

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Розробка мінно-пошукового мобільного робота на повітряній подушці  
\_\_\_\_\_  
(тема)

Виконав:  
студент IV курсу, групи АКТАКІТ-20- 2  
Кузьменко Олександр Сергійович  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та  
комп'ютерноінтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

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

Керівник проф. Євсєєв В.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І.Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р.

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Автоматики і комп'ютеризованих технологій \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

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

Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_

Освітня програма \_\_\_\_\_ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**студентові \_\_\_\_\_ Кузьменко Олександр Сергійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Розробка мінно-пошукового мобільного робота на  
повітряній подушці \_\_\_\_\_

Затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Напруга живлення = 5 В, ШІМ сигнали з частотою  
50 Гц і розрядністю 16-bit, ШІМ сигнали з частотою 5000 Гц і розрядністю 8-  
bit. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_ 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз  
сучасних мінно-пошукових мобільних роботів; 4.3 Розробка мінно-пошукового  
мобільного робота 4.4 Розробка системи управління мінно-пошукового робота;  
4.5 Висновки. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt). – с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних мінно-пошукових мобільних роботів	31.03.2024	виконано
2	Розробка мінно-пошукового мобільного роботу	15.04.2024	виконано
3	Розробка системи управління мінно-пошукового робота	25.05.2024	виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2024	виконано
6	Подання роботи на рецензію		
7	Подання роботи на підпис зав. кафедри		

Дата видачі завдання 01 04 20 24 р.

Студент \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Професор Євсєєв В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

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

“10” червня 2024 р.



Кузьменко О.С.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 8 табл., 33 рис., 3 дод., 43 джерела.

### МІННО-ПОШУКОВИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ВИЯЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ, ESP-32-CAM.

Мета роботи – розробка експериментального макету мобільного робота на повітряній подушці для підвищення ефективності пошуку вибухонебезпечних предметів.

Об'єкт роботи – процес виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою мінно-пошукового мобільного робота.

Предмет роботи – методи, алгоритмічне та програмне забезпечення системи керування мінно-пошукового робота на повітряній подушці.

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних мінно-пошукових роботів, їх систем керування та методів виявлення вибухонебезпечних предметів. Проведено аналіз апаратних модулів. На базі проведеного аналізу – обрано відповідні апаратні модулі. Розроблено схему підключення та 3D-моделі конструкційних деталей мінно-пошукового мобільного робота, та зібрано макет.

Наступним етапом було розроблено загальний алгоритм роботи мінно-пошукового робота. На базі алгоритму розроблено програму на мові C/C++ для ESP-32-CAM.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 94 p., 8 tables, 33 drawing, 3 pp., 43 sources.

MOBILE MINE DETECTOR ROBOT, DETECTION OF EXPLOSIVE OBJECTS, ESP-32-CAM.

The aim of the work is to develop of an experimental model of a mobile hovercraft to improve the efficiency of searching for explosive devices.

The object of development is the process of detecting explosive objects with the help of a mobile mine-searching robot.

The subject of development is the methods, algorithmic and software support for the control system of a hovercraft mine detection robot.

In this qualification work analyzes modern mine detection robots, their control systems and methods of detecting explosive objects. The analysis of hardware modules was carried out. Based on the analysis, suitable hardware modules were selected. A wiring diagram and 3D models of the structural parts of the mobile mine detection robot were developed, and the mockup was assembled.

The next step was to develop a general algorithm for the mine-detecting robot. Based on the algorithm, a C/C++ program for ESP-32-CAM was developed.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	8
Вступ .....	9
1 Аналіз сучасних мінно-пошукових мобільних роботів .....	11
1.1 Аналіз мінно-пошукових мобільних роботів .....	11
1.2 Аналіз систем керування мінно-пошуковими мобільними роботами .....	15
1.3 Аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів .....	20
2 Розробка мінно-пошукового мобільного роботу .....	23
2.1 Розробка загальної структурної схеми мінно-пошукового роботу .....	23
2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів .....	24
2.3 Розробка 3D-моделей деталей мінно-пошукового мобільного робота .....	39
2.4 Збірка модуля металошукача .....	44
2.5 Розробка схеми підключення .....	46
2.6 Збірка макету мінно-пошукового мобільного робота .....	47
3 Розробка системи управління мінно-пошукового робота .....	48
3.1 Вибір середовища розробки .....	48
3.2 Розробка загального алгоритму .....	51
3.3 Програмна реалізація керування мінно-пошуковим мобільним роботом .....	54
3.4 Моделювання динаміки управління серводвигуна SG90 .....	57
3.5 Розрахунки мікроклімату та освітлення приміщення .....	58
Висновки .....	61
Перелік джерел посилань .....	62
Додаток А Лістинг програми з файлу формату .ino для ESP-32-CAM .....	67
Додаток Б Лістинг програми з файлу формату .cpp для ESP-32-CAM .....	74
Додаток В Демонстраційні матеріали у вигляді презентацій .....	94

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ВНП – вибухонебезпечний предмет;  
ГІС – геоінформаційна система;  
ЕМІ – електромагнітна індукція;  
МК – мікроконтролер;  
МПМР – мінно-пошуковий мобільний робот;  
ПЗ – програмне забезпечення;  
ШІМ – широтно імпульсна модуляція;  
IDE (англ. Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки.

## ВСТУП

Неможливо переоцінити важливість технологічного прогресу в галузі мінно-пошукових дронів і роботів. Ці автономні системи зменшують ризик для життя людей, виявляючи та знешкоджуючи вибухові пристрої в небезпечних умовах. Постійно вдосконалюючи їхні можливості – від поліпшених сенсорів до підвищеної маневреності – підвищується ефективність і безпека операцій з розмінування в усьому світі. Технологічний прогрес дозволяє швидше і точніше виявляти міни, скорочуючи час і ресурси, необхідні для розмінування. Зрештою, це не лише захищає життя, але й сприяє відновленню земель для сільського господарства, інфраструктури та розвитку громад, підкреслюючи незамінну роль технологій у гуманітарних зусиллях.

Вибухонебезпечні предмети завдають величезної шкоди життю та здоров'ю людей і значною мірою перешкоджають гармонійному розвитку людського суспільства. За неповними статистичними даними, у післявоєнних районах досі налічується понад 110 млн. наземних мін [1].

Мета роботи – розробка експериментального макету мобільного робота на повітряній подушці для підвищення ефективності пошуку вибухонебезпечних предметів.

Об'єкт роботи – процес виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою мінно-пошукового мобільного робота.

Предмет роботи – методи, алгоритмічне та програмне забезпечення системи керування мінно-пошукового робота на повітряній подушці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз готових рішень сучасних міннопошукових роботів;
- розробка структурної схеми;
- розробка макету;
- розробка загального алгоритму та його реалізація;

- проведення експериментального дослідження;
- провести розрахунок серводвигуна;
- провести розрахунок освітлення приміщення.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008:2015 [2], 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» [3] та навчальним посібником [4].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІННО-ПОПОШУКОВИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

## 1.1 Аналіз мінно-пошукових мобільних роботів

Наземні міни завдають величезної шкоди життю та здоров'ю людей і значною мірою перешкоджають гармонійному розвитку людського суспільства. За неповними статистичними даними, у післявоєнних районах досі налічується понад 110 млн. наземних мін.

Це дослідження стаття присвячено новаторській сфері безпілотних технологій. Обладнані високотехнологічними датчиками та передовим штучним інтелектом, ці безпілотники є потужними інструментами, що створені рятувати життя людей. Завдяки здатності швидко і безпечно долати величезні площі територій безпілотники зробили революцію в підходах до виявлення та знешкодження мін і вибухових пристроїв [1].

Було проведено аналіз готових рішень з приводу вирішення питання цивільного розмінування за допомогою мобільних роботів або безпілотних літальних апаратів.

DOK-ING MV-4 – це універсальна роботизована системана дистанційному керуванні, призначена для розмінування та знешкодження мін. Призначена для очищення від усіх типів протипіхотних мін і має захист від усіх типів протитанкових мін. Завдяки своїм невеликим розмірам і маневреності вона підходить для розмінування місцевості, яка недоступна для більших машин. Вона має гусеничне шасі і оснащена різними датчиками, включаючи металодетектори, георадари і маніпулятор для знешкодження мін.

Малі габарити і невеликий тиск на ґрунт MB-4 дозволяє машині подолати складний рельєф місцевості, такий як канали, міські райони, канали. MV-4

може управлятися і працювати на сильно нахиленій місцевості як в поперечному, так і в продольному напрямках [5].

DOK-ING MV-4 зображен на рис. 1.1.

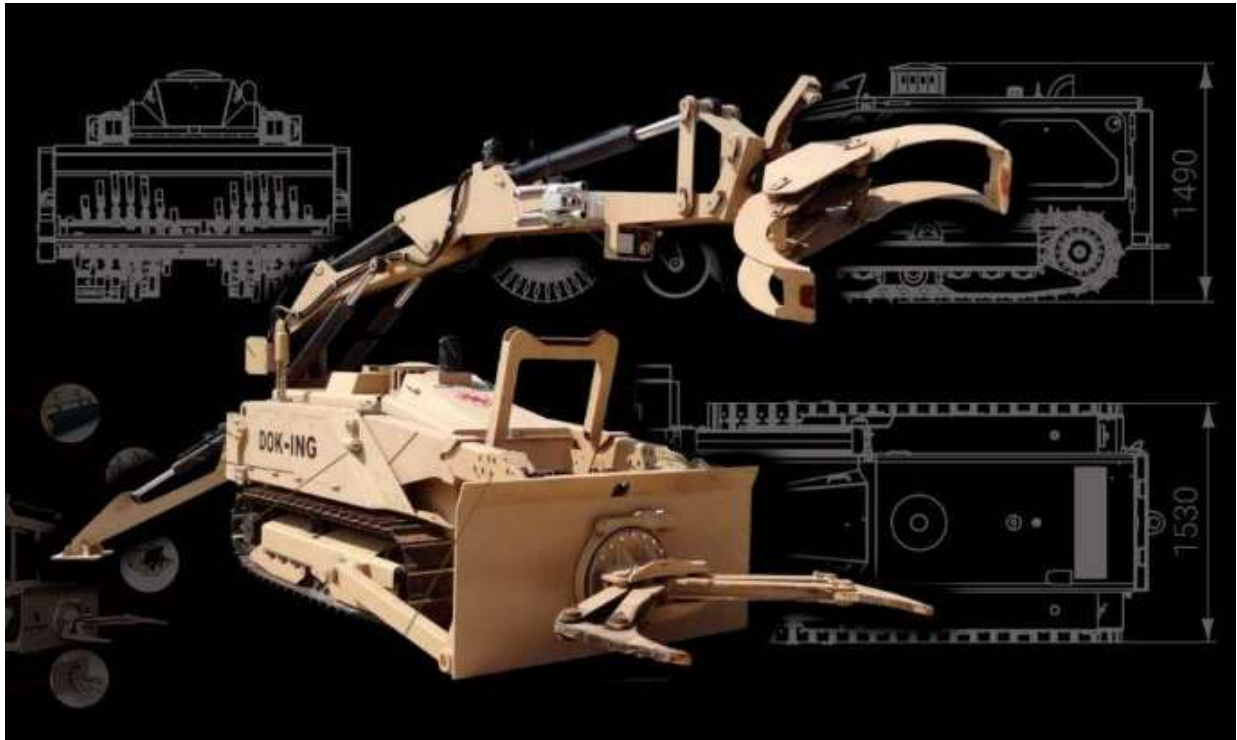


Рисунок 1.1 – DOK-ING MV-4 [5]

Робот Mini-Flail – це компактний і маневрений робот для виявлення мін, призначений для пошуку і знешкодження наземних мін. Він оснащений маховим механізмом, який руйнує ґрунт, щоб безпечно спрацювати на мінах.

Mini-Flail є дистанційно керованою системою нейтралізації мін і БНВ із прямою видимістю, яка використовується для очищення або захисту пішохідних доріжок або невеликих замінованих ділянок. Він може очищати зі швидкістю 1200 квадратних метрів на годину. Mini-Flail підриває або знешкоджує бронейні міни з безпечної робочої відстані. Mini-Flail нейтралізує, вдаряючи об'єкти обертовим ланцюгом, і очищає пішохідну доріжку шириною приблизно 1,1 метра. Система знешкоджує міни та БНВ

шляхом підриву, механічного ураження або витіснення з розмінованої смуги [6].

Mini-Flail зображено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Робот Mini-Flail [6]

MagDrone R4 – це надлегкий магнітометр із 5 тривісними феррозондами, який можна прикріпити під дроном із корисним навантаженням 1500 г, таким як DJI M300. Його знімна сенсорна трубка забезпечує відстань між датчиками 25 см або 50 см із шириною сканування 2,5 м. З частотою дискретизації 200 Гц R4 може легко шуміти в інфраструктурі, відфільтрувати частоти мережі або двигуни БПЛА. На шасі дрона, для компактної установки можна, встановити магнетометр. MagDrone R4 використовується для таких речей, як магнітне картографування, розвідка мін, сканування територій на наявність бомб і боєприпасів, превентивний контроль і спостереження за територіями.

Інструмент MagDrone-Data, який надається разом із дроном, визначає маршрути польотів, фільтрує, зсуває необроблені дані, генерує вибірку та може експортувати в різні формати для подальшої обробки даних, наприклад, за допомогою програмного забезпечення MAGNETO [7].

MagDrone R4 3.0 зображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – MagDrone R4 3.0 [7]

GCS-100 – це система виявлення мін і їх знескодження, яка використовує ґрунтопроникний радар і металодетектори, встановлені на автомобільній платформі, для ефективного виявлення ВНП.

Платформа є універсальною, компактною та простою у використанні. Має дистанційне керування. Механізм підходить для розмінування саморобних вибухових пристроїв у надскладних, важкодоступних і міських середовищах. Це універсальна, компактна платформа з дистанційним керуванням, яка підходить для технічного огляду, протипіхотних мінних полів, С-IED, злітно-посадкової смуги та розчищення маршрутів у надміцних, важкодоступних міських середовищах [8].

