

Міністерство освіти і науки України
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ПЕРВОМАЙСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ»
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Відділення «Інформаційних технологій»

Комп'ютерних технологій
(циклова комісія)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту
фаховий молодший бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Створення наземного дрона на базі платформи Arduino (Апаратна частина)»

Виконав: студент 4 курсу, групи 411-KI-20
спеціальності
123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Задера Є.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Бойко Д.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Бесараб І.С.

(прізвище та ініціали)

Первомайськ - 2024 року

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Дослідження та аналіз вимог до створення апаратної частини наземного дрона на базі платформи Arduino	4
1.1 Формування вимог до проєктування наземного дрона	4
1.2 Огляд існуючих рішень	6
1.3 Мікропроцесорні системи, що використовуються в інших дронах	9
1.4 Дослідження платформи Arduino	13
1.5 Електрична схема ESP 32	14
1.6 Вимоги до апаратної частини наземного дрону	18
2 Реалізація апаратної частини	20
2.1 Компоненти апаратної частини	20
2.2 Збірка механічної конструкції	30
3 Охорона праці	38
3.1 Аналіз умов праці	38
3.2 Гігієна праці та виробнича санітарія	38
3.3 Пожежна безпека виробничого приміщення	39
3.4 Електробезпека мікропроцесорного монтажу	40
3.5 Виконання розрахункової частини	41
Висновок	44
Література	45

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат							
Розроб.	Задера Є.О.				«Створення наземного дрона на базі платформи Arduino (Апаратна частина)»	Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.	Бойко Д.А							2		45	
Рецензен	Бесараб І.С.					ВСП ПФК НУК 411-КІ					
Н. Контр.	Ткаченко Т.І.										
Затверд.	Островська І.О.										

ВСТУП

Наземні дрони є актуальною темою в сучасному світі технологій. Вони знаходять застосування в різноманітних галузях: логістиці, сільському господарстві, охороні правопорядку, надзвичайних ситуаціях тощо. Мікропроцесорні системи є невід'ємною складовою сучасних дронів, забезпечуючи керування пристроєм, обробку даних з датчиків та взаємодію з виконавчими механізмами.

Об'єктом дослідження є мікропроцесорні системи наземних дронів.

Предметом проєкту є апаратне забезпечення мікропроцесорної системи керування наземним дроном на платформі Arduino.

Метою дипломного проєктування є розробка функціонального наземного дрона з використанням платформи Arduino відповідно до сформованих вимог.

Основні завдання, що були виконані:

- дослідження та аналіз вимог до створення апаратної частини наземного дрона на базі платформи Arduino, вивчення існуючих рішень та можливостей Arduino;
- реалізація апаратної частини наземного дрона, а саме: підбір компонентів, проєктування електричних схем, збирання механічної конструкції;
- розгляд питань охорони праці, вимог безпеки та гігієни при виконанні робіт.

У дипломному проєкті представлено огляд методів та засобів для реалізації апаратної частини наземного дрона. Висвітлено процес підбору компонентів, специфікацію обраних датчиків, виконавчих механізмів, обчислювальних модулів. Описано етапи збирання механічної конструкції дрона.

Розглянуто питання забезпечення належних умов праці, дотримання вимог електробезпеки та пожежної безпеки в процесі виконання проєктних робіт.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СТВОРЕННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ НАЗЕМНОГО ДРОНА НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

1.1 Формування вимог до проєктування наземного дрона

Мобільність і прохідність є ключовими аспектами дизайну дрона. Дрон повинен мати здатність вільно пересуватися різноманітними ландшафтами, включаючи рівнини, пагорби, нерівності та перешкоди. Це вимагає відповідної мікросистеми рушіїв, таких як гусениці або колеса різного типу. Маневреність є важливою для забезпечення здатності проходити вузькі проходи та розвертатися на місці. Динамічні характеристики, такі як швидкість, прискорення та гальмівний шлях, мають бути оптимізовані.

Автономність експлуатації є критично важливою. Для цього потрібні потужні та ефективні акумулятори або альтернативні джерела живлення. Навігаційна система на базі SLAM, інерційних датчиків та ін. використовується для самостійного орієнтування. Датчики відстані, такі як сонари або радари, використовуються для картографування оточення та уникнення зіткнень.

Сенсорний комплекс залежатиме від конкретних завдань. Зазвичай це відео або фотокамери різного діапазону, тепловізори, мікрофони. Для спеціалізованих цілей можливі хімічні, радіаційні та інші типи датчиків.

Конструкція має поєднувати міцність, легкість та захист від впливів середовища. Корпус з ударостійких полімерів, металів, композитів. Герметизація від пилу та вологи. Пасивні та активні системи охолодження. Модульна побудова для легкого обслуговування.

Програмне забезпечення відіграє ключову роль. Потрібні потужні обчислювальні модулі для навігації, комп'ютерного зору, обробки сенсорних даних, прийняття рішень, керування приводами в режимі реального часу. Важливі системи забезпечення надійності та відмовостійкості.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Людино–машинний інтерфейс має бути інтуїтивним і зручним. Це може включати все від пультів керування до AR/VR інтерфейсів. Захищений радіозв'язок використовується для передачі даних, команд, потокового відео.

Взаємодія з наземними чи авіа платформами керування.

З точки зору програмної інженерії, потрібна модульність архітектури для масштабування, розширення функціоналу, впровадження нових технологій, відкриті стандарти, прозора документація.

Вимоги до наземного дрона, який має бути компактний та універсальний.

Його ключовими перевагами має бути простота конструкції та зборки, що дозволяє легко освоїти основи роботизованих систем.

Дрон повинен базуватися на відкритій апаратній платформі з використанням доступних і недорогих компонентів. Він повинен бути обладнаний колесами або гусеницями для забезпечення мобільності по різних поверхнях.

Керування рухом повинно здійснюється за допомогою простих команд – рух вперед, назад, в бік, та повороти. Для уникнення зіткнень з перешкодами в дрон повинен мати інтегрований датчик та ультразвуковий сенсор. Керування повинно відбуватися через зручний бездротовий пульт чи мобільний пристрій. Живлення повинен забезпечувати акумулятор.

Особливістю має бути модульна конструкція, що дозволяє додавати нові функції – різноманітні сенсори, маніпулятори тощо.

Програмування повинно здійснюватися через інтуїтивне середовище сумісне зі стандартами відкритого коду.

Дрон повинен мати міцний та захищений корпус який гарантує безпечну експлуатацію.

Такий дрон повинен бути ідеальною платформою для практичного вивчення принципів робототехніки, програмування мікроконтролерів, роботи із сенсорами та актуаторами. Наголос зроблений на простоті, доступності та освітній цінності. Для реалізації сформованих вимог до наземного дрона

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

доцільно використати ESP32, який забезпечить візуалізацію та бездротовий зв'язок. А мікроконтролер Arduino, забезпечує програмну логіку управління двигунами, живленням та іншими вузлами.

1.2 Огляд існуючих рішень

На сучасному ринку представлено широкий асортимент різноманітних наземних транспортних засобів «НТЗ» від провідних світових виробників. Їх конструкція, можливості та призначення варіюються в залежності від галузі застосування:

Військові НТЗ:

- QinetiQ MULE – багатоцільова модульна платформа з вантажопідйомністю до 1800 кг, здатна долати складні перешкоди;
- Milrem THeMIS – гібридна гусенично–колісна машина з можливістю дистанційного/автономного керування та широким спектром модулів для виконання різних завдань;
- Northrop Grumman Andros – серія компактних гусеничних роботів для розмінування, рятувальних робіт та інспекцій в небезпечних зонах.

Наземний робот THeMIS (рис. 1.2.1) створено в Естонії для заміни солдата на полі бою.



Рисунок 1.2.1 Гусенична гібридна модульна піхотна система

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

Сільськогосподарські НТЗ:

- Agribot – автономний роботизований комбайн для збору врожаю овочів та фруктів;
- Rowbot – автоматизована система для догляду за посівами з можливістю розпилення добрив та гербіцидів;
- DOT Power Platform – універсальна модульна електрична платформа для транспортування різноманітного сільгоспобладнання.

Робот–прополювач для овочевих грядок Naïo technologies (рис. 1.2.2)



Рисунок 1.2.2 Робот–прополювач для овочевих грядок

Дослідницькі НТЗ:

- Custer Photonics BEAR – великогабаритний всюдихідний робот для дослідження печер та підземних приміщень;
- Clearpath Husky – компактний розвідувальний робот з інтелектуальною навігацією для картографування та оцінки стану навколишнього середовища;
- транспортний засіб Husky і встановлений на ньому Velodyne Lidar (рис. 1.2.3) – це програмно–апаратний комплекс, який дозволяє користувачам вибирати GPS–маршрут або серію маршрутних точок з робочої станції і

направляти робота для автономного переміщення між точками з підтримкою виявлення перешкод.



Рисунок 1.2.3 Husky та Velodyne Lidar

Аварійно–рятувальні НТЗ:

- QinetiQ TALON – роботизована платформа військового рівня для розмінування, перевезення вантажів у важкодоступних зонах (рис. 1.2.4);
- ICOR Caliber T5 – потужний позашляховик для рятувальних операцій на територіях зі складним рельєфом та екстремальними умовами.

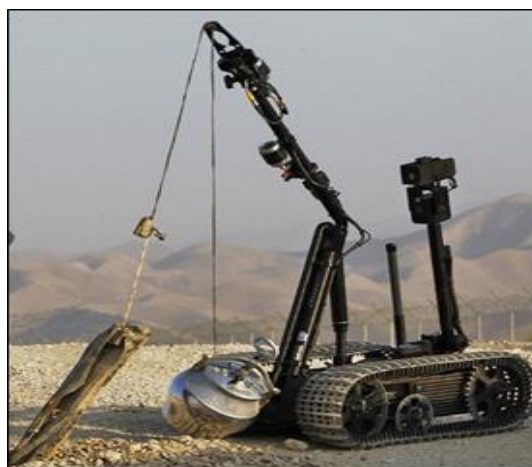


Рисунок 1.2.4 Тактичне адаптивне знешкодження легких снарядів

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Ці роботи мають різні системи мобільності: колеса, гусениці, крокуючі механізми, джерела живлення, корисне навантаження у вигляді маніпуляторів, сканерів та іншого спецобладнання. Їх ключовими характеристиками є автономність, прохідність, швидкість та інтелектуальні системи навігації.

