

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)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розробка системи управління міні-роботом за допомогою мобільного додатку
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-19-1
Медведєв А.М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньої програми Комп'ютеризовані
та робототехнічні системи
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сезонова І. К.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

_____ (підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Медведєву Артему Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи управління міні-роботом за допомогою мобільного додатку

затверджена наказом по університету від 02.11.2020 р. № 1509 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Тип робота – наземний, колісний. Система керування – дистанційна. Набір виконуваних дій: рух вперед; рух назад; поворот ліворуч; поворот праворуч; зупинка. Мережа Bluetooth.

Мережа програми керування – Android OS.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Мобільні роботи як об'єкти керування. Аналіз варіантів дистанційного керування мобільними роботами. Обґрунтування вибору електронних компонентів системи. Обґрунтування вибору організації системи дистанційного керування. Розрахунок блоку живлення. Схема підключення компонентів.

Схема алгоритму програми керування. Програма робота. Клієнтська програма. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 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 технічного завдання	04.11.2020 р.	Виконано
2	Огляд та аналіз стану проблеми дистанційного керування мобільними роботами	07.11.2020 р.	Виконано
3	Розробка системи дистанційного керування	15.11.2020 р.	Виконано
4	Розробка інструкції користувача	30.11.2020 р.	Виконано
5	Розрахунок вимог до приміщення лабораторії	01.12.2020 р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2020 р.	Виконано
7	Подання роботи до екзменаційної комісії	18.12.2020 р.	Виконано

Дата видачі завдання

05.10.2020 р.

Студент

(підпис)

Медведєв А.М.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

проф. Сезонова І. К.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Атестаційна робота: 120 с., 4 табл., 54 рис., 3 дод., 46 джерел.

ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ANDROID, ARDUINO, BLUETOOTH, INTERNET OF THINGS.

Мета магістерської роботи – розробка та удосконалення системи управління міні-роботом з використанням сучасних підходів в методах управління та програмування робототехнічних систем.

Об'єкт дослідження – процес управління траєкторією руху мобільного міні-робота.

Предмет дослідження – система дистанційного управління мобільним роботом за допомогою мобільного додатку.

Методи дослідження та апаратура: для розв'язання задачі розробки системи управління міні-роботом використовуються алгоритми керування реалізовані мовами програмування C++ і Dart; плата керування Arduino Nano, з підключеними до неї модулями Bluetooth HC-06, сервоприводами та драйвер колекторних двигунів TB6612; обмін даними між оператором та роботом – point-to-point; мережа для передачі команд – Bluetooth.

Результатом дослідження є розробка мобільного додатку для управління роботом з використанням IoT технології (Bluetooth).

Області застосування – доступ до важкодоступних або небезпечних зон, оперативне втручання в приховані процеси, промисловість, будівництво, побут, проведення вибухотехнічних робіт (пошук, транспортування, знешкодження, знищення вибухонебезпечних предметів) тощо.

Результати атестаційної роботи апробовані в статті на Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.

ABSTRACT

Attestation work contains: 120 pp., 4 tabs., 54 fig, 4 adds., 46 sources.

ANDROID, ARDUINO, BLUETOOTH, INTERNET OF THINGS, MOBILE ROBOT, REMOTE CONTROL.

The purpose of the work – development and improvement of a mini-robot control system using modern approaches in methods of control and programming of robotic systems.

The object of research – the process of controlling the trajectory of a mobile mini-robot.

The subject of research – mobile robot remote control system using a mobile application.

Research methods and equipment: to solve the problem of developing a control system for a mini-robot, control algorithms implemented in the programming languages C ++ and Dart are used; Arduino Nano control board, with connected Bluetooth HC-06 modules, servo drives and TB6612 collector motor driver; data exchange between operator and robot - point-to-point; network for transmitting commands - Bluetooth.

Results: A mobile application was created to control the robot using IoT technology (Bluetooth).

Areas of application - access to hard-to-reach or dangerous areas, surgical intervention in covert processes, industry, construction, everyday life, carrying out explosive works (search, transportation, disposal, destruction of explosives), etc.

The results of the attestation work were tested in the article at the International scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists.

ЗМІСТ

	с.
Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасних систем управління мобільними роботами.....	11
1.1 Мобільні роботи як об’єкти управління.....	11
1.2 Аналіз варіантів типів зв’язку для дистанційного управління.....	16
1.3 Структурні елементи мобільного роботу.....	18
1.4 Постановка мети та задач дослідження.....	24
1.5 Висновки до розділу 1.....	25
2 Розробка системи дистанційного управління.....	26
2.1 Обґрунтування вибору електронних компонентів системи для прототипу міні-робота.....	26
2.2 Обґрунтування вибору організації системи дистанційного управління.....	28
2.3 Розрахунок блоку живлення.....	29
2.4 Схеми підключення компонентів.....	31
2.5 Додаткове обладнання прототипу міні-робота.....	35
2.6 Схеми алгоритмів програми керування міні-робота.....	39
2.7 Розробка програми міні-робота.....	43
2.8 Розробка клієнтської програми.....	46
2.9 Висновки до розділу 2.....	48
3 Інструкція користувача мобільного додатку.....	50
3.1 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення.....	50
3.2 Завантаження, оновлення, видалення мобільного додатку.....	50
3.3 Робота з мобільним додатком.....	52
3.4 Висновки до розділу 3.....	66
4 Охорона праці.....	67

4.1 Вимоги до приміщення.....	67
4.2 Висновки до розділу 4.....	70
Висновки.....	71
Перелік джерел посилання.....	73
Додаток А Текст програми мобільного робота.....	79
Додаток Б Текст клієнтської програми.....	86
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	114
Додаток Г Відомість атестаційної роботи.....	120

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГШ – гусеничне шасі

ДДПС – драйвер двигунів постійного струму

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

КД – кроковий двигун

КР – колісні роботи

МР – мобільний робот

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій

ПКК – програмно-керуючий контролер

Bluetooth – технологія бездротового зв'язку

GPIO – General-purpose input/output

GSM – Global System for Mobile Communications

IoT – Internet of Things

P2P – Point-To-Point

PWM – Pulse-width modulation

Wi-Fi – Wireless Fidelity

ВСТУП

У сучасному світі все більше зазнають широке впровадження комп'ютеризовані та робототехнічні системи в усіх сферах людської діяльності.

Системи дистанційного управління виконують важливу роль для зменшення ризиків, які виникають під час людської праці. Їх застосування у робототехніці дозволяє знизити ступінь участі людини при проведенні робіт у небезпечних умовах. Вони дозволяють отримувати безпечний доступ до важкодоступних або небезпечних зон, проводити оперативне втручання мобільних роботів (МР) у виробничі процеси з високим рівнем небезпеки або для оптимізації умов праці. Також, треба відзначити користь використання роботів під час проведення вибухотехнічних робіт (пошук, транспортування, знешкодження або знищення вибухонебезпечних предметів і боєприпасів). Тому розробка та удосконалення сучасної системи управління мобільними роботами за допомогою мобільного додатку – є актуальною.

Основними переваги використання МР для вищезазначених задач є:

- зручність органів управління щодо можливості швидкого здійснення будь-яких маневрів;
- простота навчання операторів, які мають керувати МР;
- суттєвий час автономної роботи МР, що важливо для довготривалих задач;
- значний радіус дії та можливість використання надійного зв'язку, що є критичним параметром під час вибухотехнічних операцій;
- економічність системи, як у цілому, так і в обслуговуванні, зважаючи на те, що електронні компоненти МР можуть виходити з ладу через фізичні пошкодження або під впливом часу.

З кожним роком зростає потреба використання МР у різних сферах праці [1]. Що, у свою чергу, обумовлює актуальність завдань розробки або удосконалення систем управління МР, в тому числі на виробництві [2].

Для організації ліній зв'язку об'єкта управління і оператора використовують різноманітні канали зв'язку. Наприклад, такі як GSM, Bluetooth та Wi-Fi, які входять у сукупність технологій Internet of Things. Ці технології дуже поширені, гнучкі у використанні, енергоефективні та економічні, що спрощує процес проектування та розробки системи дистанційного управління.

Мета атестаційної роботи – це розробка та удосконалення системи управління міні-роботом з використанням сучасних підходів в методах управління та програмування робототехнічних систем.

Досягнення мети здійснюється розв'язанням комплексу наступних задач:

- проведенням аналізу сучасного стану проблеми дистанційного управління МР;

- вибором технології для реалізації зв'язку системи дистанційного управління з МР;

- розробкою програмної реалізації системи дистанційного управління МР.

Оформлення пояснювальної записки виконано відповідно рекомендацій [3] – [4], вимог [5] – [6].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ

1.1 Мобільні роботи як об'єкти управління

Мобільний робот (МР) – це робот, який може пересуватися і переміщатися в просторі [7]. Розрізняють три класи мобільних роботів, а саме:

- наземні роботи;
- повітряні;
- морські.

Серед наземних роботів виділяють наступні класи:

- колісні роботи;
- гусеничні роботи;
- крокуючі роботи.

Одним з найпоширеніших та найдешевших конструкцій як у виконанні та програмуванні є колісні роботи. Колісні МР використовуються для переміщення по більшості поверхонь, таких як гладкі та нерівні поверхні, наприклад: асфальт, ґрунтові дороги, бетонні покриття, пересічна місцевість та інші. Окремо можна зауважити що гусеничні роботи мають також немало переваг при пересуванні по різним видам поверхонь, але висока пляма контакту гусениць призводить до ускладненого використання при переміщеннях на рівних гладких поверхнях та килимах. Колісні роботи (КР) розрізняють за кількістю коліс. Найчастіше зустрічаються двоколісні, триколісні чотириколісні та шестиколісні роботи. Розглянемо колісних роботів на прикладі вже існуючих.

Micro:bit Smart [8] – найпростіший приклад колісного робота, який має три колеса, з яких два є ведучими, а також за їх рахунок відбувається керування, тому що вони є незалежними один від одного, а третє колесо є опорним. Управління роботом здійснюється за рахунок контролю потужності яка поступає на колекторні мотор-редуктори. Тобто подаючи на відповідний двигун більшу потужність, колесо до якого поступає більший круговий момент крутиться

швидше і відбувається поворот конструкції. Проте така конструкція має недоліки, найбільші з яких не фіксоване положення опорного ролику, через що конструкції складно триматися заданої траєкторії, а також нерівномірний розподіл маси, через що робот може легко перевернутись.

На рисунку 1.1 зображено колісного робота Micro:bit Smart.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд робота Micro:bit Smart

Найбільш розповсюдженим прикладом КР є роботи на чотирьох колесах, два з яких ведучі, інші два направляючі. У таких конструкціях за напрям руху відповідають направляючі колеса. В залежності від напрямку повороту направляючих коліс відбувається рух КР у заданий напрям. Данні конструкції направляючі зустрічаються людині у повсякденному житті. Наприклад, легкові автомобілі та іграшкові машинки на радіо-керуванні. Узагальнений вигляд

чотириколісного шасі з наведеним принципом роботи направляючих коліс приведено на рисунку 1.2.

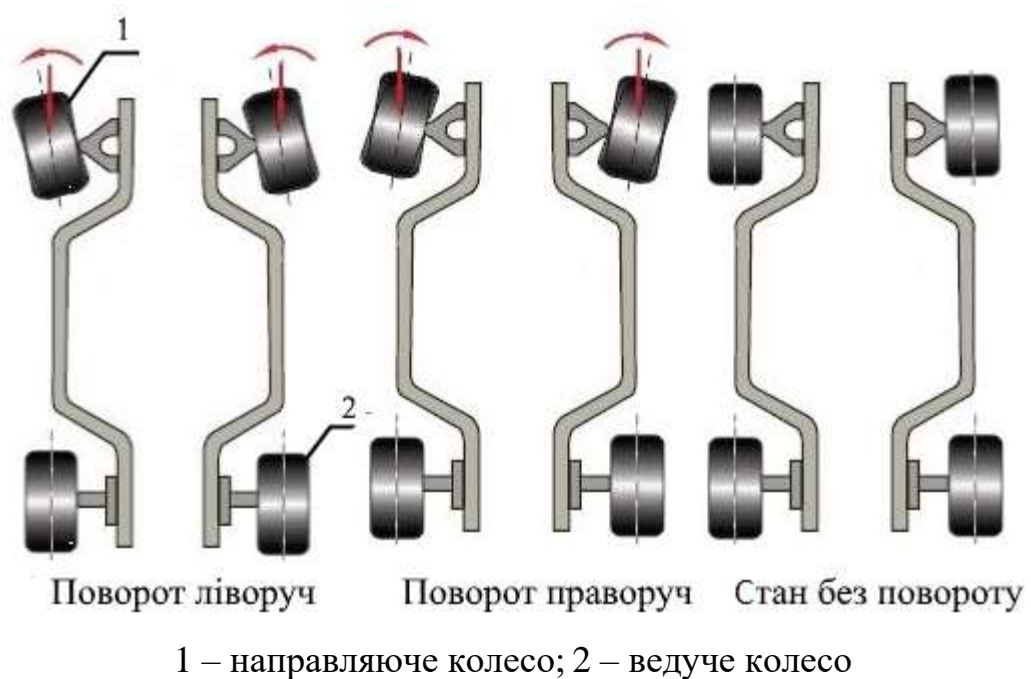


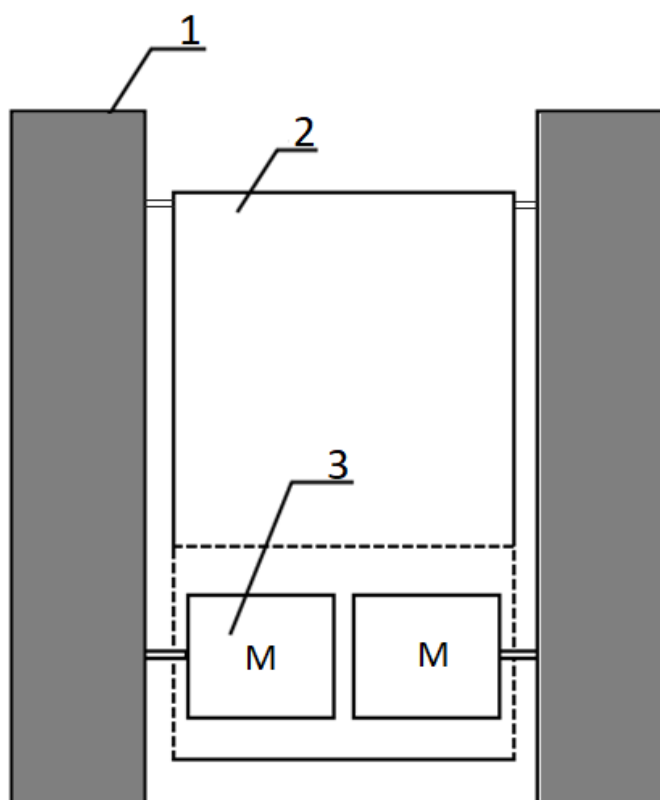
Рисунок 1.2 – Загальний вигляд чотириколісного шасі

Порівняно з чотири колісними шасі, значну нішу серед роботів займають МР на базі гусеничних шасі (ГШ). До руху такі шасі приводять зазвичай два електромотори, які прокручують гусеничні стрічки. Усього у ГШ є дві гусеничні стрічки.

На відміну від колісних шасі, ГШ має як мінімум два ролики, два з яких виконують роль направляючих та привідних одночасно, як це виконується на триколісному шасі, а два інших виконують роль опорних роликів, які також підтримують гусениці у натягнутому стані. Загальний вигляд ГШ та ланки приведено на рисунках 1.3 та 1.4.

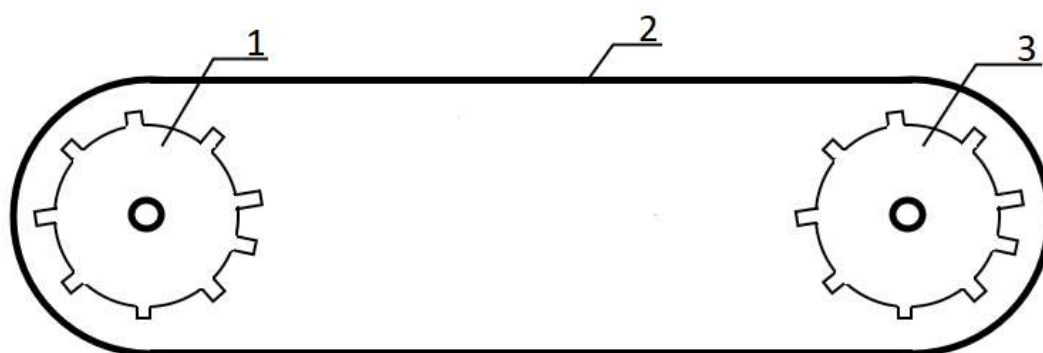
Перевагою ГШ є підвищена прохідність по пересічній місцевості, особливо де потребується найменший тиск на ґрунт. Зменшення тиску досягається через велику площу дотику гусениць з поверхнею. У разі проїзду робота через м'які ґрунти зменшується глибина занурення у поверхню.

Гнучкість гусениць значно підвищує прохідність МР через кам'янисті та рельєфні скалисті поверхні. Однією з найбільшій переваг ГШ є можливість розвороту як на місті, так і відносно однієї з осей гусениці.



