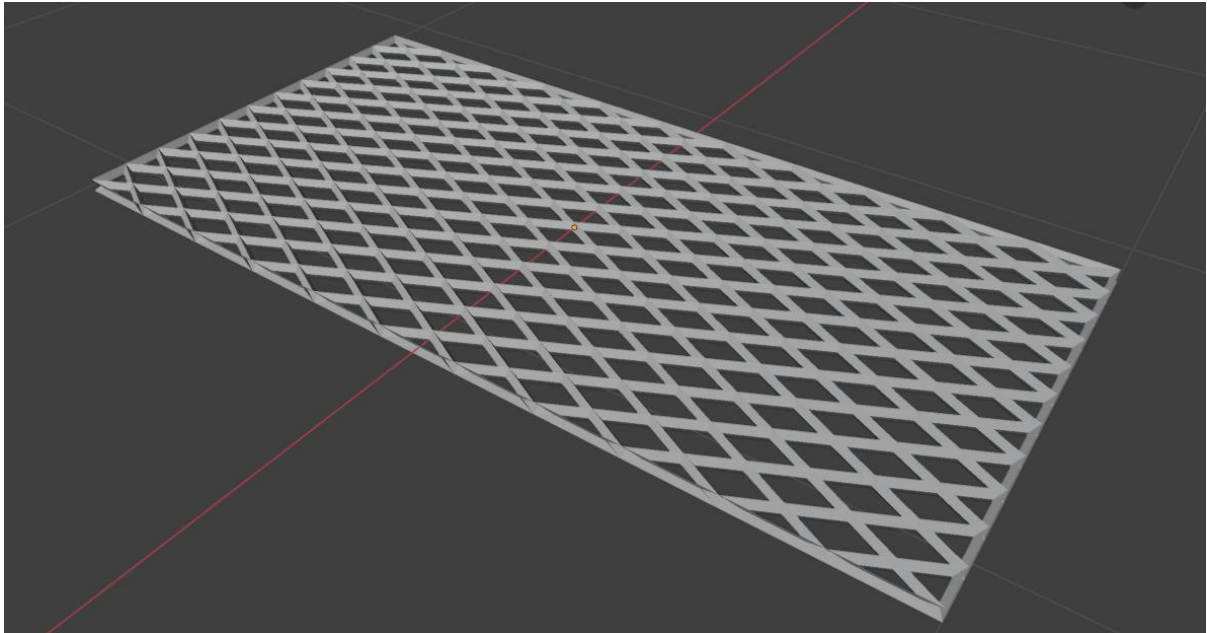


Рисунок 3.4 – Решітка на вході водомета

За допомогою об'єкта «циліндр» та «куб» зроблено радіоприймач та антену радіоуправління та додано її до корпусу дрону (рис. 3.5).

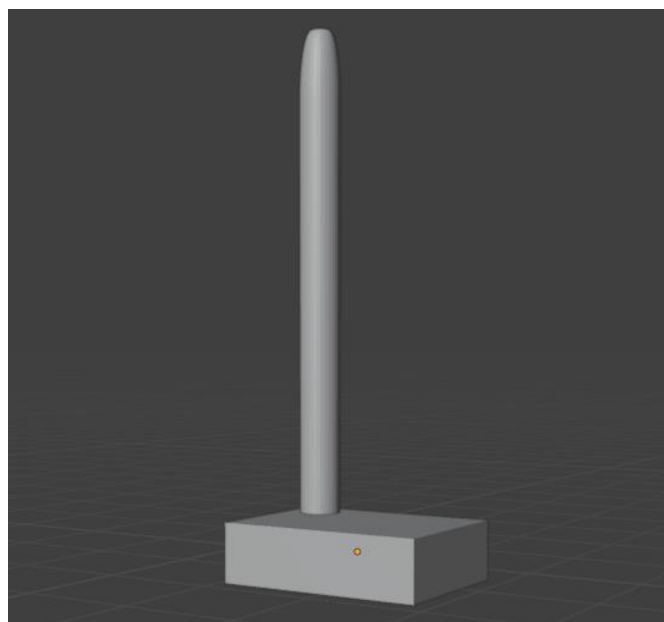


Рисунок 3.5 – Радіоприймач з антеною

За допомогою об'єкта «куб» виконано люк на верхній частині дрону для доступу до внутрішнього простору (рис. 3.6).

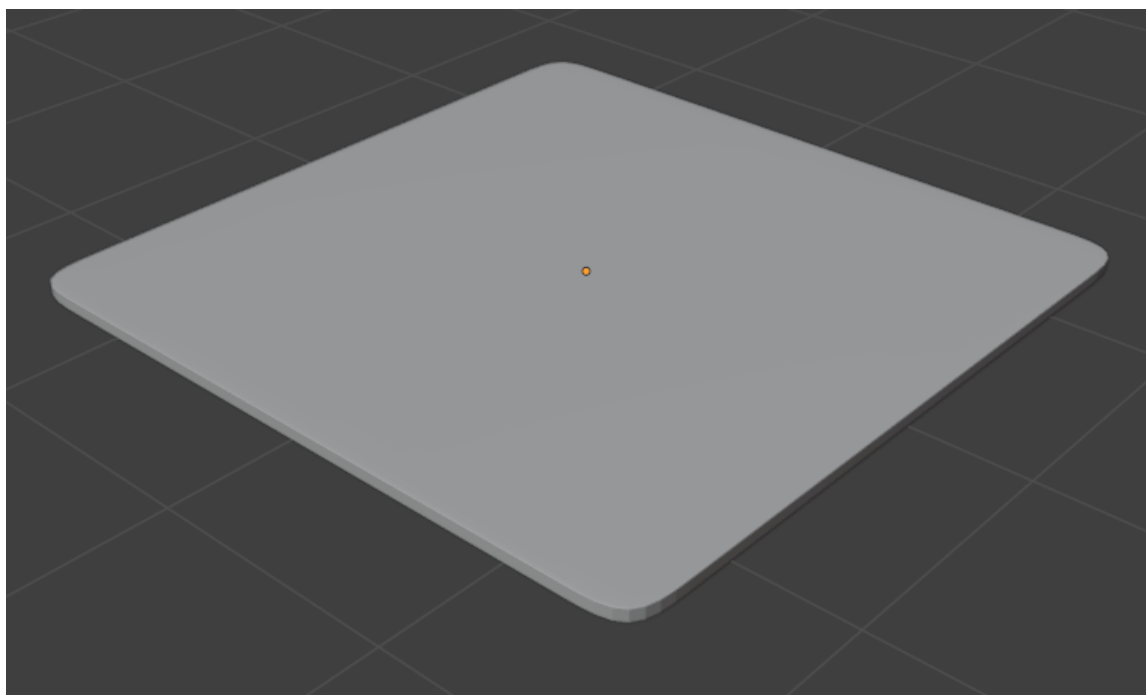


Рисунок 3.6 – Люк верхньої панелі

Наступним кроком було зроблено сопло водомета за допомогою структурних перетворень об'єкту «конус» (рис. 3.7).

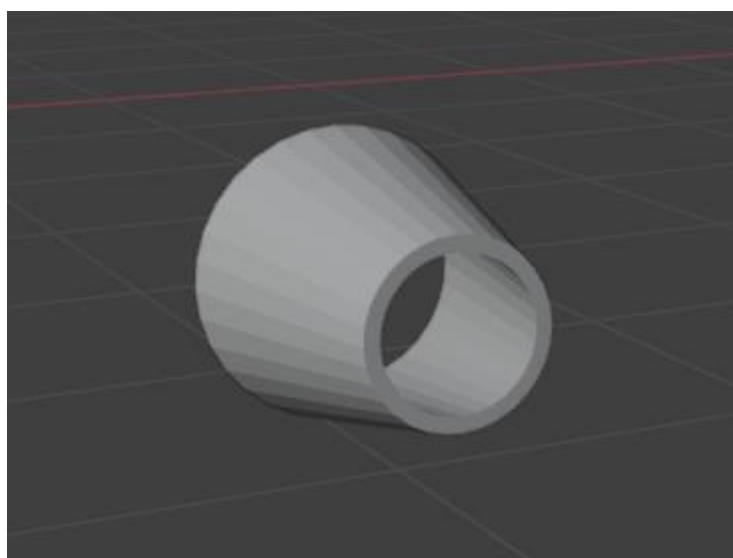


Рисунок 3.7 – Сопло водомета

Наступним кроком було розроблено трубу водомета з використанням інструменту *spin tool* та об'єктом «циліндр» (рис. 3.8).