Мікропроцесорні системи спеціально розроблені для зручної роботи з різноманітними датчиками, двигунами, дисплеями та іншими пристроями, що робить її ідеальною для робототехнічних проєктів. Мікропроцесорні системи споживають відносно небагато енергії, що дозволяє використовувати їх у портативних та автономних проєктах. З цими перевагами мікропроцесорні системи стають відмінним вибором для управління наземним дроном, забезпечуючи достатню функціональність, простоту використання та бюджетну вартість

1.3 Мікропроцесорні системи, що використовуються в інших дронах

Успішна робота наземних дронів значною мірою залежить від вибору відповідної мікропроцесорної системи, яка керує всіма операціями пристрою. Вона повинна бути здатною обробляти дані з різноманітних датчиків, виконувати алгоритми керування рухом, взаємодіяти з периферійними пристроями та іншими компонентами дрона.

Правильний вибір мікропроцесорної системи є критичним, оскільки він визначає продуктивність, енергоспоживання, вартість та функціональність наземного дрона.

Існує чимало варіантів мікропроцесорних систем, які можуть бути використані у наземних дронах. Розглянемо три популярні варіанти: Arduino, Raspberry Pi та BeagleBone Black.

Arduino Uno – одна з найпопулярніших платформ для створення прототипів та навчання у світі мікроконтролерів та робототехніки. Її серцем є мікроконтролер ATmega328P, 8-бітний CMOS мікроконтролер з архітектурою

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

AVR RISC. Незважаючи на свою відносну простоту, він забезпечує достатню потужність для широкого кола застосувань, включаючи управління наземними дронами (рис. 1.3.1).

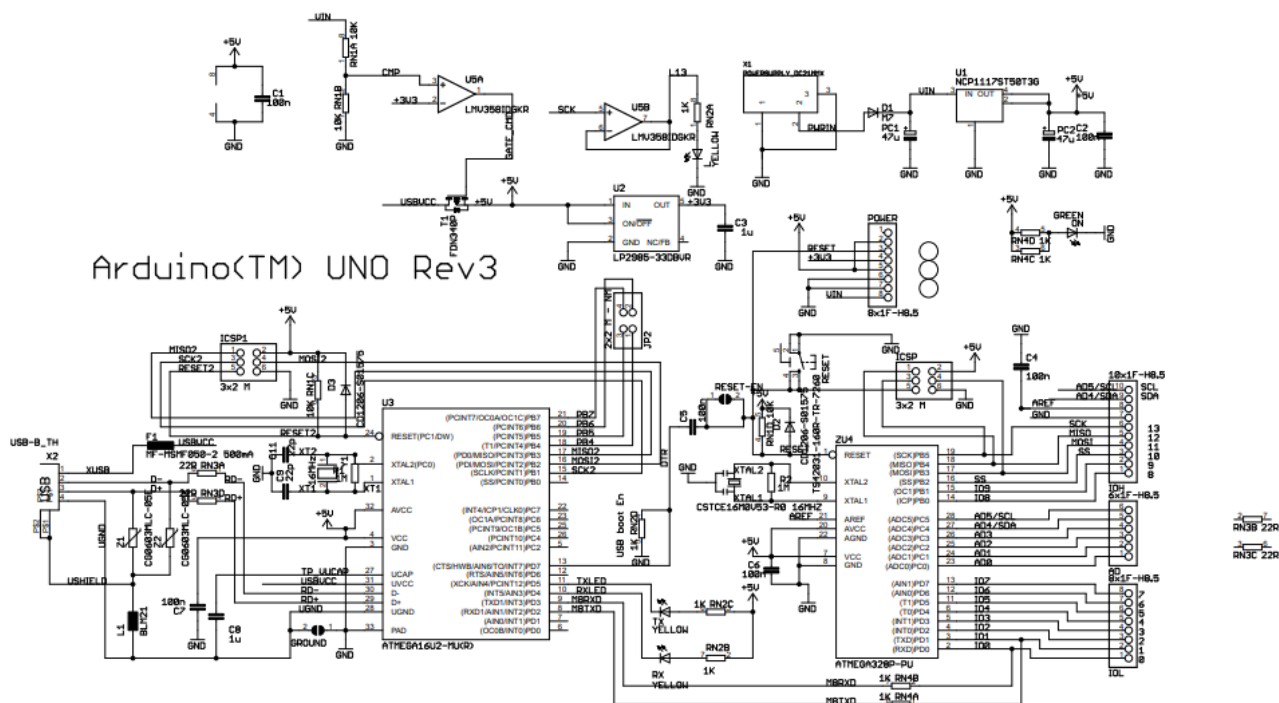


Рисунок 1.3.1 Схема Arduino Uno

Raspberry Pi – це повноцінний одноплатний комп'ютер на базі ARM, який широко використовується у робототехніці, домашній автоматизації та інших проєктах. Модель Raspberry Pi 4 Model B оснащена потужним 64-бітним квадро-ядерним процесором ARM Cortex-A72, що працює на частоті 1,5 ГГц. Це робить її привабливим вибором для складних проєктів, які вимагають високої обчислювальної потужності, такої як комп'ютерний зір чи машинне навчання (рис. 1.3.2).

Однак вона також є дорожчою та більш енергоспоживаючою порівняно з мікроконтролерами.

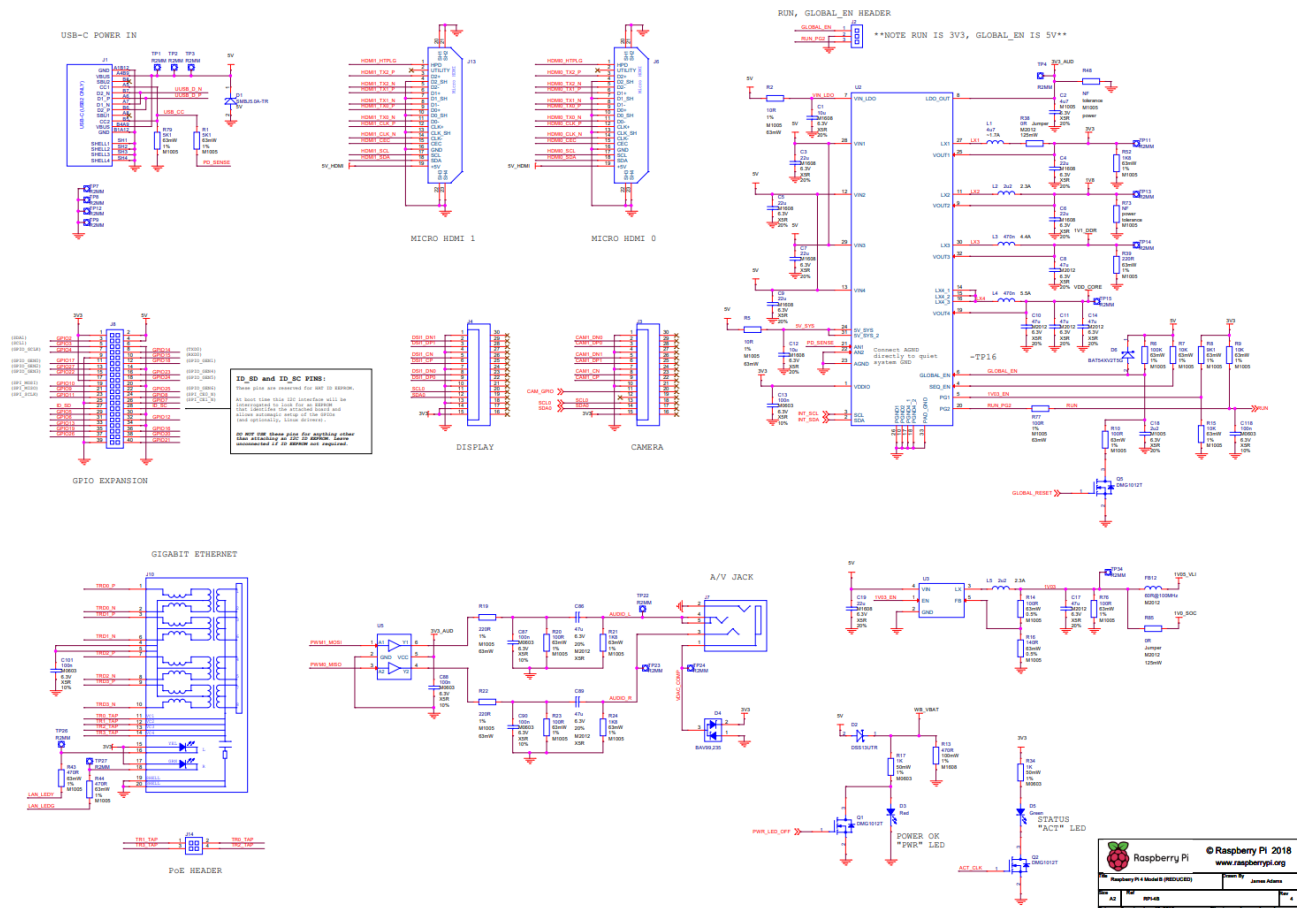


Рисунок 1.3.2 Схема Raspberry Pi 4 Model B

Arduino Mega 2560 – це плата на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega2560. Вона має більшу кількість вводів/виводів, більший обсяг пам'яті та вищу тактову частоту в порівнянні з Uno, що робить її більш потужною для складних проєктів з робототехніки (рис. 1.3.3). Основні характеристики: 54 цифрових входи/виходи, 16 аналогових входів, 4 UART, 256 КБ флеш-пам'яті, 8 КБ SRAM.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

