

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування закладу вищої освіти)

**Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій**

(повне найменування факультету)

**Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки**

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ  
МІКРОКОНТРОЛЕРА MICRO:BIT NRF51822 З БЕЗДРОТОВИМ  
КЕРУВАННЯ ДЛЯ IOS BLUETOOTH**

**ROBOTIC SYSTEM BASED ON MICRO:BIT NRF51822  
MICROCONTROLLER WITH WIRELESS CONTROL FOR IOS  
BLUETOOTH**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи КІЗ-41  
Волощук Віктор Вікторович

(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
« 10 » червня 2025 р.  
Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Тарас ТЕРЛЕЦЬКИЙ

« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Волощук Віктору Вікторовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Робототехнічна система на основі мікроконтролера micro:bit NRF51822 з бездротовим керування для IOS Bluetooth*

Керівник роботи *к.т.н., доц. Поліщук Микола Миколайович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи *джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

*Вступ*

*Аналіз технологій для створення робототехнічних систем*

*Розробка апаратної частини робототехнічних систем*

*Практична реалізація робототехнічної системи з використанням платформи Micro:bit*

*Висновки*

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз технологій для створення робототехнічних систем</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Розробка апаратної частини робототехнічних систем</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Практична реалізація робототехнічної системи з використанням платформи Micro:bit</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст.викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 10.02.2025 р.	Виконано
2.	<i>Вибір апаратної та програмної бази для робототехнічної системи</i>	до 02.03.2025 р.	Виконано
3.	<i>Практична реалізація робототехнічної системи</i>	до 02.04.2025 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та загальні результати дослідження</i>	до 10.04.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 15.04.2025 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 02.05.2025 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 10.05.2025 р.	Виконано
8.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 15.05.2025 р.	
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 30.05.2025 р.	Виконано
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2025 р.	Виконано
11.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедрі</i>	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Волощук В.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Поліщук М.М.

(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Волощук В. В. Робототехнічна система на основі мікроконтролера micro:bit NRF51822 з бездротовим керування для IOS Bluetooth. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку.

Перший розділ присвячено огляду предметної області, тут обґрунтовано актуальність обраної теми. Зроблено Огляд сучасних робототехнічних платформ, проаналізовано можливості мікроконтролера NRF51822, розглянуто технологія Bluetooth Low Energy (BLE) для бездротового управління та взаємодію iOS-пристроїв через Bluetooth.

В другому розділі здійснено вибір та обґрунтування засобів розробки. Здійснено вибір компонентів для робототехнічної системи, описано інтеграцію апаратних модулів у єдину систему та особливості програмування мікроконтролера micro:bit для Bluetooth.

Третій розділ присвячено опису складання мобільного робота на базі платформи Micro:bit Mini Smart Car Kit V2. Описано встановлення програмного забезпечення для взаємодії з платою Micro:bit та розробку керуючої програми в середовищі MakeCode

Ключові слова: Micro:bit, робототехнічна платформа, мікроконтролер, Bluetooth, дистанційне керування.

## ANNOTATION

Voloshchuk V. Robotic system based on the micro:bit NRF51822 microcontroller with wireless control for IOS Bluetooth. Manuscript.

Qualification work of the bachelor of the OP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of sources used, an appendix.

The first section is devoted to an overview of the subject area, the relevance of the chosen topic is substantiated here. An overview of modern robotic platforms is made, the capabilities of the NRF51822 microcontroller are analyzed, Bluetooth Low Energy (BLE) technology for wireless control and interaction of iOS devices via Bluetooth is considered.

In the second section, the selection and justification of development tools are made. The selection of components for the robotic system is made, the integration of hardware modules into a single system and the features of programming the micro:bit microcontroller for Bluetooth are described.

The third section is devoted to the description of the assembly of a mobile robot based on the Micro:bit Mini Smart Car Kit V2 platform. The installation of software for interaction with the Micro:bit board and the development of a control program in the MakeCode environment are described.