GCS-100 зображен на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – GCS-100 [8]

Підсумовуючи аналіз вищеперерахованих готових рішень можна сказати, що сучасний дрон для виявлення ВНП повинен мати такі властивості:

- здатність працювати на пересіченій місцевості;
- детектор мін та пристрій підтвердження можуть бути встановлені на одному роботі;
- невелика вага та невеликий об'єм загальної конструкції, для зручного та легко транспортування;
- конструкція дрона повинна дозволити з мінімальною дією на опору пересуватися по місцевості. Як наслідок, зменшується вимога до підтримки на ВНП, що дозволяє саперам безпечно повертатися з області розмінування.

## 1.2 Аналіз систем керування мінно-пошуковими мбільними роботами

Система, що розробляється, являє собою програмну платформу, призначену для управління безпілотними наземними транспортними засобами,

такими як автономні наземні роботи або безпілотні літальні апарати. Вона повинна забезпечити користувачам дистанційне керування та контроль апаратів для різних застосувань, включаючи спостереження, розвідку, дослідження, доставку тощо.

Програмне забезпечення повинно мати зручний інтерфейс, який дозволить операторам контролювати рух, навігацію та роботу апаратів з віддаленого місця. Воно повинно інтегруватися з бортовими датчиками, камерами та іншим обладнанням для збору даних і зворотного зв'язку в режимі реального часу, що дозволить операторам приймати обґрунтовані рішення і вносити корективи під час роботи.

Система повинна підтримувати як ручне керування, коли оператор безпосередньо керує рухом транспортного засобу, так і автономне керування, коли транспортні засоби рухаються заздалегідь визначеними маршрутами або реагують на сигнали навколишнього середовища за допомогою вбудованих алгоритмів і датчиків. Крім того, вона повинна включати функції планування місій, оптимізації маршрутів, об'їзду перешкод, а також функції протоколів безпеки, оптимізування операцій, підвищення ситуаційної обізнаності і загальної ефективності та безпеки в різних сферах застосування та галузях промисловості.

Після проведення поверхневого пошуку подібних систем було виявлено наступні середовища розробки.

Robot Operating System – це гнучкий фреймворк для написання програмного забезпечення для роботів. Вона надає бібліотеки та інструменти, які допомагають розробникам створювати програми для роботів. Багато роботів-міношукачів використовують ROS для керування поведінкою робота, інтеграції датчиків і реалізації автономної навігації. Це середовище представляє собою набір бібліотек програмного забезпечення та інструментів, які допомагають створювати програми для роботів. Від драйверів до найсучасніших алгоритмів і з потужними інструментами розробника. це мета-

операційна система з відкритим вихідним кодом для вашого робота. Вона надає змогу виконувати такі задачі:

- розроблювати апаратні абстракції;
- низькорівневе керування пристроями;
- реалізація загальноживаних функцій, передачу повідомлень між процесами та управління пакетами;
- ROS можна використовувати для створення та моделювання робототехнічних додатків, а також безпілотних наземних транспортних засобів та одночасної локалізації та картографування – SLAM [9].

Програмне середовище ROS зображено на рис 1.5.

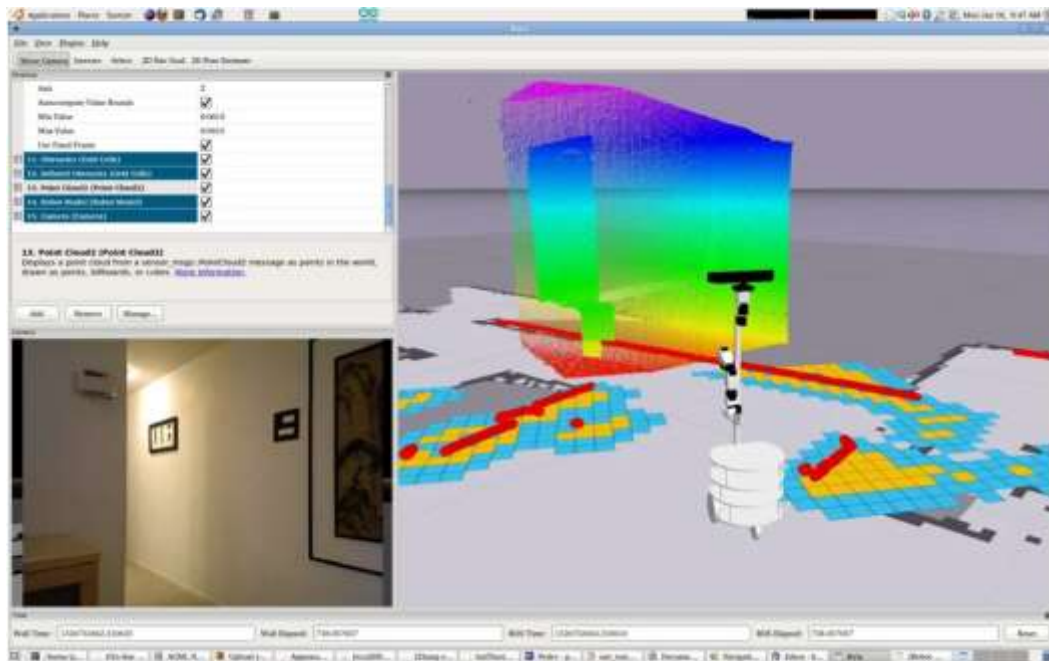


Рисунок 1.5 – Програмне середовище ROS [9]

ArduPilot дозволяє створювати та використовувати надійні, автономні, безпілотні транспортні системи для мирного блага всіх. ArduPilot надає повний набір інструментів, придатних майже для будь-якого автомобіля та застосування. Як проект із відкритим вихідним кодом, він постійно розвивається на основі швидких відгуків великої спільноти користувачів.

Команда розробників працює з спільнотою та комерційними партнерами, щоб додати функціональність ArduPilot, яка принесе користь усім.

Незважаючи на те, що ArduPilot не виробляє апаратне забезпечення, прошивка ArduPilot працює на широкому спектрі різного обладнання для керування безпілотними транспортними засобами всіх типів. У поєднанні з програмним забезпеченням наземного керування безпілотні транспортні засоби, що працюють під керуванням ArduPilot, можуть мати розширені функції, включаючи зв'язок у режимі реального часу з операторами. ArduPilot має величезну онлайн-спільноту, яка допомагає користувачам із запитаннями, проблемами та рішеннями [10].

Програмне середовище ArduPilot зображено на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Програмне середовище ArduPilot [10]

QGIS – це геоінформаційна система з відкритим кодом. Проект народився у травні 2002 року та був створений як проект на SourceForge у червні того ж року.

Зараз QGIS працює на більшості платформ Unix, Windows і macOS. QGIS розроблено з використанням інструментарію Qt та C++. Це означає, що QGIS працює швидко і має приємний, простий у використанні графічний інтерфейс користувача. Існують також самостійно створені програми, які дозволяють використовувати QGIS у польових умовах. Ці програми можуть працювати на Android та iOS.

QGIS прагне бути зручною для користувача ГІС, що забезпечує загальні функції та можливості. Початковою метою проекту було створення засобу перегляду даних ГІС. QGIS досягла точки у своїй еволюції, коли її використовують для щоденного перегляду даних ГІС, для збору даних, для розширеного аналізу ГІС і для презентацій у формі складних карт, атласів і звітів. QGIS підтримує велику кількість растрових і векторних форматів даних, а підтримку нових форматів можна легко додати за допомогою архітектури плагіна [11].

Середовище QGIS зображено на рис. 1.7.

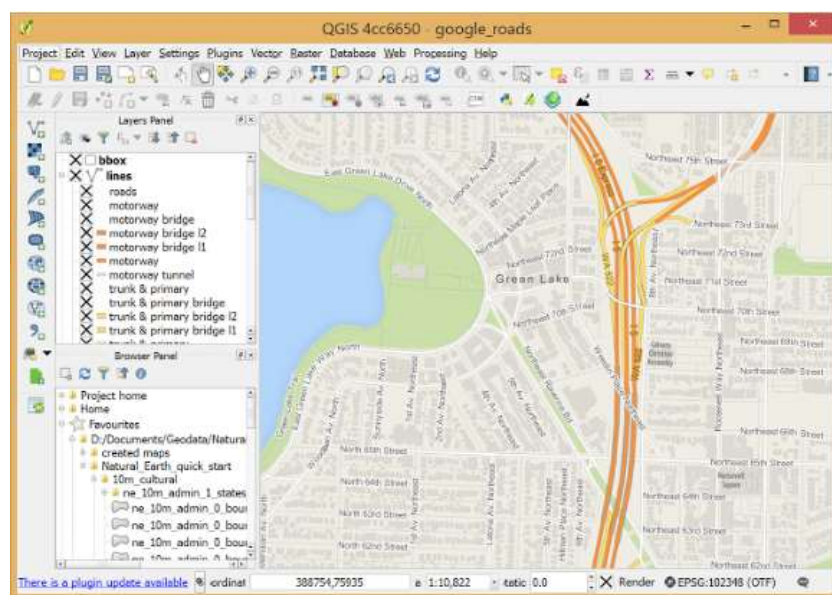


Рисунок 1.7 – Середовище QGIS [11]

Підсумовуючи аналіз вищеперерахованих систем, можна зазначити наступні властивості для системи керування МПМР:

- зручний інтерфейс та елементи керування дроном;
- система повинна мати можливість відображати всю необхідну інформацію з датчиків, тощо;
- система повинна бути гнучкою;
- система задовільнити потребу у дистанційному управлінні роботом, задля можливості збереження життя оператора у випадку, якщо дрон підірветься.

### 1.3 Аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів

На сьогоднішній день розроблено безліч методів виявлення і видалення мін під час війни або післявоєнного відновлення. Основні методи розрізняють на контактні та безконтактні.

За основоположними принципами безконтактні методи можна розділити на дві категорії. Одна використовує геофізичні відмінності між певними частинами мін і навколишнім середовищем, включно з георадаром, низькочастотною електромагнітною індукцією, металодетекторами, ультразвуковими приладами, інфрачервоною зйомкою та іншими комбінаціями методів виявлення. Інший напрямок має широкий спектр напрямків досліджень, заснованих на використанні конкретних методів, таких як акустика, хімічні якісні реакції, біологічне зондування і молекулярне стеження.

А ході проведення аналізу методів безконтактного пошуку вибухонебезпечних предметів було виявлено наступні методи.

Металодетектори широко використовуються для пошуку металевих об'єктів, у тому числі мін і БНВ, які містять металеві компоненти. Ці детектори випромінюють електромагнітні поля, які взаємодіють з металевими об'єктами,

виробляючи сигнал при виявленні металевих об'єктів під землею або під водою.

Датчики ЕМІ працюють подібно до металодетекторів, але чутливі до змін електромагнітних полів, спричинених металевими об'єктами. Ці датчики можуть виявляти як чорні, так і кольорові метали і є ефективними для пошуку заглиблених мін та боєприпасів, що не вибухнули.

Георадар – прилад для безконтактного методу виявлення ВВП, який використовує радіолокаційні імпульси для отримання зображення підземної поверхні. Він може виявити зміни у властивостях матеріалів під землею, в тому числі заховані вибухонебезпечні предмети. Георадар ефективний для виявлення мін і БНВ, навіть якщо вони неметалеві [12].

Тепловізор – прилад для безконтактного методу виявлення ВВП, при якому діаграма спрямованості об'єкта перетворюється у видиме зображення, яке називається тепловим зображенням або термограмою. Усі об'єкти з температурою вище абсолютного нуля ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) випромінюють інфрачервоне випромінювання. Інфрачервону смугу з довжиною хвилі від 3 до 14 мкм називають тепловою інфрачервоною областю. Це аналізується в програмах для обробки зображень, які використовують теплові сигнатури. Тепловізор відображає температуру поверхні будь-якого об'єкта з високою тепловою та просторовою роздільною здатністю [13].

Технології дистанційного зондування, такі як супутникові знімки і аерофотозйомка за допомогою дронів або літаків, можуть виявити поверхневі аномалії або порушений рельєф місцевості, які можуть вказувати на наявність вибухонебезпечних предметів на великих територіях.

Хімічні сенсори використовуються для виявлення специфічних газів, що виділяються вибуховими матеріалами. Ці датчики можуть бути розміщені на роботизованих платформах або портативних пристроях, щоб допомогти знайти закопані вибухові речовини за хімічними ознаками.

Для виявлення підводних мін і БНВ зазвичай використовують сонарні системи і водолазні пошуки. Сонар може виявляти підводні об'єкти, випромінюючи звукові хвилі та аналізуючи сигнали, що повертаються [14].

Підсумовуючи аналіз вищеперерахованих методів, доля роботи було вибрано металошукач через його відносну доступність та легкість в експлуатації.

## 2 РОЗРОБКА МАКЕТУ МІННО-ПОШУКОВОГО РОБОТУ

### 2.1 Розробка загальної структурної схеми мінно-пошукового роботу

Була розроблена загальна структурна схема управління мінно-пошуковим роботом, яка зображує взаємодію компонентів системи між собою (рис. 2.1).