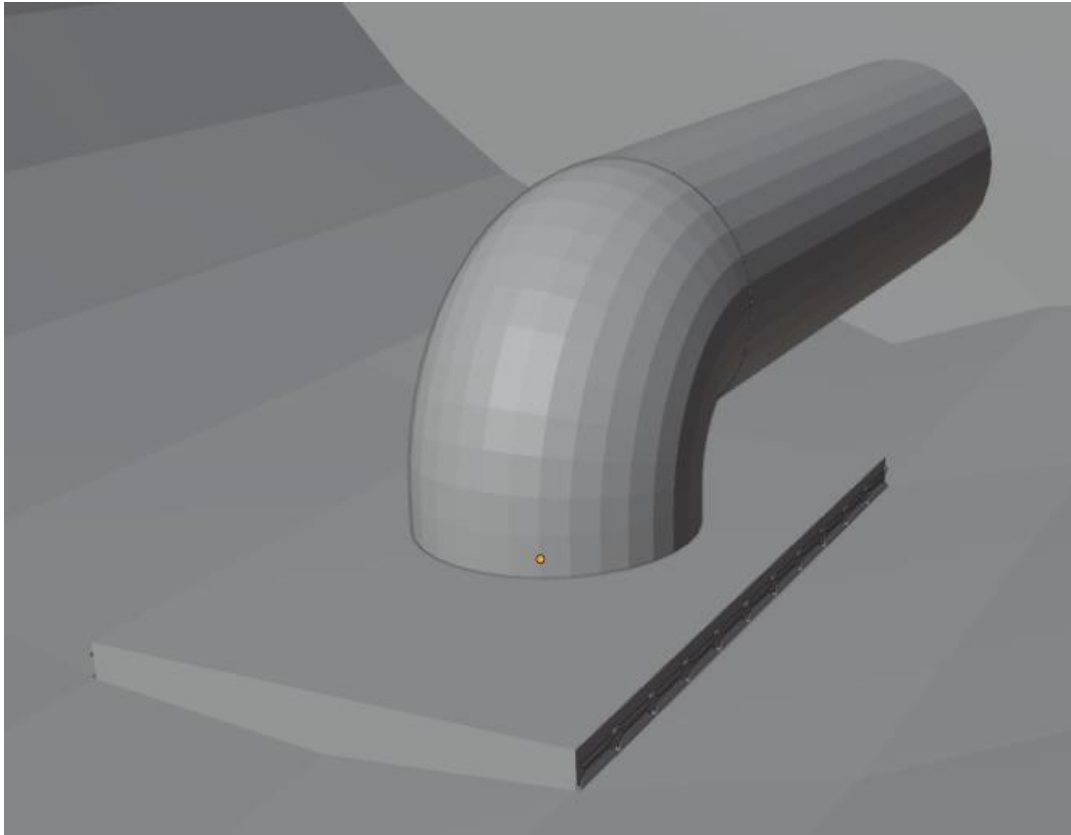


Рисунок 3.8 – Труба водомета

Наступним кроком було створено імпелер водомета. Використано об'єкт "циліндр" у якого закруглений верх, об'єкт "поверхня" з модифікаторами *simple deformation*, *solidify*, *bevel*, що змінюють деформацію, товщину поверхні, згладжування ребер. Далі отримана з поверхні лопасть скопійована 4 рази, розставлена симетрично відносно циліндра та застосовано об'єднання об'єктів.

Отриманий імпелер наведено на рисунку 3.9.

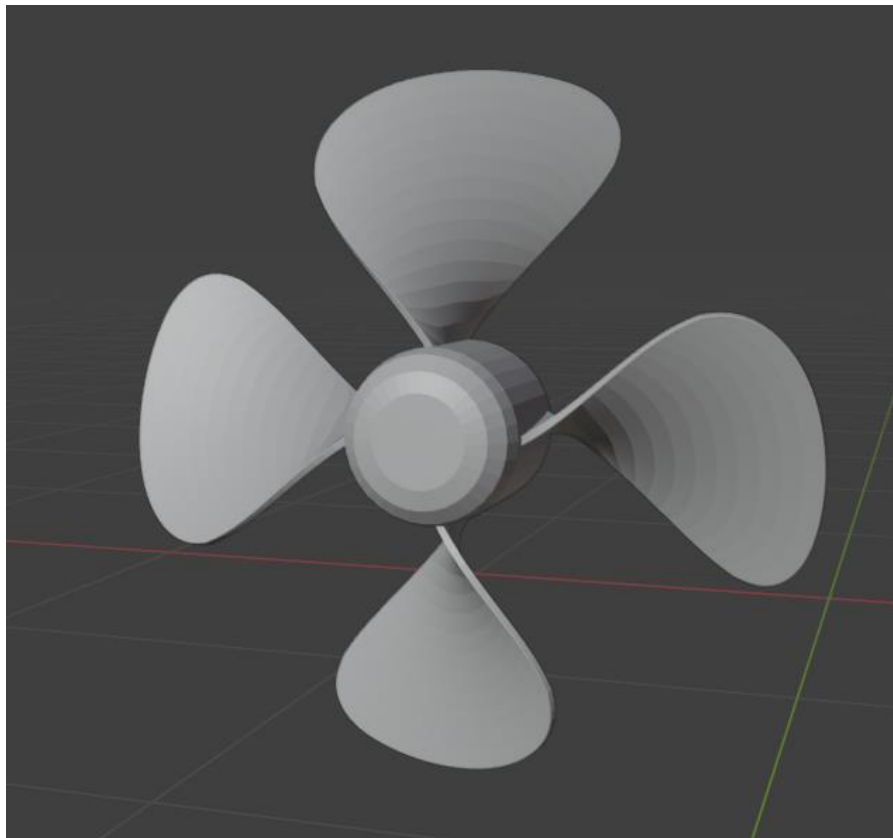


Рисунок 3.9 – Імпелер водомета

Наступним кроком було створено сервопривод та тягу від сервопривода до сопла водомета (рис. 3.10).

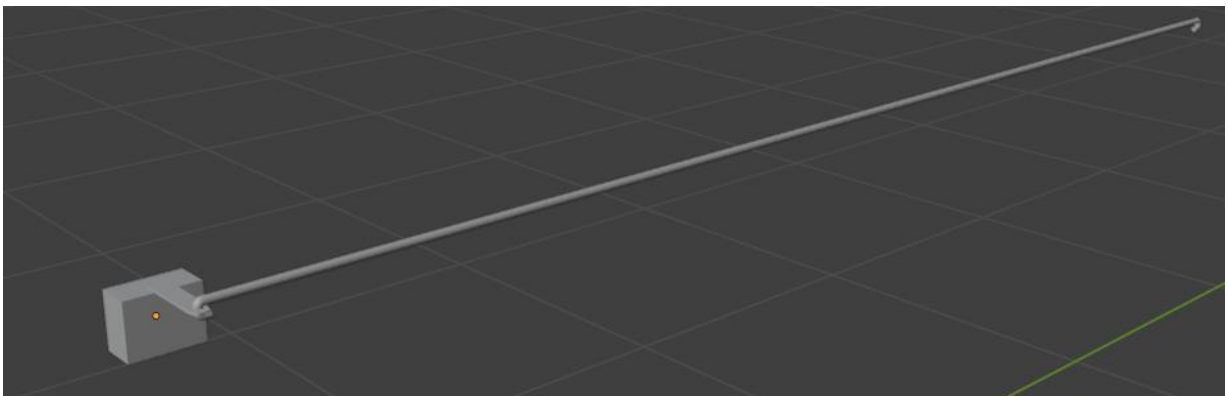


Рисунок 3.10 – Сервопривод з тягою

Наступним кроком було створено акумулятор (жовтий), електромотор з валом (синій) та силовий регулятор (помаранчевий) з використанням об'єктів «циліндр» та «куб» (рис. 3.11).