Keywords: Micro:bit, robotics platform, microcontroller, Bluetooth, remote control.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ .....	9
1.1 Огляд сучасних робототехнічних платформ.....	9
1.2 Аналіз можливостей мікроконтролера micro:bit NRF51822.....	12
1.3 Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) для бездротового управління.....	15
1.4 Сумісність та взаємодія з iOS-пристроями через Bluetooth .....	19
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ .....	23
2.1 Вибір компонентів для робототехнічної системи .....	23
2.1.1 Основний обчислювальний модуль .....	23
2.1.2 Модулі керування рухом і сенсорна система.....	23
2.1.3 Комунікаційні модулі та живлення системи.....	24
2.2 Інтеграція апаратних модулів у єдину систему .....	25
2.3 Особливості програмування мікроконтролера micro:bit для Bluetooth.....	27
2.4 Мобільний додаток для iOS для керування роботом .....	30
2.4.1 Інтерфейс мобільного додатка.....	30
2.4.2 Передача команд через BLE .....	31
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ MICRO:BIT .....	32
3.1 Складання мобільного робота на базі платформи Micro:bit Mini Smart Car Kit V2 .....	32
3.2 Встановлення програмного забезпечення для взаємодії з платою Micro:bit.....	39
3.3 Розробка керуючої програми в середовищі MakeCode.....	42
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТКИ.....	51

## ВСТУП

У сучасних умовах війни та стрімкого розвитку робототехніки, дистанційне керування набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє здійснювати контроль над технічними системами без безпосередньої участі оператора у фізичному середовищі. Ця технологія знаходить широке застосування у сферах, пов'язаних із підвищеним ризиком для життя та здоров'я людини. Зокрема, у випадках ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій чи в увах воєнних дій (наприклад, аварій на атомних електростанціях, хімічних витоків, обвалів споруд тощо), дистанційно керовані роботи можуть бути ефективно застосовані для виконання завдань у недоступних або небезпечних зонах.

Крім того, можливість віддаленого управління сприяє розширенню доступу до робототехнічних рішень для користувачів з обмеженими фізичними можливостями. Впровадження інтерфейсів дистанційного керування дозволяє таким особам брати участь у процесах, які зазвичай є недоступними, що, своєю чергою, підвищує рівень їхньої соціальної включеності та автономії.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка програмного забезпечення для мікроконтролерної плати BBC micro:bit NRF51822 з метою реалізації дистанційного керування роботизованою платформою Mini Smart Robot Car Kit V2.

Об'єктом дослідження є технологічні рішення та методи програмування для дистанційного керування мобільними робототехнічними системами на основі плати BBC micro:bit.

Предметом дослідження виступає апаратна платформа BBC micro:bit NRF51822, що слугує керуючим елементом у запропонованій системі.

Для досягнення зазначеної мети передбачено виконання таких завдань:

- провести огляд сучасних робототехнічних платформ;
- здійснити обґрунтований вибір компонентів для робототехнічної системи;

- скласти мобільного робота на базі платформи BBC micro:bit;
- реалізувати прототип програмно-апаратного комплексу для дистанційного керування робо-платформою.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

### 1.1 Огляд сучасних робототехнічних платформ

Сучасні робототехнічні платформи є основою для розробки широкого спектра роботів, від простих навчальних систем до складних промислових роботів. Вони забезпечують інтеграцію апаратного забезпечення та програмного забезпечення для вирішення різноманітних завдань. Найбільш популярні робототехнічні платформи, які використовуються у навчальних, дослідницьких та промислових цілях є Arduino, Raspberry Pi та BBC micro:bit.

Arduino – це одна з найпоширеніших платформ для створення робототехнічних систем. Вона характеризується простотою у використанні, доступністю та великою кількістю сумісних модулів. Основними перевагами Arduino є доступність (широкий вибір моделей, таких як Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Nano), простота програмування (використання Arduino IDE та базових бібліотек для швидкої розробки) та велика спільнота користувачів (доступність документації, форумів і прикладів проектів) [1].

Arduino часто використовується для створення навчальних проектів, зокрема роботів, які виконують прості задачі, такі як уникнення перешкод, лінійне слідування або дистанційне керування.