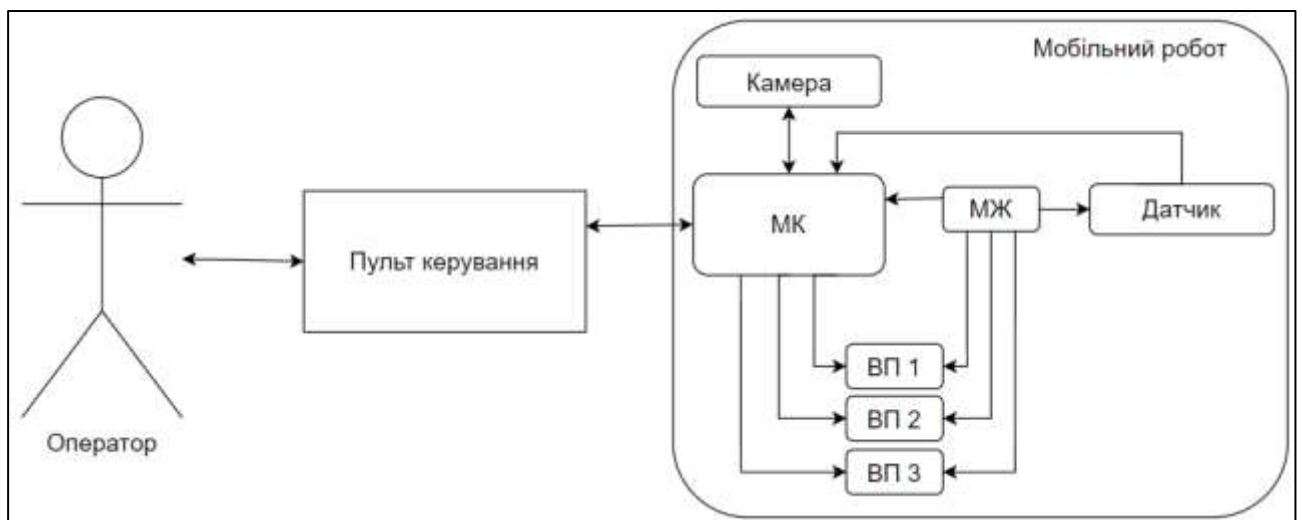


Рисунок 2.1 – Структурна схема проекту

Елементи, які зображені на схемі на рис. 2.1, та за що вони відповідають:

- оператор – людина, яка має змогу керувати роботом за допомогою пульта керування;
- пульт керування – компонент, який відповідає за можливість оператора взаємодіяти з МПМР;
- МК, він же мікроконтролер – апаратний модуль, який відповідає за керування апаратними модулями МПМР, отримання з них даних, обробку цих даних та їх передачу на пульт керування;
- камера – апаратний модуль, який відповідає за збір візуальної інформації, живиться від мікроконтролера;

- датчик – апаратний модуль, який відповідає виявлення ВНП;
- ВП 1, він же виконавчий пристрій 1 – безколекторний двигун, апаратний модуль, що відповідає за надув повітряної подушки;
- ВП 2, він же виконавчий пристрій 2 – безколекторний двигун, апаратний модуль, що відповідає за штовхання дрона вперед;
- ВП 3, він же виконавчий пристрій 3 – серводвигун, апаратний модуль, що відповідає за можливість робота маневрувати у просторі;
- МЖ, він же модуль живлення – апаратний модуль, який відповідає за живлення всіх компонентів МПМР, окрім камери.

## 2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів

Вибір апаратних модулів є важливим етапом у проектуванні та розробці МПМР. Процес вибору включає в себе визначення компонентів, які найкраще відповідатимуть вимогам запланованих функцій робота, матимуть відповідні технічні характеристики та ціну. Кожен модуль, від мікроконтролера до датчиків і приводів, відіграє життєво важливу роль у забезпеченні ефективного та надійного виконання роботом своїх завдань.

Мікроконтролер у дроні має вирішальне значення, оскільки він інтегрує та обробляє дані з датчиків, полегшує зв'язок між дроном і пультом дистанційного керування, забезпечуючи контроль і моніторинг у реальному часі. Це дозволяє виконувати складні завдання.

Найпоширенішим вибором МК у роботехніці є: ESP32 DevKit V1, ESP32-CAM, Arduino UNO R3.

Модуль розробника DEVKIT V1 30-pin побудований на мікромодулі ESP-WROOM-32 – новому мініатюрному високопродуктивному поєднаному Wi-Fi + BT + BLE модулю від компанії Espressif, призначеному для широкого спектра застосувань, починаючи від мікропотужних мережевих датчиків до найскладніших застосунків, наприклад, таких як кодування голосу, потокове

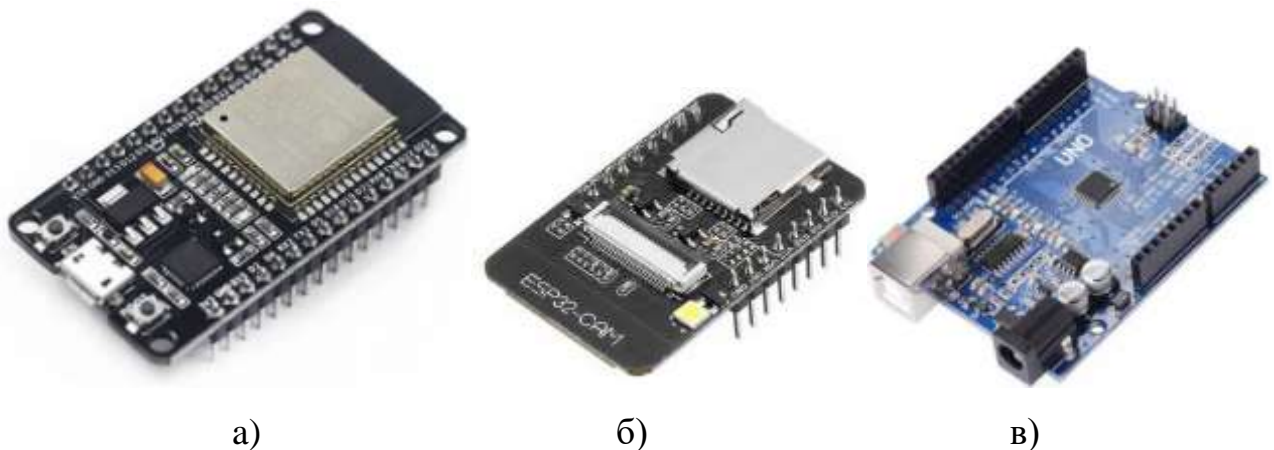
передання музики та MP3 кодування. На модулі зібрана вся необхідна мінімальна периферія, достатня для швидкого і комфортного старту роботи з ESP-WROOM-32. ESP-WROOM-32 виконаний на базі популярного двоядерного чипсета ESP32, зі змінною тактовою частотою від 80 МГц до 240 МГц, можливістю індивідуального керування та живлення. Модуль розроблений для переносної та автономної електроніки і додатків інтернет-речей. ESP-WROOM-32 має багату периферію, що містить такі інтерфейси, як UART, SPI, I2C, I2S, роз'єм для SD-карти, інфрачервоний порт, інтерфейс для під'єднання ємнісної сенсорної панелі. Однією з особливостей модуля є наднизьке споживання і гнучкий вибір «сплячих» режимів, що дають змогу отримати цифри до 20 мкА. Модуль підтримує весь стек протоколів стандартів WiFi 802.11n і BT4.2, забезпечуючи цей функціонал через інтерфейси SPI/SDIO або I2C/UART [15].

Плата розробки ESP32-CAM – є мініатюрним модулем бездротової системи відеоспостереження на базі ESP32-S, здатної передавати відеопотік по Wi-Fi. Модуль ESP32-CAM має на платі під'єднану камеру OV2640, зазвичай з камерою і продається, слот для підключення карт пам'яті MicroSD і сам чіп ESP32-S. Дев'ять портів введення/виведення виведені для підключення зовнішніх пристроїв. Шість виводів підключені до зчитувача MicroSD, ще три потрібні для програмування модуля. Однак основне призначення модуля ESP32-CAM не в управлінні зовнішніми пристроями за допомогою портів вводу/виводу, а в отриманні, зберіганні та передачі зображення через Wi-Fi за запитом клієнта [16].

Репліка оригінальної плати Arduino UNO. Як USB-UART перехідник застосовано мікросхему CH340, яка добре зарекомендувала себе та вирізняється хорошою стабільністю, високою швидкістю передавання даних, але для якої потрібне додаткове встановлення драйверів, а ще контролер від попередників вирізняється додатковими контактами SDA і SCL (I2C-інтерфейс), і виводами AREF джерела опорної напруги для АЦП контролера, і IOREF – виходом напруги живлення портів вводу-виводу, для автоматичного перемикавання

напруги периферії під час використання 5 В і 3,3 В контролерів. У всьому іншому це все той самий контролер Arduino UNO на базі мікроконтролера Atmega328p з безліччю прикладів програм, бібліотек і описів побудови готових конструкцій. Arduino – це відкрита платформа з відкритим кодом програм і бібліотек, яка дає змогу збирати всілякі електронні пристрої. Для цієї платформи написана величезна кількість різних прикладних програм і бібліотек. Велика кількість датчиків, дисплеїв і виконавчих механізмів, для яких не написана Arduino бібліотека або програма, в яких вони використовуються [17].

Всі вищеперелічені плати зображені на рис. 2.2.



а)

б)

в)

а) ESP32 DevKit V1 [15];

б) ESP32-CAM [16];

в) Arduino UNO R3 [17]

Рисунок 2.2 – Мікроконтролери

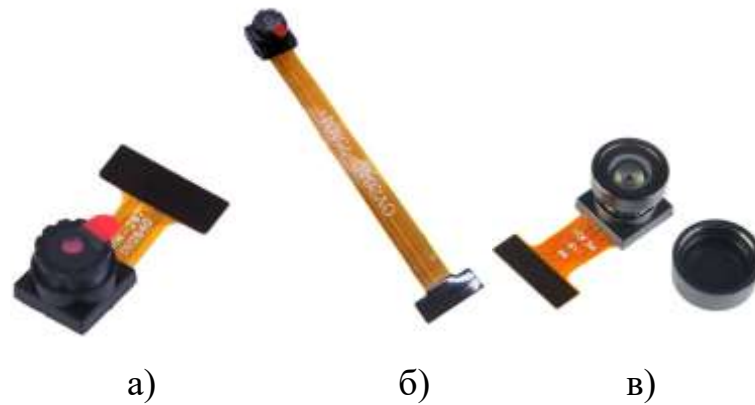
З наведених характеристик та опису різних МК можна зазначити, що найкращим з вище наведених плат найкращим й оптимальним варіантом є ESP32-CAM (рис 2.2, б) через вбудований модуль WiFi, достатню , в рамках проекту, кількість пінів та інтерфейсів, і, найголовніше, вбудовану можливість вести відеоспостереження через модуль WiFi, що значно зробить дешевше розробку дрона.

Характеристики мікроконтролерів зведені у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика мікроконтролерів

№	Характеристика	ESP32 DevKit V1 [15]	ESP32-CAM [16]	Arduino UNO R3 [17]
1	Розмір	25 мм x 18 мм x 4,5 мм	40 мм x 27 мм x 4,5 мм	68 мм x 53 мм x 15 мм
2	Мікроконтролер	ESP32-WROOM-32	ESP32-S	ATmega328
3	Напруга живлення	5 В	5 В	5 В
4	Пам'ять	520 Кб	520 Кб	32 Кб
5	Інтерфейси	SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR	UART, SPI, ієс, PWM, ADC, DAC	I2C/TWI, SPI, PWM
6	Наявність вбудованого модуля WiFi	Так	Так	Ні
7	Кількість цифровий та аналогових виходів	25	9	20
8	Програмне середовище для програмування	Arduino IDE	Arduino IDE, uPyCraft IDE, Espressif-IDE	Arduino IDE, uPyCraft IDE, Espressif-IDE
9	Ціна	~ 300 грн	~ 250 грн (разом з камерою)	~ 200 грн

Для ESP-32-CAM є можливість обрати камеру під різні задачі та в різних цінових діапазонах. На рис. 2.3 представлені наступні моделі: 2Мп OV2640 (рис. 2.3, а), 2Мп OV2640 70 мм (рис. 2.3, б), 2Мп OV2640 FOV 160 (рис. 2.3, в).



а) б) в)

а) 2Мп OV2640 [18];

б) 2Мп OV2640 (70 мм) [19];

в) 2Мп OV2640 (FOV 160) [20]

Рисунок 2.3 – Камери для ESP32-CAM

Мініатюрний модуль камери 2Мп OV2640 зі стандартним шлейфом 12 мм (рис. 2.3, а) для ESP32-CAM і кутом огляду  $66^\circ$ . При маленьких розмірах камера має вражаючі характеристики. Під час роботи з камерою розробники рекомендують бути обережним – камера дуже чутлива до статичної електрики. Цю властивість було враховано під час монтажу камери на плату. Типові застосування для подібних камер – системи відеоспостереження, реєстратори, FPV системи тощо [18].

Модуль камери 2Мп OV2640 зі шлейфом 70 мм (рис. 2.3, б) має такіж самі характеристики і використовується у тих сферах, що й камера 2Мп OV2640 зі шлейфом 12 мм [19].

Модуль камери 2Мп OV2640 FOW 160 (рис. 2.3, в) має такіж самі характеристики що й 2Мп OV2640 з 12 мм шлейфом. Їх відрізняє лише те, що у останнього кут огляду  $66^\circ$ , а у FOW 160, відповідно,  $160^\circ$  [20].

В таблиці 2.2 зведені характеристики відеокамер для ESP32-CAM.

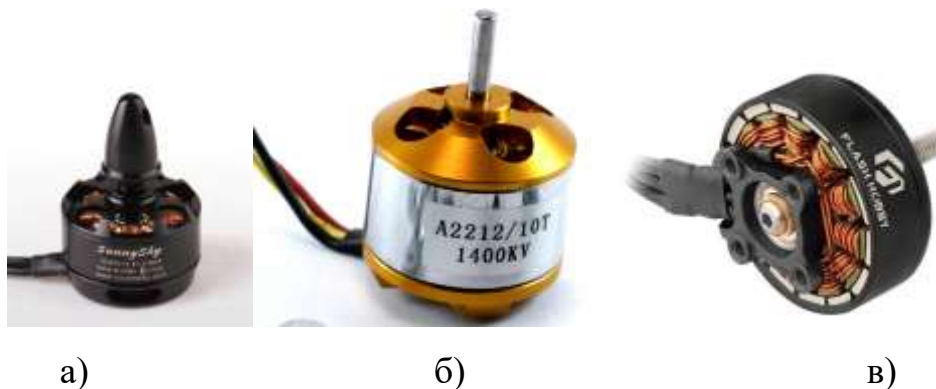
Таблиця 2.2 – Характеристика відеокамер для ESP32-CAM

№	Характеристика	2Мп OV2640 (12 мм) [18]	2Мп OV2640 (70 мм) [19]	2Мп OV2640 (FOV 160) [20]
1	Розмір камери	12 мм x 12 мм x 10 мм	12 мм x 12 мм x 10 мм	12 мм x 12 мм x 10 мм
2	Довжина шлейфу	12 мм	70 мм	12 мм
3	Роздільна здатність	2 Мп	2 Мп	2 Мп
4	Кут огляду	66°	66°	160°
5	Ціна (окремо від плати)	~ 130 грн	~ 170 грн	~ 180 грн

Маючи аналіз і характеристику вищенаведених камер для ESP32-CAM, можна зробити висновок, що найоптимальнішим варіантом для проекту є 2Мп OV2640 зі стандартним 12 мм шлейфом і кутом огляду 66°, через той факт, що ESP-32-CAM зазвичай продається у комплекті з цією камерою.