1 – гусенична ланка; 2 – платформа; 3 – двигун

Рисунок 1.3 – Приклад загального вигляду гусеничного шасі



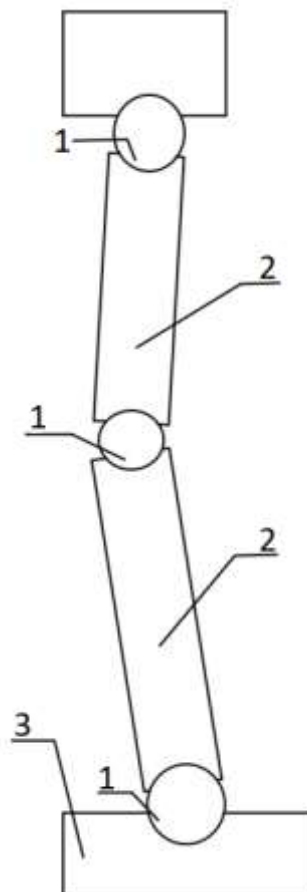
1 – опорний ролик; 2 – гусенична стрічка; 3 — привідний ролик

Рисунок 1.4 – Узагальнена схема гусеничної ланки

Основними недоліками ГШ є те що вони потребують більшу потужність двигунів, тому що потрібно набагато більше кругового моменту сили щоб прокручувати гусениці, також ГШ не є ефективним рішенням у випадку використання роботів на гладких рівних поверхнях.

Останній вид наземних роботів це крокуючі роботи. Даний тип є дорогим у виготовленні та складним у програмуванні, тому, що потребує високої точності руху ланок. Для цього використовують сервоприводи, вони же – крокові двигуни (КД), вони дешеві під час обслуговування та експлуатації. Окремо можна виділити пневмопривідні та гідропривідні механізми, але вони не надають високої точності.

На рисунку 1.5 приведена схема ноги крокуючого робота.



1 – кроковий двигун; 2 – ланка ноги; 3 – опора ноги

Рисунок 1.5 – Схематичне зображення ноги крокуючого робота

Окрім складності та високого кошторису виділяють важливий недолік крокуючої конструкції робота, це стійкість. Для підвищення стійкості потрібно додаткові датчики нахилу, або гіроскоп, постійно коригувати положення робота, що призводить до більших витрат енергії під час роботи крокуючого робота.

1.2 Аналіз варіантів типів зв'язку для дистанційного управління

Дистанційне керування МР здійснюється різними типами зв'язку. Наприклад, радіохвилями різних діапазонів частот, довжини хвилі, та інше. До таких методів можна віднести засоби концепції Internet of Things (IoT). IoT, або інтернет речей – це концепція обчислювальної мережі фізичних предметів (тобто власне, речей), які оснащені деякими технологіями для взаємодії один з одним [9]. Зазвичай взаємодія робота з оператором відбувається за допомогою електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Зважаючи на те, що управління МР за допомогою технологій доступних на мобільному пристрої:

- Bluetooth;
- Wi-Fi;
- GSM.

Для розуміння розглянемо детальніше кожен з технологій.

Bluetooth – виробнича специфікація бездротових персональних мереж Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями, як персональні комп'ютери, смартфони, принтери, та іншими пристроями, на надійній, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Bluetooth дозволяє цим пристроям утримувати зв'язок, коли вони знаходяться в радіусі видимості один від одного [10]. У таблиці 1.4 приведено дальність зв'язку відповідно до версії специфікації.

Таблиця 1.4 – Дальність передачі даних специфікацій Bluetooth

Версія Bluetooth	Дальність зв'язку, <i>м</i>
3.0	8 – 10
4.0	10 – 20
5.0	40 – 1500

Дальність зв'язку значно змінюється при появі перешкод і завад. Принцип дії заснований на використанні радіохвиль у вільному від ліцензування діапазоні від 2,4 ГГц до 24,835 ГГц. В наш час така топологія використовується у різноманітних побутових пристроях та бездротових мережах.

Wi-Fi – технологія бездротової локальної мережі з пристроями на основі стандартів IEEE 802.11 [11]. IEEE 802.11 – це набір стандартів зв'язку в бездротових мережах, які працюють на частотах 0,9 ГГц, 2,4 ГГц, 3,6 ГГц а також 5 ГГц. Технологія Wi-Fi працює на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц та має декілька режимів роботи, в залежності від яких змінюється швидкість передачі даних у локальній мережі. На сьогоднішній день найпоширенішим режимом роботи є Wi-Fi 802,11n. Дальність зв'язку до 50 м, проте сильно змінюється залежно від якості комплектуючих маршрутизатору, від завад та перешкод.

GSM – технологія сотового зв'язку з розподіленням каналу та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим ключем [12]. За рахунок ретрансляції такий тип з'єднання дозволяє отримати зв'язок по усій планеті земля, проте він має значну кількість недоліків для дистанційного керування. Серед недоліків можна виділити:

- неможливість зв'язку P2P;
- значна затримка для миттєвого реагування;
- високий кошторис використання.

1.3 Структурні елементи мобільного роботу

Провевши аналіз обладнання об'єктів автоматизації [13], робимо висновок, що основою будь-якої роботизованої системи є контролер. Тобто, головною частиною будь-якого МР є його програмно-керуючий контролер (ПКК), який вміє приймати дані від датчиків або пристроїв зв'язку. На рисунку 1.6 зображено приклад контролера МР.

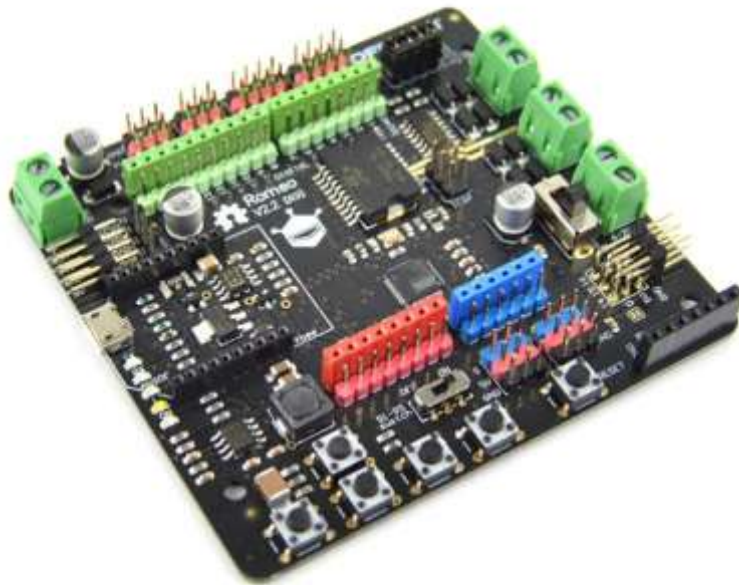


Рисунок 1.6 – Приклад ПКК мобільного роботу

Мікроконтролер з точки зору схемотехніки – це одно кристальний комп'ютер, до складу якого входить процесор, оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) і інтерфейси периферійних пристроїв [14]. Існує безліч різних мікроконтролерів, що розрізняються за типом процесора, обсягу і типу пам'яті, складу периферійних інтерфейсів, і т.п. До найбільш поширеною периферії МК можна віднести:

- цифрові і аналогові порти введення / виводу (GPIO);
- інтерфейси введення-виведення, такі як UART, I²C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet;

- широтно-імпульсні модулятори (PWM);
- масиви вбудованої флеш-пам'яті.

В якості контролера може виступати велика різноманітність мікроконтролерів, починаючи від старих Atmel [15], закінчуючи потужними мікроконтролерами ARM [16], також можливо використовувати процесори.

Останній варіант має найбільшу потужність для обчислення та високу швидкість реагування, проте потребує багато електричної потужності, місця, та окремих елементів, таких як ОЗП, ПЗП, мікросхема BIOS та інше, тому використання процесорів у мобільних роботах не доцільне і не набуло широкого вжитку.

Розглядаючи ринок мікроконтролерів можливо виділити наступні розповсюджені варіанти:

- сімейство Arduino, яке базується на мікроконтролерах Atmel;
- мікроконтролери STM8 та STM32;
- серія мікроконтролерів ESP;
- одно-платні мікроконтролери Raspberry Pi.

Розглянемо кожний варіант окремо. Перший варіант мікроконтролерів дуже поширений завдяки його розповсюженості, невисокій ціні, відкритому вихідному коду та низькому порогу входження при програмуванні. На рисунку 1.7 зображено один з найбільш популярних мікроконтролерів Arduino [17]. Завдяки розробці італійських розробників мільйони людей по всьому світі змогли створити свої власні пристрої або прототипи, навіть не маючи професійних знань про програмування ПКК. Простота програмування під сімейство мікроконтролерів Arduino дозволяє створювати і програмувати пристрої за короткий час. При цьому вони мають можливість бути швидко перепрограмованими, просто підключивши їх до комп'ютера з потрібним програмним забезпеченням. Це дозволяє в короткий час, у разі потреби, змінювати алгоритм роботи або модернізувати програмний код.

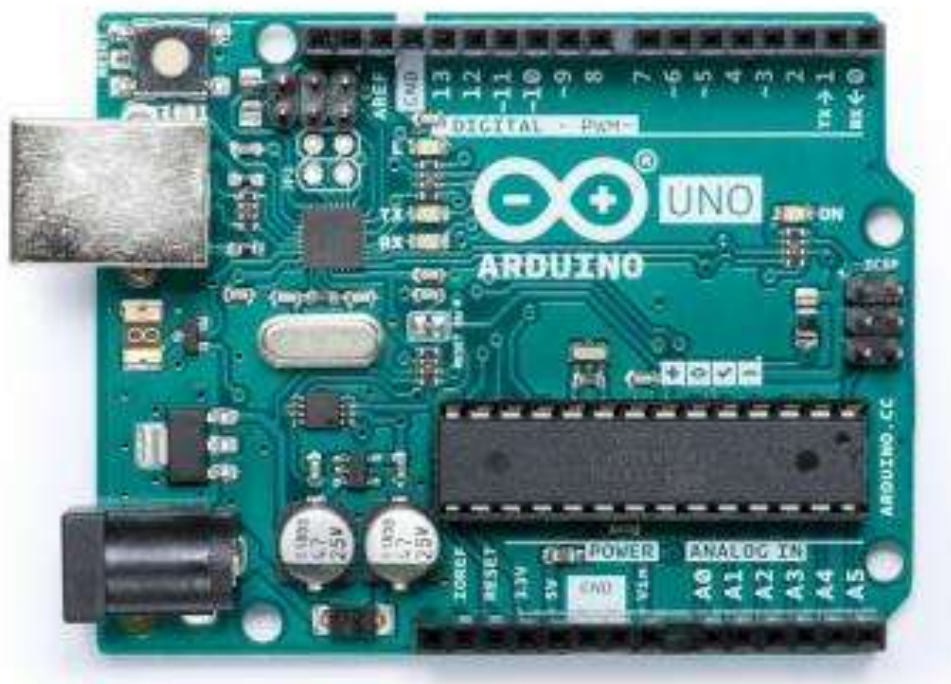


Рисунок 1.7 – Одно-платний мікроконтролер Arduino

Другий варіант є більш потужним за можливостями. Він може мати набагато більше пам'яті, вищу частоту роботи, через що може виконувати набагато більше операцій в секунду. Також, може мати набагато більше апаратних таймерів, цифрових та аналогових входів/виходів потрібних для роботи з різними пристроями та датчиками. Проте для роботи з ним людина повинна мати значну обізнаність у сфері електроніки та програмування мікроконтролерів даного сімейства. На рисунку 1.8 зображено розповсюджену плату Nucleo на мікроконтролері STM [18], окремо можливо виділити велику кількість пінів для взаємодії.

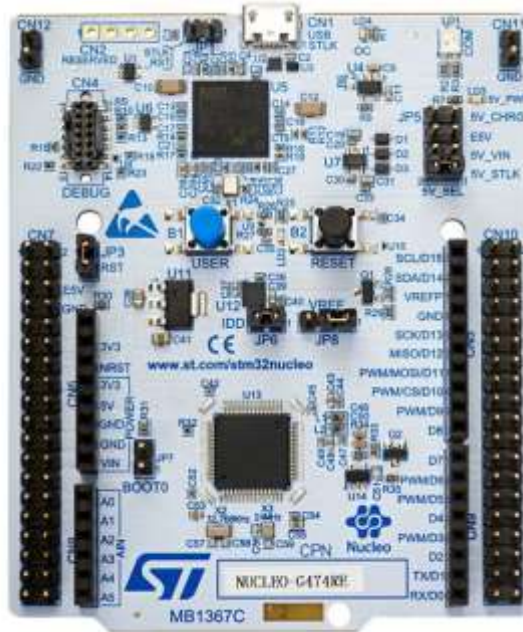


Рисунок 1.8 – Одно-платний контролер Nucleo STM

Третій варіант – це одно-платні мікроконтролери, які знайшли застосування у IoT, через те, що вони мають невеликі розміри та мають вбудований Wi-Fi модуль. Не є доцільними у використанні коли Wi-Fi модуль не потрібний. На рисунку 1.9 зображено найбільш розповсюджений модуль ESP32 [19].



Рисунок 1.9 – Мікроконтролер ESP32

Останній варіант, це потужні ПКК які використовують там де потрібно опрацьовувати велику кількість інформації, працювати в мережею інтернет, відеокамерами та іншим обладнанням. З перерахованих варіантів вище, це єдиний варіант, який використовують для створення МР з відеокамерами та автоматичним управлінням на основі нейронної мережі. Особливістю таких ПКК, це використання операційної системи реального часу. Не зважаючи на велику кількість переваг, розглянуті ПКК значно дорожче за перераховані вище варіанти. На рисунку 1.10 зображено найбільш розповсюджений мікроконтролер Raspberry PI 4 Model B [20].

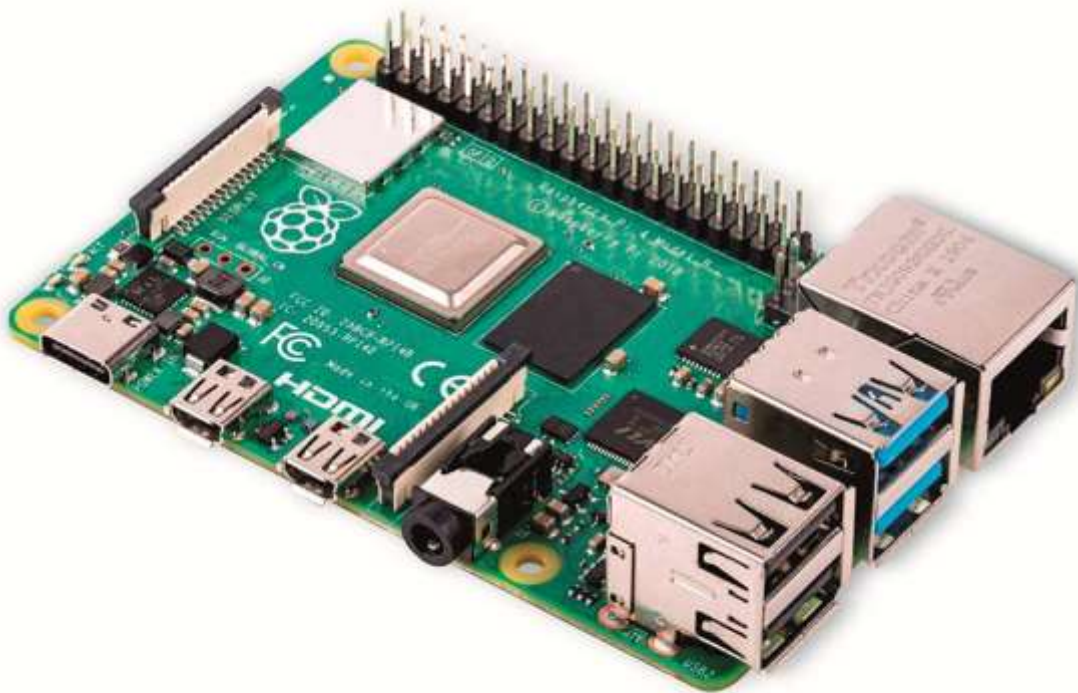


Рисунок 1.10 – Мікроконтролер Raspberry PI 4 Model B

Розглянувши доступні варіанти сімейств мікроконтролерів зробимо висновок, що для міні-роботу без потреб у підключенні до Wi-Fi, використання відеокамери, а також непотрібність високої потужності зупинимо свій вибір на

сімействі Arduino. В таблиці 1.1 наведені технічні характеристики найбільш популярних плат керування сімейства Arduino.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики типових плат ПМК

Назва	Кількість цифрових виходів, <i>шт</i>	Кількість аналогових виходів, <i>шт</i>	Інтерфейси	Розмір, <i>см</i>	Ціна, <i>грн</i>
Arduino UNO [21]	14	6	SPI, UART	6,9×5,3	184
Arduino Mega [22]	16	54	SPI, UART	10,16×5,3	256
Arduino Nano [23]	13	8	SPI, UART	1,85×4,3	65

Представлені типові ПМК зможуть опрацьовувати логіку керування МР та управління серво-двигунами, але для керування привідним двигуном потрібно підібрати драйвер двигунів постійного струму (ДПС), який надасть змогу пропорційного керування мотором шасі. Характеристики типових драйверів двигунів постійного струму наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики типових ДПС

Назва	Максимальний струм, <i>A</i>	Максимальна напруга двигунів, <i>B</i>	Керування оборотами	Керування напрямком руху	Ціна, <i>грн</i>
L298N [24]	2,0	36	Присутнє	Присутнє	58
TB6612 [25]	1,2	15	Присутнє	Присутнє	50
HG7881 [26]	0,8	12	Відсутнє	Присутнє	36

Для зв'язку роботу зі смартфоном потрібно підключити Bluetooth модуль.

Типові варіанти модулів з технічними характеристиками наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Варіанти Bluetooth модулів для прийому керуючих команд

Назва	Робоча напруга модулю, V	Максимальний струм, A	Дальність прийому, m	Ціна, $грн$
НС-05 [27]	3,3	0,05	10	173
НС-06 [28]	від 3,6 до 6,0	0,04	10	164
НС-08 [29]	від 2,0 до 3,3	0,0021	80	155

Враховуючи, що розглянуті вище ПКК працюють від живлення 5 V , обрано Bluetooth модуль НС-06.