Raspberry Pi є мінікомп'ютером (рис. 1.1), який використовується для створення роботів із розширеними можливостями. Завдяки потужним обчислювальним ресурсам і підтримці операційної системи Linux, Raspberry Pi забезпечує можливості комп'ютерного зору (обробка зображень і відео в реальному часі за допомогою бібліотек, таких як OpenCV), роботу з мовами високого рівня (підтримка Python, C++, Java та інших мов програмування) та інтеграцію з хмарними сервісами (можливість підключення до IoT для віддаленого управління та моніторингу) [2].

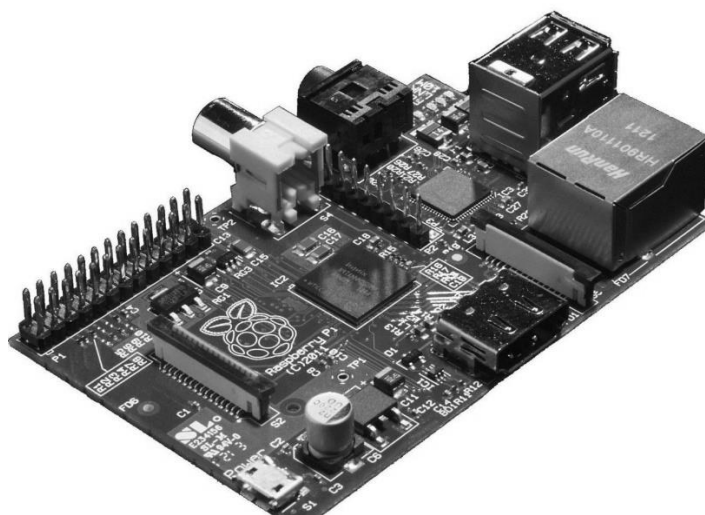


Рисунок 1.1 – Raspberry Pi [3]

Raspberry Pi часто використовується для створення автономних роботів, таких як мобільні платформи з функціями розпізнавання об'єктів або голосового управління.

BBC micro:bit – це мікроконтролер, розроблений для освітніх цілей. Його основними перевагами є наявність інтегрованих датчиків (акселерометр, магнітометр, кнопки і матриця світлодіодів), підтримка Bluetooth для бездротового з'єднання з іншими пристроями та простота програмування (використання візуальних редакторів, таких як Microsoft MakeCode, а також Python). Micro:bit ідеально підходить для навчальних проектів, зокрема для створення простих мобільних роботів із бездротовим керуванням.

LEGO Mindstorms – це платформа, яка поєднує механічні компоненти LEGO з інтелектуальним програмованим блоком (рис. 1.2). Вона характеризується модульністю, що дозволяє створювати роботів різної складності, доступом до візуального програмування через середовища, такі як LEGO EV3 Software, яке забезпечує інтуїтивний підхід до розробки, а також сумісністю з мовами високого рівня, такими як Python і C++, для реалізації складних проектів.

Ця платформа активно використовується для участі в міжнародних конкурсах, таких як FIRST LEGO League, і сприяє популяризації робототехніки серед молоді.



Рисунок 1.2 – Базовий набір LEGO MINDSTORMS Education EV3 [4]

TinkerKit і Grove платформи надають модульні рішення для побудови роботів із використанням сумісних з Arduino і Raspberry Pi компонентів. Вони забезпечують швидкість прототипування завдяки можливості швидкого підключення модулів без пайки, широкий вибір сенсорів і приводів, таких як датчики температури, вологості, ультразвукові датчики, серводвигуни тощо, а також сумісність із популярними платформами, що дозволяє інтегрувати їх із Arduino та Raspberry Pi для створення більш складних систем.

У промислових умовах широко використовуються робототехнічні платформи, такі як UR (Universal Robots), KUKA і FANUC. Вони відрізняються високою точністю і надійністю, що дозволяє виконувати складні завдання, такі як зварювання, складання або фарбування, гнучкістю програмування через підтримку власних мов або інтеграцію із зовнішнім програмним забезпеченням, а також модульною структурою, яка забезпечує налаштування платформи під конкретні завдання. Ці платформи переважно застосовуються у виробництві, але також знаходять використання у наукових дослідженнях і автоматизації складських процесів.