У якості винокнавичих пристроїв 1 та 2 зі схеми наведеної на рис 2.1 найкращим вибором будуть безколекторні двигуни. Вибір безколекторних двигунів є обґрунтованим, через їхню вищу ефективність, довший термін служби та меншу потребу в обслуговуванні. Цей тип двигунів забезпечує кращу продуктивність, точне керування та надійність, що робить їх ідеальними для складних і безперервних операцій у робототехніці.

Одними з найдоступнішими двигунами є: SunnySky X2207S 2100KV (рис. 2.4, а), A2212 KV1400 (рис. 2.4, б) та Flash Hobby FH2807-KV1300 (рис. 2.4, в).



а) SunnySky X2207S 2100KV [21];  
 б) A2212 KV1400 [22];  
 в) Flash Hobby FH2807-KV1300 [23]  
 Рисунок 2.4 – Безколекторні двигуни

У таблиці 2.3 зведені їх характеристики.

Таблиця 2.3 – Характеристика безколекторних двигунів

№	Характеристика	SunnySky X2207S 2100KV [21]	A2212 KV1400 [22]	Flash Hobby FH2807- KV1300 [23]
1	Обертів в хвилину на Вольт	2100 KV	1400 KV	1300 KV
2	Розміри	27,5 мм x 20 мм	27,8 мм x 27 мм	33,6 мм x 35,2 мм
3	Вага	36 г	48 г	56 г
4	Струм	18 А	20 А	37,91 А
5	Тяга	> 1000 г	~ 900 г	~ 2000 г
6	Потужність	350 Вт	196 Вт	907,6 Вт
7	Живлення	Від 7,4 В до 14,4 В (LiPo 2S – 4S)	Від 7,4 В до 11,1В (LiPo 2S – 3S)	Від 11.1 В до 14.4В (LiPo 3S – 4S)
8	Ціна	~ 400 грн	~ 300 грн	~ 900 грн

Малогабаритний безколекторний мотор зворотного обертання SunnySky X2207S 2100KV (рис. 2.4, а) призначено для побудови малогабаритних легких літальних апаратів, які вирізняються хорошим балансуванням, високою якістю і низьким рівнем шуму [21].

Двигун середнього класу 2212 KV1400 (рис. 2.4, б) для літаків і квадрокоптерів. Цей двигун не під'єднується безпосередньо до батареї, має KV1400. Підходить для квадрокоптерів на рамі 450-500 мм. Сили інерції діють на закручування гайки і не дають змоги їй розкрутитися [22].

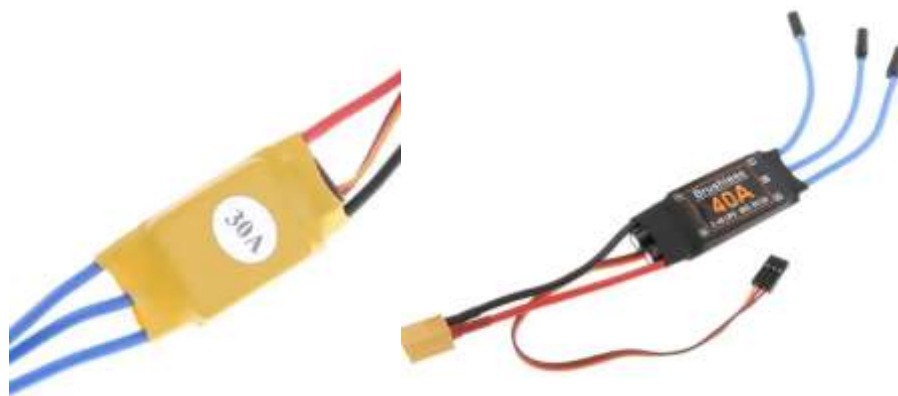
Arthur Flash Hobby 2807 1300KV (рис. 2.4, в) є компактним і потужним мотором для радіокерованих моделей, ідеально підходить для 7" FPV дронів. З визначними оборотами на вольт 1300KV і низьким струмом холостого ходу 1,2 А, він забезпечує ефективність та довговічність. З відносно легкою вагою 56 г і стандартним діаметром валу 5 мм, двигун легко інтегрується в 7" раму FPV дронів. Працюючи на номінальній напрузі до 4S LiPo, двигун забезпечує максимальну потужність 907,6 Вт і видатну тягу до 2000 г. З низьким опором (0,069 Ом) та міцною конструкцією, Arthur Flash Hobby 2807 забезпечує надійну продуктивність [23].

Найоптимальнішим варіантом є SunnySky X2207S через адаптовність до різних типів живлення, усереднену ціну у співвідношенні з конструкційними особливостями двигуна.

Для регулювання обертами двигунів використовують ESC. На рисунку 2.5 наведені їх приклади.

Регулятор обертів Simonk ESC 30A (рис. 2.5, а) – безщітковий двигун, що використовуються в мультикоптерах та інших радіокерованих моделях. Максимальний струм 30 А, а у піках до 45 А.

Вбудований стабілізатор живлення 5 В та 2 А. Заточений під моделі типу T-Rex 450 V2, але його також можна використовувати для інших моделей. Підтримуються платою APM 2.x [24].



а)

б)

а) Simonk ESC 30A [24];

б) Readytosky ESC 40A [25]

Рисунок 2.5 – Регулятори обертів

У таблиці 2.4 зведені їх характеристики.

Таблиця 2.4 – Характеристика регуляторів обертів для безколекторних двигунів

№	Характеристика	Simonk ESC 30A [24]	Readytosky ESC 40A [25]
1	Вихідний струм	30 А (у піках до 40 А)	40 А (у піках до 55 А)
2	Вхідна напруга	7.4 В – 11.1В (LiPo 2S – 3S)	7.4 В – 14.4В (LiPo 2S – 4S)
3	Розміри	50 мм x 25 мм x 7 мм	68 мм x 25 мм x 8 мм
4	Вага	31 г	35 г
5	Захист від перегріву	наявний	наявний
6	Відключення при низькій напрузі	від 6 В до 9 В	4 В
7	Ціна	~ 250 грн	~ 300 грн

Регулятор обертів Readytosky ESC 40A (рис. 2.5, б) – безщітковий двигун, що використовуються в мультикоптерах та інших радіокерованих моделях. Максимальний струм 40 А, в піках до 55 А. Вбудований стабілізатор живлення 5 В та 3 А. Заточений під моделі типу HJ MWC X-Mode, але також можна використовувати для інших моделей. Підтримуються платою APM 2.x [25].

Як універсальний варіант, було обрано Readytosky ESC 40A, через оптимальну ціну і адаптовність під велику кількість двигунів і к різним типам акумуляторів.

У якості виконавчого пристрою 3 (рис. 2.1) буде використовуватися серводвигун. Головна задача, яку він буде вирішувати – це маневрування дрона у просторі. На рисунку 2.6 наведено серводвигуни, які використовуються у роботизованих системах найчастіше, а саме: EMAX ES08A II (рис. 2.6, а), MG996R-360 (рис. 2.6, б) та SG90 (рис. 2.6, в).



а) EMAX ES08A II [26];

б) MG996R-360 [27];

в) SG90 [28]

Рисунок 2.6 – Серводвигуни

Їх характеристики зведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика серводвигунів

№	Характеристика	EMAX ES08A II [26]	MG996R-360 [27]	SG90 [28]
1	Розміри	23 мм x 11,5 мм x 24 мм	41 мм x 20 мм x 43 мм	22 мм x 11,5 мм x 22,5 мм
2	Вага	8,5 г	55 г	9 г
3	Напруга	від 4,8 В до 6 В	4,8 В	від 3,7 В до 7 В
4	Кут повороту	360°	360°	180°
5	Сила на валу	До 2 кг	До 9,4 кг	До 2 кг
6	Ціна	~ 300 грн	~ 180 грн	~ 80 грн

EMAX ES08A II (рис. 2.6, а) – ультралегкий сервопривід із пластиковими шестернями у редукторі. Вага двигуна становить лише 8.5 г. Підходить для невеликих електро-вертольотів, трикоптерів, човнів, літаків, планерів і автомоделей масштабу 1:18 [26].

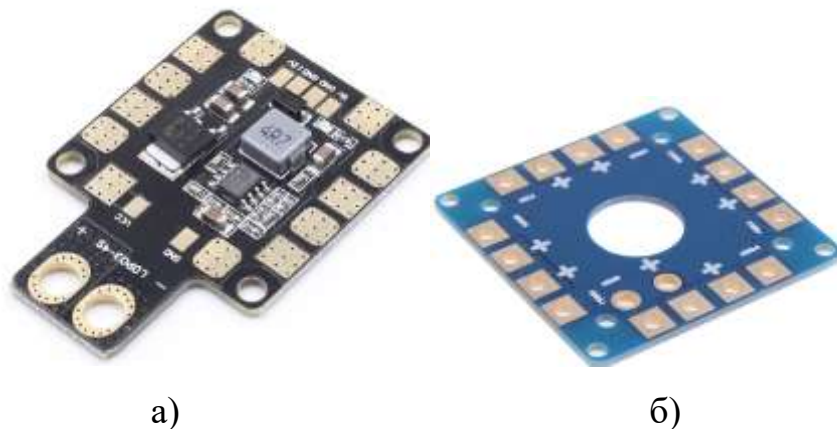
Сервопривід MG996R (рис. 2.6, б) застосовується для повороту деталей різних механізмів, а саме: в автомоделях для керування поворотом передніх коліс, в авіамоделізмі для повороту керма і закрилків моделі. Завдяки редуктору з металевими шестернями на вихідному валу розвивається зусилля достатнє для застосування в рухомих роботах. Цей сервопривід є поліпшеною версією моделі MG995, за точністю і швидкістю позиціонування. Усередині корпусу розміщено невеликий модуль керування, який під дією вхідного сигналу подає живлення відповідної полярності на електродвигун. Інформація про необхідний напрямок і швидкість обертання вала міститься в шпаруватості імпульсів керуючого сигналу. Частота керуючого сигналу має бути постійною і становити 50 Гц [27].

SG90 (рис. 2.6, в) є найпоширенішим серводвигуном. Його ставлять в авіа-моделі, в судо-моделі, в роботі і в інші саморобки. Легкий, якісний міні-серво SG90 з пусковим моментом 2 кг/см. Усередині корпусу розміщено

невеликий модуль керування, який під дією вхідного сигналу подає живлення відповідної полярності на електродвигун. Вхідний сигнал управління містить дані про необхідне положення вала. Для визначення поточного положення вала редуктор з'єднаний з двигуном змінного резистора. Електроніка Tower Pro SG90 обчислює різницю між поточним положенням редуктора і необхідним. Модуль керування, орієнтуючись на опір змінного резистора, подає живлення потрібної полярності на двигун для повороту редуктора, що приводить у відповідність положення, передане сигналом керування [28].

У якості виконавчого пристроя з було обрано SG90, через його доступність і розповсюдженість у порівнянні з іншими моделями серводвигунів.

Плата розведення живлення є необхідною частиною модуля живлення (рис. 2.1). Основна функція живлення необхідною напругою та струмом відповідний компонент дрона. Плати розведення живлення, що найчастіше використовуються: GEPRC GEP-XT60-PDB V1 (рис. 2.7, а) і плата розведення живлення ESC (рис. 2.7, б).



а)

б)

а) GEPRC GEP-XT60-PDB V1 [29];

б) Плата розведення живлення ESC [30]

Рисунок 2.7 – Плати розведення живлення

Їх характеристики зведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристика плат розведення живлення

№	Характеристика	GEPRC GEP-XT60-PDB V1 [29]	Плата розведення живлення ESC [30]
1	ВЕС	5 В та 12 В	Відсутній
2	Діапазони вхідного живлення	9 В – 18 В (LiPo 3 S – 4 S)	Немає обмежень
3	Розміри	36 мм x 50 мм x 4 мм	50 мм x 50 мм x 1,8 мм
4	Вага	7,8 г	7,8 г
5	Цена	~ 200 грн	~ 100 грн

Плата розведення живлення GEP-PDB (рис. 2.7, а) була розроблена для забезпечення максимально можливої продуктивності та надійності при використанні 4-шарової друкованої плати розміром 36 мм x 50 мм. PDB розподіляє енергію від LiPo акумуляторів до 4S, а також забезпечує синхронізовані та регульовані виходи постійного струму 5 В і 12 В для живлення камер, сервоприводів, приймача, контролерів польоту, відеопередавачів, світлодіодів тощо [29].

Плата розведення живлення ESC (рис. 2.7, б) є звичайною і не має ніяких особливостей окрім відносної доступності [30].

Можна зробити висновок, що GEPRC GEP-XT60-PDB V1 є більш бажаною через наявну велику кількість переваг.

Правильний вибір акумулятора для роботи має важливе значення для забезпечення оптимальної продуктивності та довговічності. Ідеальний акумулятор забезпечує достатню потужність, має високу щільність енергії, тривалий час роботи та можливість швидкої перезарядки. Крім того, він

повинен бути легким, безпечним і сумісним з вимогами до живлення робота. Акумулятори, що найчастіше використовуються зображені на рисунку 2.8.