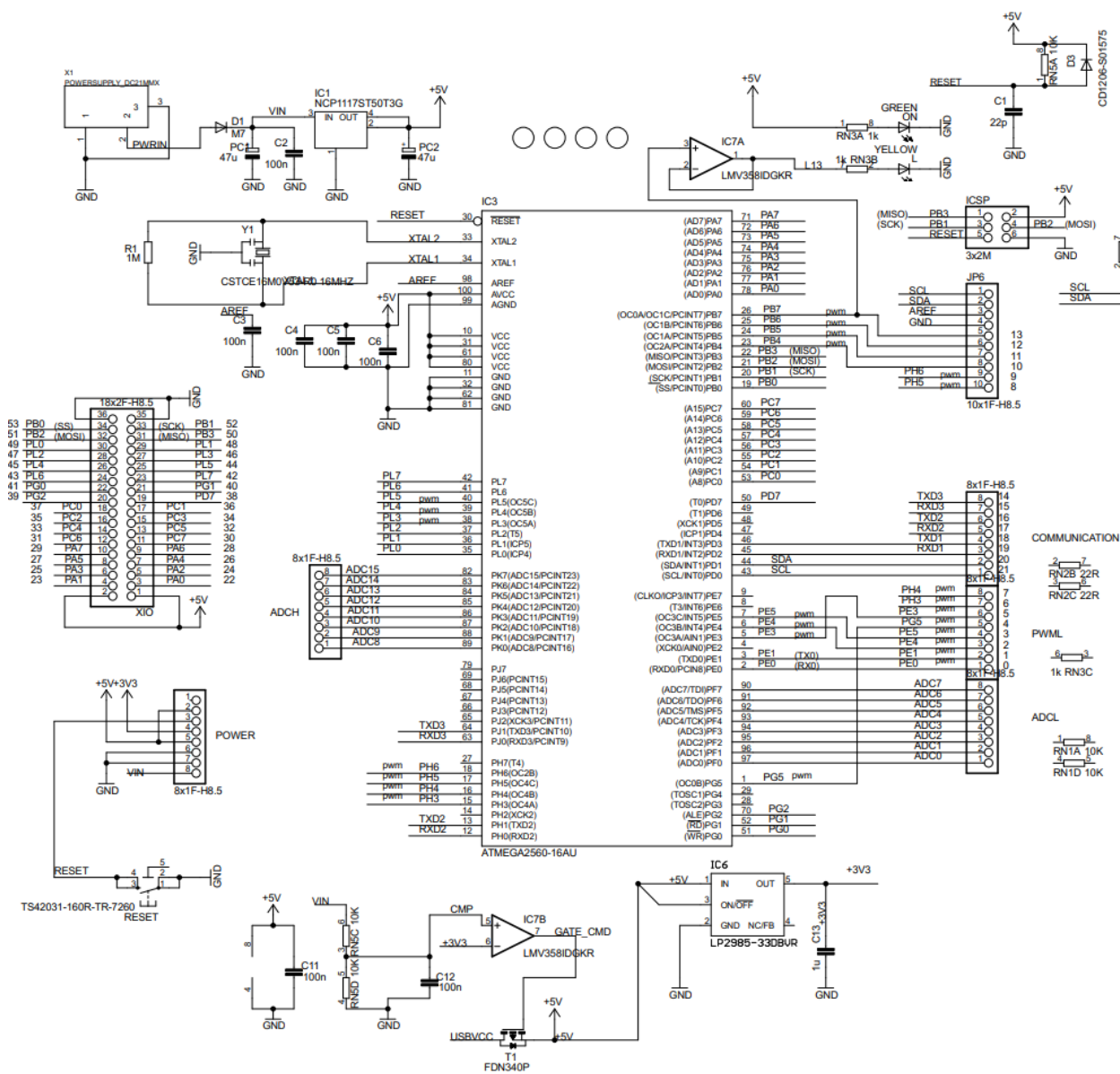


Рисунок 1.3.3 Схема Arduino Mega 2560 ATmega2560

Таблиця 1 Порівняльна характеристика мікропроцесорних систем

Характеристика	Arduino Uno	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 4 Model B
Процесор	ATmega328P	ATmega2560	Quad-core ARM Cortex-A72
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	1.5 ГГц
Цифрові виводи	14	54	—
ОЗУ	2 КБ	8 КБ	1–8 ГБ
Флеш-пам'ять	32 КБ	256 КБ	MicroSD
Ціна	~\$984.51	~\$1772.12	~\$2953.53

Виходячи з наведеного аналізу, мною зроблений висновок, що платформа Arduino Uno найкраще підходить для створення прототипу наземного дрона в навчальному проєкті, враховуючи її доступну ціну, просте програмне забезпечення, достатню функціональність та велику кількість сумісних модулів і бібліотек для роботехніки. Raspberry Pi є більш продуктивною, але і більш складною і дорогою платформою.

1.4 Дослідження платформи Arduino

Arduino – це зручна апаратно–програмна відкрита платформа для створення прототипів електронних пристроїв і робототехнічних систем. Її основою є плата на базі 8–бітного мікроконтролера Atmel AVR та власне програмне забезпечення для написання коду і прошивки мікроконтролера.

Платформа Arduino має ряд суттєвих переваг:

- відкритий вихідний код та доступна вартість плат;
- просте у вивченні програмне середовище на основі C/C++;
- велика кількість навчальних ресурсів та прикладів коду;
- масштабована модульна конструкція плат «Uno, Nano, Mega, тощо»;
- інтегрована підтримка великої кількості бібліотек та додаткового обладнання «датчиків, двигунів, дисплеїв та іншої периферії»;
- активна спільнота користувачів та безперервний розвиток проєкту.

Arduino використовує спрощений підхід до програмування вводу чи виводу та взаємодії з зовнішніми пристроями через відповідні порти та контакти на платі. Прошивка мікроконтролера відбувається завдяки вбудованому завантажувачу та інтерфейсу USB чи іншим способам.

Екосистема додаткових плат розширення – дозволяє нарощувати функціональність основної плати «Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, дисплеї, двигуни та ін.». Блоки живлення, елементи корпусів та інші компоненти сумісні з конструктором.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Велика кількість підручників, онлайн–курсів, форумів та репозиторіїв прикладів коду полегшують вивчення програмування та застосування Arduino у різноманітних проєктах з електроніки, робототехніки, домашньої автоматизації тощо.

Таким чином, Arduino є чудовою універсальною платформою як для навчання, так і для професійної розробки недорогих пристроїв. Її відкритість, доступність та багаті функціональні можливості роблять її привабливим вибором для створення наземних роботизованих систем.

1.5 Електрична схема ESP 32

Основними компонентами ESP32–CAM є однокристальна система ESP32 з 32–бітним процесором, модулями бездротового зв'язку Wi–Fi та Bluetooth, а також інтегрований модуль камери. Первинною метою створення даного пристрою було забезпечення недорогого та компактного рішення для розробників та ентузіастів, які працюють у сфері інтернет речей «IoT» які потребують функціоналу камери у своїх проєктах.

Таблиця 2 Основні характеристики ESP32–CAM

Процесор	32–бітний двоядерний процесор Tensilica LX6 з тактовою частотою до 240 МГц
Пам'ять	520 КБ SRAM і 4 МБ флеш–пам'яті
Камера	OV2640 датчик зображення з роздільною здатністю до 2 мегапікселів.
Бездротовий зв'язок	Wi–Fi 802.11 b/g/n та Bluetooth 4.2
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, I2S, RMIІ
Живлення	3.3 В
Розміри	27 мм x 40 мм x 4 мм

ESP32–CAM – це мікроконтролерний модуль з вбудованою камерою, розроблений компанією Espressif Systems. Він базується на чипі ESP32 та має інтегровану OV2640 камеру.

Абревіатура ESP32–CAM розшифровується як – Електронна Програма Стабілізації 32–бітний Модуль Камери «Electronic Stability Program 32–bit Camera Module».

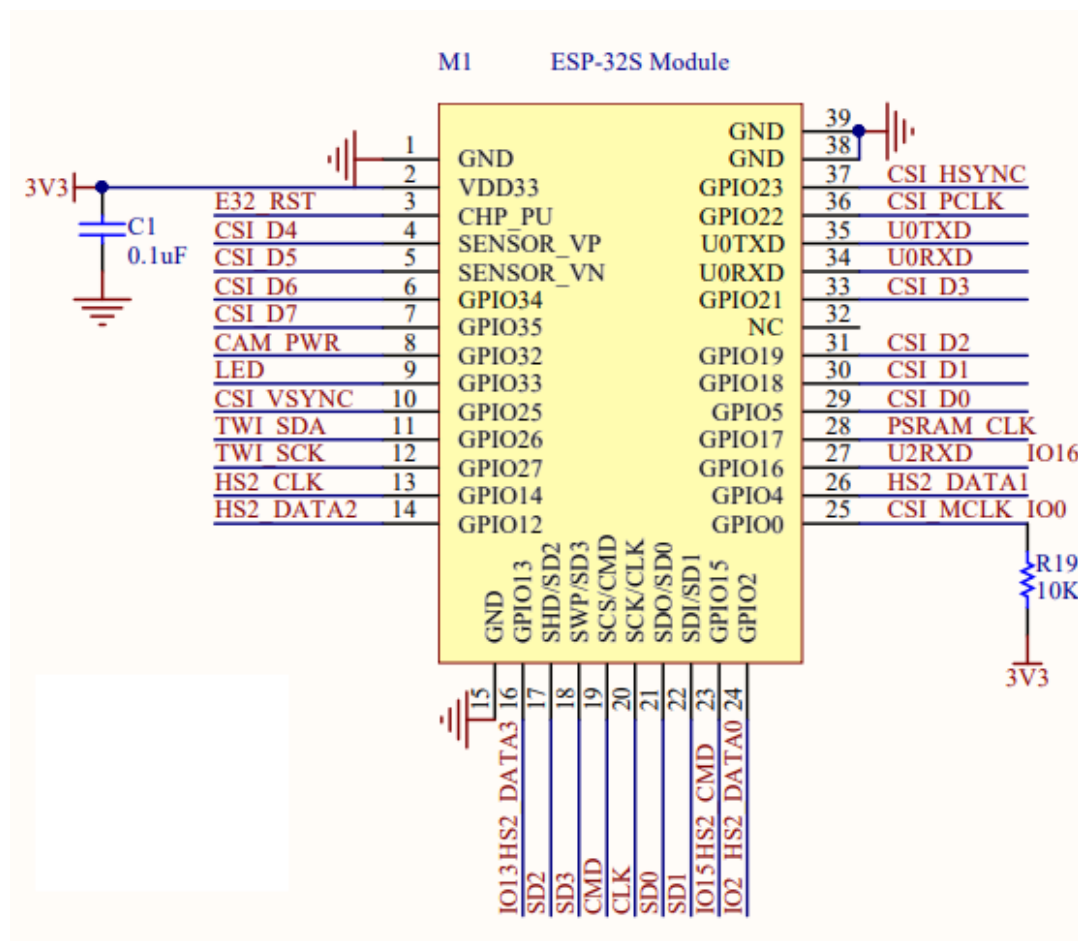


Рисунок 1.5.1 Електрична схема esp–32s module

Основні характеристики ESP32–CAM подані у таблиці 2.