1.4 Постановка мети та задач дослідження

Проведено огляд літературних джерел, присвячених різним аспектам проблеми дистанційного керування, дослідження дають розуміння, що на сьогодні накопичено значний досвід в вирішенні даної проблеми. Основні результати отримані в процесі дослідження, це вирішення окремих завдань проблеми, а саме:

- дальність зв'язку;
- час автономної роботи;
- вартість.

Характерними завданнями розробки систем дистанційного керування МР є:

- підвищення енергоефективності системи;
- підвищення радіусу зв'язку;
- підвищення часу автономної роботи.

Незважаючи на численні публікації, присвячені вирішенню проблеми системи дистанційного керування МР, ця проблема ще далеко не вирішена і вимагає подальшого дослідження. Тому актуальною є задача розробки зручних

засобів дистанційного керування.

З огляду на це, метою магістерської роботи є розробка системи дистанційного управління мобільним роботом на основі технології IoT, що включає в себе розробку не тільки апаратної частини, а і програмного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести огляд сучасного стану проблеми дистанційного управління мобільними роботами як об'єктами керування;
- розглянути організацію систем дистанційного управління;
- проаналізувати електронні компоненти систем дистанційного управління;
- сформулювати постановку мети та задач дослідження;
- обрати, розробити або удосконалити систему дистанційного управління МР;
- розробити програмну та апаратну частину системи дистанційного управління;
- провести дослідження ефективності системи.

1.5 Висновки до розділу 1

В першому розділі атестаційної роботи проаналізовано МР як об'єкти керування, їх класифікація, структурні елементи. Аналізуючи структурні елементи МР, було встановлено їх характеристики.

Проаналізовано стан проблеми дистанційного керування, а саме, засоби передачі команд за технологіями Wi-Fi, Bluetooth та GSM. Встановлено їх дальність зв'язку.

Оглянуто типові компоненти МР, їх технічні характеристики, кошторис. Обрано компоненти для розробки прототипу міні-робота.

Сформовано постановку мети та задач дослідження.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Обґрунтування вибору електронних компонентів для прототипу міні-робота

Проаналізувавши вище перелічені компоненти та технології, виберемо та обґрунтуємо вибір необхідних компонентів.

Для керування міні роботом виберемо плату керування. Відповідно до таблиці 1.1 запропоновано 3 варіанти плати керування, а саме Arduino UNO, Arduino Mega, Arduino Nano. Для реалізації системи дистанційного керування задовільні характеристики усіх плат керування, які приведено у таблиці. Тому достатньо вибрати найменшу та найдешевшу плату керування, а саме Arduino Nano. Плату керування Arduino Nano приведено на рисунку 2.1.

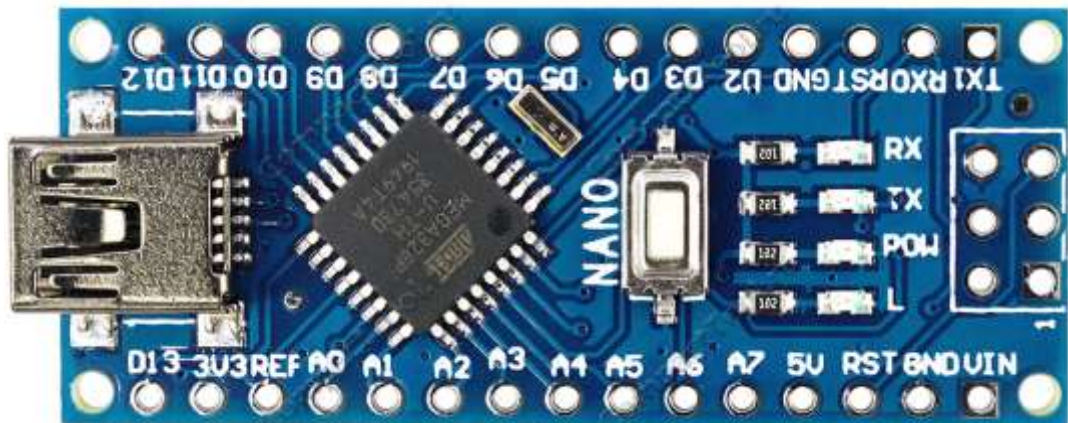


Рисунок 2.1 – Плата керування Arduino Nano

Провівши аналіз джерел, присвячених роботі з одно платним мікроконтролером Arduino, зробимо висновок, що цей ПКК потребує ДДПС для

керування привідним двигуном, який буде приводити в рух конструкцію МР. Можливі варіанти приведені у таблиці 1.2.

Для драйверу важливо, щоб він міг керувати напрямом та швидкістю. Серед усіх варіантів не підходить лише HG7881, тому, що він дозволяє лише керувати напрямком руху. Останні два ДДПС L298N та ТВ6612 повністю підходять, так як їх технічні характеристики повністю задовольняють вимогам. Проте проаналізувавши технічну документацію, робимо вивід, що ТВ6612 є більш енергоефективним, на відміну від L298N. Завдяки високому коефіцієнту корисної дії (КПД) ДДПС ТВ6612 надасть змогу підвищити час автономності МР. Також цей драйвер є дуже поширеним, та дешевим. Драйвер ТВ6612 приведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Драйвер двигунів постійного струму ТВ6612

Для зв'язку МР з ЕОМ оператора було обрано Bluetooth. Тому, що даний канал зв'язку дозволяє отримати можливість передачі команд без додаткових витрат на більш потужний контролер для роботи з мережевими каналами зв'язку. Серед наведених модулів у таблиці 1.4 було обрано HC-06, представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Модуль Bluetooth HC-06

Даний модуль було обрано через те, що він працює від живлення 5 В, як і контролер, та має достатній радіус дальності сигналу.

2.2 Обґрунтування вибору організації системи дистанційного управління

Відповідно до постановки задачі, необхідно розробити систему дистанційного керування роботом, який буде керуватися дистанційно з мобільного телефону. Обравши всі необхідні електронні компоненти, необхідно обрати та обґрунтувати метод організації системи дистанційного керування МР.

Для організації системи керування МР буде використано метод Р2Р, тобто керування буде без проміжної ланки. Контролер Arduino Nano зможе опрацювати вхідні данні для керування та виконає запрограмовані інструкції без жодних проблем. Таким чином, система буде складатися з контролеру, який буде працювати сервером на МР та стороннього мобільного додатку, який буде передавати команди безпосередньо на МР.

Після вибору методу організації дистанційного керування, потрібно обрати метод передачі даних для управління МР. Технологія GSM дуже зручна

в якості дальності зв'язку, але вона має значні затримки, що унеможливило миттєве реагування МР на команди від мобільного пристрою та є найбільш дорожчою у реалізації.

Технологія Wi-Fi має достатню дистанцію зв'язку, а також високу пропускну здатність, що дозволить транслювати будь-яку інформацію. Також, ця технологія дуже поширена і використовується у кожній сучасній ЕОМ, тобто ноутбуки, телефони, планшети. На відміну від GSM, технологія Wi-Fi дозволяє отримати низьку затримку через використання зв'язку P2P. Проте технологія Wi-Fi потребує значних обчислюваних ресурсів від контролеру, що в свою чергу збільшить кошторис, через використання більш потужного контролеру, а також встановлення недешевого WiFi модулю.

Тому для передачі команд від ЕОМ пристрою зі встановленим мобільним додатком до контролеру міні-робота було обрано Bluetooth. Він дозволить отримати надійний та стабільний зв'язок, який буде енергоефективним та має необхідні характеристики дальності зв'язку.

2.3 Розрахунок блоку живлення

Розрахунок блоку живлення міні-робота це дуже важливий етап. Потрібно врахувати, що кожен модуль має свою робочу напругу. В таблиці 2.1 приведено робочу напругу кожного з модулів міні-робота.

Таблиця 2.1 – Робоча напруга модулів МР

Назва модулю	Робоча напруга, В
Arduino Nano	5
ТВ6612	5
НС-06	5

Акумуляторний блок складається з одного акумулятору типу Li-ion. Максимальна напруга акумулятора, який повністю заряджений становить 4,2 В. Вихідна напруга акумуляторного блока визначається співвідношенням:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ак}} \cdot n, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{ак}}$ – напруга акумулятора;

n – кількість акумуляторів у блоці.

Розрахуємо вихідну напругу. Використано один акумулятор, напруга якого становить 4,2 В. З цього виходить:

$$U_{\text{вих}} = 4,2 \cdot 1 = 4,2 \text{ В.}$$

Згідно таблиці 2.1, всі модулі потребують більшу напругу, яка дорівнює 5 В, тому її необхідно збільшити. Для цього буде використано збільшувачий модуль MT3608 DC–DC [30], який приведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Збільшувачий модуль MT3608 DC–DC

2.4 Схема підключення компонентів

Після вибору всіх необхідних компонентів, та розрахувавши блок живлення, необхідно розробити схеми підключення. Це є дуже важливим етапом, який дозволить уникнути помилок при монтуванні всіх компонентів до купи. Принципова схема підключення логіки елементів міні-робота наведено на рисунку 2.5.

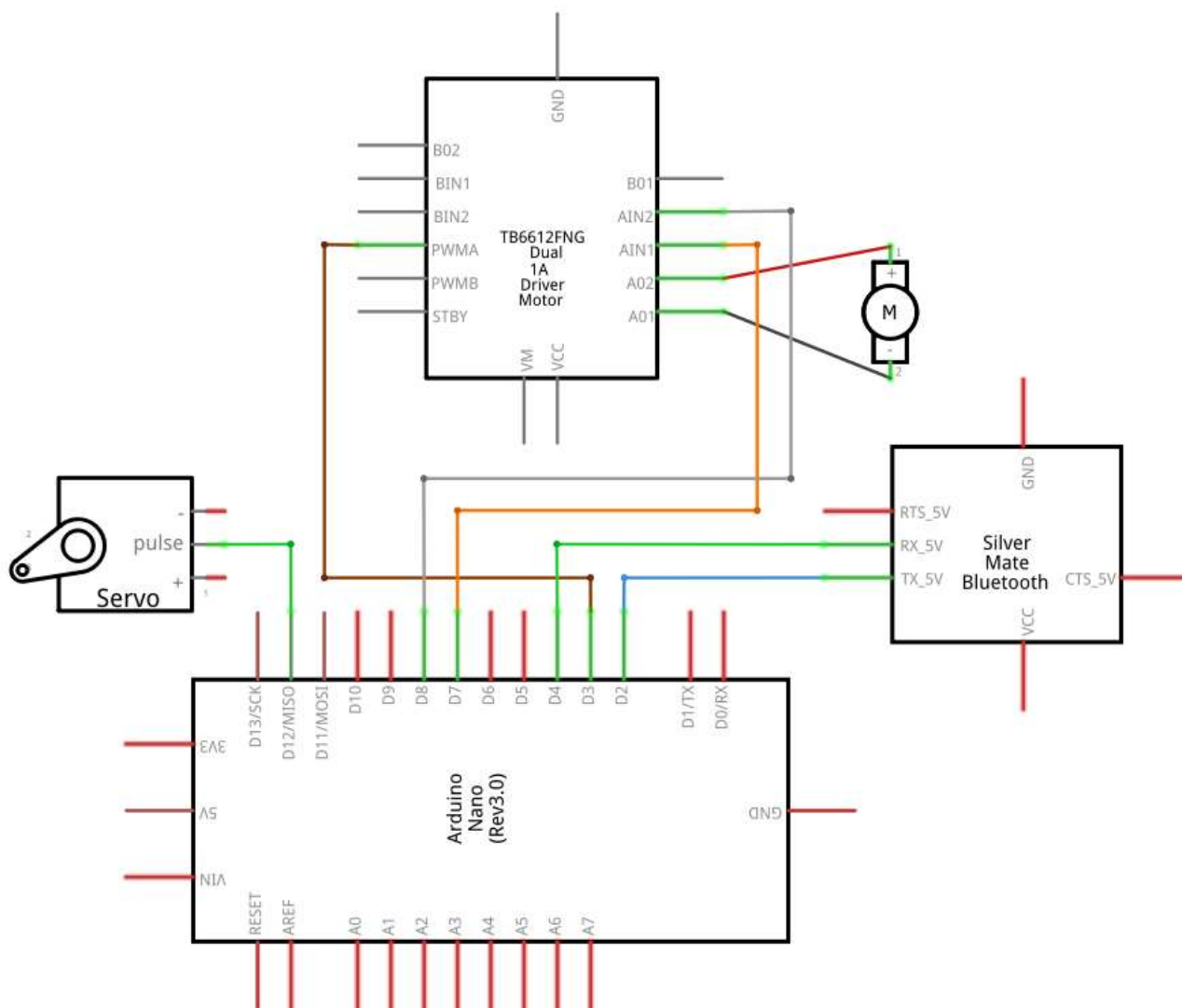


Рисунок 2.5 – Принципова схема підключення логіки елементів міні-робота

Макетна схема підключення логіки елементів міні-робота наведено на рисунку 2.6.

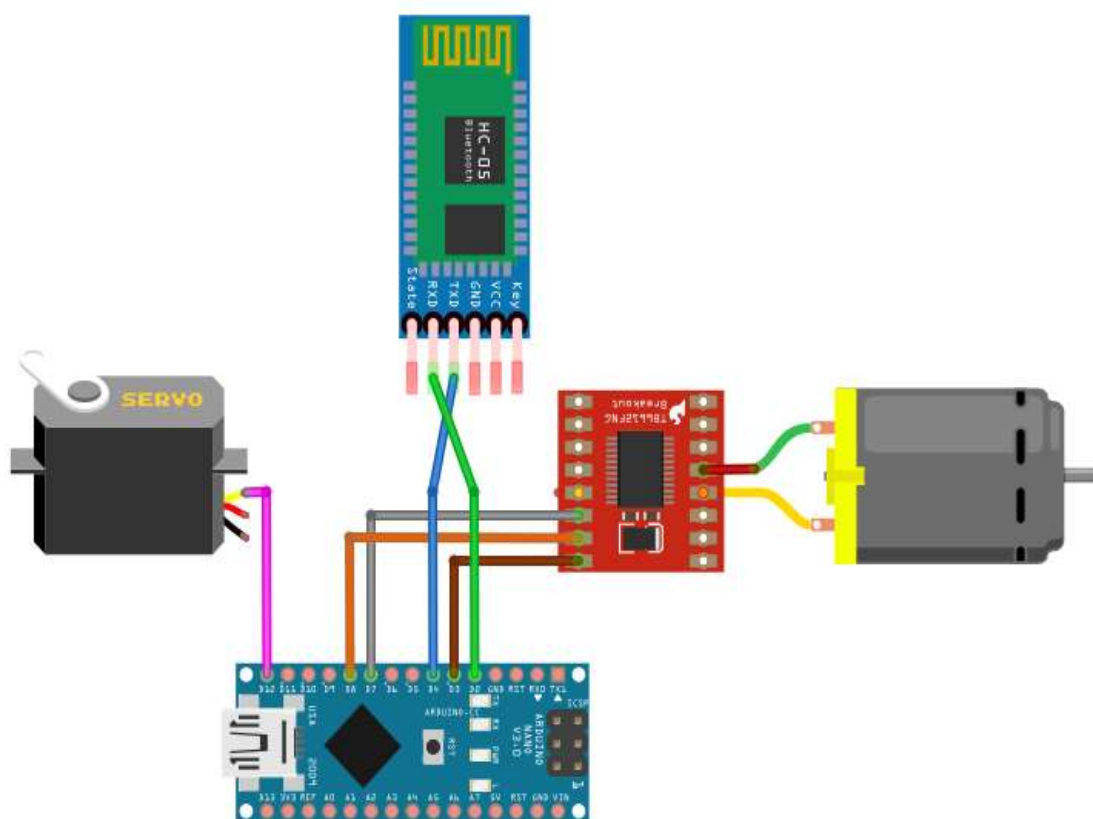


Рисунок 2.6 – Макетна схема підключення компонентів міні-робота

На рисунках 2.5 та 2.6 зображено ПКК Arduino Nano, Bluetooth модуль, рульовий серводвигун, ДДПС ТВ6612 та двигун постійного струму. На рисунках зображено лінії зв'язку компонентів між собою. Серводвигун під'єднано до цифрового піну 12, Bluetooth модуль під'єднано до цифрових пінів 2 та 4, ДДПС ТВ6612 під'єднано до цифрових пінів 7, 8 та цифрового піну 3 з підтримкою PWM.

Провівши розробку схеми підключення компонентів системи керування, необхідно також розробити схему підключення живлення. Вихідна напруга акумуляторного блоку дорівнює 4,2 В, проте відповідно до інформації з

технічної документації, встановлено, що така напруга занадто мала для живлення компонентів системи, а саме для живлення драйверу двигунів ТВ6612, ПМК Arduino Nano та Bluetooth приймача. Тому, таку напругу необхідно збільшити до 5 В. Проаналізувавши декілька джерел, було обрано збільшувачий модуль MT3608 DC–DC для постійного струму. На рисунку 2.7 приведено схему підключення живлення до модулів системи дистанційного керування міні-робота.