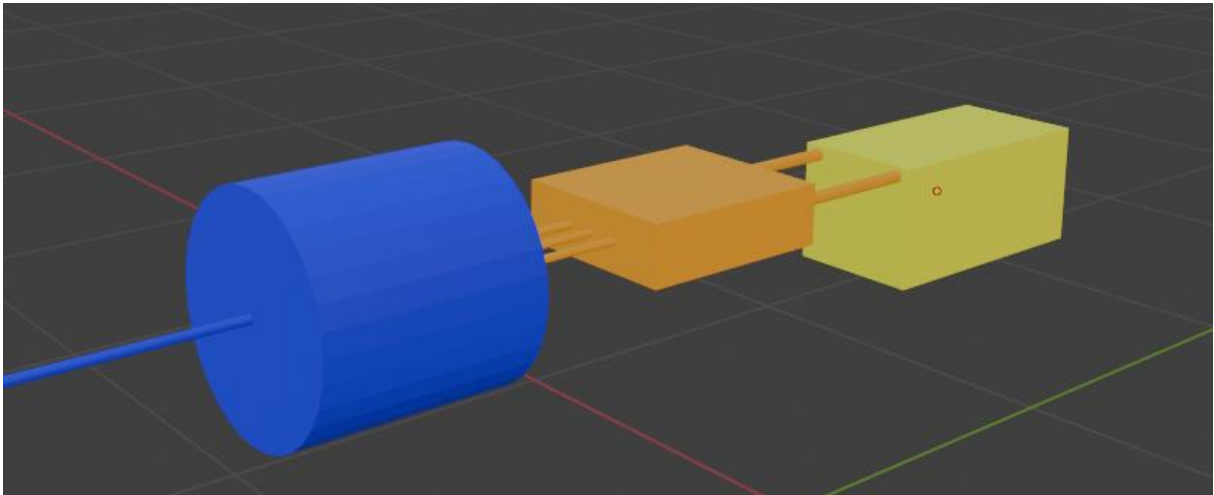


Рисунок 3.11 – Електромотор з силовим контролером та акумулятором

Використовуючи прості геометричні фігури, були розроблені всі комплектуючі дрона. Для умовного позначення кожен елемент та дроти підключення від елемента до мікроконтролера розфарбовано згідно з палітрою загальної схеми підключення (рис. 2.13). Загальний вигляд всіх внутрішніх елементів дрону з підключенням наведено на рисунку 3.12.

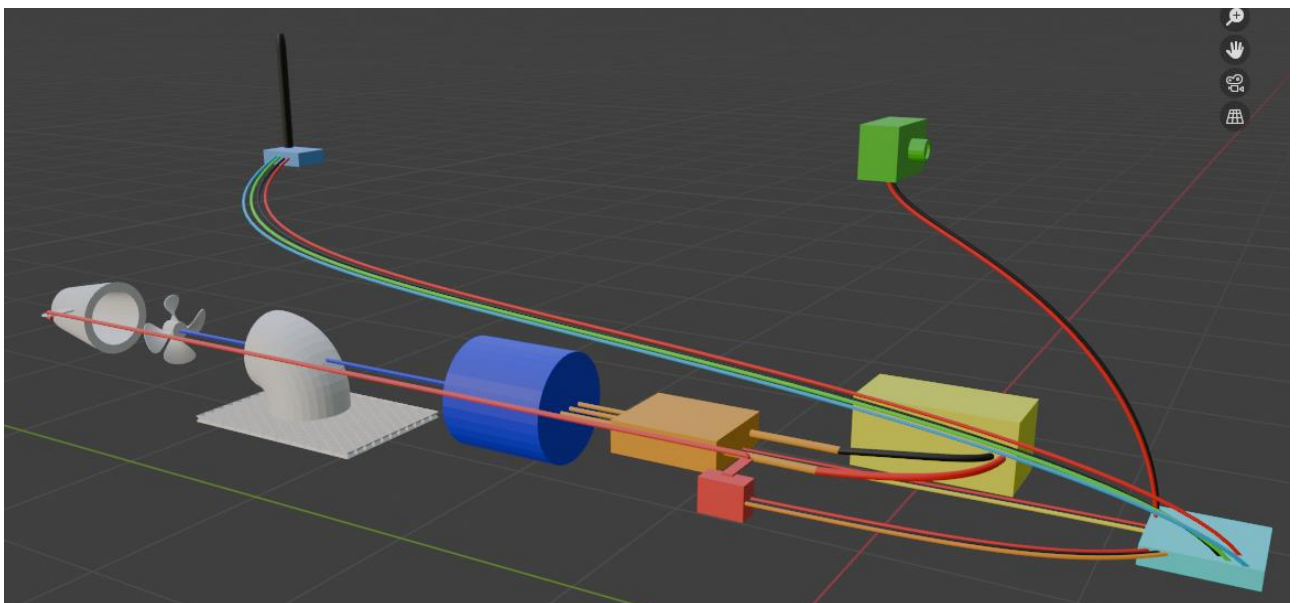


Рисунок 3.12 – Загальний вигляд компонентів дрону

Для гарної помітності на воді було вирішено розфарбувати корпус дрона у жовтий колір (колір кіля чорний), і додати до корпусу рятувальні петлі, за які

людина може вхопитися. Підсумковий вид корпусу представлений на рисунку 3.13.

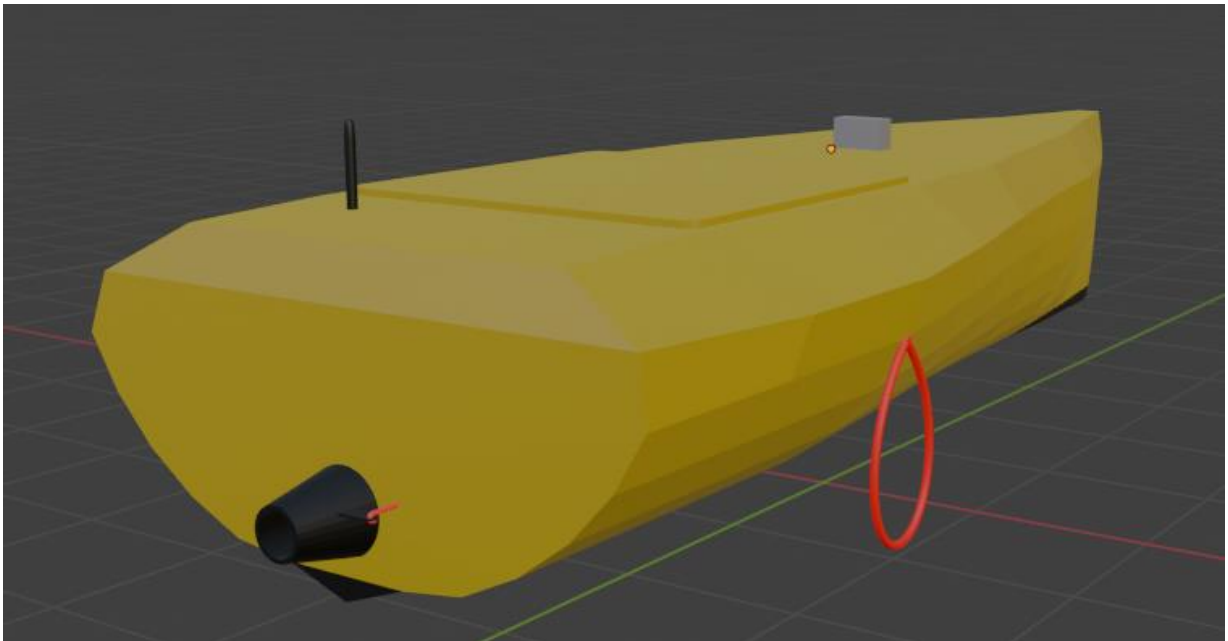


Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд корпусу дрона

3.2 Створення блок-схеми

Для організації управління дроном необхідне створення програмного забезпечення (алгоритму роботи) для мікроконтролера (у даному випадку Arduino Uno). Попереднім кроком написання програмного забезпечення є створення самої логіки роботи програми, яка, у свою чергу, як правило, графічно зображується у вигляді блок-схеми. Створення блок-схеми у такому разі є першорядним і визначає подальший вид програмного забезпечення, тому створення блок схеми вимагає врахування всіх чинників і деталей, їх коректної логіки і послідовності дій.

Як уже відомо, безпосереднього керування мікроконтролером вимагає силовий регулятор (ESC), який керує обертами безколекторного двигуна постійного струму та сервопривід, який через тягу керує кутом повороту сопла

водомета. Отже саме для цих двох комплектуючих необхідно розробити блок-схему, а надалі і код програмного забезпечення.

Для коректної роботи сервоприводу необхідно, щоб значення ШІМ сигналу перетворювалися на кут повороту в діапазоні від 0 до 180 градусів. У зв'язку з цим логіка роботи для сервоприводу полягає в таких кроках: радіоприймач отримує ШІМ сигнал від пульта управління, направляє його по першому каналу в сьомий цифровий пін мікроконтролера, мікроконтролер вимірює значення сигналу, перетворює його на значення кута повороту сервоприводу, відправляє отримане значення на пін до якого підключений керуючий дріт сервоприводу. Графічно цей алгоритм представлений на рисунку 3.14.