а)

б)

а) Fullymax 14.8V 2200mAh Li-Po 4S [31];

б) Fullymax 11.1V 1500mAh Li-Po 3S [32]

Рисунок 2.8 – Акумулятори

Їх характеристики зведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристика акумуляторів

№	Характеристика	Fullymax 14.8V 2200mAh Li-Po 4S [31]	Fullymax 11.1V 1500mAh Li-Po 3S [32]
1	Розміри	101 мм x 35 мм x 32,5 мм	22 мм x 35 мм x 68 мм
2	Вага	226 г	111 г
3	Тип	Літій-полімер	Літій-полімер
4	Ємність	2200 мА·г	1500 мА·г
5	Напруга	14,8 В	11,1 В
6	Кількість банок	4S	3S
7	Ціна	~ 1100 грн	~ 900 грн

Маючи вищеперераховані характеристики та співвіднести їх з ціною, найвигіднішим варіантом є Fullymax 14.8V 2200mAh Li-Po 4S (рис 2.8, а).

У якості датчика буде виступати металошукач. Найдоступніші моделі зображені на рисунку 2.9.



а) MDS-60 [33];

б) DIY Kit [34]

Рисунок 2.9 – Металошукачі

MDS-60 (рис 2.9, а) – це металошукача, який збирається самостійно. Він складається з металевих деталей та електронних компонентів, які необхідно збирати відповідно до інструкцій. Цей металошукач дає змогу виявляти металеві предмети, приховані під землею або в інших матеріалах. Він може бути використаний для археологічних розкопок, безпечного виявлення металевих об'єктів, тощо. Прилад працює за принципом електромагнітного поля. Коли котушка з детектором металу рухається над металевим предметом, вона викликає зміну електромагнітного поля. Ця зміна захоплюється датчиком і передається в мікросхему контролера, яка інтерпретує її як сигнал про наявність металу. Результати пошуку відображаються за допомогою звукового та світлового сигналів, даючи змогу користувачеві точно визначити місцезнаходження металу [33].

Металошукач DIY Kit (рис 2.9, б) має меншу чутливість, у порівнянні з MDS-60, збирається також власноруч [34].

Характеристики металошукачів зведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристика металошукачів

№	Характеристика	MDS-60 [33]	Металошукач DIY Kit [34]
1	Напруга	Від 3 В до 5 В	Від 3 В до 5 В
2	Струм	до 40 мА	до 40 мА
3	Відстань виявлення	до 60 мм	до 50 мм
4	Тип сповіщення про виявлення	Світловий та звуковий індикатори	Світловий та звуковий індикатори
5	Наявність отвору для кріплення	Наявне	Відсутнє
6	Ціна	~ 70 грн	~ 60 грн

З перерахованих вище опису та характеристик, можна виділити MDS-60 як бажаний, через наявність конструкційного отвору для кріплення.

### 2.3 Розробка 3D-моделей деталей мінно-пошукового мобільного робота

Перед тим як перейти до розробки 3D моделі деталей МПМР, необхідно обрати середовище для 3D моделювання. Найпоширенішими інженерними середовищами моделювання є: Fusion 360, AutoCAD та SolidWorks.

Fusion 360 – це САПР нового покоління від Autodesk. Програмний продукт є засіб 3D-проекування та розробки виробів на основі хмарних

технологій, в якому поєднуються можливості спільної роботи, цифрового проектування та механічної обробки в одному пакеті. Fusion 360 дозволяє швидко і легко вивчати проектні ідеї за допомогою першої у світі інтегрованої платформи, що охоплює всі етапи від розробки концепції до стадії виробництва [35].

AutoCAD – програмний продукт від Autodesk, який займає почесне місце серед систем віртуального проектування. Є одним з представників універсального програмного забезпечення, яке застосовується для найширших потреб. Головні сфери застосування програми: архітектурно-будівельне проектування і промисловий дизайн. За допомогою цього продукту можна не тільки розробити тривимірну модель, але оформити її максимально деталізовані креслення. Більшість проектних організацій і конструкторських бюро використовують AutoCAD як базову систему для створення різних креслень, завдяки чому проекти зі стандартним форматом цієї системи стали еталонними в індустрії проектування [36].

SolidWorks – одна з найпопулярніших програм для проектування в інженерії і 3D моделюванні. Вважається базовою програмою промислових підприємств, які розробляють і виробляють різноманітні деталі, інженерні конструкції, а також в промисловому дизайні. По суті, це конструктор, який має необхідний набір інструментів для створення об'єктів в цифровому вигляді. Також, він має велику кількість додаткових можливостей, що дозволяють проводити над моделлю віртуальні випробування. На сьогоднішній день програма доступна для установки тільки для ОС Windows і має базовий функціонал. Зазвичай, це програмне забезпечення використовується для: твердотілого і поверхневого 3D моделювання, виконання збірок конструкцій, створення креслень, розробка зварних конструкцій, експортування даних в різні формати, моделювання конструкцій або предметів з урахуванням матеріалу виробу, проведення розрахунків на міцність та вигин, роботи з

електричними схемами, анімування роботи готового виробу, виконання розрахунків гідро- і аеродинаміки, роботи з даними 3D сканування, тощо [37].

Отже, з вищеперерахованих ПЗ, найкращим є SolidWorks через його багатофункціональність та відносно зрозумілий інтерфейс.

Корпус МПМР буде складатися з 8 унікальних конструкційних деталей, які зображені на рисунках 2.10 – 2.16. Всі вони друкуються на 3D-принтері.

Конструкційна деталь 1, яка зображена на рисунку 2.10, використовується як база, до якої кріпляться всі інші деталі. Також до неї кріпиться верхня частина подушки і металошукач. Друкується у кількості 1 одиниця.

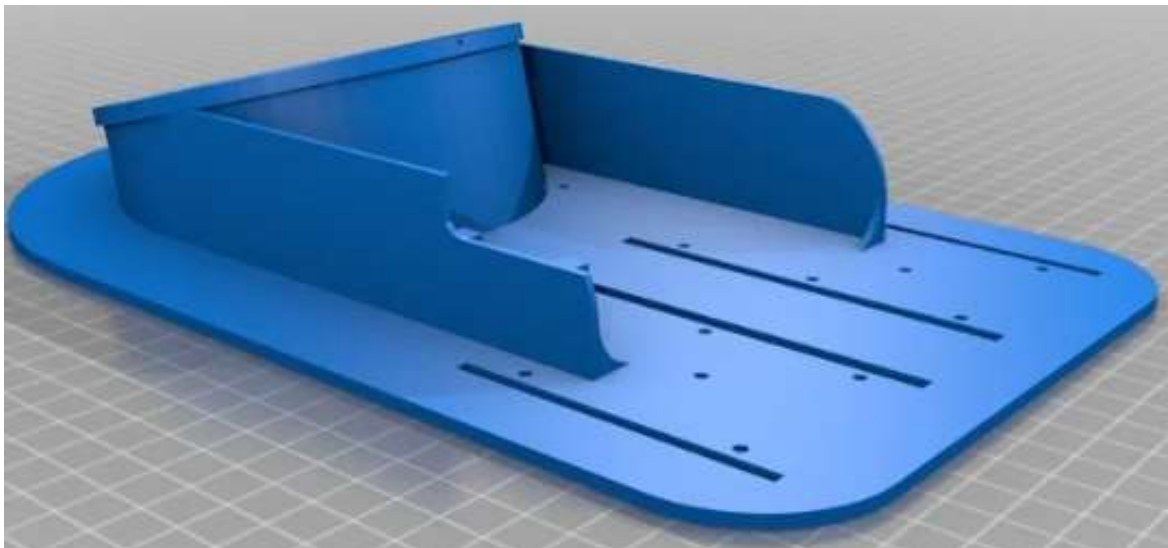
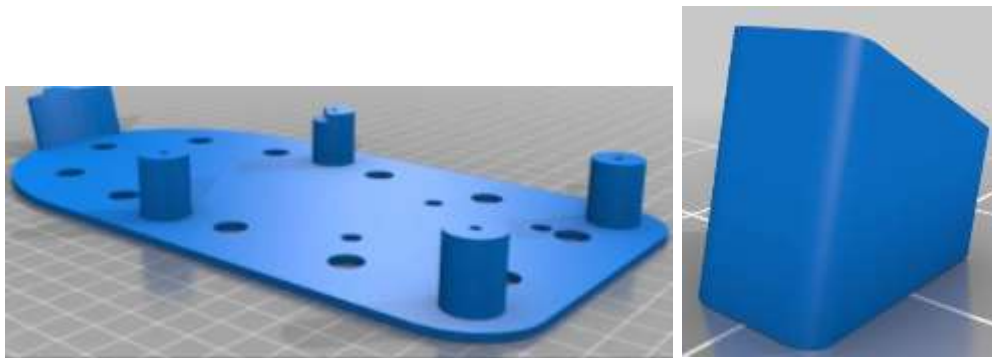


Рисунок 2.10 – Конструкційна деталь 1

Конструкційна деталь 2 (рис. 2.11, а) кріпиться до деталі 1. Її основна функція полягає у тому, що до неї кріпиться нижня частина подушки. Друкується у кількості 1 одиниця.

За допомогою конструкційної деталі 3 (рис. 2.11, б) подушка кріпиться до деталей 1 та 2. Друкується у найбільшій кількості, а саме до 30 одиниць.



а)

б)

а) Конструкційна деталь 2;

б) Конструкційна деталь 3

Рисунок 2.11 – Конструкційні деталі 2 та 3

За допомогою конструкційної деталі 4, яка зображена на рисунку 2.12, повітряна подушка прикрілюється знизу на деталі 2. Друкується у кількості 1 одиниця.

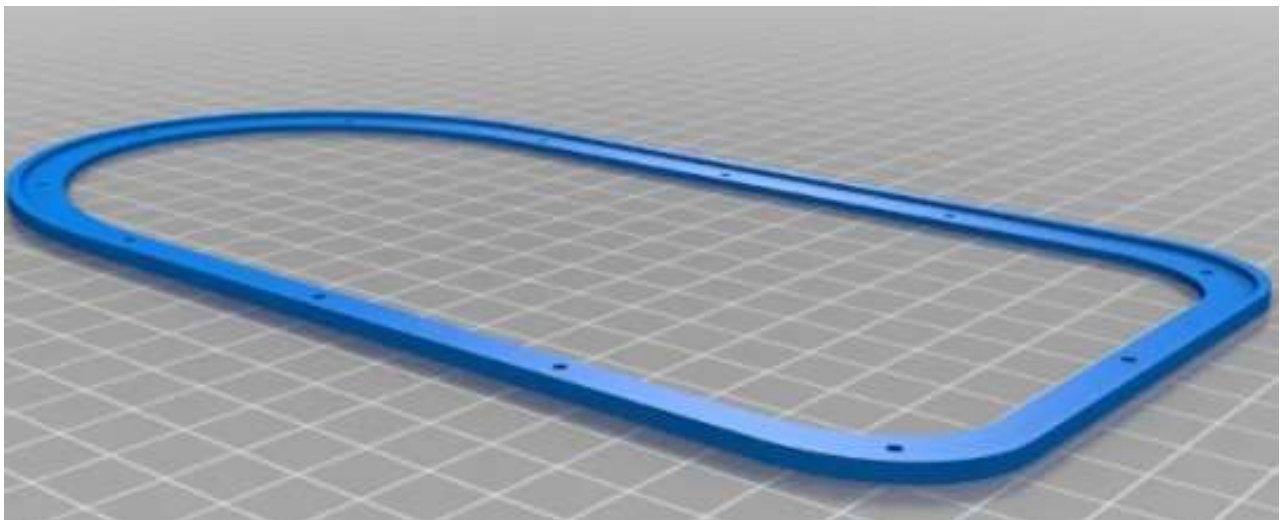


Рисунок 2.12 – Конструкційна деталь 4

Конструкційна деталь 5, яка зображена на рисунку 2.13, кріпиться до деталі 1. До неї прикріплюється виконавчий пристрій 1, який несе за собою функцію – надув повітряної подушки. Друкується у кількості 1 одиниця.



Рисунок 2.13 – Конструкційна деталь 5

Конструкційна деталь 6, яка зображена на рисунку 2.14, кріпиться до деталі 1. До неї прікріплюється виконавчий пристрій 2, який несе за собою функцію штовхання МПМР вперед. Друкується у кількості 1 одиниця.

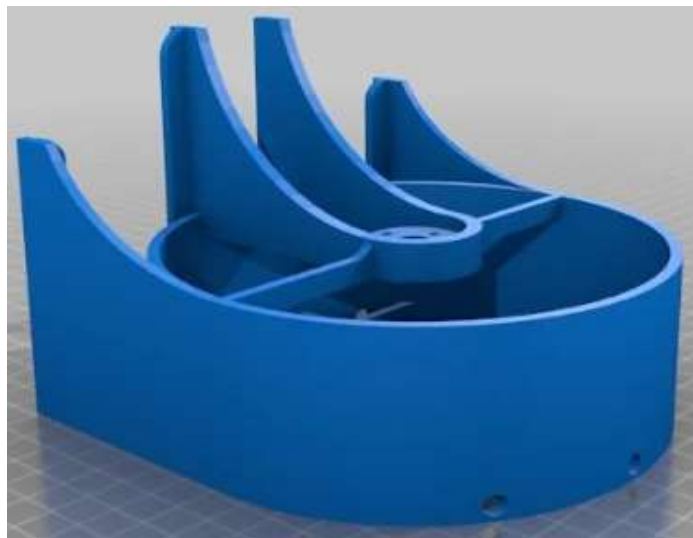


Рисунок 2.14 – Конструкційна деталь 6

Конструкційні деталі 7 та 8, яка зображена на рисунку 2.15, кріпляться до деталі 6 (рис. 2.14). Виконють функції повороту МПМР праворуч та ліворуч. Друкується у кількості 1 одиниця кожна.



Рисунок 2.16 – Конструкційні деталі 7 та 8

#### 2.4 Збірка модуля металошукача

Металошукач MDS-60 приходить від розробника у розібраному стані (рис. 2.9, б).

У набір входить наступне 17 комплектуючих:

- 1 плата;
- 1 резистор на 470 Ом;
- 1 резистор на 2 кОм;
- 1 резистор на 200 кОм;
- 1 потенціометр на 1 кОм;
- 2 керамічних конденсатора на 0,022 мкФ;
- 2 керамічних конденсатора на 0,1 мкФ;
- 1 електrolітичний конденсатор на 100 мкФ;
- 1 led світлодіод;
- 2 транзистора S9012;
- 1 транзистор S9018;

- 1 перемикач (6-піновий);
- 1 конектор;
- 1 зумер.