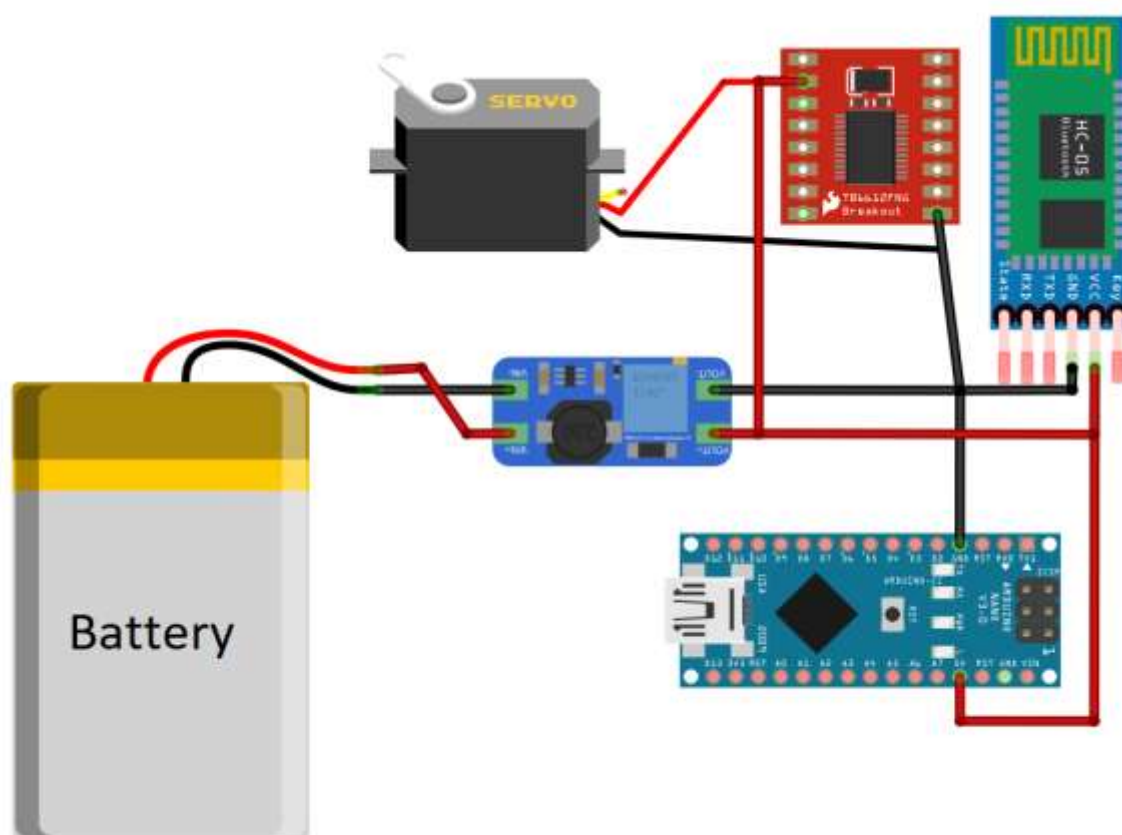


Рисунок 2.7 – Макетна схема підключення живлення до компонентів міні-робота

На рисунку 2.7 схематично зображено підключення живлення компонентів міні-робота, а саме: ПМК Arduino Nano, Bluetooth модуль, рульовий серводвигун, ДДПС ТВ6612, акумулятор та збільшувачий напругу модуль MT3608.

Також на рисунку 2.8 приведено принципову схему підключення живлення до електронних компонентів.

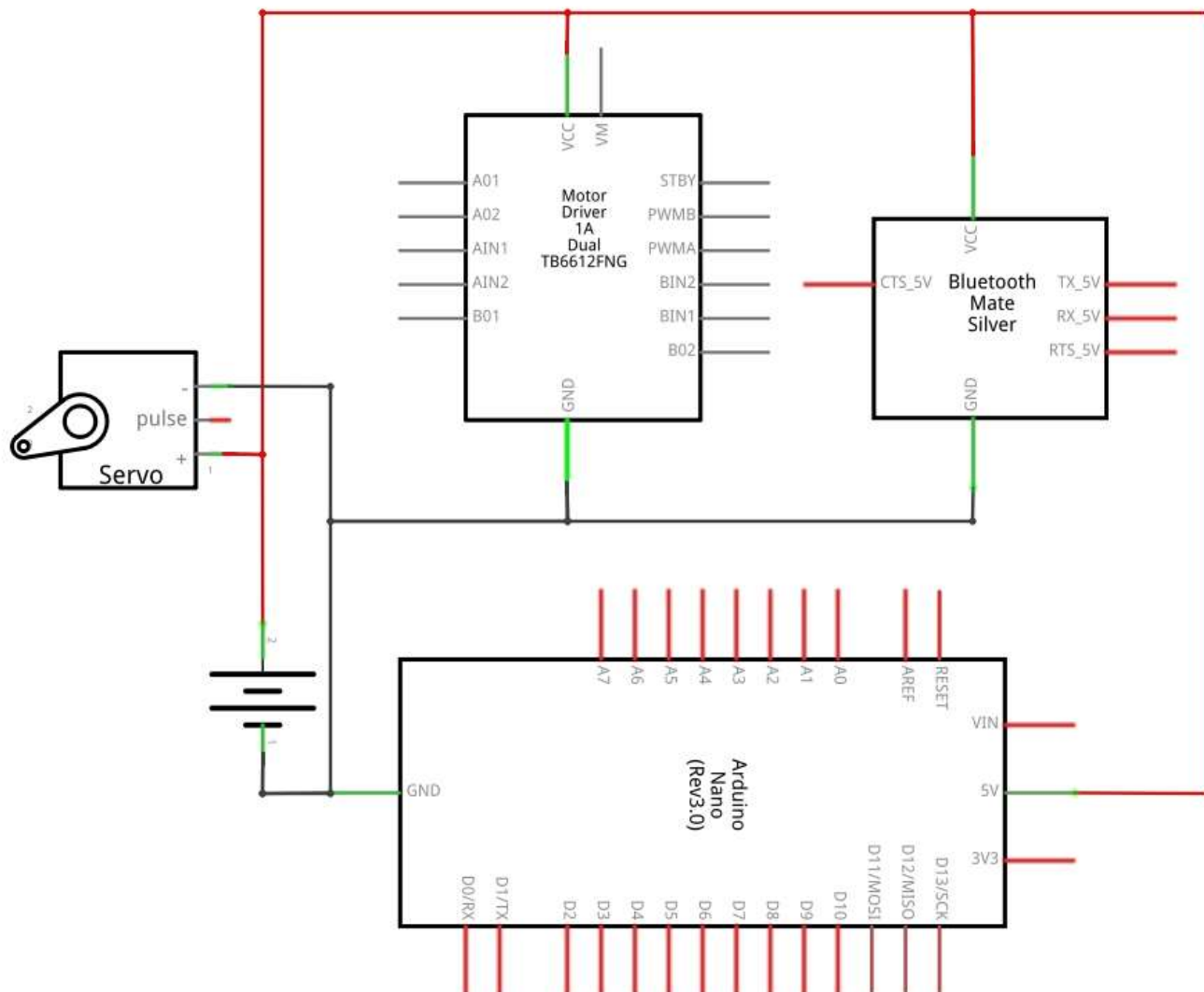


Рисунок 2.8 – Принципова схема підключення живлення до компонентів міні-робота

На рисунку 2.8 схематично зображено підключення живлення компонентів міні-робота, а саме: ПМК Arduino Nano, Bluetooth модуль, рульовий серводвигун, ДДПС TB6612, акумулятор та збільшувач напруги модуль MT3608. Останні два спрощено до одного елемента на схемі у вигляді джерела живлення.

2.5 Додаткове обладнання прототипу міні-робота

Будь-який робот має свою мету. Тому для надання йому потрібного функціоналу, зазвичай МР обладнують додатковим маніпулятором, камерою, електромагнітним або механічним захватом різної форми і конструкції, ріжучими або свердлильними оснастками, лазерами, динаміками, мікрофонами, дисплеями, іншим.

Для демонстрації можливостей керування за допомогою мобільного додатку було встановлено маніпулятор типу механічна рука [31]. Він надає можливість брати та переміщувати речі у просторі. На рисунку 2.9 зображено маніпулятор механічна рука.

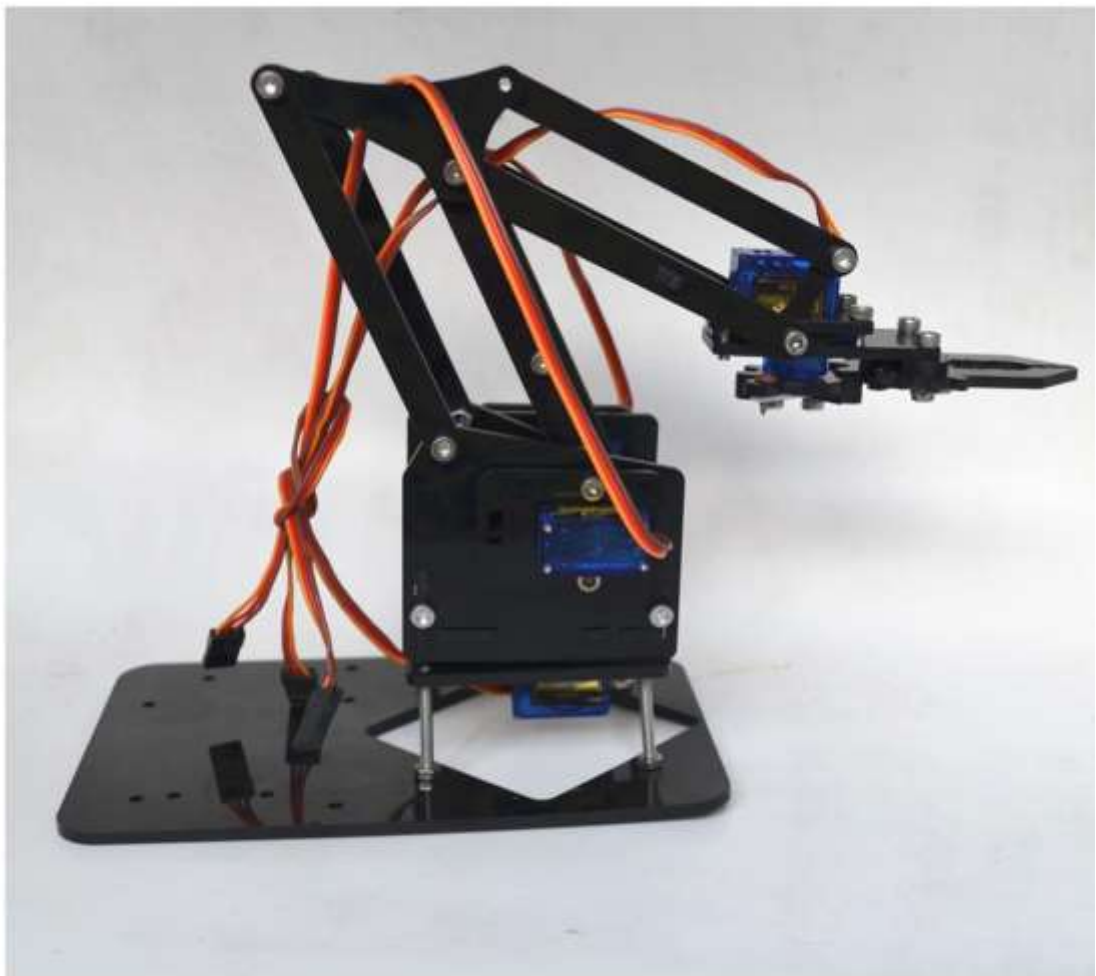


Рисунок 2.9 – Маніпулятор типу механічна рука

Такий маніпулятор є дуже розповсюдженим, дешевим та простим у програмуванні. Складається з пластикових елементів та чотирьох сервоприводів, кожен з яких відповідає за окрему дію: рух ліворуч або праворуч, рух вперед або назад, рух вгору або вниз та за рух захвату.

На рисунку 2.10 зображено макетну схему підключення логіки сервоприводів маніпулятора.

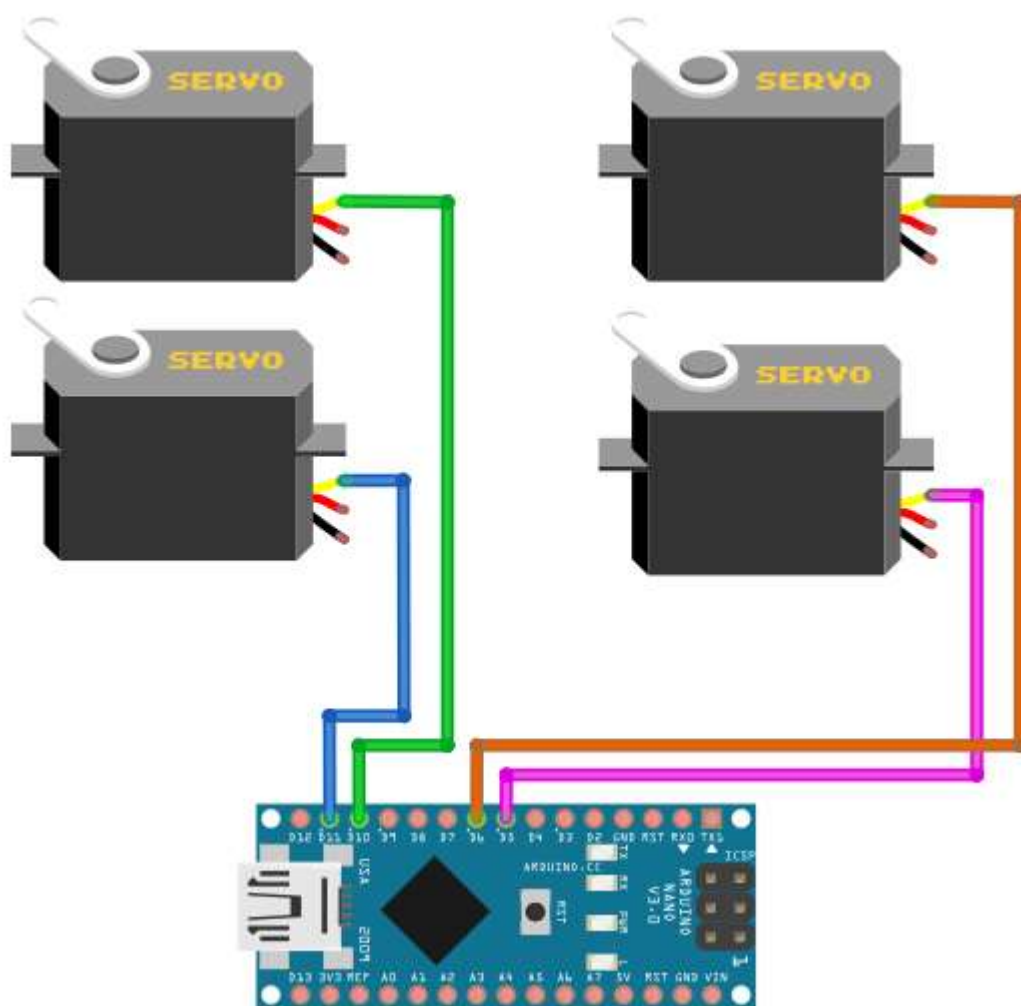


Рисунок 2.10 – Макетна схема підключення логіки сервоприводів маніпулятора типу механічна рука

На рисунку 2.11 зображено принципову схему підключення логіки сервоприводів.

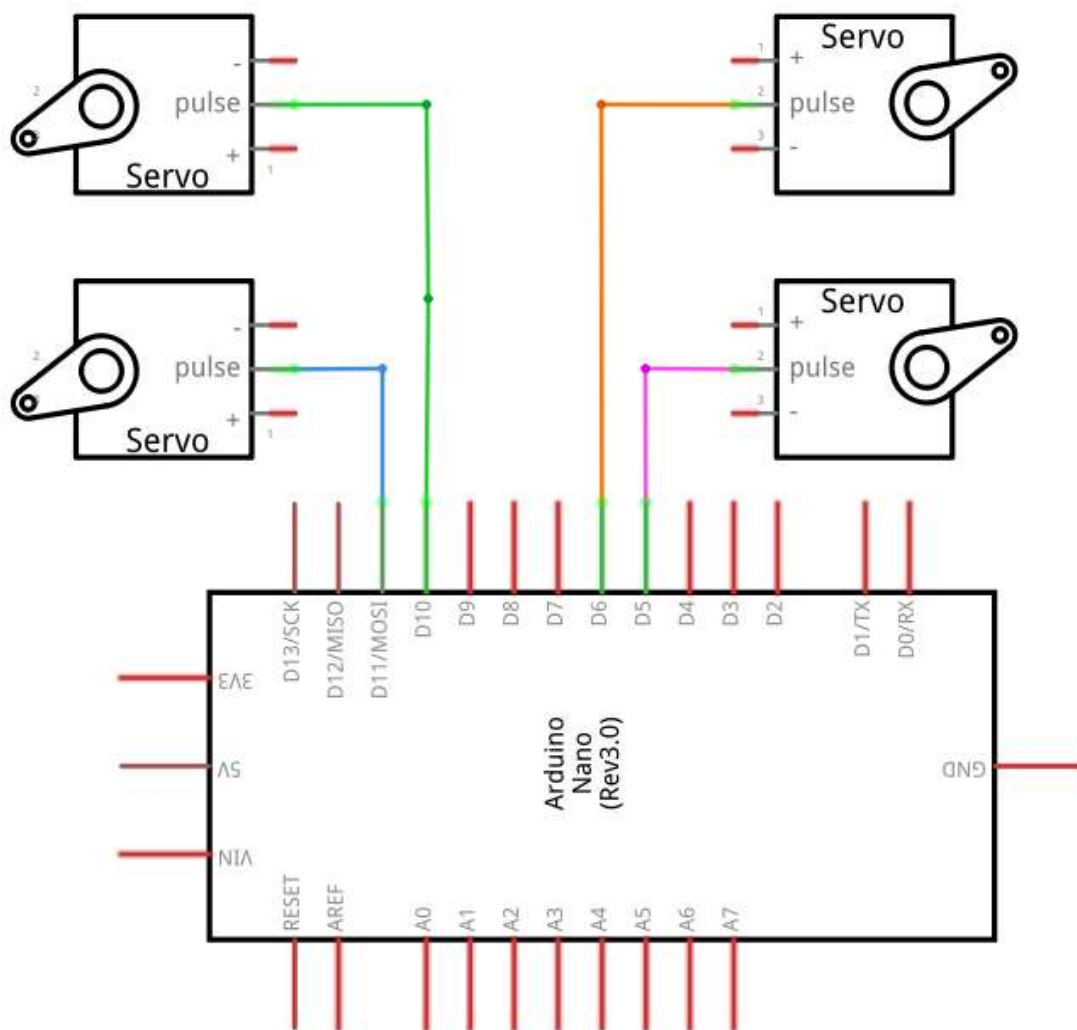


Рисунок 2.11 – Принципова схема підключення логіки сервоприводів маніпулятора

На рисунках 2.10 та 2.12 схематично зображено під'єднання логіки сервоприводів до ПКК Arduino Nano, а саме з'єднання сервоприводів з цифровими пінами 5, 6, 10 та 11.