ESP32–CAM широко використовується в проєктах з обробки зображень, відеоспостереженням, машинним навчанням та інтернет речей «IoT». Він дозволяє захоплювати та обробляти зображення і відео безпосередньо на пристрої та передавати їх через Wi-Fi на інші пристрої чи в хмарні сервіси.

Зокрема, ESP32–CAM знайшов широке застосування в галузях домашньої автоматизації, систем відеоспостереження та безпеки, а також робототехніки.

Його мініатюрний форм–фактор, низьке енергоспоживання та наявність численних інструментів програмування й бібліотек сприяли популяризації серед розробницького співтовариства.

У цьому проєкті використовується плата розробки ESP32, яка є недорогою та потужною платформою.

Детальні схеми електричних підключень наведені на (рис. 1.5.1, 1.5.2 та 1.5.3) у форматі принципових схем для зручності розуміння та подальшого відтворення.

Це схема мікроконтролера ESP32 і пов'язаних з ним компонентів. На ній можна побачити сам ESP32 мікроконтролер, роз'єми для під'єднання живлення, перемичку для вибору джерела живлення, світлодіоди індикації стану та кнопку скидання. Данна схема демонструє базову конфігурацію ESP32 для його інтеграції в більш складні пристрої.

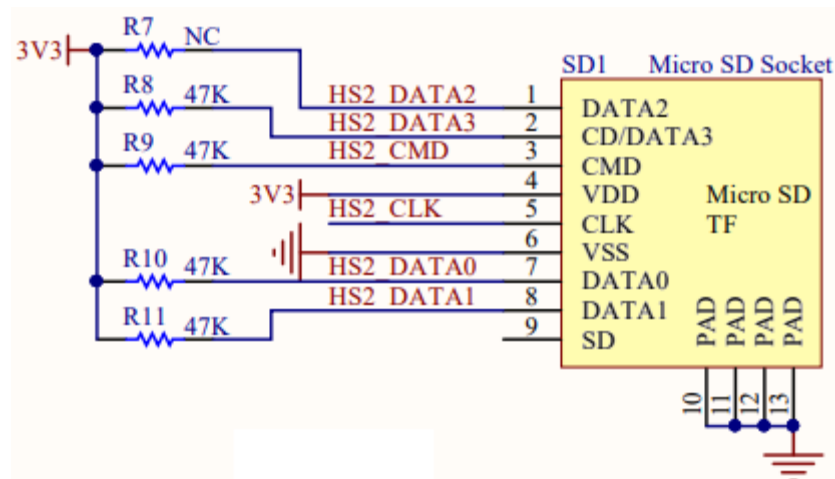


Рисунок 1.5.2 Електрична схема Micro SD Socket

Це схема роз'єму для підключення мікро–SD карти пам'яті. Вона показує, як контакти мікро–SD карти під'єднуються до виводів мікроконтролера ESP32 для забезпечення читання чи запису даних на карту пам'яті. Наявність слота для

SD-карти дозволяє зберігати зображення, відео чи інші дані локально на носій інформації.

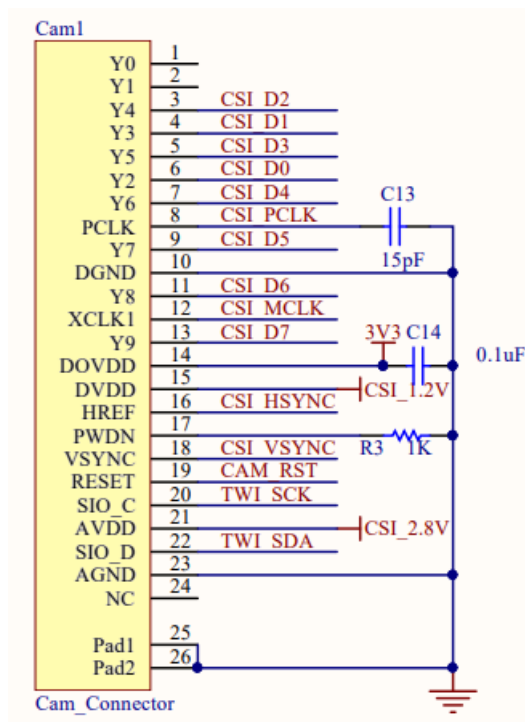


Рисунок 1.5.3 Електрична схема Cam Connector

Ця схема роз'єму для під'єднання камери OV2640 через плоский кабель. Вона ілюструє, як виводи камери сполучені з відповідними контактами мікроконтролера ESP32 для передачі відеопотоку та керування параметрами камери. Ця схема є критично важливою для забезпечення коректної роботи відеодатчика та обробки зображень на базі ESP32-CAM.

Дані три електричні схеми разом описують ключові компоненти та інтерфейси, необхідні для функціонування ESP32-CAM плати як камери з можливістю запису на карту пам'яті та бездротової передачі даних через ESP32.

Завдяки своїй універсальності та функціональності, ESP32 забезпечує необхідну обчислювальну потужність, бездротовий зв'язок та можливість інтеграції різноманітних модулів для реалізації мобільного наземного дрона з необхідними функціями.

1.6 Вимоги до апаратної частини наземного дрону

Наземний дрон, є мобільним роботом, призначеним для пересування по різних типах поверхонь та виконання різноманітних завдань. На відміну від повітряних дронів, наземні дрони не здатні літати, але мають кращу стійкість та можливість переміщатися по нерівній місцевості.

Апаратна частина відіграє ключову роль у забезпеченні надійної та ефективної роботи наземного дрону. Від вибору правильних компонентів та їх інтеграції залежать такі важливі характеристики, як мобільність, автономність, здатність долати перешкоди та виконувати поставлені завдання.

Детально розглянуто ключові компоненти та технічні специфікації, необхідні для створення функціонального та надійного наземного дрону, а саме розглянуті вимоги до таких аспектів:

- Шасі та корпус дрону виготовлені з міцних, але легких матеріалів, таких як алюмінієві сплави та високоякісні полімери;
- Система приводу. Вибір зроблено на користь постійних електродвигунів (DC motors), які забезпечують надійну роботу і простоту в управлінні. Вони також легко інтегруються з Arduino. Достатня потужність для пересування дрону по різних поверхнях. Для проєктованого дрону використані двигуни з номінальною напругою 3~6V і струмом до 150 мА +/- 10%, що забезпечує достатню потужність для подолання перешкод та забезпечення необхідної швидкості;
- Колісна база. Для забезпечення стійкості та прохідності на різних поверхнях були обрані широкі колеса великого діаметру. Кількість коліс 4, що забезпечить стабільність та керованість дрону;
- Система керування. Центральний мікроконтролер із достатньою обчислювальною потужністю та пам'яттю забезпечує керування всіма системами дрону. Arduino Uno використовується як основний контролер, оскільки він забезпечує достатню кількість входів/виходів і сумісний з багатьма датчиками.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Використання мікроконтролера ESP32 для бездротового зв'язку та додаткових обчислювальних завдань. Всі програми написані в середовищі Arduino IDE з використанням мови програмування C/C++. Це забезпечує простоту розробки та відлагодження програм;

- Сенсори та камери. Для навігації, виявлення перешкод та виконання спеціалізованих завдань були інтегровані: ультразвуковий датчик відстані, камера з високою роздільною здатністю, ІЧ-модулі розпізнавання перешкод;

- Системи живлення. Літій-іонні акумулятори високої ємності забезпечать тривалий час автономної роботи дрону. Ємність батареї 2200 мАг, що забезпечує достатню тривалість роботи для більшості завдань;

- Зв'язок та передача даних. Для дистанційного керування та передачі даних використовується модуль ESP32 для Wi-Fi зв'язку, що дозволяє здійснювати дистанційне керування та передавати дані в режимі реального часу. Цей модуль використовує стандартні протоколи Wi-Fi та MQTT для забезпечення надійної передачі даних;

- Додаткові компоненти. Залежно від конкретного призначення дрону, можуть бути додані спеціалізовані пристрої, такі як маніпулятори, системи освітлення, датчики якості повітря тощо.

2 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

2.1 Компоненти апаратної частини

Створення функціонального наземного дрона вимагає ретельного підбору та інтеграції різноманітних апаратних компонентів у єдину систему. Правильний вибір електронних плат, датчиків, виконавчих механізмів та іншої периферії є критично важливим для забезпечення необхідних можливостей та характеристик дрона.

В основі апаратної частини розробленого наземного дрона лежить обчислювальна платформа на базі мікроконтролера. Саме вона відповідає за обробку даних з підключених датчиків, виконання алгоритмів керування рухом та взаємодію з периферійними пристроями.

У цьому розділі детально розглядається кожен з ключових компонентів апаратної частини наземного дрона.

Рухомість дрона забезпечується спеціалізованою трансмісією, яка складається з електродвигунів, редукторів та системи керування живленням. Підсистема датчиків відповідає за навігацію, картографування оточення, уникнення перешкод та виконання спеціалізованих завдань спостереження чи збору даних.