Всі компоненти припаюються на плату за схемою електричною принциповою, яка зображена на рис. 2.16.

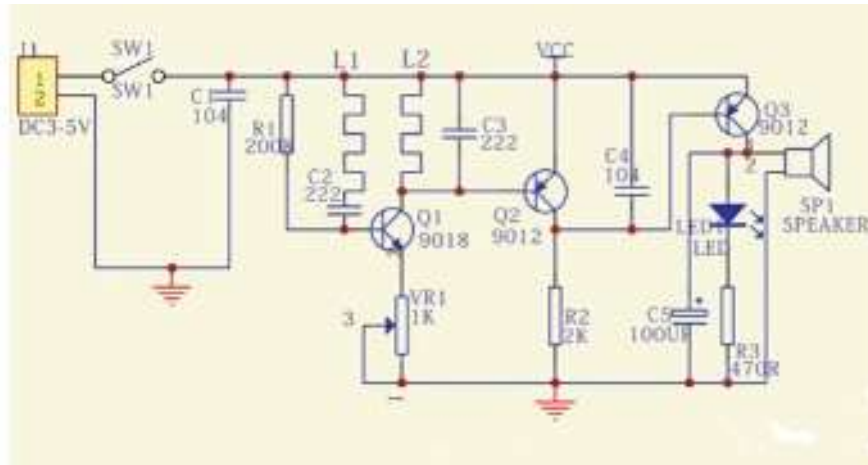


Рисунок 2.16 – Схема електрична принципова металошукача MDS-60 [38]

У зібраному стані отримуємо металошукач MDS-60, який зображено на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 – Металошукач MDS-60 зібраному стані [38]

## 2.5 Розробка схеми підключення

За наявності всіх компонентів, які були обрані, було розроблену схему підключення, яка зображена на рисунку 2.18.

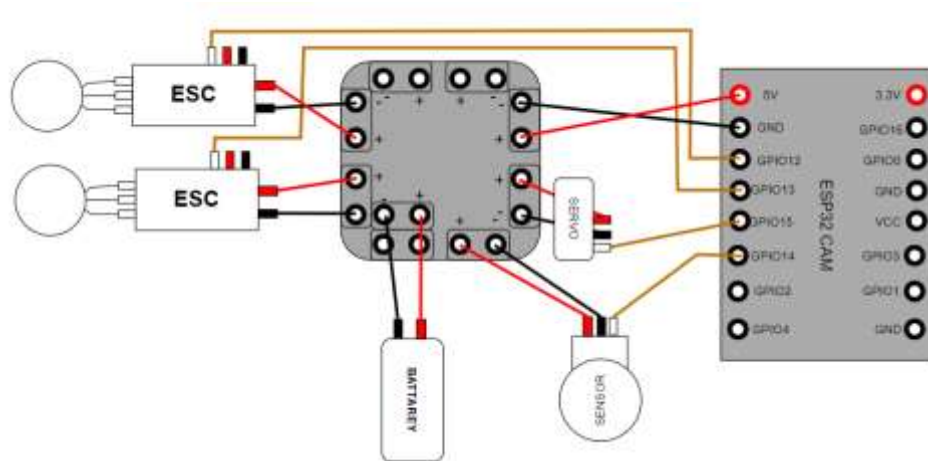


Рисунок 2.18 – Схема підключення

До відповідних виводів на платі розведення живлення (рис. 2.7, а) припаюємо наступні елементи: регулятори оборотів (рис. 2.5, б) до 12 В виводів плати, живлення серводвигуна (рис. 2.6, в), металошукача (рис. 2.17) та ESP-32-CAM (рис. 2.2, б) – на 5 В виводи плати, акумулятор (рис. 2.8, а) – на контакти живлення самої плати.

До ESP-32-CAM (рис. 2.2, б) виводи 5 В та «земля» припаюються до відповідних виводів на платі розводки живлення, до пін GPIO 12 підключаємо сигнальний вихід з регулятора оборотів, що відповідає за виконавчий пристрій 1, GPIO 13 – сигнальний вихід з регулятора оборотів, що відповідає за виконавчий пристрій 2, GPIO 14 – сигнальний вихід з металошукача, GPIO 15 – сигнальний вихід з серводвигуна.

3 вивода з безщіткових двигунів (рис. 2.4, а) приєднуємо до відповідних виводів регуляторів оборотів.

Камеру вставляємо у відповідний роз'єм на самій платі ESP-32-CAM.

Отримуємо результат, який зображено на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Зібрана схема підключення

## 2.6 Збірка макету мінно-пошукового мобільного робота

Згідно інструкцій, які зазначено у розділах 2.3, 2.4 і 2.5, було зібрано макет (рис. 2.20). У якості повітряної подушки використовувався потний поліетиленовий пакет.



Рисунок 2.20 – Зібраний макет

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІННО-ПОШУКОВОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

### 3.1 Вибір середовища розробки

Вибір середовища розробки має вирішальне значення для ефективності та продуктивності розробки програмного забезпечення. IDE поєднує основні інструменти, такі як редактор коду, компілятор, налагоджувач та засоби автоматизації збірки в єдиному інтерфейсі, що спрощує процес розробки. Вдало підібране IDE підвищує якість коду та швидкість розробки завдяки таким функціям, як підсвічування синтаксису, завершення коду та виявлення помилок у реальному часі.

Крім того, сучасні IDE пропонують інтегровані системи контролю версій, що робить співпрацю між членами команди більш злагодженою та зменшує ризик конфліктів при об'єднанні коду. Вони також часто підтримують широкий спектр плагінів і розширень, що дозволяє розробникам налаштовувати середовище відповідно до конкретних потреб проекту та особистих уподобань.

Крім того, IDE може значно скоротити час навчання для початківців, надаючи інтуїтивно зрозумілі інтерфейси та корисну документацію. Це може сприяти швидшому входженню в курс справи та розвитку навичок.

Зрештою, правильна IDE відповідає вимогам проекту, мовам програмування, що використовуються, та вподобанням розробника щодо робочого процесу, що призводить до підвищення ефективності, зменшення кількості помилок та більш приємного досвіду кодування.

Найпоширенішими середовищами розробки для плат ESP 32 є: Arduino IDE, MicroPython та Espressif-IDE.

Arduino IDE – це безкоштовне середовище розробки із відкритим вихідним кодом для плат Arduino та плат інших виробників, яке включає

редактор коду, компілятор, програматор та відлагоджувач. У ньому є весь необхідний мінімум для розробки програм: написання коду, перевірка коду, компіляція, завантаження скетчу, монітор послідовного порту. Це ПЗ стало популярним серед аматорів так і професіоналів завдяки популярності плат Arduino, постійної підтримки розробниками самого ПЗ та великого і відзивчивого ком'юніті яке завжди готове допомогти радою з проблемами, які виникають під час розробки. Розробка ведеться на C/C++ [39].

Середовище розробки Arduino IDE зображено на рис 3.1.



Рисунок 3.1 – Середовище розробки Arduino IDE [39]

Для програмування плат типу ESP також використовується середовище розробки uPyCraft IDE, а у якості мови програмування виступає MicroPython.

MicroPython – це ефективна реалізація мови програмування Python 3, яка включає невелику підмножину стандартної бібліотеки Python та оптимізована для роботи на мікроконтролерах і в обмеженому середовищі. MicroPython має безліч розширених можливостей, таких як інтерактивні підказки, цілі числа

довільної точності, закриття, розуміння списків, генератори, обробка винятків та багато іншого. Для MicroPython uPyCraft IDE.

uPyCraft IDE – є повноцінним компілятором і середовищем виконання Python. Користувач отримує інтерактивну підказку, яка називається REPL, для негайного виконання команд, а також можливість запускати та імпортувати скрипти з вбудованої файлової системи. REPL має історію, завершення табуляції, автоматичний відступ і режим вставки для зручної роботи користувача.

Мова MicroPython прагне бути максимально сумісним зі звичайним Python, відомим як CPython, так що якщо користувач добре володіє Python, він не розубиться під час роботи з MicroPython. На додаток до реалізації набору основних бібліотек Python, MicroPython включає такі модулі, як «machine» для доступу до низькорівневого апаратного забезпечення [40].

Середовище розробки uPyCraft IDE зображено на рис. 3.2.

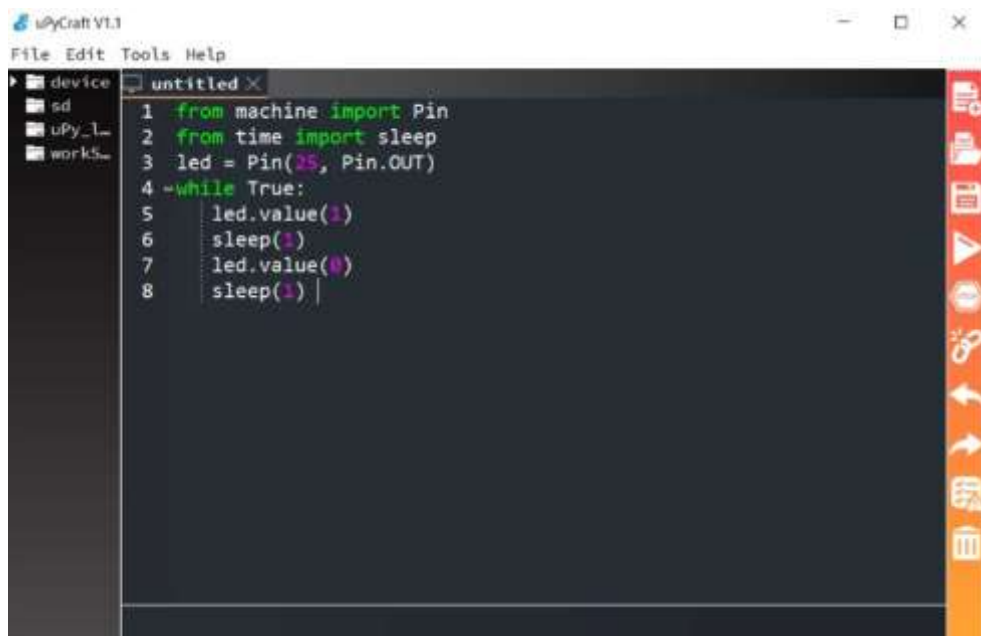


Рисунок 3.2 – Середовище розробки uPyCraft IDE [40]

Espressif-IDE – це інтегроване середовище розробки на основі Eclipse CDT для розробки додатків Інтернету речей з використанням фреймворку ESP-

IDF. Це автономне та кастомізоване IDE, створене спеціально для ESP-IDF. Espressif-IDE постачається з плагінами IDF Eclipse, основними плагінами Eclipse CDT та іншими сторонніми плагінами з платформи Eclipse для підтримки створення додатків ESP-IDF. Розробка ведеться на мові програмування C/C++ [41].

Середовище розробки Espressif-IDE зображено на рис. 3.3.

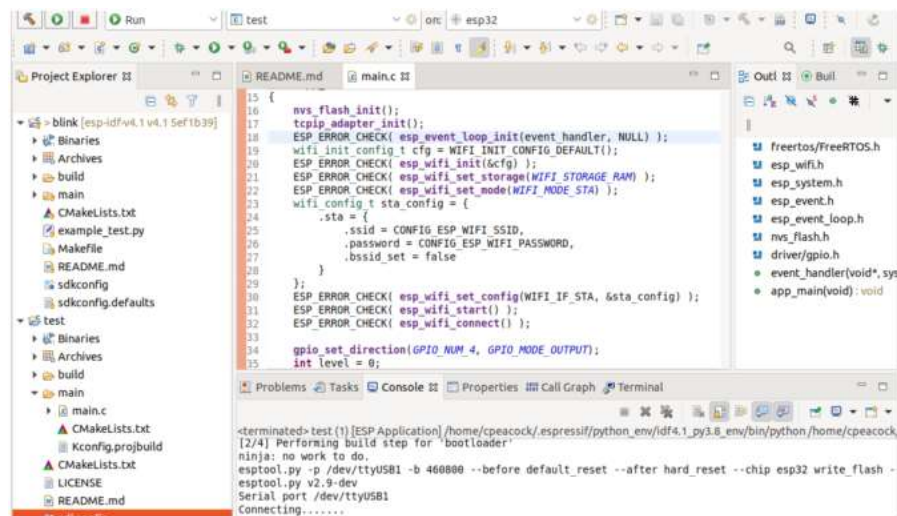


Рисунок 3.3 – Середовище розробки Espressif-IDE [41]

Отже, маючи вищенаведений аналіз, бажаним середовищем розробки є Arduino IDE. Основною перевагою цього середовища є велике ком'юніті розробників, адаптовність під велику кількість плат, зручний інтерфейс і простота у використанні.

### 3.2 Розробка загального алгоритму

Загальний алгоритм слугує основою для автоматизації або реалізації чогось в різних галузях. Він впорядковує процеси розробки, сприяє інтеперабельності роботизованих систем і прискорює технологічний прогрес. Стандартизуючи та уніфікуючи процедури, він полегшує інтеграцію нових

функціональних можливостей, сприяє співпраці різних модулів роботи програми, і надає можливість ефективно вирішувати динамічні завдання.

Загальний алгоритм роботи програми зображено на рисунку 3.4.

Після запуску і підключення до дрона, оператору дається змога керувати ним.

Після натискання кнопки «Stream» вповина запускатися пря трансляція з камери. Після включення трансляції, повина надаватись можливість робити фото з поточної трансляції. Після повторного натискання на кнопку «Stream» – трансляція припиняється.

Після зміни відповідних повзунков, повинні змінюватися відповідні параметри, а саме:

- швидкість обертів безколеторного двигуна ВП 1;
- швидкість обертів безколеторного двигуна ВП 2;
- кут позиціонування серводвигуна ВП 3;
- яскравість фонарика, який є вбудований у саму плату ESP-32-CAM;
- роздільна здатність трансляції;
- якість трансляції.