Розробивши схему підключення додаткового маніпулятора, потрібно розробити схему підключення живлення сервоприводів. Враховуючи, що живлення сервоприводу повинно мати напругу від $4,5\text{ В}$ до 6 В , в схемі не обійтись без збільшуючого напругу модулю з $3,7\text{ В}$ до 5 В , для цього завдання

обрано модуль МТ3608. На рисунку 2.12 та 2.13 макетну та принципові схеми підключення живлення.

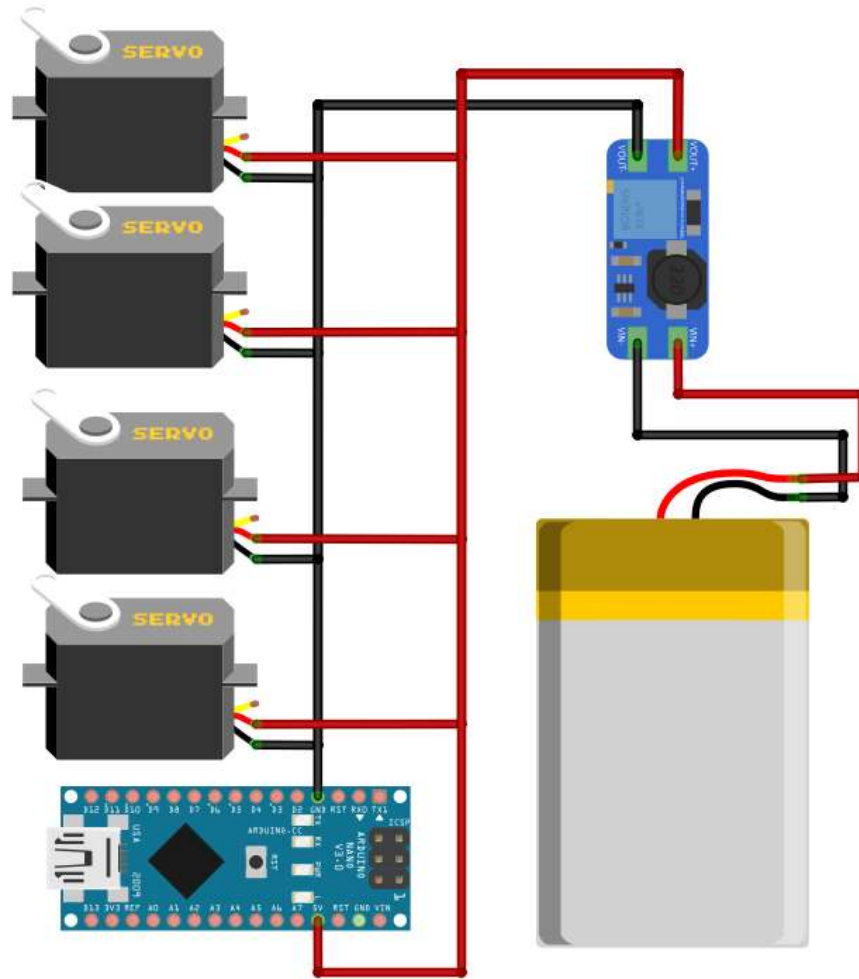


Рисунок 2.12 – Макетна схема підключення живлення сервоприводів

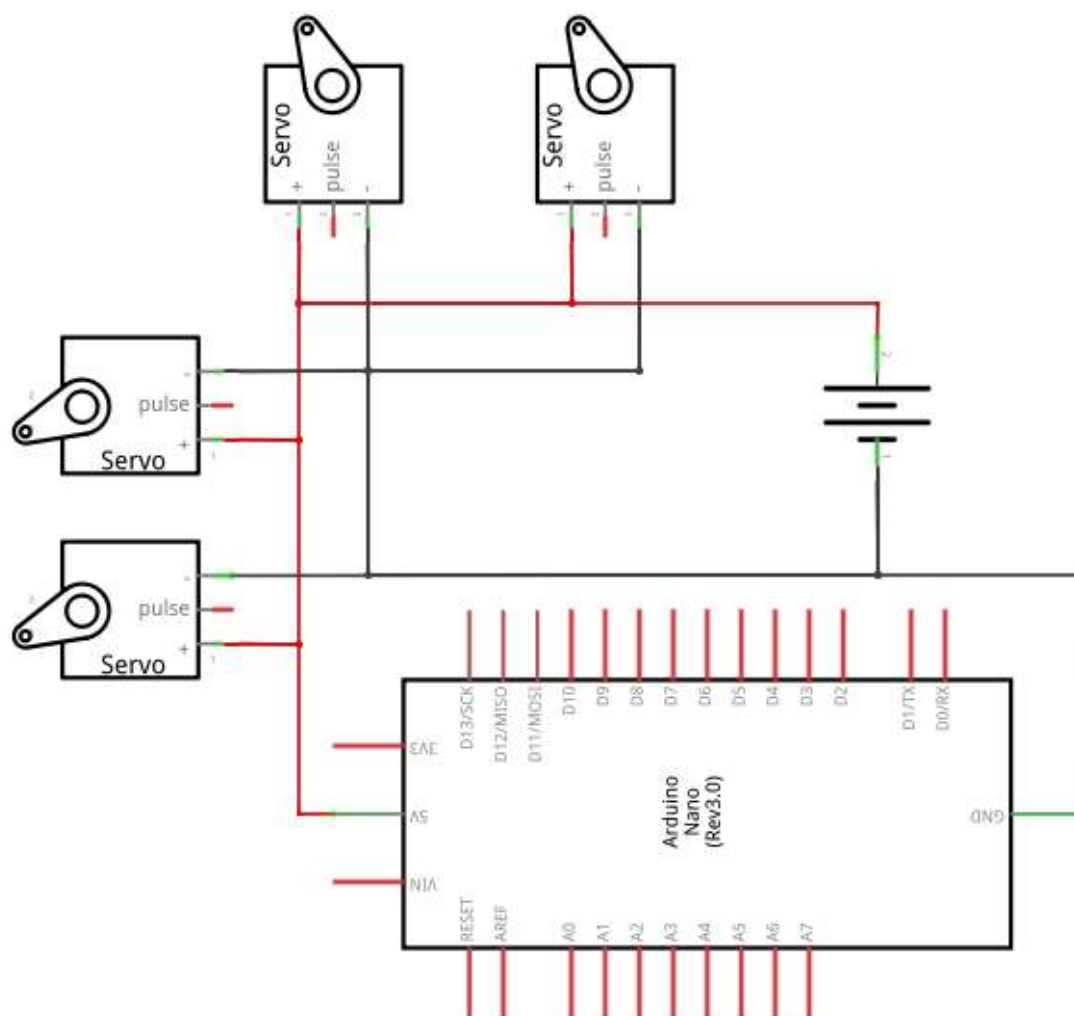


Рисунок 2.13 – Принципова схема підключення живлення до сервоприводів

На рисунках 2.12 та 2.13 зображено схематичне під'єднання ліній живлення між ППК Arduino Nano, сервоприводами та блоком живлення.

2.6 Схеми алгоритмів програми керування міні-робота

Перед розробкою програми необхідно розробити алгоритм роботи. Але перед самою розробкою алгоритму, необхідно визначити систему команд, які повинен обробляти та виконувати міні-робот. Як вже було визначено у постановці задачі, робот повинен рухатися вперед, назад, ліворуч, праворуч, а також робити зупинку двигунів. Для цього він повинен обробляти вхідні дані у

вигляді строки. Для відокремлення команд керування рухом, вони надсилаються з префіксом «mv», а повна команда виглядає як «mv 2990.48», тобто синтаксис команди включає префікс «mv», перше значення від 0 до 359 яке відповідає положенню джойстику по колу, а також значення від 0,00 до 1,00, яке відповідає за віддалення джойстику від центру.

Для точного керування маніпулятором роботу було розроблено систему команд які він буде отримувати від мобільного додатку, а саме:

- команди «mrl» та «mrr», відповідають за повороти маніпулятора ліворуч та праворуч;

- команди «mrf» та «mrb», відповідають за рух маніпулятора вперед та назад;

- команда «mra», відповідає за керування захватом маніпулятора;

- команди «mrh+» та «mrh-», відповідають за керування висотою маніпулятора.

Розробивши систему команд, перейдемо до розробки алгоритмів програми міні-робота. Перший алгоритм, який необхідно розробити та представити, це алгоритм запуску усіх необхідних процесів для можливості керування мобільним роботом. На рисунку 2.14 приведена схема алгоритму завантаження процесів для керування. Цей алгоритм є лінійний без жодного розгалуження.

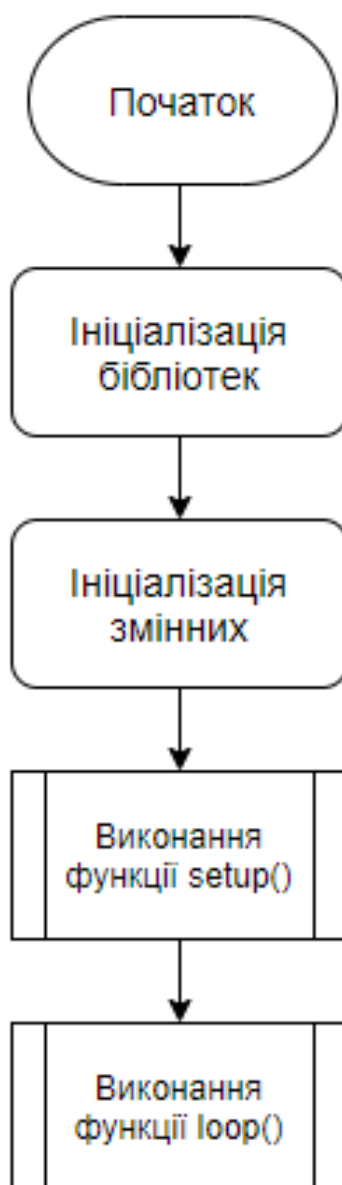


Рисунок 2.14 – Схема алгоритму завантаження мікроконтролеру

Під час наступного кроку, необхідно розробити схему алгоритму програми керування. Для більшої зручності, схему було спрощено, а саме узагальнено частину схеми відповідну за обробку команд керування та обробку інших команд. Так як в залежності від бажань користувача коефіцієнти керування рухом та кількість інших команд можуть бути змінені у будь-який момент перепрограмуванням ПКК. На рисунку 2.15, приведено узагальнену схему алгоритму серверної програми керування на МР. Дані оброблюються у

нескінченному циклі, який необхідний для постійного прийому даних від клієнту та їх постійної обробки.

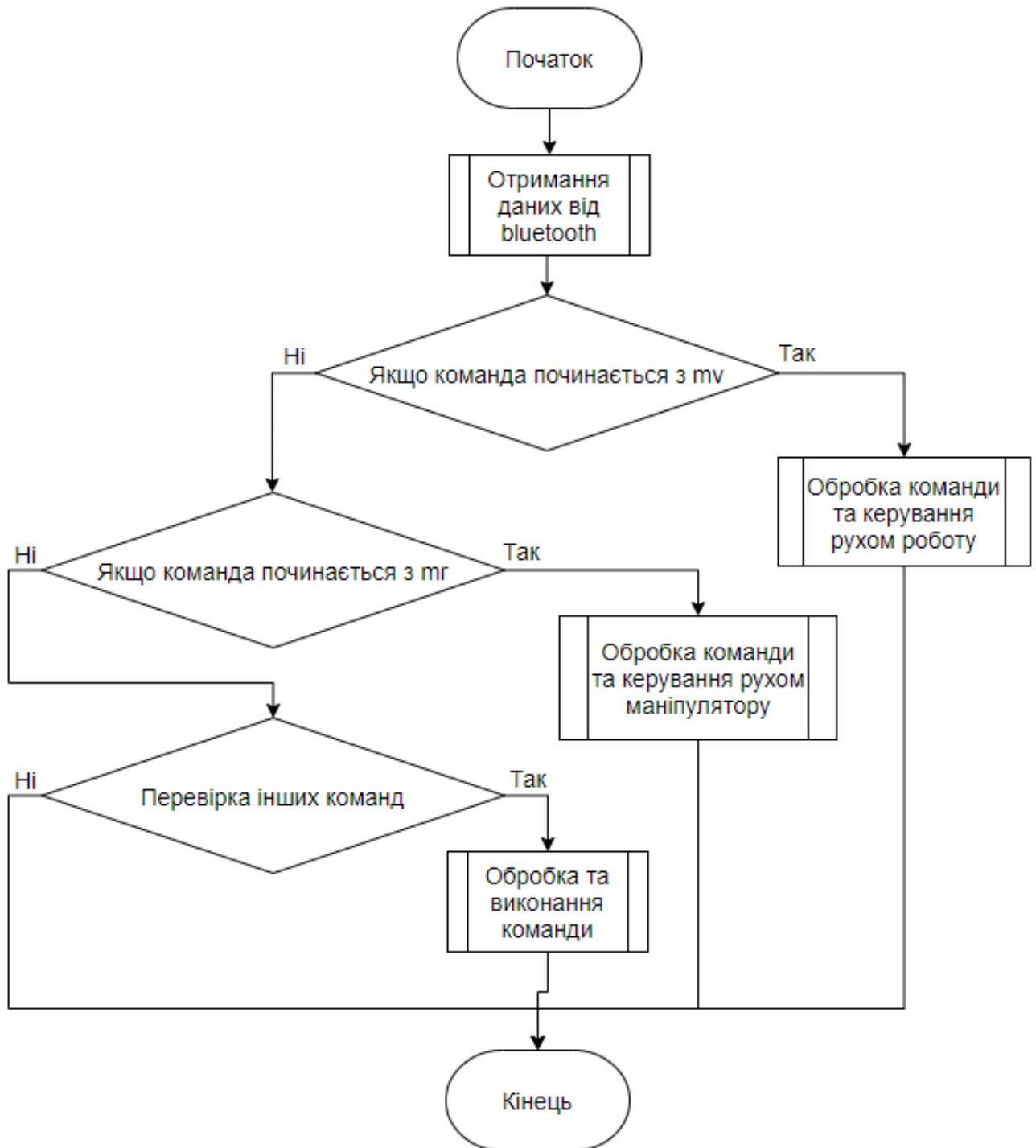
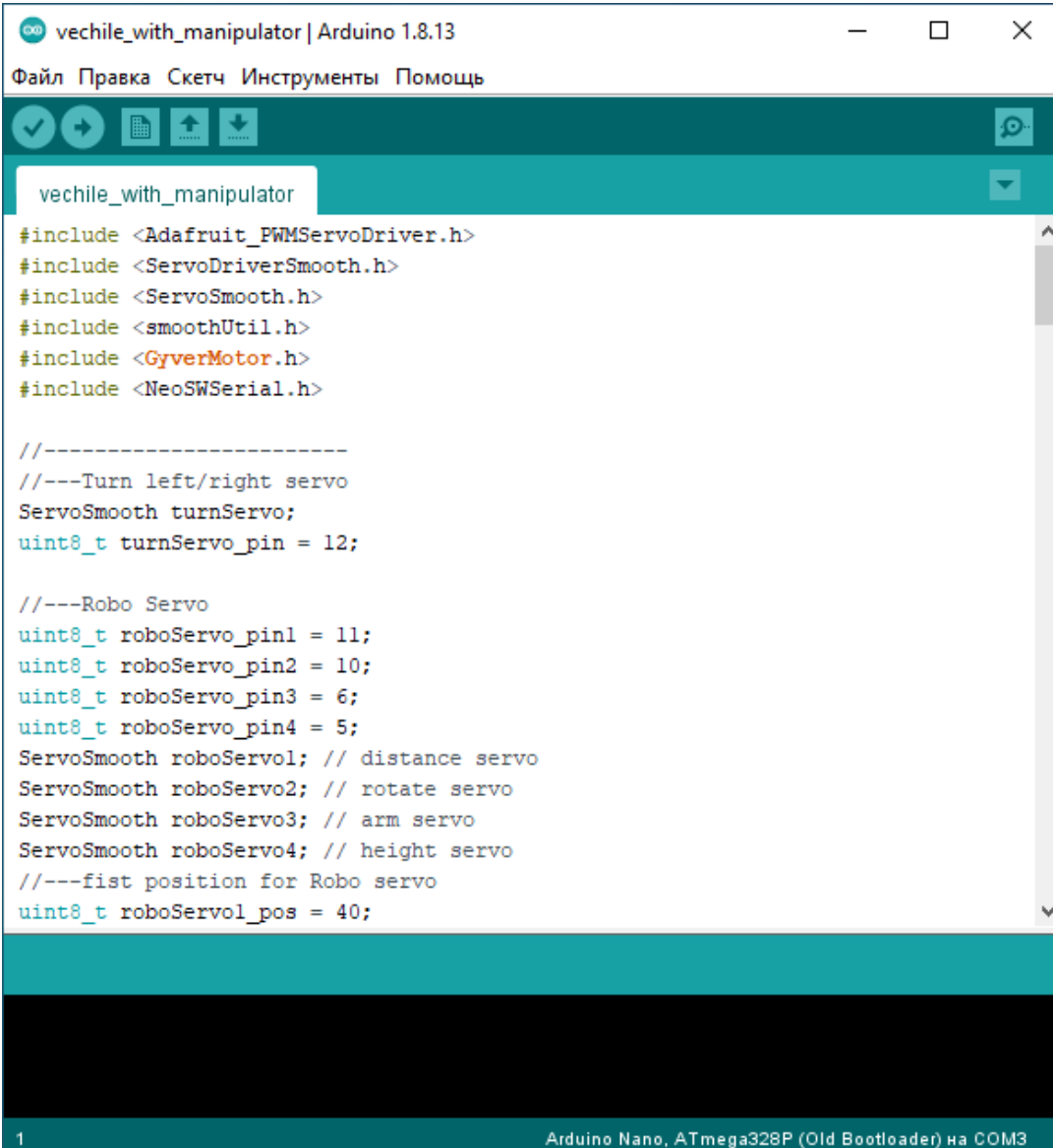