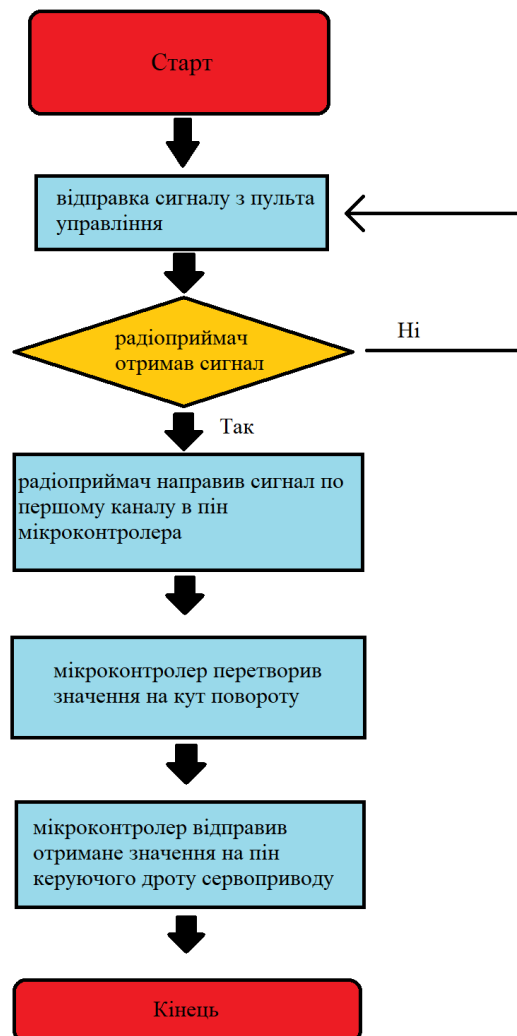


Рисунок 3.14 – Блок-схема роботи сервопривода

Логіка управління електромотором дуже схожа на логіку управління сервоприводом. Алгоритм полягає в наступних кроках: радіоприймач отримує ШІМ сигнал від пульта управління, направляє його по другому каналу в восьмий цифровий пін мікроконтролера, мікроконтролер перетворює його на значення які сприймає силовий регулятор у мікросекундах, відправляє отримане значення на третій цифровий пін до якого підключений керуючий дріт силового регулятора. Графічний вигляд даного алгоритму представлено на рисунку 3.15.

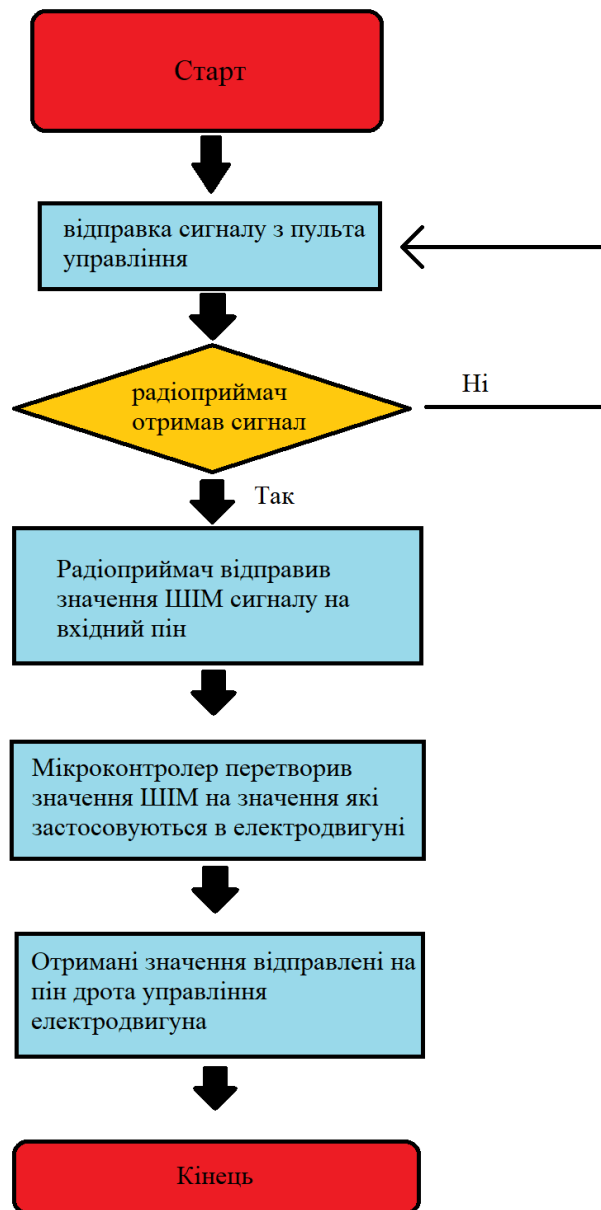


Рисунок 3.15 – Блок-схема управління електромотором

Таким чином було отримано блок-схеми для подальшої розробки програмного забезпечення.

3.3 Розробка програмного забезпечення

За розробленими в попередньому розділі блок-схемами необхідно виконати створення програми управління морським дроном. Оскільки в якості мікроконтролера використовується Arduino Uno R3, то середовищем розробки буде виступати програма Arduino IDE, а в якості мови програмування буде використано C++.

Для керування серводвигуном необхідно використовувати спеціальну бібліотеку під назвою Servo.h. Для підключення даної бібліотеки в коді використовується команда `#include`, а загальний вигляд такої команди виглядає так :

```
#include <Servo.h>;
```

Далі необхідно створити змінну класу Servo, яка відповідатиме за сервопривід. Нехай така змінна має назву `servo1`. Тоді рядок буде мати такий вигляд:

```
Servo servo1;
```

Для отримання сигналу від радіоприймача необхідно створити цілочисельну змінну і задати їй значення піна до якого підключений перший канал радіоприймача. Нехай змінна буде названа `receiver_ch1`, тоді рядок буде мати такий вигляд :

```
int receiver_ch1 = 7;
```

Також необхідно створити змінну яка буде зберігати числові значення ШІМ сигналу, що надходить у вигляді числа мікросекунд. Так як таке число може бути тільки додатнім, необхідно використовувати змінну типу `unsigned int`, в якій `unsigned` означає, що така змінна може зберігати тільки додатні числа. Нехай змінна матиме назву `pulse_duration_ch1`. Тоді рядок матиме такий вигляд:

```
unsigned int pulse_duration_ch1;
```

Наступним кроком необхідно створити змінні мінімального та максимального значень ШІМ сигналу. Такі змінні необхідні для використання функції перетворення значень сигналу в кут повороту сервопривода. Відомо, що мінімальне значення ШІМ сигналу в мікросекундах для пульта FlySky I6S дорівнює 990 а максимальне 2000. Нехай ці змінні називаються `duration_min` і `duration_max`. Тоді рядок для максимального значення матиме вигляд:

```
int duration_max = 2000;
```

А для мінімального значення:

```
int duration_min = 990;
```

Для зберігання перетворених числових значень кута повороту необхідно створити ще одну цілочисельну змінну. Нехай назва буде `pwm1`. Тоді рядок матиме вигляд:

```
int pwm1;
```

Наступним кроком необхідно прописати попередні умови встановлення для певних змінних у розділі `void setup ()`.

Сервопривід необхідно підключити до п'ятого цифрового піна. Також для додаткової точності перед початком роботи циклічної частини коду необхідно встановити положення сервоприводу в нульове. Для підключення сервоприводу використовується команда `.attach()`. Для змінної `servo1` така команда матиме такий вигляд:

```
servo1.attach(5);
```

Для встановлення в нульове положення використовується команда `.write()`, де в дужках вказується числове значення від 0 до 180. Для змінної `servo1` команда має такий вигляд:

```
servo1.write(0);
```

Змінну `receiver_ch1`, яка відповідає за зчитування даних від радіоприймача, необхідно оголосити як вхід даних. Для цього пін до якого підключений перший канал радіоприймача буде оголошено введенням даних за допомогою команди `pinMode()`. Для змінної `receiver_ch1` повністю команда виглядатиме як:

```
pinMode(receiver_ch1,INPUT);
```

Циклічна частина коду, яка повторюється постійно, поки включений мікроконтролер, розташована в блоці `void loop()`.