Почнемо з основного, центральним керуючим компонентом наземного дрона буде плата Arduino Uno на базі мікроконтролера ATmega328 (рис. 2.1.1).

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

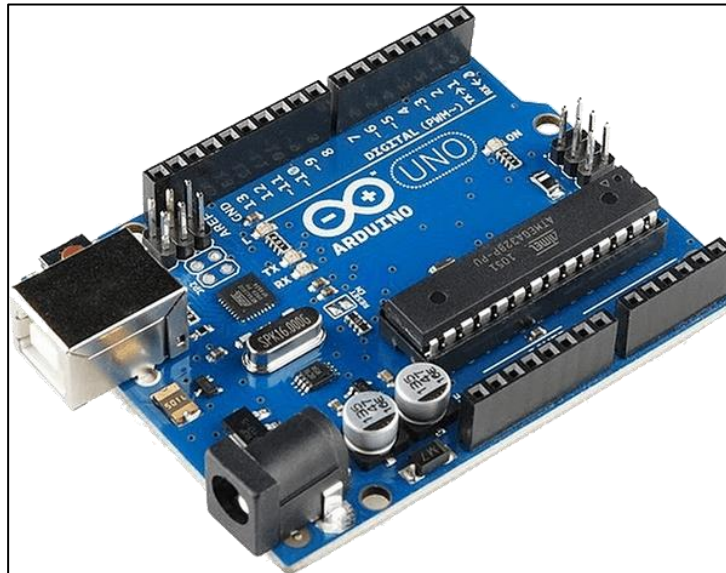


Рисунок 2.1.1 Плата Arduino Uno ATmega328

Центральним керуючим компонентом розробленого наземного дрона є плата Arduino Uno. Вона базується на 8-бітному мікроконтролері ATmega328 і є однією з найпопулярніших апаратних платформ для створення прототипів та навчальних проєктів у галузі робототехніки та Інтернету Речей «IoT».

Основні характеристики Arduino Uno:

- мікроконтролер ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц;
- 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду;
- 2 КБ ОЗУ для змінних під час роботи;
- 14 цифрових виводів вводу та виводу;
- 6 аналогових входів;
- підтримка послідовних інтерфейсів UART, I2C, SPI;
- живлення через USB або зовнішній джерело 7–12В.

Плата Arduino Uno виконує критично важливу роль «мозку» дрона, здійснюючи обробку даних з підключених датчиків, виконуючи алгоритми керування рухом, взаємодіючи з модулями живлення та виконавчими механізмами через відповідні інтерфейси. Вона програмується за допомогою зручного крос-платформного середовища розробки Arduino IDE з використанням мови програмування, схожої на C та C++.

Завдяки відкритій архітектурі, доступності та активній спільноті розробників, Arduino Uno є оптимальним вибором для розробки дрона в навчальних та дослідницьких цілях.

Для забезпечення зручного підключення та керування численними периферійними пристроями та модулями наземного дрона використовується універсальна плата розширення (рис. 2.1.2), що встановлюється поверх основної плати Arduino Uno.

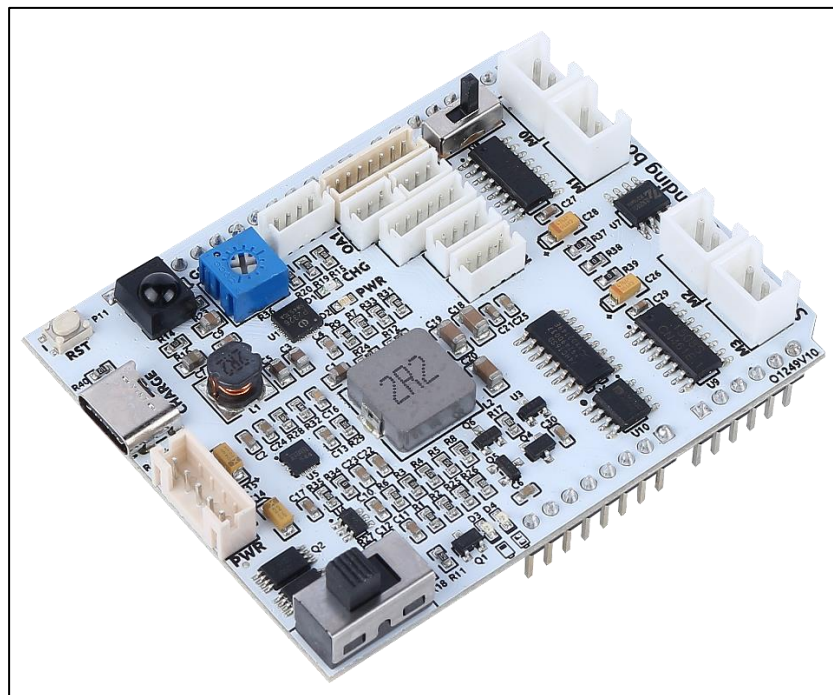


Рисунок 2.1.2 Універсальна плата розширення

Дана плата розширення дозволяє підключати такі компоненти:

- 4 роз'єми моторних портів;
- модулі живлення та акумулятори;
- різноманітні цифрові та аналогові датчики;
- пристрої введення та виводу «дисплеї, Bluetooth, Wi-Fi тощо».

Важливою особливістю плати є наявність спеціалізованого двигунного драйвера, який забезпечує керування обертанням та швидкістю двигунів у двох напрямках. Розпіновка універсальної плати розширення зображена у додатку А

Завдяки продуманому розташуванню роз'ємів та використанню стандартних інтерфейсів, дана плата забезпечує зручність підключення, компактність та надійність у роботі всієї системи дрона.

Зокрема, одним з ключових портів універсальної плати є Camera Adapter Port, який використовується для інтеграції відеомодуля ESP32–CAM (рис. 2.1.3), що відіграє критично важливу роль у реалізації функцій навігації, спостереження та потенційного розпізнавання образів наземного дрона.



Рисунок 2.1.3 ESP32–CAM

Для забезпечення функцій відеоспостереження, навігації на основі комп'ютерного зору та потенційного розпізнавання образів, наземний дрон буде обладнаний модулем камери ESP32–CAM. Це компактний відеомодуль на базі однокристальної системи ESP32 з інтегрованою камерою.

Основні характеристики ESP32–CAM:

- 32-бітний двоядерний процесор Tensilica LX6 з частотою до 240 МГц;

- вбудований датчик OV2640 з роздільною здатністю до 2 Мп;
- підтримка Wi-Fi 802.11 b/g/n та Bluetooth 4.2;
- роз'єми UART, SPI, I2C, I2S для підключення додаткових модулів;
- оперативна пам'ять 520 КБ SRAM та 4 МБ флеш-пам'яті;
- живлення 3.3 В від плати Arduino через роз'єм;
- компактний розмір 27х40х4 мм.

Модуль ESP32-CAM підключається до універсальної плати розширення через спеціальний порт адаптер камери. Завдяки своїй потужності та інтегрованим бездротовим інтерфейсам, він здатний виконувати обробку відеопотоку безпосередньо на борту дрона.

Керування модулем та обробка відео здійснюється через програмний код, що завантажується на плату Arduino з використанням відповідних бібліотек.

Одним з цікавих компонентів для забезпечення навігації та орієнтування наземного дрона є Omni Grayscale Module (рис. 2.1.4).

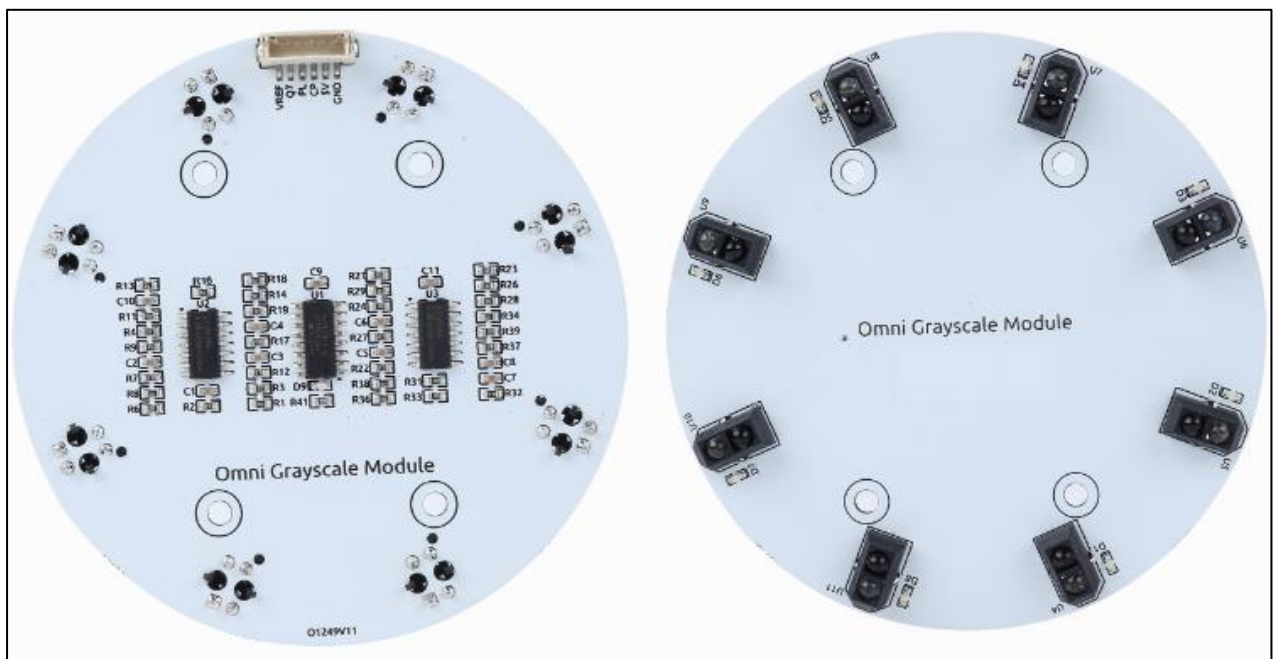


Рисунок 2.1.4 Модуль Omni Grayscale

Цей модуль являє собою кільцеву матрицю оптичних датчиків, які можуть сприймати градації сірого кольору на поверхнях.