Рисунок 2.15 – Схема алгоритму прийому команд та їх обробки

2.7 Розробка програми міні-робота

Для керування міні-роботом важливо розробити програму керування, яка повинна приймати данні з клієнтської програми та обробляти їх. В якості мови програмування, буде використано мову C++ [32], тому що вона дуже поширена у робототехніці, через це знайти інформацію потрібних функцій є не складною задачею. Розробку програми робота проходить у програмному середовищі Arduino IDE [33]. На рисунку 2.16 зображено головне вікно програми Arduino.



```
vechile_with_manipulator

#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
#include <ServoDriverSmooth.h>
#include <ServoSmooth.h>
#include <smoothUtil.h>
#include <GyverMotor.h>
#include <NeoSWSerial.h>

//-----
//---Turn left/right servo
ServoSmooth turnServo;
uint8_t turnServo_pin = 12;

//---Robo Servo
uint8_t roboServo_pin1 = 11;
uint8_t roboServo_pin2 = 10;
uint8_t roboServo_pin3 = 6;
uint8_t roboServo_pin4 = 5;
ServoSmooth roboServo1; // distance servo
ServoSmooth roboServo2; // rotate servo
ServoSmooth roboServo3; // arm servo
ServoSmooth roboServo4; // height servo
//---fist position for Robo servo
uint8_t roboServo1_pos = 40;
```

1 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) на COM3

Рисунок 2.16 – Головне вікно програмного середовища Arduino

Спочатку необхідно підключити бібліотеки, функції з яких будуть використані у програмі:

```
#include <ServoSmooth.h>
#include <GyverMotor.h>
#include <NeoSWSerial.h>
```

Бібліотека ServoSmooth використовується для керування сервоприводами. Бібліотека GyverMotor використовується для керування двигунами постійного струму за допомогою плат драйверів. Бібліотека NeoSWSerial використовується для роботи з Bluetooth модулем через програмний серіал порт зв'язку.

Ці бібліотеки було обрано через їх невеликі розміри, стабільність роботи та відсутність конфліктів при використанні ресурсів мікроконтролера.

Після ініціалізації потрібних бібліотек потрібно визначити потрібні змінні а також проініціювати сервоприводи, а також роботу з двигуном та Bluetooth модулем:

```
ServoSmooth turnServo;
uint8_t turnServo_pin = 12;
uint8_t roboServo_pin1 = 11;
uint8_t roboServo_pin2 = 10;
uint8_t roboServo_pin3 = 6;
uint8_t roboServo_pin4 = 5;
ServoSmooth roboServo1; // distance servo
ServoSmooth roboServo2; // rotate servo
ServoSmooth roboServo3; // arm servo
ServoSmooth roboServo4; // height servo
uint8_t roboServo1_pos = 40;
uint8_t roboServo2_pos = 90;
uint8_t roboServo3_pos = 60;
```

```

uint8_t roboServo4_pos = 150;
NeoSWSerial bt_hc06(4,2);
int8_t motor_pin1 = 7;
uint8_t motor_pin2 = 8;
uint8_t motor_pwmPin = 3;
GMotor motor(DRIVER3WIRE, motor_pin1, motor_pin2, motor_pwmPin,
HIGH);

String readData; //input data from serial
int degree = 0;
float distance = 0.00;

```

Наступний крок – це запрограмувати функцію початкової ініціалізації мікроконтролеру:

```

void setup() {
  bt_hc06.begin(9600);
  bt_hc06.setTimeout(10);
  turnServo.attach(turnServo_pin);
  turnServo.write(90); // setup position
  roboServo1.attach(roboServo_pin1); //distance
  roboServo1.write(roboServo1_pos);
  roboServo2.attach(roboServo_pin2); //rotate
  roboServo2.write(roboServo2_pos);
  roboServo3.attach(roboServo_pin3); //arm
  roboServo3.write(roboServo3_pos);
  roboServo4.attach(roboServo_pin4); //height
  roboServo4.write(roboServo4_pos);
  motor.setMode(FORWARD);
  motor.setDirection(REVERSE);
}

```

Далі запрограмуємо нескінченний цикл для прийому та обробки даних від Bluetooth модулю. Дані отримуються у вигляді строки типу String, тому необхідно зчитати вхідний буфер модулю, проаналізувати та обробити строку даних на предмет команди керування та виконати відповідні інструкції:

```
void loop() {
  if(bt_hc06.available()>0){
    readData = bt_hc06.readString();
    if(readData.substring(0,2) == "mv")
      move_chassis(readData);
    else if(readData.substring(0,2) == "mr")
      move_robot(readData);
  }
}
```

В залежності від того який саме префікс має вхідна команда, дані передаються для обробки у функції керування пересування шасі робота, або встановленого на ньому маніпулятора. Код функцій пересування та керування маніпулятором наведено у додатку А.

Уразі якщо було прийнято команду, яка не буде запрограмована у програмі, її буде проігноровано.

2.8 Розробка клієнтської програми

Розробивши програму міні-роботу, необхідно розробити мобільний додаток, який буде відправляти ці команди. В якості мови програмування було обрано мову програмування Dart [34] та фреймворк Flutter [35], тому що цей фреймворк та мова програмування надають змогу швидко розробити мобільний додаток незалежний від апаратних особливостей заліза цільового пристрою,

мають необхідні інструменти та бібліотеку для роботи з Bluetooth модулем у режимі Serial Port Protocol.

Для розробки мобільного додатку було обрано програмне середовище VS Code від Microsoft [36]. Воно надає можливість створювати, редагувати та зневаджувати програми на багатьох мовах програмування на вибір користувача. Також вона має зручні вбудовані функції автодоповнення коду, інструменти для роботи з Git та обширний магазин додатків. Ця програма розповсюджується безкоштовно, та доступна для всіх версій платформ. Окремо можна відзначити, що вона потребує набагато менше ресурсів ЕОМ користувача під час роботи, порівняно з Android Studio від Google [37]. На рисунку 2.17 зображено головне вікно програми VS Code.

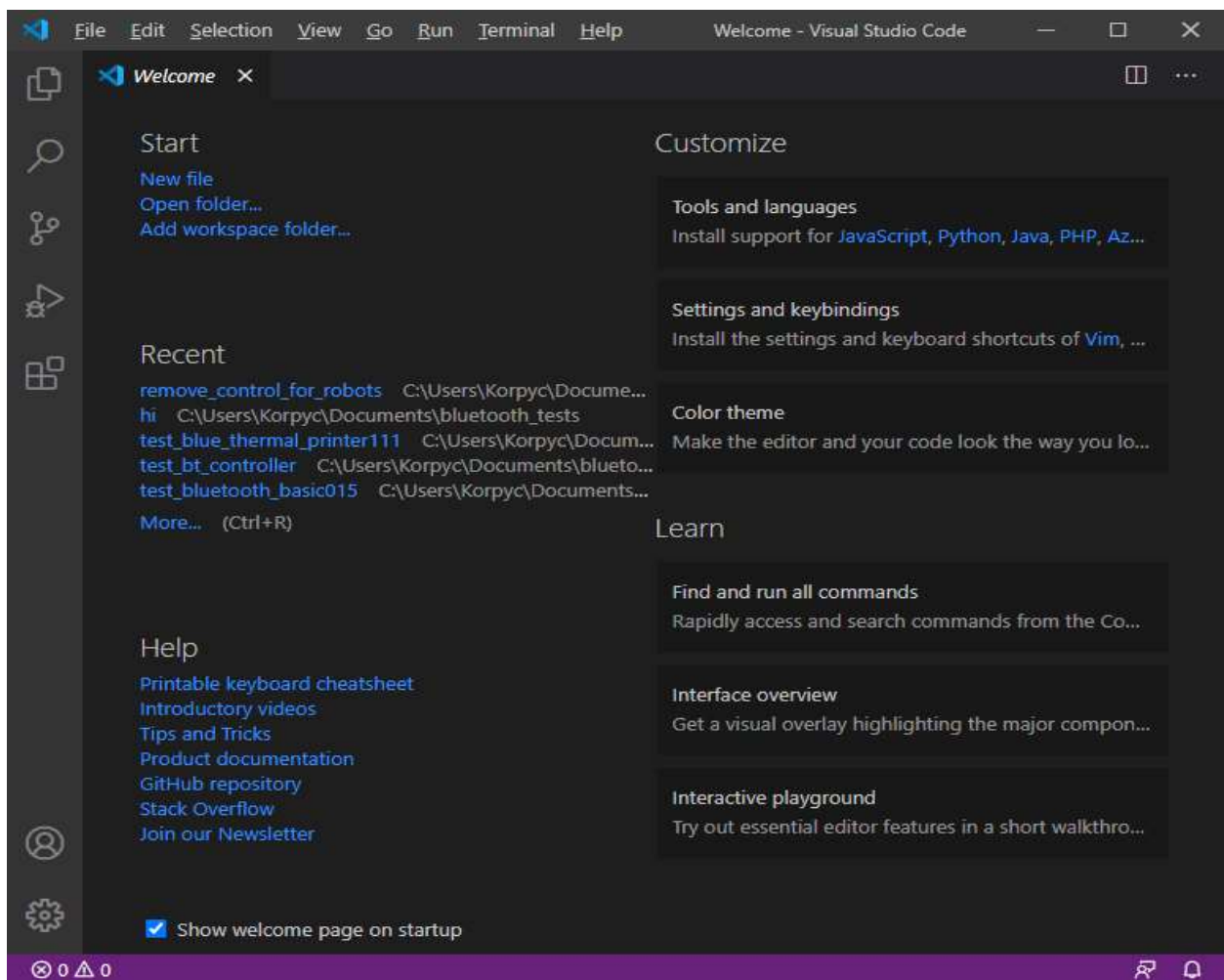


Рисунок 2.17 – Головне вікно програми VS Code

Особливістю при розробці додатків за допомогою фреймворку Flutter є швидкість компіляції, та незалежність від нативних ресурсів цільової системи мобільного пристрою. Додаток дуже легко масштабувати, також ця мова програмування є дуже прогресивною, та завдяки просуванню її на ринку корпорацією Google має велику кількість готових до застосування бібліотек.

Для розробки мобільного додатку підключимо наступні бібліотеки прописавши їх у файлі `pabspec.yaml`:

- flutter_bluetooth_serial: ^0.2.2
- provider: ^4.3.2+2
- control_pad: ^1.1.1+1
- flutter_svg: ^0.19.0

Перша бібліотека у списку потрібна для роботи з Bluetooth HC-06 модулем [38]. Бібліотека Provider надає змогу керувати станом частин додатку через надання доступу до змінних з будь-якої частини програми [39]. Бібліотека Control Pad надає змогу використати зручний джойстик керування [40]. Flutter SVG дозволяє працювати з векторними зображеннями у додатку [41].

Структура проекту будується за типом пращур – потомок. Тобто будується модель вкладених один в одного елементів типу Widget [42]. Точкою входу програми є функція `main()`, яка в свою чергу викликає метод `runApp()` [43]. Навігація між сторінками виконується за допомогою вбудованого класу Navigator [44].

Код програми мобільного додатку наведено у додатку Б.

2.9 Висновки до розділу 2

У другому розділі обґрунтовано вибір електронних компонентів для створення прототипу міні-робота та обрано метод для організації системи дистанційного керування міні-робота. Розраховано блок живлення системи керування міні-робота який забезпечить живлення периферію роботу.

Розроблено схеми підключення компонентів системи, а також схеми алгоритмів програми керування.

Розроблено систему команд для керування міні-роботом. Обрано мову програмування C++ для розробки серверної програми системи дистанційного керування на базі мікроконтролеру Arduino Nano. Розроблено саму програму.

Обрано в якості мови програмування мобільного додатку мову Dart та фреймворк Flutter. Розроблено мобільний додаток для системи дистанційного керування MR.

3 ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

3.1 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення

Додаток створено для пристроїв з операційною системою Android.

Системні вимоги:

- Android – версія 7.0.1 і вище;
- ОЗП – не менше 256 Мб для програми;
- процесор з архітектурою Arm або Intel X86;
- оперативна пам'ять – не менше 1024 Мб;
- сенсорний екран;
- рекомендовано використовувати останню доступну версію оновлення програмного забезпечення для мобільного пристрою.

3.2 Завантаження, оновлення, видалення мобільного додатку

Мобільний додаток встановлюється за допомогою файлу інсталяції у форматі apk, або з магазину додатків Google Play [45]. Мобільний додаток оновлюється за допомогою магазину додатків.

Щоб видалити мобільний додаток, потрібно відкрити налаштування на своєму мобільному пристрої та видалити мобільний додаток знайшовши його в підменю встановлених додатків.

Щоб запустити мобільний додаток, потрібно знайти додаток у списку інсталюваних додатків та натиснути на його зображення. На рисунку 3.1 та 3.2 зображено увімкнений додаток у вертикальному та горизонтальному відображеннях.



Рисунок 3.1 – Головне вікно додатку у вертикальному відображенні

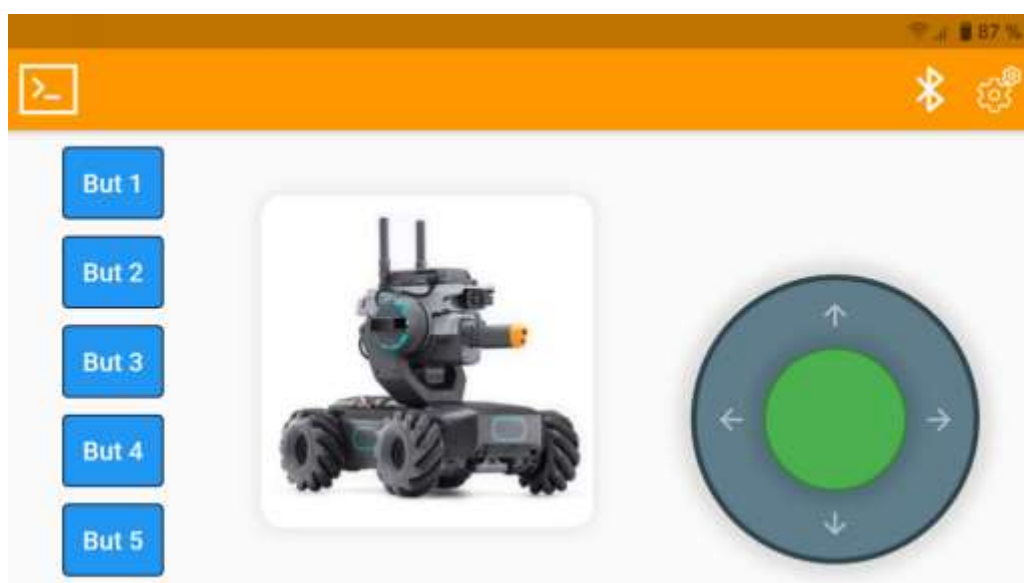


Рисунок 3.2 – Головне вікно додатку у горизонтальному відображенні

На головному вікні додатку можна побачити органи керування у вигляді джойстику та п'ять програмованих кнопок для надсилання міні-роботу потрібних користувачу команд. У верхній частині екрану розташовані елементи керування додатком, а саме кнопка відкриття сторінки термінального зв'язку, кнопка вибору пристрою для підключення та кнопка відкриття сторінки налаштувань.

3.3 Робота з мобільним додатком

Після запуску мобільного додатку користувачу потрібно підключити міні-робота. Для цього потрібно перейти до меню підключення Bluetooth пристроїв натиснувши на відповідну кнопку в верхній частині екрану. На рисунку 3.3 зображено кнопку для підключення Bluetooth пристроїв.



Рисунок 3.3 – Кнопка для підключення Bluetooth пристроїв

У разі якщо користувач не увімкнув Bluetooth на пристрої, буде видано попередження про помилку з проханням увімкнути Bluetooth, на рисунку 3.4 зображено помилку. На рисунку 3.5 зображено меню вибору пристрою для керування.

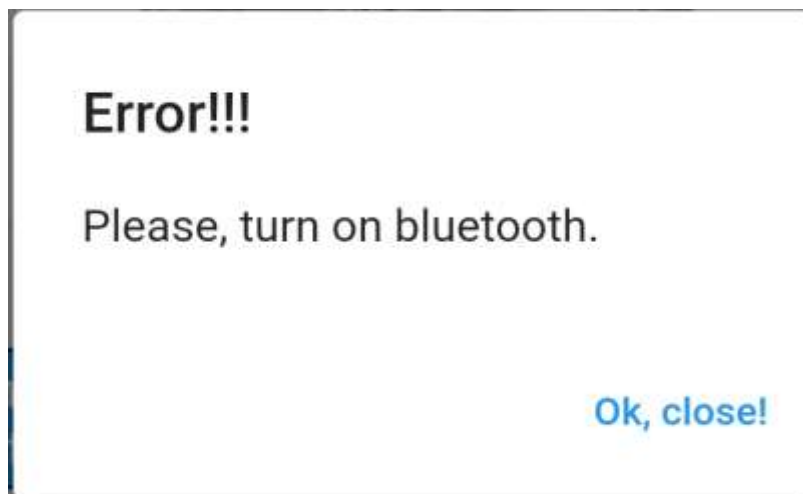


Рисунок 3.4 – Повідомлення про помилку, уразі вимкненого Bluetooth

Після переходу в це меню відбувається пошук пристроїв доступних для з'єднання та готові пристрої мають текст чорного кольору.