Відповідно, після зміни вищезазначених параметрів, дрон виконує відповідні дії, а саме:

- збільшується або зменшується швидкість руху вперед;
- надувається або здувається повітряна подушка;
- повертається «хвіст» дрона на відповідний кут для виконання маневру під час руху;
- вмикається та вимикається фонарик і регулюється яскравість світла ввімкненого фонарика;
- змінюється роздільна здатність трансляції з камери ESP-32-CAM;
- та змінюється її якість трансляції з камери ESP-32-CAM.

Також, якщо у поле досяжності магнітного поля датчика потрапляє метал, то датчик детектить це та інформацію виводиться оператору.

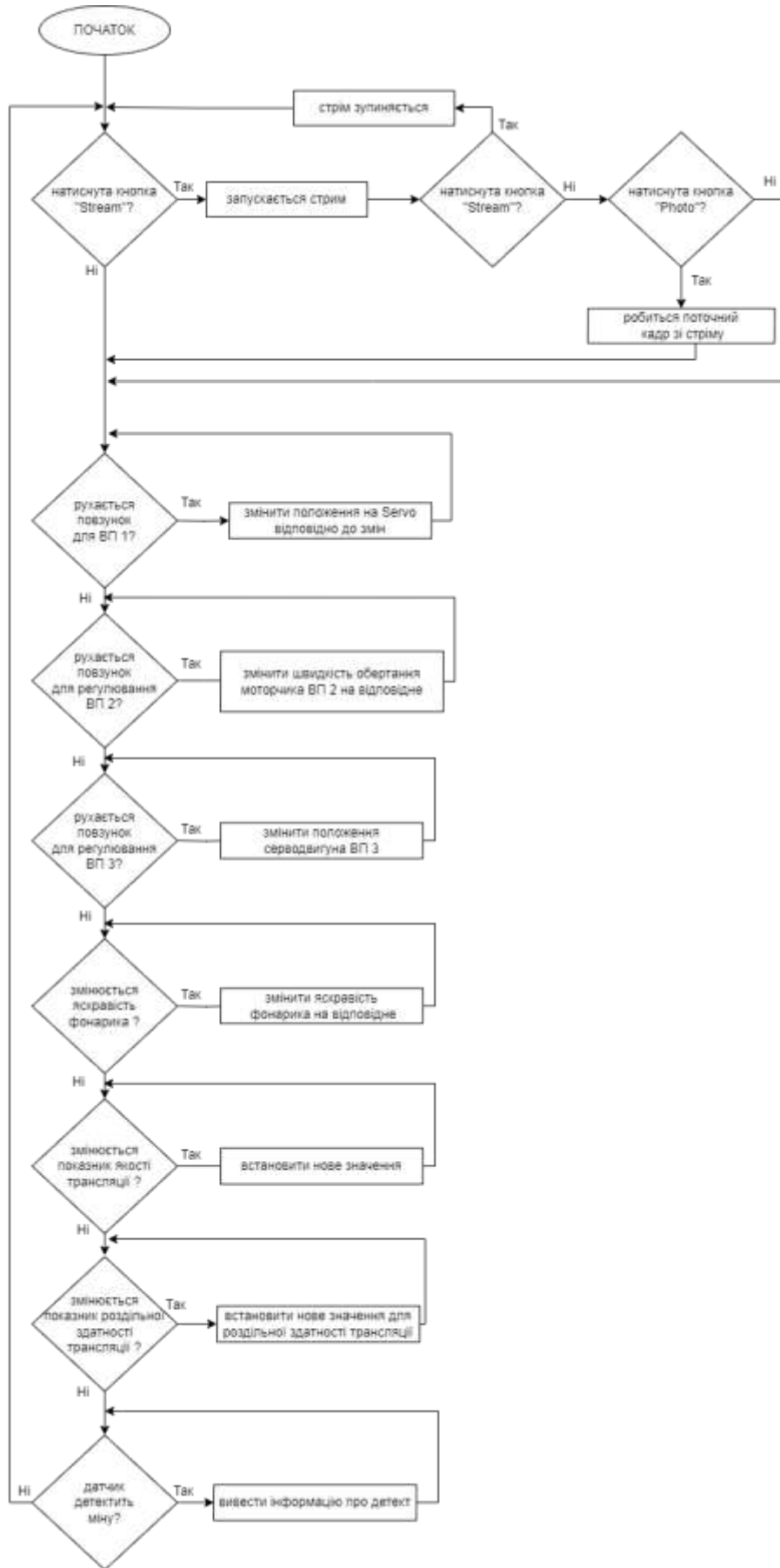


Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм роботи програми

### 3.3 Програмна реалізація керування мінно-пошуковим мобільним роботом

У додатку А наведено лістинг програми підключення ESP-32-CAM до сервера та ініціалізацію змінних.

У додатку Б наведено html розмітку UI програми.

Інтерфейс робочої програми зображено на рисунку 3.5.

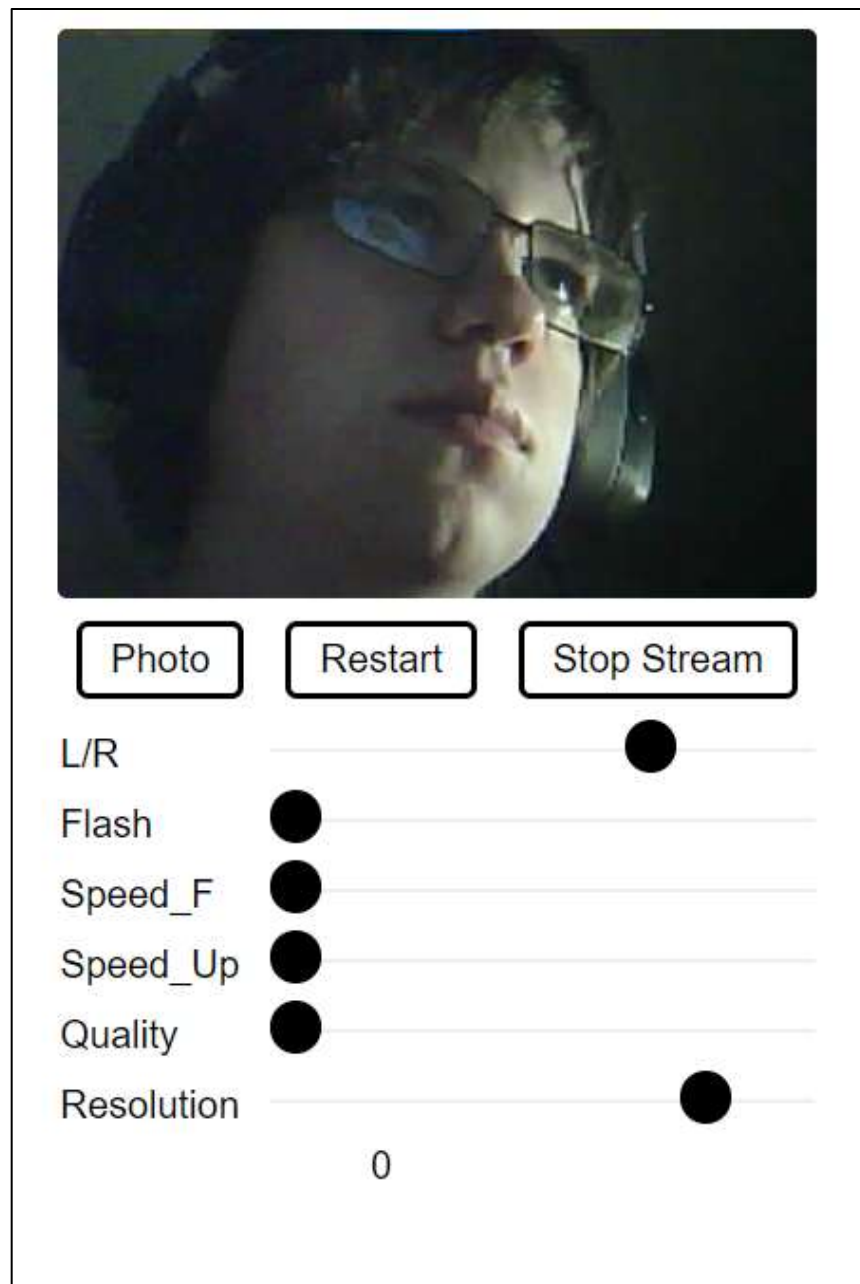


Рисунок 3.5 – UI

Виконавчі пристій 1 керуються за допомогою веб-повзунка «Speed\_F».

Виконавчі пристій 2 за допомогою веб-повзунка «Speed\_Up».

Виконавчі пристій 3 за допомогою веб-повзунка «L/R».

Керування ВП 1, 2 та 3 виконується через ШІМ сигнал. Для роботи з ними та іншими компонентами, які керуються ШІМ, виконується їх ініціалізація за допомогою методів `ledcSetup()` та `ledcAttachPin()`.

```
ledcSetup(3, 50, 16); // канал 3, частота 50 Гц, розрядність 16-bit
```

```
ledcAttachPin(pinServoF, 3); // прив'язка піна ВП_1 до каналу 3
```

```
ledcSetup(4, 50, 16); // канал 4, частота 50 Гц, розрядність 16-bit
```

```
ledcAttachPin(pinServoUp, 4); // прив'язка піна ВП_2 до каналу 4
```

```
ledcSetup(5, 5000, 8); // канал 5, частота 5000 Гц, розрядність 8-bit
```

```
ledcAttachPin(pinSensor, 5); // прив'язка піна металошукача до каналу 5
```

```
ledcSetup(8, 50, 16); // канал 8, частота 50 Гц, розрядність 16-bit
```

```
ledcAttachPin(pinServoC, 8); // прив'язка піна ВП_3 до каналу 8
```

```
ledcSetup(7, 5000, 8); //канал 7, частота 5000 Гц, розрядність 8-bit
```

```
ledcAttachPin(4, 7); //прив'язка світлоіода на платі до каналу 7
```

Залежно від положення повзунка береться відповідне значення та відповідний ШІМ сигнал передається на відповідні піни плати ESP-32-CAM.

За допомогою повзунків «Quality» та «Resolution» змінюється якість та роздільна здатність виведення зображення трансляції відповідно.

За допомогою кнопки «Stop Stream» можна ввимкнути та ввимкнути трансляцію з камери ESP-32-CAM.

За допомогою кнопки «Photo» робиться скрін зображення з трансляції, якщо вона уввімкнена.

Відображення детекта міни, а саме реакції металошукача на метал зображено у програмі у вигляді текстового напису, який показує рівень близьості самого датчика до металу.

Також, підчас розробки програми, було додано додатковий функціонал, який не зображено у загальному алгоритмі роботи програми на рис. 3.4, а саме:

- кнопка «Restart», за допомогою якої виконується перезапуск плати;
- повзунок «Flash», який за допомогою ШІМ сигналу керує світлодіод на платі ESP-32-CAM, який буде використовуватися як ліхтарик.

Логіка роботи веб-повзунків з виконавчими пристроями реалізована за допомогою методу `strcmp()`, де в якості змінних вказується значення з повзунка та поточне значення на виконачому пристрої або копмоненті дрона:

```

if (!strcmp(variable, "framesize")) {
    Serial.println("framesize");
    if (s->pixformat == PIXFORMAT_JPEG) res = s->set_framesize(s,
(framesize_t)val);
} else if (!strcmp(variable, "quality")) {
    Serial.println("quality");
    res = s->set_quality(s, val);
} else if (!strcmp(variable, "flash")) {
    ledcWrite(7, val);
} else if (!strcmp(variable, "servo")) {
    ledcWrite(8, 10 * val);
} else if (!strcmp(variable, "speedF")) {
    ledcWrite(3, val);
} else if (!strcmp(variable, "speedUp")) {
    ledcWrite(4, val); }

```

### 3.4 Моделювання динаміки управління серводвигуна SG90

Моделювання динаміки управління включає визначення передавальної функції на основі динамічних характеристик, а також побудову графіка перехідної характеристики для візуалізації реакції системи на ступінчастий вплив [42].

Для моделювання динаміки управління серводвигуна (рис. 2.6, в), який керується ШІМ-сигналом з частотою 50 Гц і розрядністю 16-bit, зазвичай використовується передавальна функція другого порядку, яка має наступний вигляд (3.1) :

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (3.1)$$

де  $\omega_n$  – натуральна частота або частота зрізу;

$\zeta$  – коефіцієнт демпфування або коефіцієнт затухання.

З технічної документації SG90 маємо такі характеристики [28]:

- частота зрізу  $\omega_n$  – 10,5 рад/с;
- коефіцієнт затухання  $\zeta$  – 0,7.

Підставимо отримані дання у формулу (3.1) і отримуємо передавальну функцію другого порядку для SG90 (3.2):

$$G(s) = \frac{110,25}{s^2 + 14,7s + 110,25}. \quad (3.2)$$

За отриманою функцією (3.2) побудуємо передавальну характеристику відгуку серводвигуна SG90 на вхідний ШІМ сигнал (рис. 3.6).

Для побудови графіка, який зображен на рисунку 3.6, використовувалась програма на C# з бібліотекою OxyPlot, яка зазвичай використовується для візуалізації графіки.