Необхідно прописати команду зчитування даних із вхідного піна першого каналу радіоприймача (за який відповідає змінна `receiver_ch1`) і записати отримані значення в змінну відповідну за зберігання значень ШІМ сигналу (у даному випадку `pulse_duration_ch1`). Для цього буде використана команда `pulseIn()`: Повний вид команди наступний:

```
pulse_duration_ch1 = pulseIn(receiver_ch1, HIGH);
```

Наступним кроком отримане значення ШІМ сигналу змінної `pulse_duration_ch1` необхідно перетворити на значення кута повороту сервопривода і записати його в змінну `pwm1`. Для перетворення використовується функція `map()`, яка перетворює значення змінної з одного діапазону в інший. Загальний вигляд цієї функції наступний: `map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh)`, де `value` – назва змінної яку необхідно перетворити, `fromLow` – нижня межа поточного діапазону змінної `value`, `fromHigh` – верхня межа поточного діапазону змінної `value`, `toLow` – нижня межа нового діапазону, `toHigh` – верхня межа нового діапазону. Для змінної `pwm1` повна команда має вигляд:

```
pwm1 = map(pulse_duration_ch1, duration_min, duration_max, 0, 180);
```

Після отримання перетвореного значення необхідно його передати сервоприводу. Для цього командою `.write` для змінної `servo1` наказано отримувати дані із змінної `pwm1`. Повністю рядок виглядає як:

```
servo1.write(pwm1);
```

Симуляцію роботи сервоприводу можна зробити в програмному середовищі `tinkercad`. Для цього обрано сервопривід, потенціометр, та плата `Arduino Uno R3`. Зовнішній вигляд схеми, що симулюється, зображено на рисунку 3.16.

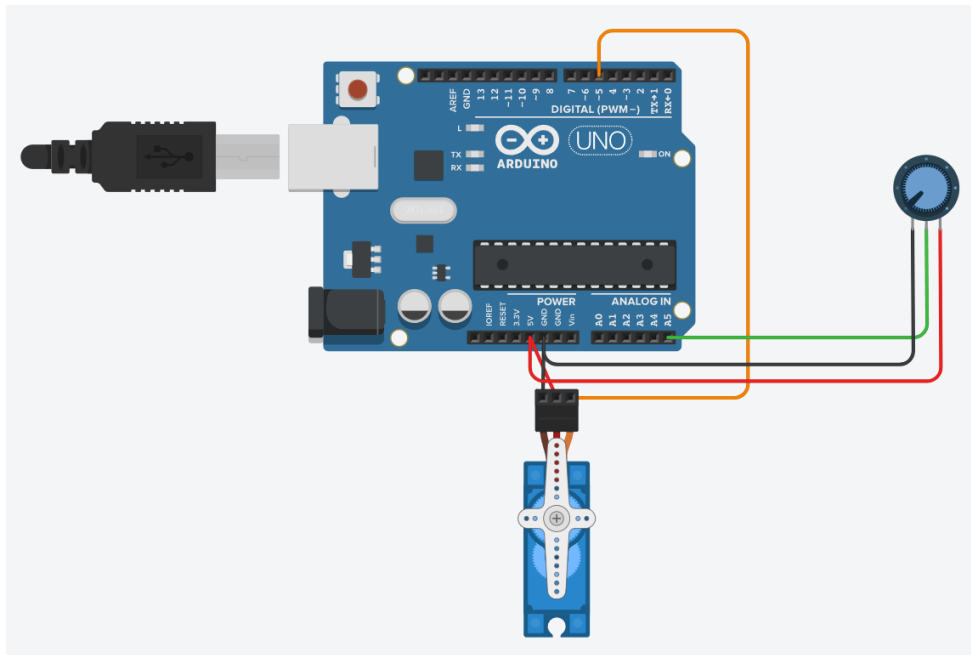


Рисунок 3.16 – Симуляційна схема сервопривода

Важливо відзначити, що в ході симуляції код і схема були умовно спрощені. Таке рішення викликане тим, що середовище Tinkercad не надає елементів радіокерування або передачі радіосигналів. Було прийнято рішення як джерело сигналу використовувати простий потенціометр підключений безпосередньо до плати мікроконтролера. У зв'язку з цим код програми також було умовно спрощено. Через відсутність радіоприймача з коду була прибрана змінна радіоканалу `receiver_ch1`, а змінна `pulse_duration_ch1` замінена цілочисленною змінною `int potentiometer`, яка зчитує дані з п'ятого аналогового піна плати мікроконтролера за допомогою команди `analogRead()`. Значення змінних `duration_min` та `duration_max` змінено з діапазону значень від 990 до 2000 на діапазон значень від 0 до 1024. Така зміна обумовлена робочим діапазоном значень потенціометра, який відрізняється від діапазону ШІМ сигналу.

Під час проведення симуляції схема демонструє стабільність і працездатність. Команда `servo1.write(0)` встановлює положення сервоприводу в нульове, прибираючи будь-які можливі відхилення на початку виконання поворотів згідно з керуючим сигналом. Зчитування аналогового сигналу (у разі від потенціометра) відбувається своєчасно. Алгоритм відповідальний

перетворення сигналу в кут повороту сервопривода працює коректно. Сервопривід стабільно набуває перетвореного значення і здійснює поворот на необхідний кут.

Для демонстрації роботи коду та перетворення значень використано виведення в монітор послідовного порту. Для цього було використано таку команду:

```
Serial.print();
```

Повністю блок, що відповідає за візуальну демонстрацію значень, що симулюються виглядає так:

```
Serial.print("servo angle = ");  
Serial.print (pwm1);  
Serial.print (" analog signal = ");  
Serial.print (potentiometer);  
Serial.println();
```

У цьому блоці значення аналогового сигналу названо "analog signal" і бере значення зі змінної potentiometer. Значення кута повороту названі "servo angle", а самі значення беруться із змінної pwm1.

Для проведення симуляції роботи коду було виконано повертання ручки потенціометру від мінімального до максимального положення. В результаті симуляції було зроблено висновок що сервопривод коректно працює на всьому діапазоні значень. На рисунку 3.17 зображено результати проведення симуляції у вигляді виводу числових значень аналогового сигналу та кута поворота сервопривода.

```

servo angle = 0  analog signal = 0
servo angle = 7  analog signal = 41
servo angle = 14 analog signal = 82
servo angle = 32 analog signal = 184
servo angle = 46 analog signal = 266
servo angle = 75 analog signal = 430
servo angle = 86 analog signal = 491
servo angle = 118 analog signal = 675
servo angle = 140 analog signal = 798
servo angle = 154 analog signal = 880
servo angle = 162 analog signal = 921
servo angle = 172 analog signal = 982
servo angle = 176 analog signal = 1003
servo angle = 180 analog signal = 1023
servo angle = 180 analog signal = 1023
servo angle = 180 analog signal = 1023
servo angle = 180 analog signal = 1023

```

Рисунок 3.17 – Вивід числових значень у монітор порта

Повністю код програми симуляції роботи сервопривода виглядає наступним чином:

```

#include <Servo.h>
Servo servo1;
int duration_min = 0;
int duration_max = 1023;
int pwm1;
void setup()
{
  servo1.attach(5);
  servo1.write(0);
}
void loop()
{
  int potentiometer = analogRead(5);
  pwm1 = map (potentiometer, duration_min, duration_max, 0, 180);
  servo1.write(pwm1);
}

```

```

Serial.print("servo angle = ");
Serial.print (pwm1);
Serial.print (" analog signal = ");
Serial.print (potentiometer);
Serial.println();
delay(5);
}

```

Код для мікроконтролера розробляється згідно з виконаним раніше алгоритмом керування електромотором.

Для керування безколекторним електромотором постійного струму за допомогою Arduino використовується та ж сама бібліотека Servo.h. З цього випливає, що змінна відповідальна за електромотор матиме клас Servo. Нехай її назва буде motor. Тоді команда оголошення буде:

```
Servo motor;
```

Для надсилання сигналу від другого каналу радіоприймача до мікроконтролера необхідно ввести цілочисельну змінну типу int. Нехай назва буде receiver_ch2. Згідно зі схемою підключення відомо, що другий канал приходить у восьмий цифровий пін плати. Тоді рядок буде мати вигляд:

```
int receiver_ch2 = 8;
```

Для вимірювання сигналу радіоприймача, що приходить з другого каналу, на восьмий цифровий пін плати необхідно ввести змінну яка буде вимірювати отримані значення ШІМ сигналу. Назва змінної буде pulse_duration_ch2. Тип змінної – цілочисленна, зберігає лише позитивні числа. Повна команда виглядає як:

```
unsigned int pulse_duration_ch2;
```

Для зберігання перетвореного значення необхідно створити змінну типу `integer`. Нехай назва буде `pwm2`. Команда оголошення:

```
int pwm2;
```

У розділі `void setup()` необхідно провести первинне налаштування оголошених змінних.