Omni Grayscale Module складається з кільця фоточутливих елементів, рівномірно розміщених по колу. Кожен з цих елементів є окремим фотодатчиком, який реагує на інтенсивність відбитого світла від поверхні під ним. Модуль здатний розрізняти відтінки сірого – від білого до чорного, перетворюючи їх на відповідні рівні напруги.

Основними функціями Omni Grayscale Module в складі наземного дрона є:

- Визначення контрастних ліній та доріжок. Датчик може виявляти лінії, смуги або малюнки різного кольору на поверхні, що дозволяє дрону відстежувати їх для навігації;
- Картографування оточення. Аналізуючи градації сірого по всьому периметру, модуль може створювати карту оточуючого середовища, визначаючи перешкоди, межі та особливості рельєфу;
- Позиціонування та локалізація. Комбінуючи дані з Omni Grayscale Module з іншими датчиками, можна визначати положення дрона відносно заданих орієнтирів чи маркерів на поверхні.

Ключовою перевагою Omni Grayscale Module є його здатність забезпечувати 360–градусне сканування навколишнього середовища в реальному часі. Це дозволяє наземному дрону швидко реагувати на зміни в оточенні та адаптувати свій рух відповідним чином.

Ультразвуковий датчик є невід'ємною частиною багатьох робототехнічних проєктів, оскільки він дозволяє визначати відстань до об'єктів, використовуючи звукові хвилі високої частоти.

Саме тому, було обрано HC–SR04 (рис. 2.1.5). Цей ультразвуковий датчик відстані забезпечує, безконтактне вимірювання від 2 см до 400 см з точністю діапазону до 3 мм. Модуль містить ультразвуковий передавач, приймач і схему керування.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Цей датчик випромінює ультразвукові імпульси та вимірює час, необхідний для того, щоб ці імпульси відбилися від об'єкта і повернулися назад до датчика. На основі виміряного часу та швидкості поширення звуку в повітрі, можна точно розрахувати відстань до об'єкта.

Основні принципи полягають у наступному:

- використання тригера вводу–виводу для сигналу високого рівня принаймні 10 мкс;
- модуль надсилає 8–циклову серію ультразвуку з частотою 40 кГц і визначає, чи отримано імпульсний сигнал;
- echo виводить високий рівень, якщо сигнал повертається. тривалість високого рівня – це час від випромінювання до повернення.
- Відстань = (час високого рівня x швидкість звуку (340М/с)) / 2.



Рисунок 2.1.5 Ультразвуковий модуль

Наступним важливим компонентом для системи уникнення зіткнень наземного дрона є інфрачервоний датчик перешкод або ІЧ–модуль розпізнавання перешкод (рис. 2.1.6). Даний модуль доповнює можливості ультразвукового датчика, забезпечуючи додатковий рівень безпеки та точності під час навігації дрона. Інфрачервоні датчики ідеально підходять для виявлення нерухомих та рухомих об'єктів на шляху дрона на близьких відстанях.

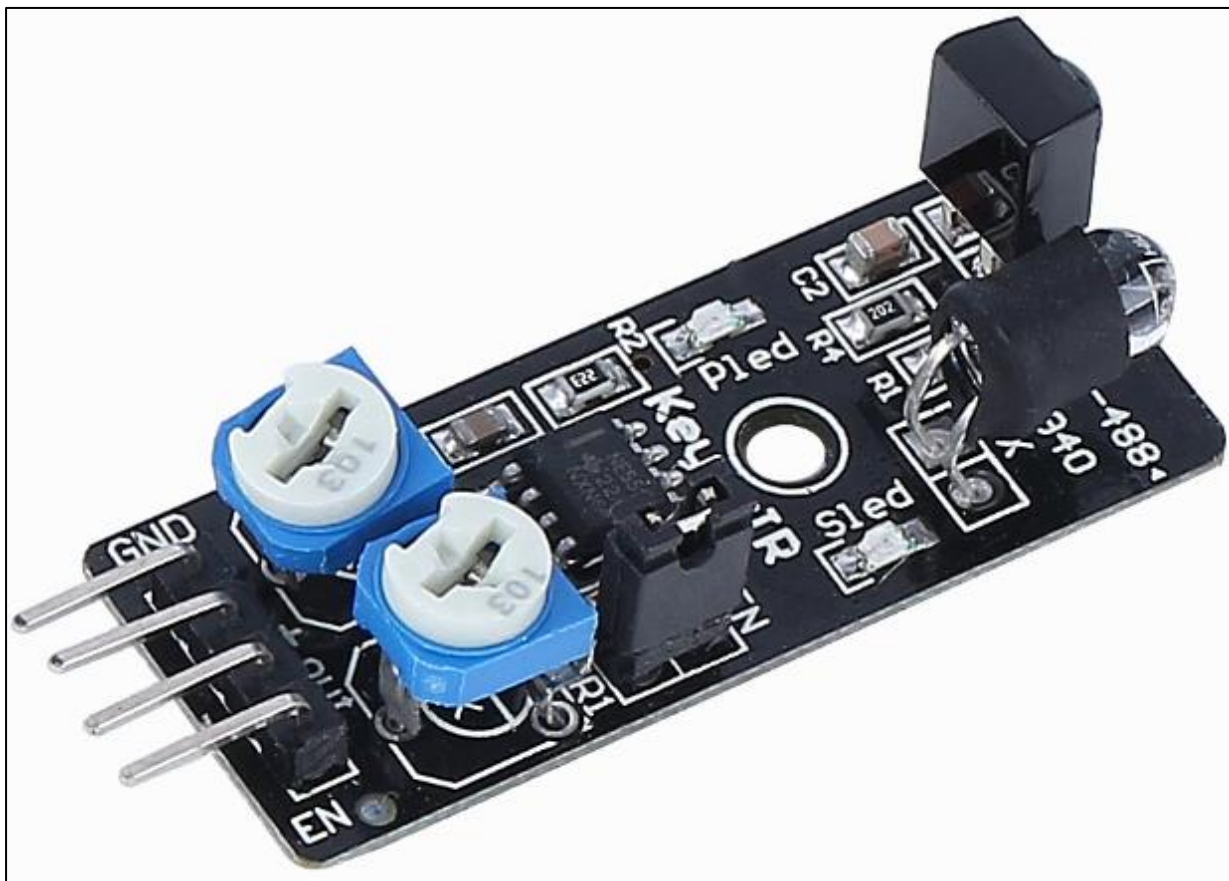


Рисунок 2.1.6 ІЧ-модуль розпізнавання перешкод

По суті, передавач випромінює інфрачервоне світло, і коли напрямок виявлення стикається з перешкодою, інфрачервоне світло повертається та приймається трубкою приймача. У цей час починає світитися індикатор. Після обробки схеми він видає сигнал низького рівня.

Відстань зондування 2–40 см, з чудовою здатністю запобігати перешкодам. Різні кольори об'єктів мають різні рівні відбиття, тому чим темніший об'єкт, тим ближче до чорного відстань виявлення коротша. Діапазон 2–30 см цього датчика виявляється на білій стіні.

Окрім системи датчиків для навігації та уникнення перешкод, важливим компонентом наземного дрона є джерело живлення, яке забезпечує автономність та мобільність пристрою. В якості джерела живлення використовується акумулятор типу 18650.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Це кастомний акумуляторний блок, що складається з двох акумуляторів 18650 ємністю 2200 мАг (рис. 2.1.7). Роз'єм PH2.0–5P, завдяки якому можна заряджати безпосередньо після підключення до універсальної плати розширення.



Рисунок 2.1.7 Акумуляторний блок

Для приводу рушіїв дрона використовуються потужні міні-мотори постійного струму TT DC motors (рис 2.1.8) з редуктором та передавальним відношенням 1:48. Ці компактні мотори ідеально підходять для робототехнічних проектів завдяки своїй високій крутильній потужності при невеликих габаритах.

Основні характеристики TT DC моторів:

- номінальна напруга: 3 ~ 6 В;
- безперервний струм холостого ходу: 150 мА +/- 10%;
- мінімальна робоча швидкість (3 В): 90 +/- 10% об/хв;
- мінімальна робоча швидкість (6 В): 200 +/- 10% об/хв;
- крутний момент зриву (3 В): 0.4kg.cm;
- крутний момент зриву (6 В): 0.8kg.cm;
- передавальне число: 1:48;
- розміри корпусу: 70 x 22.3 x 36.9 мм;
- дроти: сірий і чорний, 24AWG, 250мм;

- роз'єм: ХН2.54–2Р;
- вага: 30,6 г.



Рисунок 2.1.8 Двигун постійного струму ТТ

Кожен мотор комплектується двома дротами живлення довжиною 250 мм з ХН2.54 роз'ємним з'єднувачем для зручного підключення до універсальної плати розширення.

Ці двигуни забезпечують достатній обертальний момент та регульовану швидкість для приводу гусениць або коліс наземного дрона. Завдяки компактним розмірам їх можна розміщувати безпосередньо у вузлах рушіїв.

Оптимальне поєднання ТТ DC моторів з механічною трансмісією дрона та керуючою електронікою забезпечує йому необхідну рухливість, маневреність та точність керування для виконання різноманітних завдань.

Одним з ключових елементів трансмісії є тип коліс, який визначає мобільність дрона. Серед інноваційних конструкцій слід відзначити колеса Mecanum (рис. 2.1.8).

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 2.1.8 Колеса Mecanum

Колесо Mecanum – це всеспрямована конструкція колеса для наземного транспортного засобу, яке може рухатися в будь-якому напрямку. Іноді його називають шведським колесом або колесом Ілона на честь його винахідника.