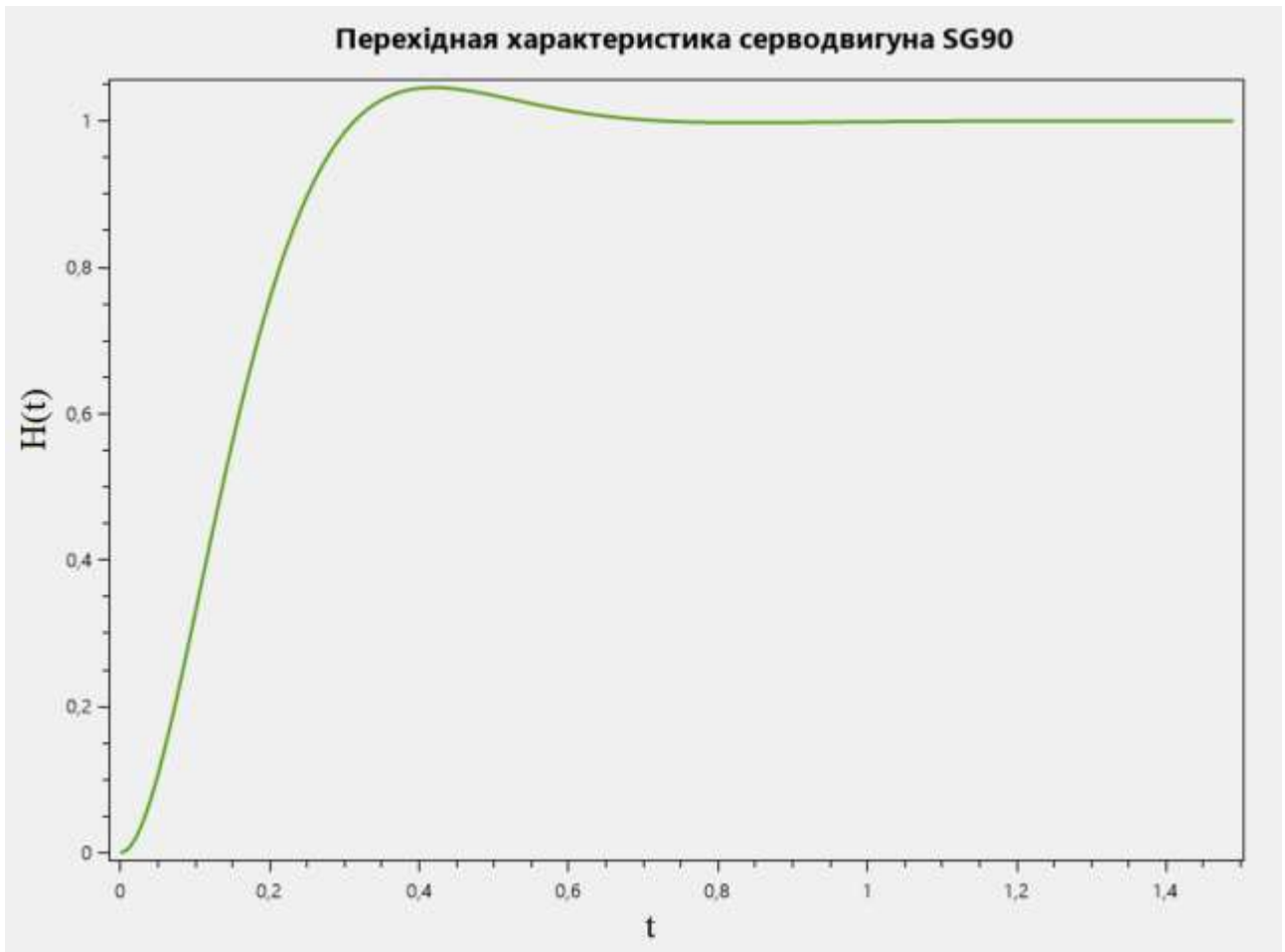


Рисунок 3.6 – Передавальна характеристика відгуку серводвигуна SG90 на вхідний ШІМ сигнал

### 3.5 Розрахунки мікроклімату та освітлення приміщення

Через свої невеликі розміри, МПМР був розроблений в лабораторії з персональним комп'ютером. Для створення здорового робочого середовища необхідно дотримуватися певних правил.

Мікроклімат лабораторних приміщень повинен бути обладнаний системами опалення та кондиціонування повітря для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату, а саме: температури, відносної вологості, рухливості повітря та інші, які повинні відповідати нормативним документам ГОСТ 12.1.005-88, СН 4088-86 [43].

Згідно вищезазначеним нормативним документам, мікроклімат приміщення повинен буди наступним:

- температура повітря повинна становити при холодній пори року 22-24 °С, та при теплій пори року 23-24 °С;
- відносна вологість повинна завжди становити 40-60%, а швидкість руху повітря 0,1м/с.

Освітлення в приміщенні також має відповідати певним правилам і нормам для безпечної роботи у лабораторії. Для розрахунку штучного освітлення використовується метод питомої потужності.

Питому потужність на освітлення визначається за формулою (3.3):

$$\omega = \frac{P}{S} \text{ Вт/м}^2, \quad (3.3)$$

де  $\omega$  – питома питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$P$  – сумарна потужність ламп, Вт;

$S$  – площа освітлювальної поверхні, м<sup>2</sup>.

Площа освітлювальної поверхні  $S = 12 \text{ м}^2$ .

У приміщенні використовуються 3 однакові лампи з потужністю 25 Вт кожна. Маючи такі данні, сумарна потужність розраховується за формулою (3.4):

$$P = P_0 \cdot N \text{ Вт}, \quad (3.4)$$

де  $P_0$  – потужність однієї лампи, Вт;

$N$  – загальна кількість ламп.

Підставляючи дані маємо наступне:

$$P = 60 \cdot 4 = 240 \text{ Вт.}$$

Отримані дані підставляємо у формулу (3.3) і отримуємо:

$$\omega = \frac{240}{12} = 20 \text{ Вт/м}^2.$$

Згідно вимогам нормативного документа ДБН В. 2.5-28-2006 про штучне освітлення, питома потужність 20 Вт/м<sup>2</sup> задовільняє вимоги для освітленість 300 лк.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз готових рішень мінно-пошукових роботів, де акцентується увага на їх технічних характеристиках. Також було проведено аналіз систем керування роботами та роботизованими системами та методи виявлення ВВП.

Була розроблена загальна структурна схема проекту, у якій зображено основні компоненти робота. Був проведений аналіз технічних засобів, на базі якого було обрано найоптимальніші, на сьогодні, технічні засоби для розробки мінно-пошукового робота на повітряній подушці. Необхідно було обрати: плату розробника, камеру, датчик, серводвигун, регулятори обертів та безколекторні двигуни, плату розведення живлення та акумулятор.

Розроблено 3D-моделі конструкційних деталей корпусу. Зібрано металошукач згідно інструкції. Розроблено схему підключення. Після друку деталей, було зібрано макет мінно-пошукового робота на повітряній подушці.

Наступним етапом було розробка програмного забезпечення для керування роботом. Перед цим було проведено аналіз найпоширеніших середовищ розробки для ESP-32-CAM та розроблено блок-схему загального алгоритму роботи програми. Вже на базі блок-схеми розроблена програма для керування мінно-пошуковим мобільним роботом на повітряній подушці.

Заключним етапом було проведено розрахунки моделювання динаміки управління серводвигуна та освітлення, під час якого виконувалась кваліфікаційна робота.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кузьменко О. С. Аналіз засобів дистанційного виявлення мінно-вибухових пристроїв [Текст]: Виробництво & Мехатронні Системи 2023: матеріали Міжнародної VII конференції, Харків, 19-20 жовтня 2023 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)]. – Харків: [електронний друк], 2023 – 163с.
2. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.
4. Невлюдов І. Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320 с.
5. Машина для розмінування DOK-ING MV-4. URL: <https://wiki.minoshukach.com.ua/yak-pracyuye-dok-ing-mv-4-mashina-dlya-rozminuvannya/> (дата звернення 25.02.2024).
6. Mini-Flail / Robotic Combat Support System. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mini-flail.htm> (дата звернення 25.02.2024).
7. MagDrone R4 3.0. URL: [https://www.aerialsolutions.be/en/product/magdrone-r4-3-0/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw3NyxBhBmEiwAyofDYaW9Mo](https://www.aerialsolutions.be/en/product/magdrone-r4-3-0/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw3NyxBhBmEiwAyofDYaW9Mo)

qw64My8bSKeM0h9-mSzppDmlLiTQCuGbo8yaMF3GSVdW-D5RoCV7kQAvD  
\_BwE (дата звернення 25.02.2024).

8. GCS 100. URL: [http://www.post-01.com.ua/ua/catalog/oborudovanie-i-spetsredstva-dlya-armii-i-politsii/razminirovanie/civil\\_demining/multipleunitGCS-100.html](http://www.post-01.com.ua/ua/catalog/oborudovanie-i-spetsredstva-dlya-armii-i-politsii/razminirovanie/civil_demining/multipleunitGCS-100.html) (дата звернення 25.02.2024)

9. ROS. URL: <https://www.ros.org/> (дата звернення 25.02.2024)

10. Ardupilot. URL: <https://ardupilot.org/ardupilot/>] (дата звернення 25.02.2024).

11. QGIS. URL: <https://docs.qgis.org/> (дата звернення 25.02.2024).

12. Results from a forward-looking GPR mine detection system. URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/4742/0000/Results-from-a-forward-looking-GPR-mine-detection-system/10.1117/12.479091.full> (дата звернення 25.02.2024).

13. UAV Thermal Imaging for Unexploded Ordnance Detection by Using Deep Learning. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/4/967> (дата звернення 25.02.2024).

14. Design of an underwater mine detection system. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6829901> (дата звернення 25.02.2024)

15. Wi-Fi модуль DevKit V1 з ESP-32. URL: <https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32> (дата звернення 25.02.2024).

16. Плата ESP32-CAM з камерою OV2640. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/esp32-cam-with-ov2640-camera-wifi-bluetooth> (дата звернення 30.03.2024).

17. Arduino UNO R3. URL: <https://arduino.ua/prod2610-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення 30.03.2024).

18. Модуль камери 2Мп OV2640 для ESP32-CAM. (FOV70). URL: <https://arduino.ua/prod4514-modyl-kameri-2mp-ov2640-dlya-esp32-cam-fov70> (дата звернення 30.03.2024).

19. Модуль камери 2Мп OV2640 для ESP32-CAM. (FOV65) з шлейфом 70 мм URL: <https://arduino.ua/prod4603-modyl-kameri-2mp-ov2640-dlya-esp32-cam-fov65-s-shleifom-70mm> (дата звернення 30.03.2024).

20. Модуль камери 2Мп OV2640 для ESP32-CAM. (FOV160). URL: <https://arduino.ua/prod4501-modyl-kameri-2mp-ov2640-dlya-esp32-cam-fov160> (дата звернення 30.03.2024).

21. Двигун SunnySky X2207S 2100KV CCW. URL: <https://arduino.ua/prod6267-sunnysky-x2207s-2100kv-brushless-motor-ccw> (дата звернення 30.03.2024).

22. Двигун 2212 KV1400 URL: <https://arduinka.biz.ua/dvigatel-2212-kv1400-dlya-samoletov-i-kvadrokopterov-p544c81.html>(дата звернення 30.03.2024)

23. Двигун Arthur Flash Hobby 2807 1300KV. URL: [https://ukr-mobil.com/motor\\_beskollektornyj\\_arthur\\_flash\\_hobby\\_2807\\_1300kv\\_10004725](https://ukr-mobil.com/motor_beskollektornyj_arthur_flash_hobby_2807_1300kv_10004725) (дата звернення 30.03.2024).

24. Регулятор обертів. URL: <https://prom.ua/p1134115772-regulyator-oborotov-esc.html> (дата звернення 30.03.2024).

25. Readytosky 40A. URL: <https://arduino.ua/prod2971-regulyator-oborotov-esc-40a-2-4s-bec> (дата звернення 30.03.2024).

26. Серводвигун EMAX ES08A II. URL: <https://arduino.ua/prod1523-servoprivod-emax-es08a-ii-analogovii-plastikovie-shesterni> (дата звернення 30.03.2024).

27. Серводвигун Tower Pro MG996R-360. URL: <https://arduino.ua/prod5187-servodvigyn-tower-pro-mg996r-360> (дата звернення 30.03.2024).

28. Серводвигун SG90. URL: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg> (дата звернення 30.03.2024).

29. GEPRC GEP-XT60-PDB V1 з BEC на 5V и 12V. URL: [https://flymod.net/item/gep\\_xt60\\_pdb\\_v1](https://flymod.net/item/gep_xt60_pdb_v1) (дата звернення 30.03.2024).

30. Плата розведення живлення. ESCURL: [https://flymod.net/item/power\\_board\\_multi\\_copter](https://flymod.net/item/power_board_multi_copter) (дата звернення 30.03.2024).
31. Fullymax 14.8V 2200mAh Li-Po 4S 30C T-plug. URL: <https://cbgames.com.ua/ua/radioupravlyaemye-modeli-cbg/komplektuyushie/akkumulyatory/li-pol-litij-polimernye/akkumulyatory-148-v-lipo/akkumulyator-fullymax-14-8v-2200mah-li-po-4s-30c-t-plug.htm> (дата звернення 30.03.2024).
32. Fullymax 11.1V 1500mAh Li-Po 3S 25C T-plug. URL: <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-fullymax-111-1500mah-25c-plug-p-39041> (дата звернення 30.03.2024).
33. MDS-60. URL: <https://myproject.com.ua/mds-60-konstruktor-metaloshukach-diy.html> (дата звернення 30.03.2024).
34. DIY Kit набір для складання металошукача. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p1288733666-diy-kit-nabor.html> (дата звернення 30.03.2024).
35. Autodesk Fusion 360. URL: <https://dreamtech.ua/ua/programne-zabezpechennya-autodesk-fusion-360-legacy-commercial-single-user-3-year-subscription-renewal-a71g1-006190-v998> (дата звернення 15.05.2024).
36. AutoCAD 2019. URL: <https://daad.org.ua/6206-dlya-chogo-potribna-programa-autocad.html> (дата звернення 15.05.2024).
37. SolidWorks. URL: <https://noosphereengineering.com/news/solidworks.-dlya-chogo-vin-potriben> (дата звернення 15.05.2024).
38. MDS-60. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p765027169-diy-kit-komplekt.html> (дата звернення 25.02.2024).
39. Arduino IDE. URL: <https://itmaster.biz.ua/electronics/arduino/arduino-ide.html> (дата звернення 25.02.2024).
40. MicroPython. URL: <https://micropython.org/> (дата звернення 15.05.2024)
41. Espressif esp-idf & Eclipse IDE. URL: <https://www.beyondlogic.org/getting-started-with-the-espressif-esp-idf-eclipse-ide/> (дата звернення 15.05.2024).

42. Невлюдов І. Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 240 с.

43. Охорона праці в офісі. Вимоги до робочого місця офісного працівника // Сайт ГСС. URL: <https://gs.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-dorobochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/> (дата звернення 15.05.2024).