Змінну `receiver_ch2`, яка відповідає за відправлення значень з другого каналу радіоприймача на восьмий цифровий пін плати необхідно встановити як вхід даних. Для цього використовується команда `pinMode()`. Повна команда має такий вигляд:

```
pinMode (receiver_ch2, INPUT);
```

Змінну, що відповідає за мотор, необхідно прикріпити до цифрового піна згідно зі схемою підключення. У цьому випадку це третій цифровий пін. Команда виглядає так:

```
motor.attach(3);
```

У розділі `void loop()` необхідно налаштувати алгоритм перетворення вхідного сигналу від радіоприймача, налаштувати управління мотором за допомогою перетвореного сигналу.

Для початку необхідно щоб дані, що надходять від другого каналу радіоприймача, записувалися в змінну відповідну за запис значень ШІМ сигналу. Як відомо, входом даних є змінна `receiver_ch2`, а запис даних має проводитися в змінну `pulse_duration_ch2`. Для цього використовується команда `pulseIn()`. Повністю команда має вигляд:

```
pulse_duration_ch2 = pulseIn (receiver_ch2, HIGH);
```

Наступним кроком необхідно зробити перетворення отриманого сигналу в діапазон значень, в якому працює електромотор. Для силових регуляторів цей діапазон лежить від 800 до 2300. Для граничних значень неперетвореного діапазону сигналу використовуються змінні `duration_min` і `duration_max`. Вже відомо, що значення ШІМ сигналу зберігаються в змінній `pulse_duration_ch2`, а значення нового діапазону необхідно записати в змінну `pwm2`. Для цього використовується функція `map()`, а повний вид команди такий:

```
pwm2 = map(pulse_duration_ch2,duration_min,duration_max,800,2300);
```

Далі необхідно повідомити змінній `motor` значення з `pwm2`. Цей тип двигунів працює зі значеннями обчислюваними в мікросекундах. Для цього використовується команда `.writeMicroseconds`, а повна команда виглядає як:

```
motor.writeMicroseconds(pwm2);
```

На рисунку 3.18 зображено схему підключення електромотора у програмному середовищі Fritzing.

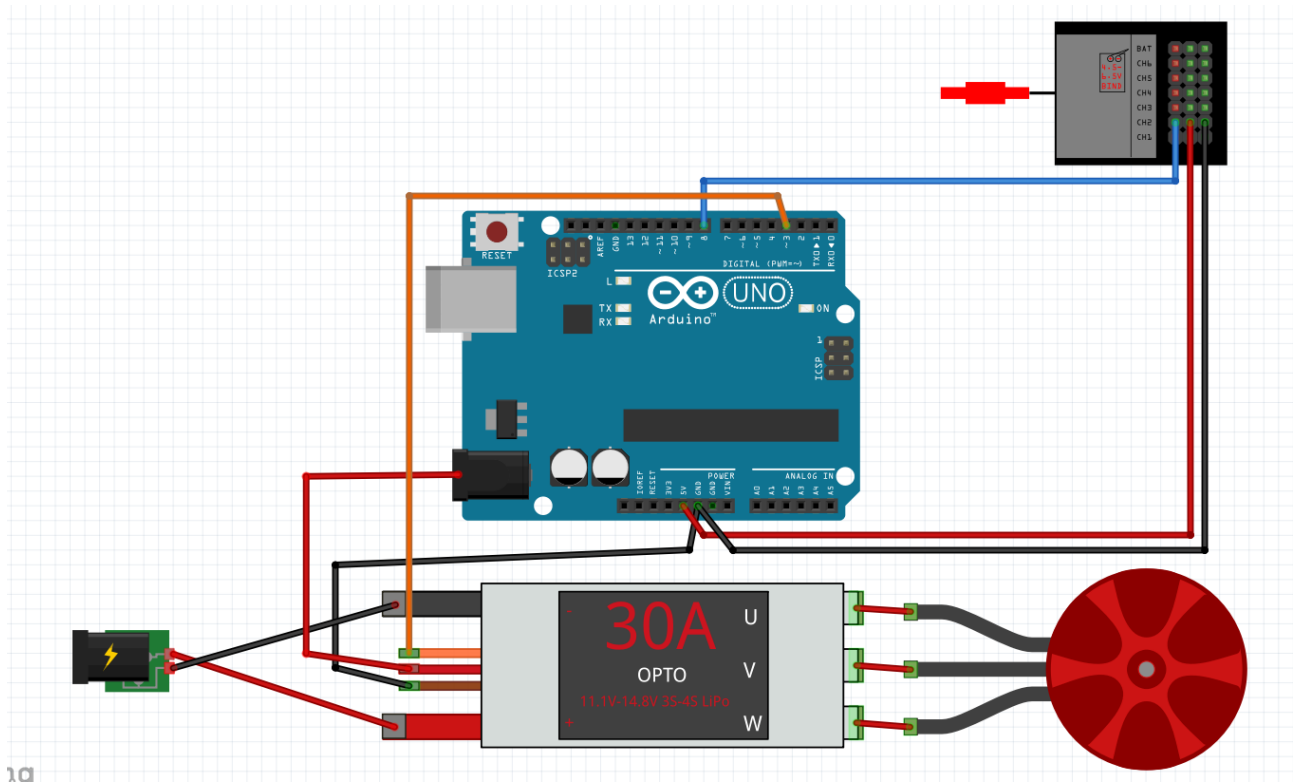


Рисунок 3.18 – Симуляційна схема електромотора

У зв'язку з обмеженістю функціоналу програмного забезпечення Fritzing проведення повноцінної симуляції не є фактично можливим. Для проведення моделювання роботи електромотора було використано ресурс BLDC Motor Simulator, що знаходиться у мережі Інтернет [26]. Даний ресурс дозволяє проводити експериментальні дослідження роботи бесколекторного двигуну постійного струму при різних конфігураціях кількості обмоток, регулювати напругу яка подається, частоту з якою подається напруга та вид комутації (трапецевидна або синусоїдальна). У контексті розробки коду таке моделювання наочно і добре дає розуміння загального принципу роботи такого типу моторів. Відомо, що основною характеристикою двигунів такого типу є KV (оборотів на вольт). В даному випадку це значення дорівнює 320, що означає, що при подачі 1 вольта напруги мотор зробить 320 обертів за хвилину. При високій кількості обертів наочність його роботи стає важко продемонструвати. У зв'язку з цим мотор, що моделюється, буде здійснювати значно меншу кількість обертів в хвилину що дозволить наочно простежити його роботу.

Вибрана найбільша з можливих конфігурацій моторів, яка доступна в даному електронному ресурсі: 12N14P, що означає, що двигун складається з 12 електромагнітів, що поперемінно включаються, і 14 постійних магнітів. Для проведення симуляції зроблено припущення, що на мотор подається 1 вольт напруги при частоті зміни включення електромагнітів, що дорівнює 0,5 Гц, а вид комутації обрано за трапецевидний. На рисунку 3.19 наведено зовнішній вигляд вікна налаштувань.



Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд вікна налаштувань

Білими стрілками у даному випадку симуляційне середовище демонструє взаємодію сил притягування та відштовхування між постійними магнітами ротора та електромагнітами котушок.

Під час проведення симуляції було отримано дані на вимірювальних приладах. На рисунку 3.20 приведено результати вимірювання напруги на котушках.