Рисунок 3.5 – Меню вибору Bluetooth пристроїв

Для вибору пристрою для керування потрібно натиснути на нього. Після цього додаток повернеться на головне вікно, та відбудеться з'єднання.

Упевнитись у з'єднанні можна побачивши відповідний напис у верхній частині екрану. На рисунку 3.6 зображено додаток з підключеним до нього Bluetooth модулем HC-06.

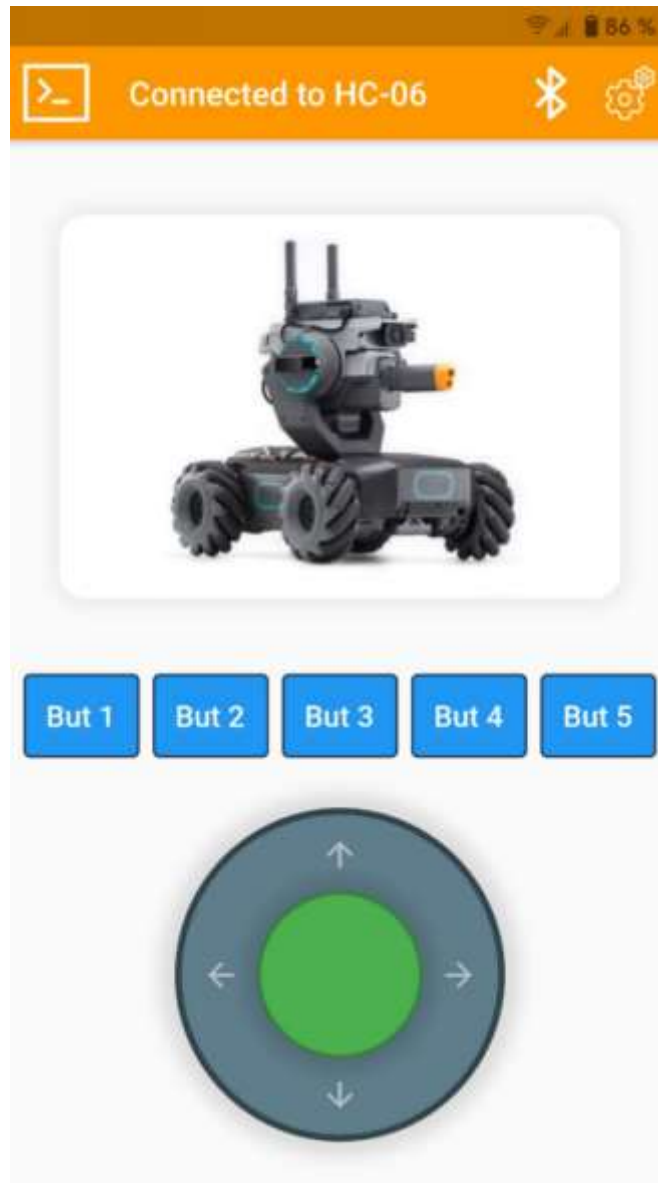


Рисунок 3.6 – Головне вікно з підключеним пристроєм

Після того як користувач підключив пристрій для керування, він може відразу переміщуючи зелений джойстик керувати рухом роботи. На рисунку 3.7 зображено приклад взаємодії з джойстиком.

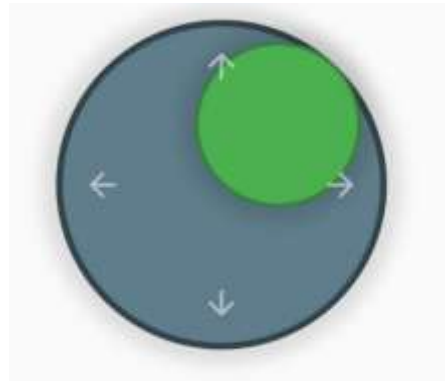


Рисунок 3.7 – Приклад взаємодії з джойстиком для контролю рухом роботи

Уразі відсутності підключення до Bluetooth пристрою, при взаємодії з джойстиком, на екрані буде відображено повідомлення про помилку, через відсутність з'єднання. На рисунку 3.8 зображено повідомлення про помилку.

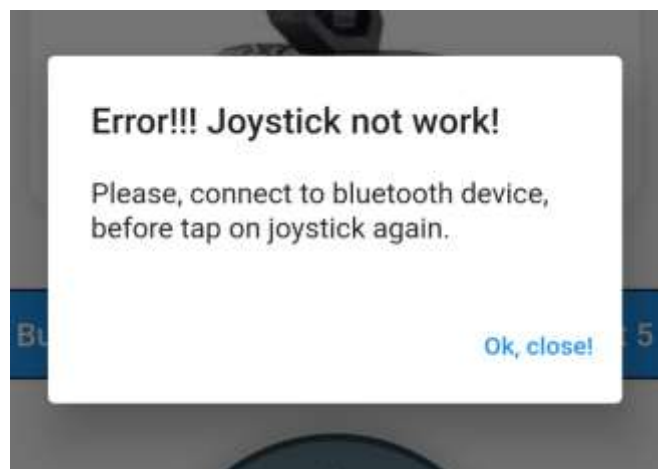


Рисунок 3.8 – Повідомлення про відсутність з'єднання при взаємодії з джойстиком

Для того, щоб користувач міг надіслати команди налаштувань на пристрій, створено сторінку термінального зв'язку. Щоб скористатись сторінкою термінального зв'язку користувач повинен натиснути на відповідну кнопку у

верхній лівій частині сторінки. На рисунку 3.9 зображено кнопку для переходу на сторінку терміналу з підключеним пристроєм.



Рисунок 3.9 – Кнопка переходу на сторінку терміналу з пристроєм

У разі якщо користувач не підключив Bluetooth пристрій, він буде попереджений повідомленням на екрані. На рисунку 3.10 зображено повідомлення про відсутність підключення уразі спроби перейти на сторінку терміналу без підключеного Bluetooth пристрою.

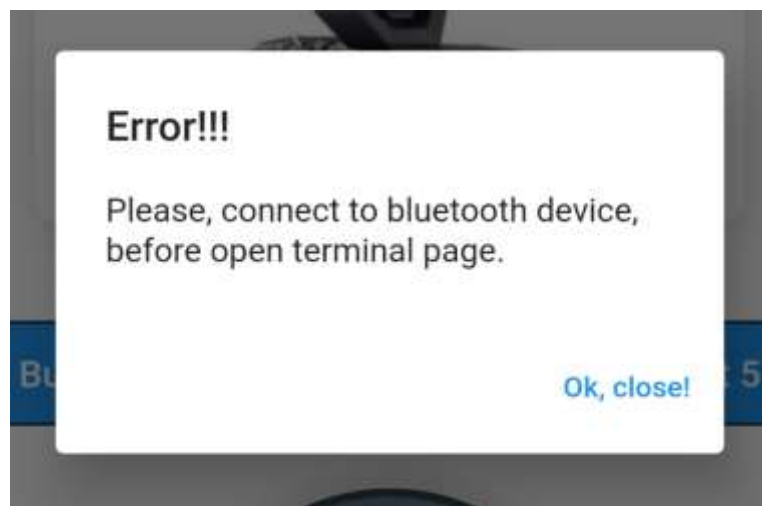


Рисунок 3.10 – Повідомлення про помилку при натисканні кнопки переходу на сторінку терміналу з пристроєм

На рисунках 3.11 та 3.12 зображено сторінку терміналу, та приклад роботи з терміналом.

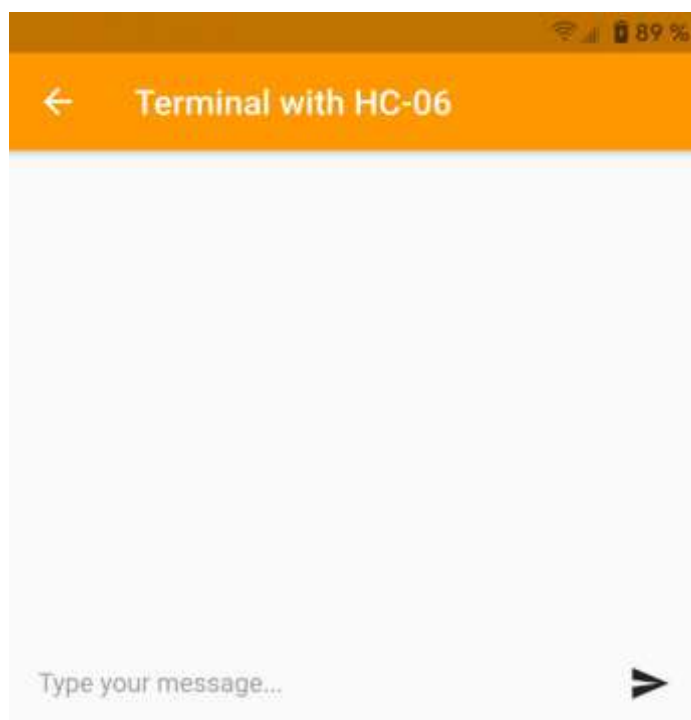


Рисунок 3.11 – Вікно Terminal

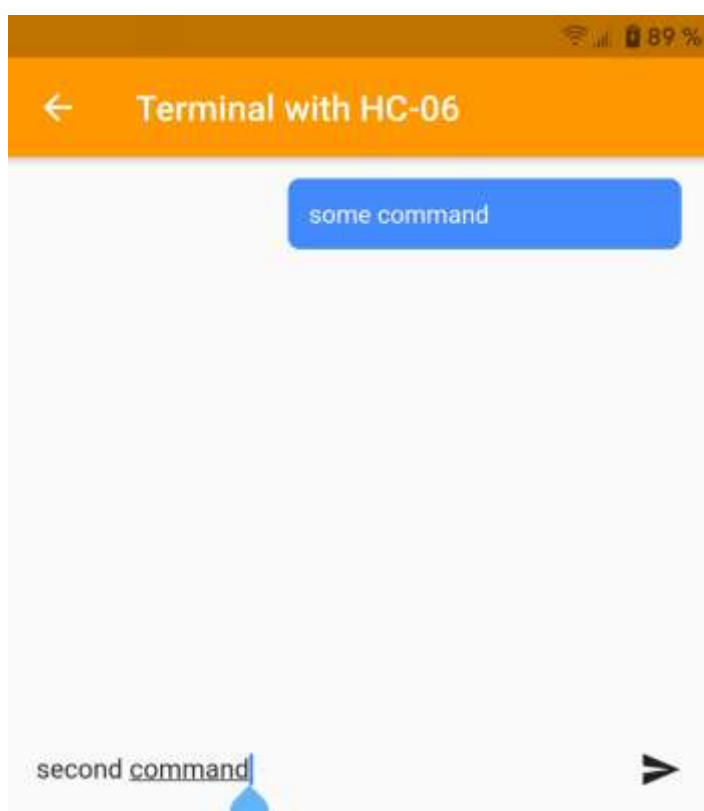


Рисунок 3.12 – Робота з вікном Terminal

Також для того, щоб користувач міг відправляти команди на пристрій, створено програмовані кнопки, які можливо один раз запрограмувати та надсилати бажані команди повторно будь-яку кількість разів. На рисунку 3.13 зображено програмовані кнопки.



Рисунок 3.13 – Програмовані кнопки

Уразі, якщо користувач не підключив пристрій для керування, на екрані відобразиться повідомлення, що кнопка не працює. На рисунку 3.14 зображено повідомлення про помилку у раз відсутності підключеного пристрою.

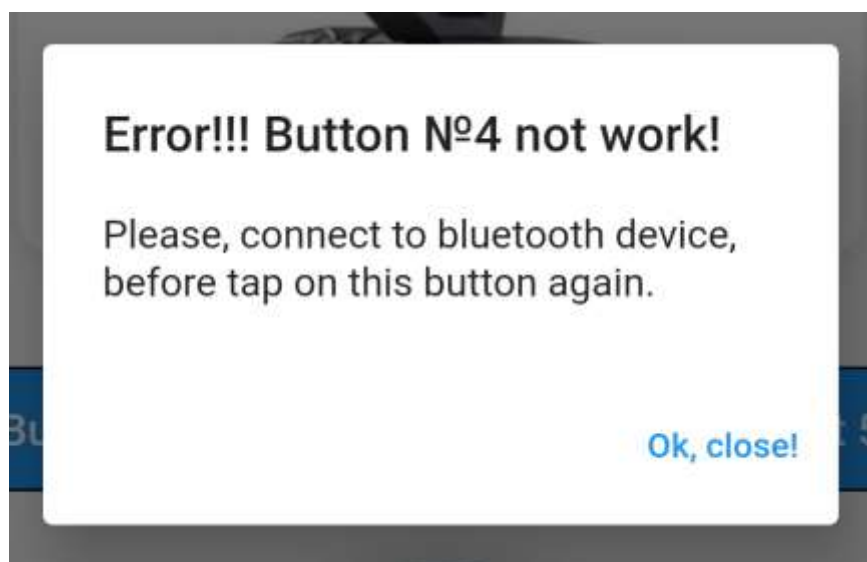


Рисунок 3.14 – Повідомлення про відсутність підключення до пристрою при натисканні програмованої кнопки

Для програмування кнопки під бажану команду потрібно виконати довге натискання на потрібній кнопці, та відкриється її меню. Збереження команди та бажаної назви кнопки відбувається автоматично, щоб вийти з меню налаштувань кнопки потрібно натиснути кнопку назад. На рисунку 3.15 зображено вікно налаштувань кнопки.



Рисунок 3.15 – Налаштування програмованої кнопки

Після відкриття налаштування потрібної кнопки користувачу потрібно ввести за бажанням назву для кнопки та бажану команду, потім для підтвердження змін користувач повинен натиснути кнопку під назвою «Apply changes». На рисунках 3.16 – 3.17 зображено приклад вводу нової назви, вводу команди.



Рисунок 3.16 – Введення нової назви для кнопки

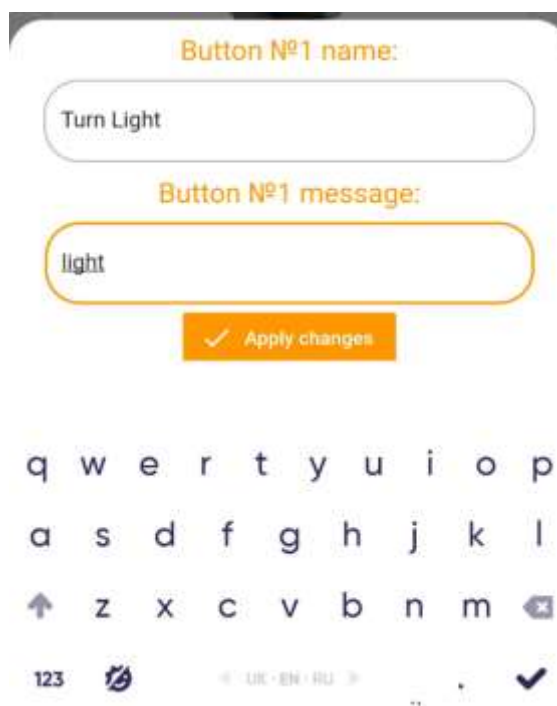


Рисунок 3.17 – Введення нової команди

На рисунку 3.18 зображено результат програмування кнопки.



Рисунок 3.18 – Результат змінення назви та команди запрограмованої кнопки

У разі, якщо користувач не запрограмував кнопку, на екрані побачимо попередження зображене на рисунку 3.19.

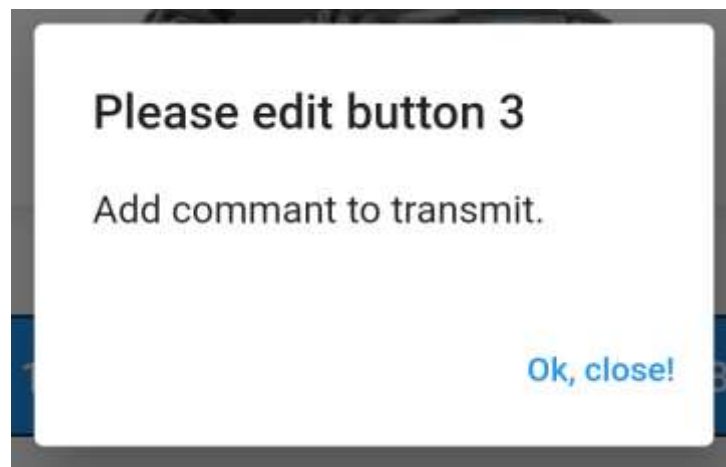


Рисунок 3.19 – Помилка у разі відсутності запрограмованої команди

Також користувач може скористатись меню налаштувань, зображеному на рисунку 3.20. В ньому він може обрати бажану кількість запрограмованих кнопок, а також увімкнути додатковий режим керування маніпулятором, який може бути встановлений на міні-роботі.

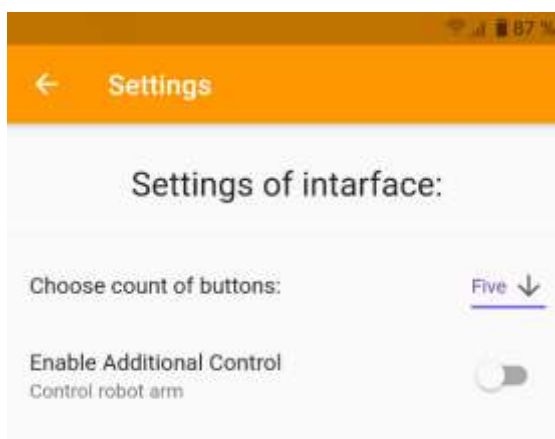


Рисунок 3.20 – Вікно налаштувань

На рисунку 3.21 та 3.22 зображено головну сторінку у разі ввімкнення додаткового режиму управління у вертикальному та горизонтальному відображенні.