Mecanum Wheel – це різновид безкамерного колеса, що має ряд прогумованих зовнішніх роликів, косо прикріплених до обода по всьому периметру. Ці ролики, як правило, мають вісь обертання під кутом 45 градусів до площини колеса і під кутом 45 градусів до лінії осі.

Кожне колесо Mecanum є незалежним некерованим ведучим колесом з власним силовим агрегатом і при обертанні створює рушійну силу, перпендикулярну до осі ролика, яка може бути векторизована на поздовжню і поперечну складову по відношенню до транспортного засобу.

Колесо Mecanum можна розділити на ліве і праве, які є дзеркальним відображенням одне одного, залежно від кута повороту 45 градусів.

2.2 Збірка механічної конструкції

Більшість компонентів наземного дрона, таких як корпус, кріплення, двигуни, колеса, датчики та електронні плати, можна придбати окремо у постачальників електронних компонентів та магазинів радіодеталей.

Проте деякі елементи конструкції, наприклад, монтажні деталі або додаткові частини корпусу, можна виготовити за допомогою 3D-друку. Це дозволяє персоналізувати дизайн дрона, адаптувати його під специфічні вимоги та швидко отримувати потрібні деталі без додаткових витрат на спеціалізоване виробництво.

Поєднання придбаних компонентів та роздрукованих на 3D-принтері деталей забезпечує гнучкість, економічність та оптимізацію процесу збірки цього навчального наземного дрона.

Підготовка компонентів.

Спочатку всі необхідні компоненти були акуратно розкладені на робочому столі (рис. 2.2.1). Основою слугував металевий корпус прямокутної форми з різними вирізами та монтажними отворами та допоміжними кріпленнями (рис 2.2.2).



Рисунок 2.2.1 Необхідні компоненти для наземного дрона

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

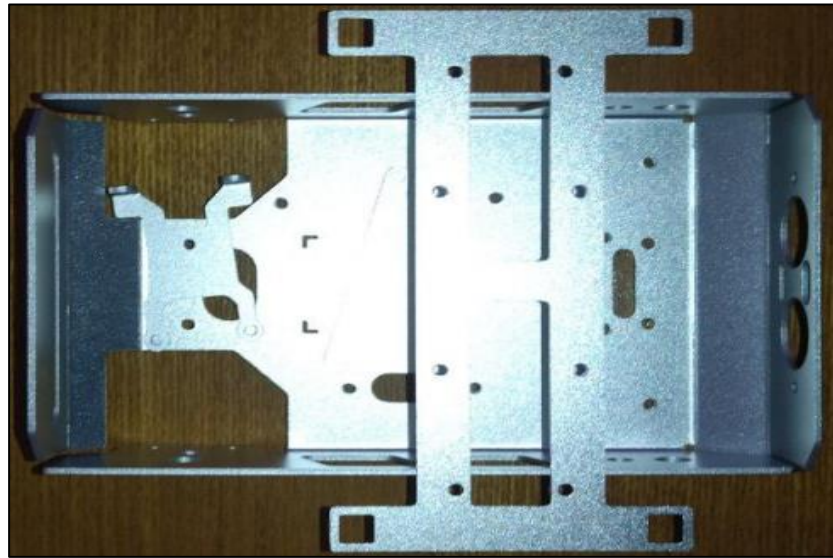


Рисунок 2.2.2 Прямокутний металевий корпус з допоміжними кріпленнями

Монтаж двигунів.

Потужні міні–мотори постійного струму TT DC motor з редуктором були надійно прикручені до корпусу за допомогою гвинтів та гайок (рис 2.2.3).



Рисунок 2.2.3 Кріплення двигунів

Для забезпечення мобільності та пересування, до кожного з чотирьох двигунів TT DC Motor постійного струму з редуктором були прикручені колеса Mecanum (рис 2.2.4).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат



Рисунок 2.2.4 Колесо Mecanum прикручене до двигуна TT DC Motor

Встановлення датчиків.

Після кріплення двигунів, до корпусу приєднано ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 (рис 2.2.5) для навігації та уникнення перешкод.



Рисунок 2.2.5 Приєднання ультразвукового датчику до корпусу

Модуль камери.

ESP32-CAM встановлено на верхній частині корпусу (рис 2.2.6) для забезпечення огляду навколишнього середовища.



Рисунок 2.2.6 На верхній частині корпусу встановлено ESP32–CAM

По бокам від камери розміщено два інфрачервоні модулі розпізнавання перешкод (рис 2.2.7) для додаткового контролю за наявністю об'єктів поруч.



Рисунок 2.2.7 два інфрачервоні модулі розпізнавання перешкод

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Під'єднання джерела живлення.

Як джерело автономного живлення використовується акумуляторний блок на базі батарей 18650 (рис 2.2.8). Його було надійно прикріплено до корпусу дрона.

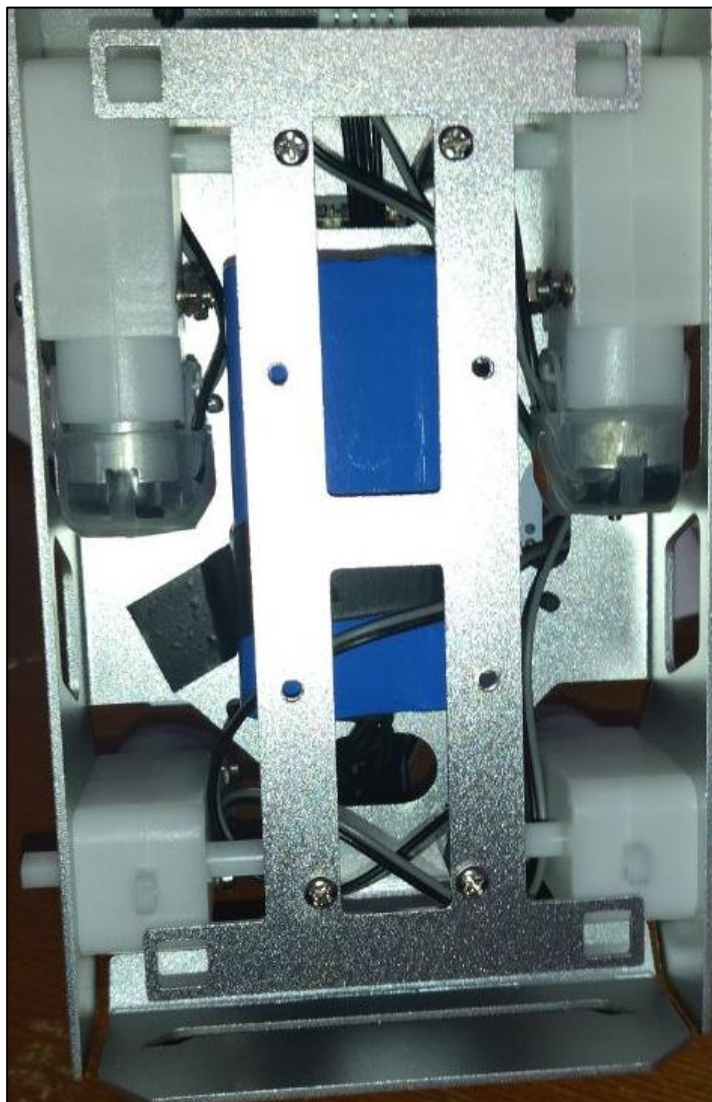


Рисунок 2.2.8 Блок живлення прикріплений до корпусу дрона

Керуюча електроніка.

Центральним керуючим модулем є плата Arduino Uno ATmega328, по верх якої розміщена на універсальна плата розширення (рис 2.2.9). Саме до цієї плати під'єднані всі компоненти дрона через відповідні роз'єми та порти.

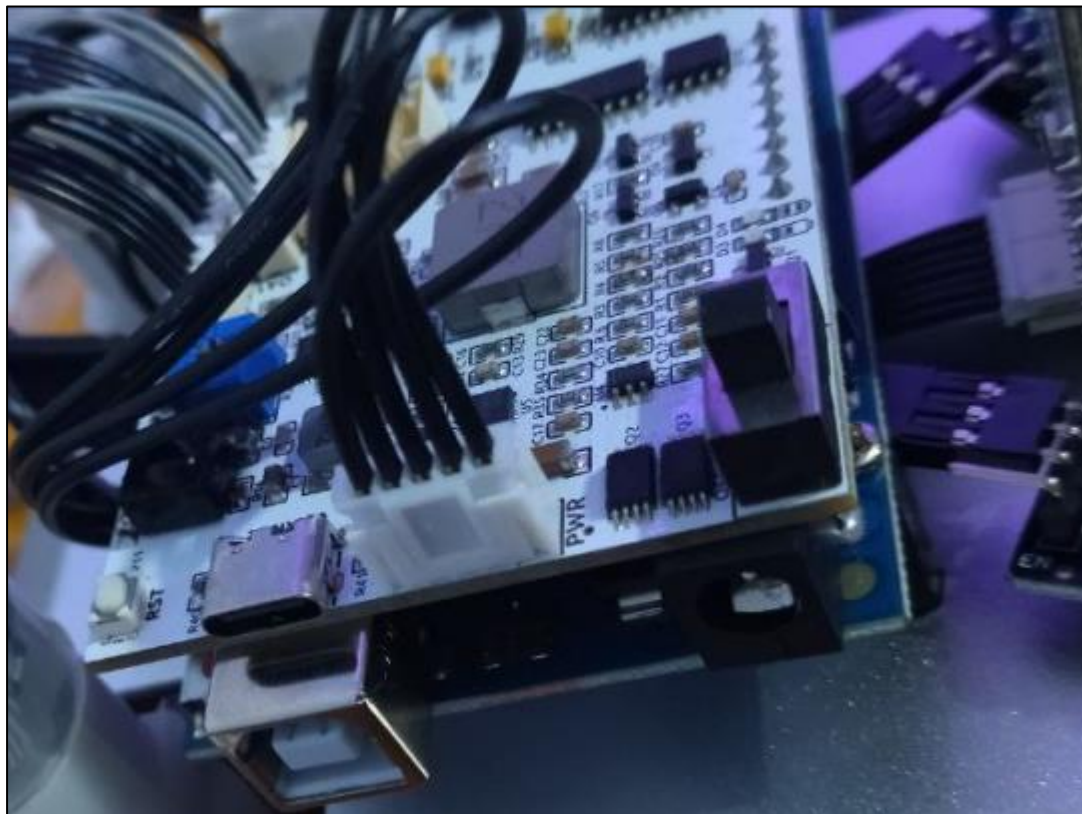


Рисунок 2.2.9 Плата Arduino Uno ATmega328 по верх якої розміщена на універсальна плата розширення

Універсальна плата забезпечує зручність підключення, керування периферійними пристроями, а також драйверами для двигунів.