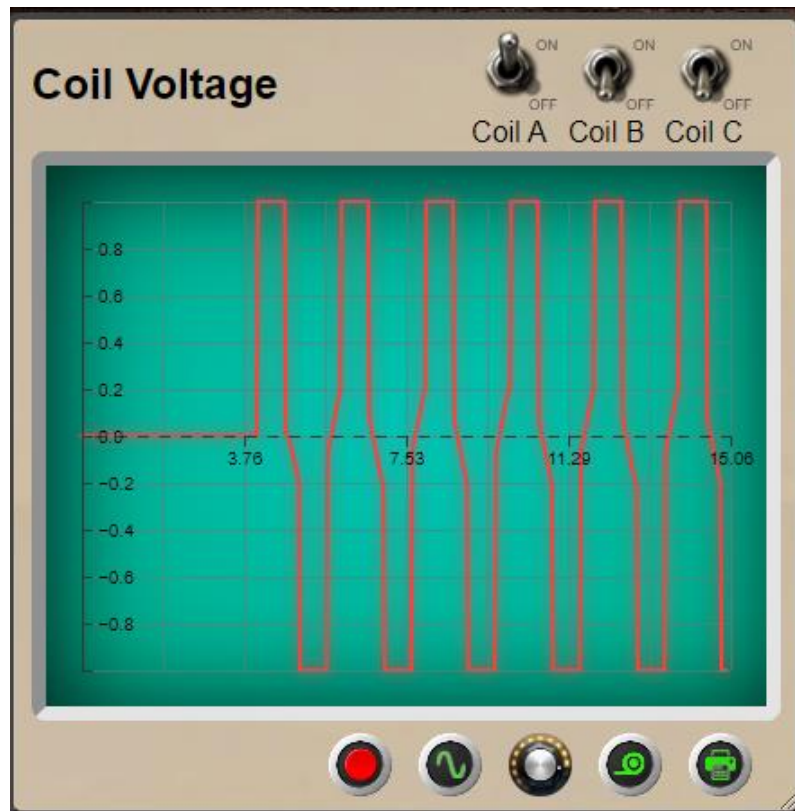


Рисунок 3.20 – Вимірювання напруги на котушках

Для зручності зчитування на приборі було відключено вимірювання котушок В та С. З отриманого графіку видно що при трапецевидній комутації напруга змінюється стрибкоподібно, чітко передаючи наступній котушці обертання ротору.

Розглянуто також швидкість обертання ротору при заданих значеннях. На рисунку 3.21 приведено зовнішній вигляд вимірювального приладу з графіком значень.

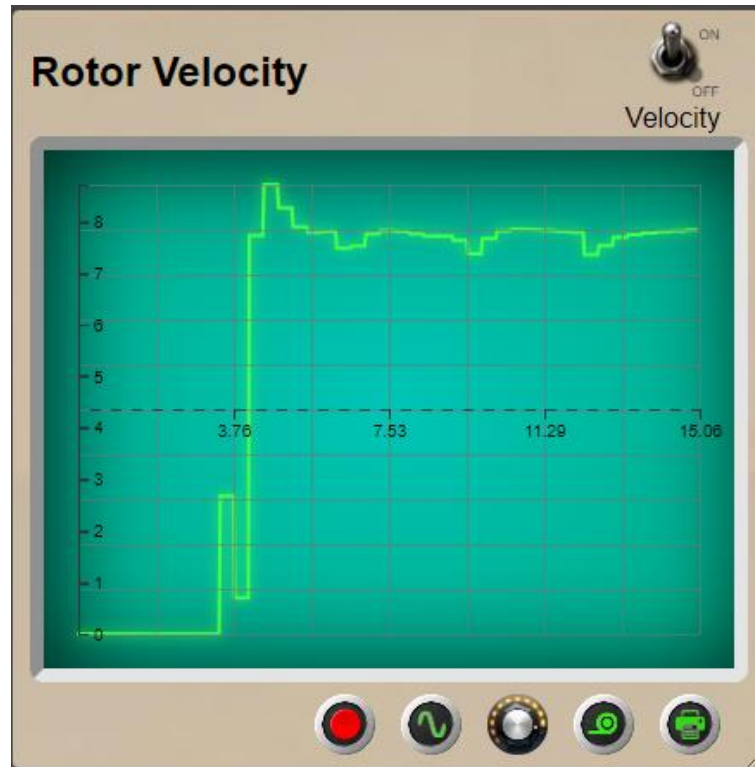


Рисунок 3.21 – Вимірювання швидкості обертання ротору

З показань вимірювального приладу видно, що при запуску мотор здійснює просядку по швидкості, пов'язану з особливостями роботи переключення електромагнітів між собою та зміною їх полярності. При виході на значення 8 обертів на хвилину мотор демонструє стабільність в утриманні цієї швидкості обертання.

Також в ході проведення симуляції роботи було проведено вимірювання значень крутного моменту електромотора. На рисунку 3.22 приведено результати вимірювань.

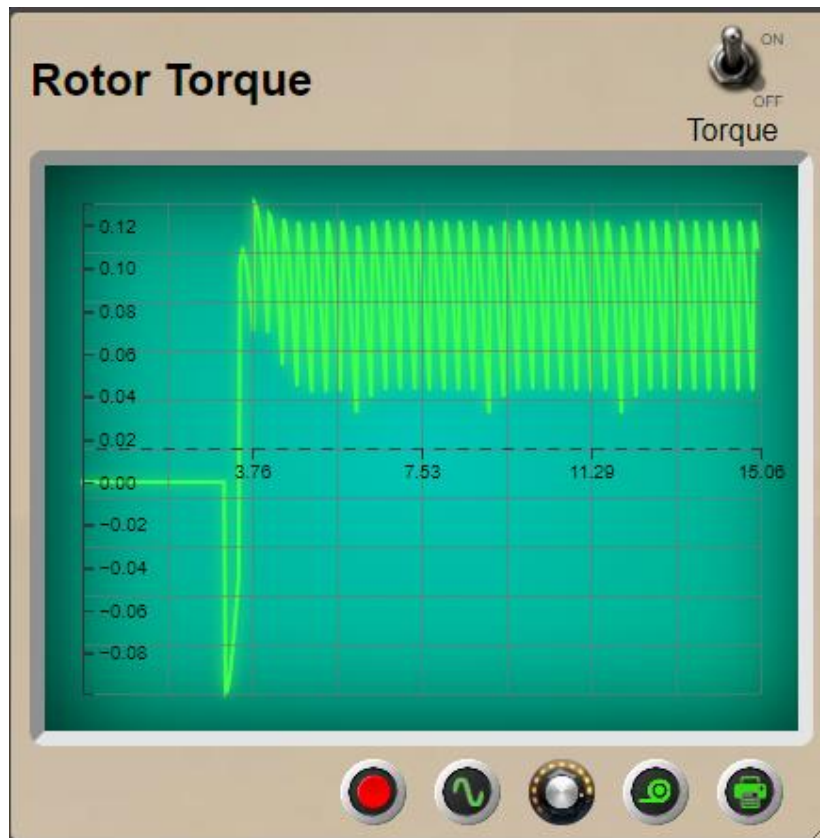


Рисунок 3.22 – Вимірювання крутного моменту ротора

З графіка значень видно що крутний момент в момент пуску мав просадку, яка подібна до просадки швидкості обертання ротора. При виході ротора на стабільну швидкість обертання графік крутного моменту вирівнюється в певний діапазон значень в якому графік має пилкоподібний вид. Така поведінка пов'язана також з тим що котушки електромагнітів перемикаються між собою і існує момент коли магніт ротора вийшов з під сил дії попередньої котушки та ще не потрапив під дію сил наступної котушки. Дана особливість не є проблемою через те що при високій кількості обертів на хвилину час холостого ходу ротора (момент при якому на ротор не діють сили електромагнітів) стає дуже незначним, що дає змогу їм нехтувати. Візуальний сенс полягає у тому що на вимірювальному пристрої графік крутного моменту буде мати таку щільність пікових значень, що візуально вони стануть невіддільними один від одного і будуть утворювати єдиний усереднений графік значень.