Рисунок 3.21 – Головне вікно з кнопкою переключення на додаткові органи керування у вертикальному відображенні

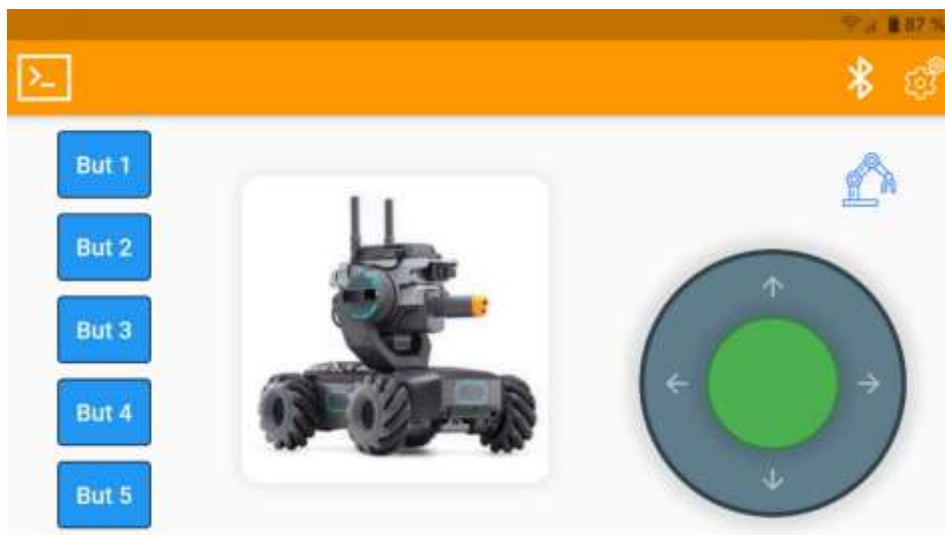


Рисунок 3.22 – Головне вікно з кнопкою переключення на додаткові органи керування у горизонтальному відображенні

Для відображення додаткових органів керування користувач повинен натиснути на кнопку зміни зображену на рисунку 3.23.



Рисунок 3.23 – Кнопка відображення додаткових органів керування

Уразі, якщо користувач намагатиметься змінити органи керування натискаючи кнопку увімкнення додаткового режиму та не підключив МР, на екрані відобразиться повідомлення з помилкою про відсутність з'єднання. На рисунку 3.24 зображено повідомлення про помилку уразі відсутності з'єднання при натисканні кнопки зміни органів керування.

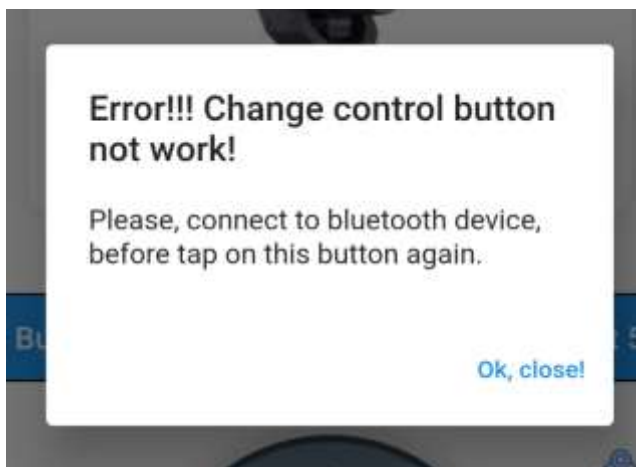


Рисунок 3.24 – Помилка при намаганні переключити органи керування без активного з'єднання

На рисунках 3.25 та 3.26 зображено головну сторінку з увімкненими додатковими органами керування у вертикальному та горизонтальному відображенні.

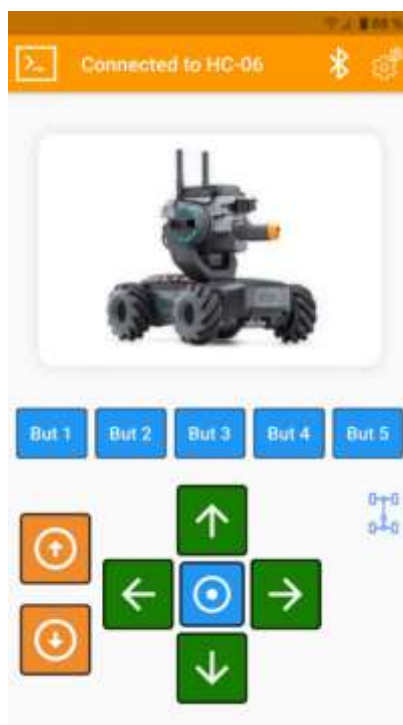


Рисунок 3.25 – Головне меню в додатковими органами керування у вертикальному відображенні



Рисунок 3.26 – Головне меню в додаткових органах керування у горизонтальному відображенні

Для керування додатковим маніпулятором потрібно натискати на відповідні кнопки. Помаранчеві кнопки відповідають за висоту, зелені кнопки відповідають за повороти ліворуч, праворуч, пересування вперед або назад. Синя кнопка у центрі відповідає за керування захватом маніпулятора, або іншим органом керування яким обладнаний маніпулятор.

Для повернення до органу керування рухом шасі роботу користувач повинен натиснути на кнопку відображення джойстику. На рисунку 3.27 зображено кнопку перемикавання інтерфейсу до керування за допомогою джойстику.

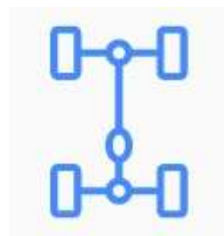


Рисунок 3.27 – Кнопка перемикавання інтерфейсу до відображення джойстику

3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі визначено технічні вимоги до ЕОМ пристрою оператора.

Визначено як інсталювати, оновити та видалити мобільний додаток.

Розроблено детальну інструкцію користування мобільним додатком. Визначено як під'єднати міні-робота до мобільного додатку. Визначено як керувати рухом роботи. Визначено як користуватись та програмувати кнопки. Відображено приклад програмування кнопки.

Визначено як перейти до сторінки термінального зв'язку. Відображено приклад взаємодії з роботом за допомогою надсилання команд.

Визначено як увімкнути додатковий режим керування маніпулятором за допомогою меню налаштувань. Визначено як керувати маніпулятором роботи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вимоги до приміщення

Питання охорони праці розглядаються для лабораторії з програмування мобільних роботів. Лабораторія розміщена у приміщенні і має робоче місце проектувальника-програміста з персональним комп'ютером.

Робота в лабораторії проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/год). З метою забезпечити комфортні умови для працівників та відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 в лабораторії встановлені такі метеорологічні параметри:

а) для холодного періоду:

- 1) температура повітря від 22 °С до 24 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;
- 3) швидкість руху повітря до 0,1 м/с;

б) для теплого періоду року:

- 1) температура повітря від 23 °С до 25 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;
- 3) швидкість руху повітря до 0,1 м/с.

Нормалізація мікрокліматичних умов здійснюється за рахунок раціонального планування приміщення і оптимального розміщення в ньому обладнання, а також приладів регулювання тепловиділення, холодовиділення і вологовиділення.

До роботи з персональним комп'ютером (ПК) допускаються працівники, які не мають медичних протипоказань, пройшли інструктаж з питань охорони праці. Особи, що працюють з ПК більше 50 % робочого часу, повинні проходити обов'язкові попередні при вступі на роботу і періодичні медичні огляди в

установленому порядку. Організація робочого місця з ПК повинна враховувати вимоги безпеки, зручність положення, рухів і дій працівника. Робочий стіл з урахуванням характеру виконуваної роботи повинен мати достатній розмір для раціонального розміщення монітора (дисплея), клавіатури, іншого використовуваного обладнання і документів, поверхню, що володіє низькою здатністю, що відображає. Клавіатура розташовується на поверхні столу таким чином, щоб простір перед клавіатурою було достатнім для опори рук працівника (на відстані не менше ніж 300 мм від краю, зверненого до працівника). Щоб забезпечувалося зручність зорового спостереження, швидке і точне зчитування інформації, площина екрану монітора розташовується нижче рівня очей працівника переважно перпендикулярно до нормальної лінії погляду працівника (нормальна лінія погляду – 15°. Вниз від горизонталі). Для виключення впливу підвищених рівнів електромагнітних випромінювань відстань між екраном монітора і працівником повинна становити не менше 500 мм (оптимальне від 600 мм до 700 мм). Робочий стілець (крісло) повинен бути стійким, місце сидіння має регулюватися по висоті, а спинка сидіння - по висоті, кутах нахилу, а також відстані спинки від переднього краю сидіння. Регулювання кожного параметра має бути незалежною, легко здійснюваною плюс надійну фіксацію.

Лабораторія, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

- площа приміщення 18 м² (6 м × 3 м);
- висота 2,5 м;
- кількість робочих міст – 2;
- обладнання – стіл з ПК і периферією – 2 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м² площі і 20 м³ обсягу на одне окреме робоче місце з ПК. Фактичне значення корисної площі приміщення сягає 18 м², а об'єм складає 45 м³ таким чином видно, що вимоги щодо площі та об'єму робочого місця виконано.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно

проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [46].

Розрахункова формула методу розрахунку освітлення:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність, $Вт/м^2$;

S – площа приміщення, $м^2$;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки $Вт$, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{св} \cdot n_{св}, \quad (4.2)$$

де $W_{св}$ – потужність одного світильника, $Вт$;

$n_{св}$ – кількість світильників в приміщенні, *шт*;

$$W_{\Sigma} = 110 \cdot 4 = 440 \text{ Вт} ;$$

$$W = \frac{440}{18} = 24,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Питомої потужності $24,4 \text{ Вт/м}^2$ відповідає освітленість в 350 лк при мінімальній допустимій освітленості 300 лк . Таким чином, створюються сприятливі зорові умови в лабораторії.

4.2 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі опрацьовано питання вимог до приміщення у лабораторії з програмування. Встановлено необхідну температуру, вологість повітря та швидкість руху повітря у теплий та холодний період року. Встановлено параметри лабораторії, а саме площу приміщення, висоту, кількість робочих місць.

Розраховано рівень загального штучного освітлення приміщення, який дорівнює 350 лк при мінімально допустимому рівні в 300 лк.

За результатами розрахунків будуть забезпечені комфортні умови роботи в лабораторії за показником освітленості.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі розглянуто задачі розробки системи дистанційного управління міні-роботом за допомогою мобільного додатку. Розроблена система дозволяє: розширити коло використання мобільних роботів, включаючи задачі, пов'язані із забезпеченням безпеки управлінського персоналу при виконанні особливо важливих завдань та підвищити економічність та динамічні характеристики безпосередньо міні-роботів.

У першому розділі зроблено огляд сучасного стану проблеми дистанційного управління МР, а саме, організацію систем, методи передачі даних, структурні елементи МР. Для розв'язання задачі дистанційного управління МР розроблено структуру апаратної та програмної частини системи.

За результатами огляду сучасних рішень з розробки систем дистанційного управління обрано технологію IoT. В якості протоколу передачі даних було обрано технологію Bluetooth. За типом організації системи зв'язку було обрано метод point-to-point.

Розроблено схеми підключення електронних компонентів системи керування міні-робота, здійснено розрахунок блоку живлення. Розроблено схеми алгоритмів роботи програми міні-робота. Розроблено програмний засіб для дистанційного управління, а саме, мобільний додаток, який відправляє команди мережею Bluetooth на приймач міні-робота, та програму керування для контролера, яка приймає дані від Bluetooth модулю HC-06, та обробляє їх.

Розроблено інструкцію користувача, в ході якої:

- визначено системні вимоги розробленого мобільного додатку;
- визначено шляхи інсталяції, оновлення та видалення додатку з ЕОМ пристрою користувача;
- детального оглянуто можливості додатку, з описом усіх доступних методів взаємодії;
- наведено приклади роботи з мобільним додатком.

Наукова новизна запропонованої системи управління полягає в удосконаленні методів та процесів управління роботами, через використання мобільних додатків. Результатами використання сучасних підходів удосконалення процесів управління є:

– зменшити витрати на виробництво конструктивних (апаратних) складових міні-роботів, що виключає за рахунок своєї універсальності необхідність програмування окремих мобільних додатків для кожного типу роботів

– зменшити витрати часу на навчання операторів управління роботами.

Практичне використання результатів роботи дозволить застосовувати систему дистанційного управління під час наукової діяльності, проводити дослідження у важкодоступних або небезпечних місцях, наприклад під час вибухотехнічних операцій.

Напрямами подальшого удосконалення розробки можуть бути: додавання заздалегідь запрограмованих інтерфейсів керування для існуючих роботів, або робототехнічних систем; додавання можливості керування пристроями за допомогою мережевого зв'язку через мережу Internet; розробка більш гнучкого інтерфейсу, для надання можливості користувачу підлаштовувати його під свої цілі; розробка більш досконалої системи команд; додавання програмного протоколу передачі даних, для унеможливлення втрати пакетів та більшої безпеки під час передачі даних.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Медведєв, А.М. Аналіз стану систем управління роботизованими системами. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Текст] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 2. – С. 262-265.

2. Сезонова, І.К. Автоматизація технології управління виробничим процесом за допомогою мобільних додатків [Текст] / Виробництво & Мехатронні Системи 2019: Програма III-ої Міжнародної конференції, Харків, 24-25 жовтня 2019 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)]. – Харків: [електронний друк], 2019. – С. 19-21.

3. Методичні вказівки «З розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій Автоматизоване управління технологічними процесами, Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва, Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки, Комп'ютеризовані та робототехнічні системи, Інтелектуальні технології засобів радіоелектроніки. Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр» [Текст] / Упорядники: І. Ш. Невлюдов, О. М. Цимбал, С. П. Новоселов., С. С. Максимова. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – 63 с.

4. Основи наукових досліджень [Текст]: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала. – Міністерство освіти і науки України. – Харків. нац. університет радіоелектроніки. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2017. – 344 с.

5. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. [Текст]: К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

6. Положення про протидію академічному плагиату в ХНУРЕ №290 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/Polozhennya-pro-protidiyu-akademichnomu-plagiatu-v-HNURE----290-vid-28.04.2017.pdf. – (дата звернення: 12.10.2020). – Назва з екрану.

7. Юрєвич, Е.И. Основы робототехники 4-е издание. [Текст] / Е.И. Юрєвич. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2017. – 304 с.

8. Micro Smart Bit Robot Car V2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3279-microbit-smart-robo-platforma-ot-keyestudio-ks0426>. – (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

9. Что такое интернет вещей и зачем он нужен? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://techno.nv.ua/popscience/chto-takoe-internet-veshchej-1326653.html> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

10. Что такое Bluetooth? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://technoportal.ua/goodies/glossary/23.html> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

11. Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

12. GSM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uk.wikipedia.org/wiki/GSM> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

13. Невлюдов, І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: підручник. – Кривий ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.

14. Что такое микроконтроллеры – назначение, устройство [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elektrik.info/main/automation/549-chto-takoe-mikrokontrollery-naznachenie-ustroystvo-princip-raboty-soft.html> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

15. Atmel [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Atmel> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

16. ARM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ARM> (дата звернення: 14.10.2020). – Назва з екрану.

17. Белов, А.В. ARDUINO: от азов программирования до создания практических устройств. [Текст] / А.В. Белов. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2018. – 480 с.

18. STM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32-nucleo-boards.html> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

19. ESP32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

20. Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/?resellerType=home> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

21. Arduino UNO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

22. Arduino Mega [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

23. Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/arduino-nano> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

24. Драйвер двигунів L298N [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drayver-dvigatelya-l298n/#Techno> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

25. Драйвер двигунів TB6612 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/TB6612FNG.pdf> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

26. HG7881C [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://orcenter.de/pub/HG7881C_EN.pdf (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

27. HC-05-BLUETOOTH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=HC-05-BLUETOOTH> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

28. HC-06-BLUETOOTH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=HC-06-BLUETOOTH> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

29. HC-08-BLUETOOTH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=HC-08-BLUETOOTH> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

30. Регулируемый повышающий преобразователь MT3608 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod1559-regyliryemii-povishaushhii-preobrazovatel-2a-28v-mt3608> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

31. Роботизированная рука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod3120-nabor-dlya-sborki-manipulyatora-robotizirovannaya-ruka-ot-keyestudio> (дата звернення: 15.10.2020). – Назва з екрану.

32. Прата, С. Язык программирования C++. Лекции и упражнения. 5-е изд. Пер. с англ. [Текст] / С. Прата. – Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1184 с.

33. Arduino IDE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/software> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

34. Dart [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.dart.dev (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

35. Flutter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.flutter.dev (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

36. VS Code [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.visualstudio.com/> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

37. Android Studio [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/studio> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

38. Flutter bluetooth serial package [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pub.dev/packages/flutter_bluetooth_serial (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

39. Provider package [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pub.dev/packages/provider> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

40. Control Pad package [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pub.dev/packages/control_pad (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

41. Flutter SVG package [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pub.dev/packages/flutter_svg (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

42. Widget catalog [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flutter.dev/docs/development/ui/widgets> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

43. runApp [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.flutter.dev/flutter/widgets/runApp.html> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

44. Route and Navigator Refactoring [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flutter.dev/docs/release/breaking-changes/route-navigator-refactoring> (дата звернення: 24.10.2020) . – Назва з екрану.

45. Google Play [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://play.google.com/store> (дата звернення: 26.10.2020) . – Назва з екрану.

46. Дзюндзюк, Б.В. Охорона праці. Збірник задач. Навч. посібник. [Текст] / Б.В. Дзюндзюк. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 236 с.