Після проходження всіх цих етапів збірки, наземний дрон готовий до завантаження програмного забезпечення та тестових випробувань (рис 2.2.10).

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз умов праці

Освітлення в аудиторіях та лабораторіях коледжу є електричним. Для загального освітлення використовуються світильники з світлодіодними або люмінесцентними лампами, розташовані рівномірно по стелі приміщень. На робочих місцях встановлені додаткові місцеві світильники для забезпечення необхідної освітленості під час виконання навчальних завдань та лабораторних робіт. Рівень освітленості відповідає нормам.

Мікроклімат у навчальних приміщеннях підтримується у межах норм, завдяки системам опалення та вентиляції. Параметри температури, вологості та рухомості повітря створюють комфортні умови для перебування студентів та виконання навчальної діяльності.

Рівні шуму в аудиторіях та лабораторіях є незначними і не перевищують гранично допустимих норм для приміщень навчальних закладів. Джерелами шуму є звуки зі сторони, розмови, а також працююче обладнання під час лабораторних робіт. Однак їхній вплив є мінімальним і не створює небезпечних та шкідливих умов.

Таким чином, умови освітлення, мікроклімату та шумового навантаження в навчальних приміщеннях коледжу відповідають діючим нормативам і забезпечують безпечні та належні умови праці для проведення навчального процесу.

3.2 Гігієна праці та виробнича санітарія

Дотримання належних санітарно-гігієнічних норм в навчальних аудиторіях та лабораторіях коледжу забезпечується регулярним вологим

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

прибиранням приміщень згідно з графіком. Прибирання здійснюється технічним персоналом з використанням професійних миючих та дезінфікуючих засобів.

На робочих місцях студентів підтримується порядок та чистота під наглядом лаборантів та викладачів. Після завершення лабораторних і практичних робіт студенти зобов'язані прибрати робоче місце, розкласти інструменти та матеріали належним чином.

Для збору дрібних відходів, що утворюються під час занять «папір, дроти, деталі тощо», в аудиторіях і лабораторіях розташовані урни для сміття. Великогабаритні відходи та вживане обладнання підлягають утилізації через спеціалізовані контейнери на території коледжу.

Вимоги до робочих місць включають:

- достатній робочий простір і свободу пересування;
- відсутність зайвих предметів на робочих поверхнях;
- належне освітлення робочої зони;
- наявність інструкцій з охорони праці та пожежної безпеки;
- розміщення інструментів та матеріалів на відведених місцях.

Лаборанти регулярно контролюють стан робочих місць, забезпечують наявність витратних матеріалів, проводять інструктажі. Завдяки цим заходам створюються безпечні та комфортні умови для навчального процесу.

3.3 Пожежна безпека виробничого приміщення

У навчальних приміщеннях коледжу, де проводяться заняття та виконуються навчальні і проєктні роботи, вжито необхідних протипожежних заходів для забезпечення безпеки та належного рівня пожежного захисту.

Зі студентами регулярно проводяться інструктажі з пожежної безпеки, під час яких їх ознайомлюють з можливими причинами виникнення пожеж, правилами поведінки для запобігання загоранням, порядком дій у разі виявлення осередку пожежі.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Навчальні аудиторії та лабораторії обладнані засобами пожежогасіння – вогнегасниками. Пожежні крани знаходяться на кожному поверсі у коридорах. Евакуаційні виходи розміщені згідно з нормами та позначені відповідними знаками.

У разі виникнення пожежі або загорання діють наступні правила:

- негайно повідомити викладача або адміністрацію коледжу;
- за можливості, спробувати загасити осередок вогню за допомогою наявних вогнегасників;
- якщо самотійно ліквідувати загорання не вдалося, покинути приміщення через евакуаційні виходи;
- зібратися на безпечній відстані від будівлі в визначеному евакуаційному місці;
- викликати пожежну службу за номером 101 та чекати на прибуття пожежників.

Регулярні протипожежні інструктажі, наявність засобів пожежогасіння та евакуаційних виходів, а також правильні дії персоналу забезпечують належний рівень пожежної безпеки в навчальних корпусах коледжу.

3.4 Електробезпека мікропроцесорного монтажу

Під час виконання проєктування та монтажу мікропроцесорної системи вкрай важливо дотримуватись правил електробезпеки. Робота з електричними компонентами несе потенційні ризики ураження струмом, пошкодження обладнання чи виникнення пожежі.

Забезпечити безпеку допоможуть наступні заходи:

- належне заземлення всіх компонентів та обладнання. Використання антистатичних килимків і браслетів;
- відключення живлення та очікування повного розрядження накопичувачів енергії перед монтажем;

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- ретельна перевірка полярності та напруги при під'єднанні компонентів;
- застосування обмежувачів напруги та струму для захисту чутливих елементів;
- забезпечення належного освітлення, вентиляції та чистоти робочого місця;
- уникнення вологих і вибухонебезпечних середовищ;
- використання захисних окулярів під час роботи;
- дотримання чинних норм і стандартів електробезпеки.

Виконання цих вимог електробезпеки дозволить мінімізувати ризики під час монтажу мікропроцесорної системи.

3.5 Виконання розрахункової частини

Функціонально організований простір для якісного виконання проєктних робіт (рис 3.5.1)



Рисунок 3.5.1 Робоче місце для виконання проєктних робіт

Результати розрахункової частини систематизовані у таблиці 3.

Таблиця 3 Оцінка параметрів робочого місця нормам

Фактор виробничого середовища	Санітарно–гігієнічні норми	Існуючі показники	Висновок
Температура	19–25°C	23 °C	Сприятлива для робочого місця
Відносна вологість	40–60%	54%	Вологість в межах норми
Освітленість робочої поверхні	Не менше 300Лк	360Лк	Освітленість робочої поверхні в межах норми
Відстань від очей до монітора	600–700 мм	690 мм	Відстань від очей до монітора є нормальною
Висота столу	680–720	750	Висота столу перевищує норму
Ширина столу	900	650	Ширина столу не дорівнює нормам
Довжина столу	1600	1100	Довжина столу не відповідає нормам робочого місця
Висота стільця	400–500	440	Висота стільця в межах норми
Розміри сидіння стільця	380–400	400	Розміри сидіння стільця дорівнює нормі
Площа на одного працівника	6м ² (мінімально 4,5м ²)	5,8 м ²	Площа працівника в межах норми

ВИСНОВОК

В результаті виконання дипломного проєкту було успішно розроблено функціональний наземний дрон на базі платформи Arduino згідно сформованих вимог.

На початковому етапі було проведено ґрунтовне дослідження існуючих рішень у галузі наземних роботизованих транспортних засобів, вивчено можливості та переваги використання платформи Arduino для реалізації мікропроцесорних систем керування дронами.

Значну увагу приділено теоретичному вивченню електричних схем та принципів роботи ключових компонентів, зокрема мікроконтролера ESP32 та його периферійних пристроїв. Детально розглянуто функціональні можливості модулів датчиків, виконавчих механізмів та засобів візуалізації.

У практичній частині проєкту здійснено підбір оптимальної комплектації апаратних компонентів, розроблено електричні схеми підключення та виконано збирання механічної конструкції наземного дрона з використанням обраних елементів.

В результаті отримано дієвий зразок наземного дрона з функціями навігації, огляду середовища, уникнення перешкод та автономного керування рухом. Застосовані рішення є економічно обґрунтованими та ефективними.

Окрім цього, у звіті висвітлено важливі питання охорони праці, вимоги безпеки, гігієнічні норми та протипожежні заходи, які необхідно дотримуватись для забезпечення належних умов при виконанні практичних робіт з проєктування та обслуговування дрона.

Таким чином, поставлені завдання дипломного проєктування виконані в повному обсязі, отриманий практичний досвід є цінним для подальшого професійного зростання в галузі комп'ютерної інженерії та робототехніки.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Дотримано всі розглянуті вимоги до ключових компонентів і технічних специфікацій для створення функціонального та надійного наземного дрону. Дотриманий комплексний підхід з урахуванням усіх аспектів – від міцної конструкції до сучасних систем керування, сенсорів, живлення та зв'язку. Забезпечено ефективну роботу наземного дрону в різноманітних умовах експлуатації.

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЛІТЕРАТУРА

1. Переддипломна практика. Методичні вказівки для студентів освітньої професійної програми «Комп'ютерні системи та мережі» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія /Укл. О.В. Калашніков, І.О.Островська. – Первомайськ, 2024.– 32 с.
2. Бельська М.В. Дипломне проєктування. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проєкту «Організація охорони праці та протипожежний захист». – Первомайськ, 2023 – 16 с.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel
4. <https://forum.arduino.cc/t/arduino-robot-for-beginner/102901/2>
5. <https://forum.dronebotworkshop.com/2021/build-an-esp32cam-robot-car/>
6. <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/ultrazvukovij-datchik-princip-roboti-i-pristriij/>
7. <https://www.etechnophiles.com/esp32-dev-board-pinout-specifications-datasheet-and-schematic/>
8. <https://www.ibm.com/topics/automation>
9. https://www.internetsociety.org/iot/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwpNuyBhCuARIsANJqL9OYDfv9dHbWV0qPKgRslBuCmageXFY0BEevu5Yf1CfCL302EbMvZCcaAhAPEALw_wcB
10. <https://www.nabto.com/guide-to-iot-esp-32/>
11. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

					ВСП ПФК НУК 123.411.24.06 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		