Повний код керуючої програми наведено нижче:

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;

Servo motor;

int receiver_ch1 = 7;
int receiver_ch2 = 8;

int pwm1;
int pwm2;

int duration_max = 2000;
int duration_min = 990;

unsigned int pulse_duration_ch1;
unsigned int pulse_duration_ch2;

void setup()
{
  pinMode (receiver_ch1,INPUT);
  pinMode (receiver_ch2,INPUT);
  servo1.attach(5);
  motor.attach(3);
  servo1.write(0);
}

void loop()
{
  pulse_duration_ch1 = pulseIn(receiver_ch1,HIGH);
  pulse_duration_ch2 = pulseIn(receiver_ch2,HIGH);
  pwm1 = map(pulse_duration_ch1,duration_min,duration_max,0,180);
  servo1.write(pwm1);
  pwm2 = map(pulse_duration_ch2,duration_min,duration_max,800,2300);
  motor.writeMicroseconds(pwm2);
}
```

3.4 Охорона праці

Виконання робіт по дипломному проекту безпосередньо пов'язане з електронікою та електротехнікою, електрикою. Необхідно чітко дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з електрикою та ланцюгами електрокомпонентів. Під час роботи з електрикою необхідно уникати води. Не торкатися електрообладнання або електричних ланцюгів мокрими руками. Це підвищує ризик ураження електричним струмом. Не можна використовувати обладнання зі зношеними шнурами, пошкодженою ізоляцією або зламаними штекерами. При роботі з акумуляторними комірками важливо заздалегідь перевірити рівномірність заряду кожного окремого елемента. Неправильне складання комірок акумулятора може призвести до пожежі або вибуху. Заряджання акумулятора необхідно виконувати лише за допомогою спеціалізованого зарядного пристрою. Не перевищувати заводські значення за напругою і силою струму, що подається на пристрій. При роботі з мікроконтролерами проводити коректне підключення елементів до роз'ємів живлення та землі. В іншому випадку пристрій може вийти з ладу або вразити людину струмом. Комплектуючі пов'язані в один ланцюг повинні бути сумісні один з одним як по роз'ємах, що використовуються, так і по робочій напрузі і силі струму. Недостатнє електроживлення призводить до неоптимального режиму роботи, зниження швидкості роботи, зниження ефективності, невідповідності нормативним показникам. Подача надмірного струму призводить до виходу з ладу окремих елементів або всього ланцюга, до потенційної пожежі, вибуху або ураження людини струмом. У жодному разі не можна кидати і пошкоджувати механічно електронні компоненти, не торкатися компонентів під час їх роботи у включеному стані. При ремонті або монтуванні електрообладнання необхідно користуватися лише інструментом із ізоляційним покриттям рукояток. Так як для людини небезпечною вважається будь-яка напруга понад 24 вольт, всі роботи зі збирання, ремонту або підключення електрокомпонентів необхідно проводити тільки в знеструмленому стані.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано детальний аналіз літератури пов'язаної з безпілотними апаратами, їх структурою та системами, наведено приклади використання безпілотних апаратів різних конфігурацій для різних завдань, проведено порівняння конструкцій, матеріалів корпусів, видів двигунів. На основі отриманої інформації виконані необхідні для створення моделі дрону розрахунки навантажень та інші додаткові параметри. На основі результатів розрахунків зроблено вибір відповідних компонентів для дрона, створено схему підключення для обраних комплектуючих. Застосовано технології комп'ютерного 3D моделювання для створення моделі дрону та організації його внутрішнього пристрою. Для мікроконтролера дрона створена блок-схема, що описує логіку управління дроном, на основі цієї блок схеми написаний код програмного забезпечення для мікроконтролера. Проведено комп'ютерне моделювання роботи сервопривода та електромотора дрона згідно з розробленим алгоритмом та програмним забезпеченням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. - 66 с.
3. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України : наказ Міністерства оборони України від 08.12.2016 р. №661. 2016. С. 2.
4. Корченко О.Г., Ілляш О.С. Узагальнена класифікація безпілотних літальних апаратів : Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - 2012. - Вип. 4. - С. 27-36.
5. MOL and Partners Set World Records for Time and Distance in Autonomous Navigation with Sea Trial Using Large Commercial Car Ferry : веб-сайт. URL: <https://www.mol.co.jp/en/pr/2022/22017.html> (дата звернення 25.04.2024)
6. Patterson, Ruth G.; Lawson, Emily; Udyawer, Vinay; Brassington, Gary B.; Groom, Rachel A.; Campbell, Hamish A. (2022). "Uncrewed Surface Vessel Technological Diffusion Depends on Cross-Sectoral Investment in Open-Ocean Archetypes: A Systematic Review of USV Applications and Drivers". *Frontiers in Marine Science*. 8.
7. The US Navy's new autonomous warship is called the Sea Hunter : веб-сайт. URL : <https://www.theverge.com/2016/4/8/11391840/us-navy-autonomous-ship-sea-hunter-christened> (дата звернення 25.04.2024)

8. Sea Drones Attack Russian Landing Craft In Crimean Port : веб-сайт. URL : <https://www.twz.com/sea-drones-attack-russian-landing-craft-in-crimean-port> (дата звернення 25.04.2024)

9. Морський дрон Magura V5 вперше показали у реальному розмірі: у чому його особливість : веб-сайт. URL : <https://focus.ua/uk/digital/622606-morskiy-dron-magura-v5-vpershe-pokazali-u-realnomu-rozmiri-u-chomu-jogo-osoblivist> (дата звернення 25.04.2024)

10. Україна розкрила деталі про ударні морські БПА : веб-сайт. URL : <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-rozkryla-detali-pro-udarni-morski-bpa/> (дата звернення 26.04.2024)

11. Official SpaceX Photos. Just Read the Instructions : веб-сайт. URL : <https://www.flickr.com/photos/spacex/17127808431/in/photostream/> (дата звернення 26.04.2024)

12. SpaceX Autonomous Spaceport Drone Ship Sets Sail for Tuesday's CRS-5 Rocket Landing Attempt : веб-сайт. URL : <https://www.americaspace.com/2015/01/04/spacex-autonomous-spaceport-drone-ship-sets-sail-for-tuesdays-crs-5-rocket-landing-attempt/> (дата звернення 27.04.2024)

13. Saildrones go where humans can't – or don't want to – to study the world's oceans : веб-сайт. URL : <https://www.seattletimes.com/seattle-news/science/saildrones-go-where-humans-cant-or-dont-want-to-to-study-the-worlds-oceans/> (дата звернення 27.04.2024)

14. Saildrone's Journey Around Antarctica Uncovers New Climate Clues : веб-сайт. URL : <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-05/saildrone-s-journey-around-antarctica-uncovers-new-climate-clues> (дата звернення 27.04.2024)

15. Scientists drove a robotic surfboard into Hurricane Sam, and the waves were incredible : веб-сайт. URL : <https://www.washingtonpost.com/weather/2021/09/30/hurricane-sam-saildrone-video-waves/> (дата звернення 27.04.2024)

16. Follow the Saildrone 2019 : веб сайт. URL : <https://www.pmel.noaa.gov/itae/follow-saildrone-2019> (дата звернення 27.04.2024)
17. Black 120mm Water Jet Thruster With 12mm stainless steel Shaft : веб-сайт. URL: <https://www.aliexpress.com/item/4001293682586.html> (дата звернення 22.05.2024)
18. 8392 320KV Watercooled Motor Brushless 11.5KW Outrunner Sensorless Engine : веб-сайт. URL: <https://maytech.cn/products/copy-of-maytech-mto6575-320-wc-320kv-brushless-outrunner-sensorless-motor-8kw-for-electric-skateboard-mountainboard-rov> (дата звернення 22.05.2024)
19. Регулятор ходу для безколекторного двигуна 200A HOBBYWING PLATINUM : веб-сайт. URL: <https://magnits.com.ua/regulyator-hobbywing-ezrun-max10-60a-2-3s-vlagozashchishchenniy-dlya-avtomodeley-kopiya.html> (дата звернення 22.05.2024)
20. Акумулятор 18650 літій-іонний (Li-Ion) Panasonic NCR18650GA : веб-сайт. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/324207952/p324207952/characteristics/> (дата звернення 23.05.2024)
21. Maytech Digital Servo Motor 35kg/cm : веб-сайт. URL: <https://maytech.cn/products/35kg-digital-servos> (дата звернення 23.05.2024)
22. Arduino Uno Rev3 : веб-сайт. URL: <https://store.arduino.cc/collections/boards-modules/products/arduino-uno-rev3> (23.05.2024)
23. Flysky I6S 10ch 2.4G AFHDS 2A RC Transmitter : веб-сайт. URL: <https://www.amazon.in/Transmitter-Control-FS-IA10B-FS-iA6B-Receiver/dp/B06XDBMVM9> (дата звернення 23.05.2024)
24. Камера FPV 3в1 Eachine TX02 600TVL: веб-сайт. URL: https://rc-buyer.com.ua/index.php?route=product/product&path=62_134&product_id=11451 (дата звернення 23.05.2024)
25. FPV монітор SoloGood 5803D : веб-сайт. URL : <https://tis.com.ua/ua/p1882774486-fpv-monitor-sologood.html> (дата звернення 23.05.2024)

26. BLDC Motor Simulator : веб-сайт. URL:
https://simulators.drbasheers.com/UCI/x497.6/motor/open_loop_no_pwm.html (дата
звернення 23.05.2024)