Окрему категорію складають робототехнічні платформи для створення дронів, наприклад, DJI Matrice або Pixhawk, їх основними перевагами є:

- інтеграція з системами навігації, як, наприклад, GPS, IMU та інші модулі для автономного польоту;
- підтримка комп'ютерного зору через використання камер для картографування та виявлення об'єктів;
- програмованість через використання відкритих SDK для створення власних програм управління.

Огляд сучасних робототехнічних платформ демонструє широкий спектр рішень для створення роботів різної складності. Вибір конкретної платформи залежить від поставлених завдань, бюджету та рівня знань розробника. Платформи, такі як Arduino, Raspberry Pi, і micro:bit, чудово підходять для навчальних і дослідницьких проектів, тоді як індустріальні рішення забезпечують високу продуктивність і точність для виробничих завдань. Такий широкий вибір платформ стимулює розвиток робототехніки та сприяє її популяризації серед різних категорій користувачів.

## **1.2 Аналіз можливостей мікроконтролера micro:bit NRF51822**

Мікроконтролер NRF51822 використовується в першій версії BBC micro:bit – популярної освітньої платформи для вивчення програмування та електроніки. Даний чип є основним керуючим процесором пристрою та має ряд ключових характеристик, які роблять його ефективним для роботи в IoT-проектах, сенсорних системах і Bluetooth-комунікаціях.

NRF51822 – це низькоспоживний мікроконтролер від Nordic Semiconductor, який містить вбудований Bluetooth Low Energy (BLE) та оптимізований для бездротового зв'язку (рис. 1.3).

NRF51822 є потужним рішенням для бездротового зв'язку завдяки вбудованій підтримці Bluetooth Low Energy (BLE) 4.0. Ця технологія дозволяє легко підключати micro:bit до смартфонів, планшетів та інших пристроїв без значного споживання енергії. Завдяки BLE, micro:bit можна використовувати у бездротових IoT-рішеннях, створювати дистанційні системи керування та

інтегрувати у сенсорні мережі, що передають дані бездротово. Це відкриває широкі можливості для розробників у сфері розумного дому, мобільних застосунків та автоматизації.

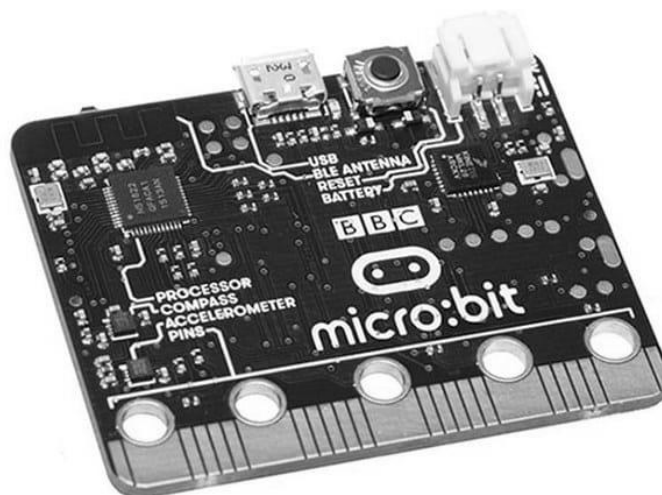


Рисунок 1.3 – Мікроконтролер BBC micro:bit nRF51822 [5]

Однією з переваг micro:bit є наявність вбудованих датчиків, таких як акселерометр і магнітометр. Вони дозволяють визначати рух, положення в просторі та зміни магнітного поля, що особливо корисно для розробки інтерактивних пристроїв. Наприклад, micro:bit можна використовувати для створення ігрових контролерів, у навчальних STEM-проектах або для розпізнавання жестів. Це значно розширює його можливості як для учнів, так і для ентузіастів електроніки.

Вбудовані інтерфейси I2C, SPI та UART забезпечують гнучкість у підключенні зовнішніх компонентів, таких як дисплеї (OLED, LCD), датчики температури та вологості, а також механічні пристрої. Це дозволяє використовувати micro:bit для створення складних систем, включаючи автоматизовані пристрої, смарт-системи моніторингу та робототехнічні конструкції. Можливість підключення додаткової периферії робить цей контролер універсальним інструментом для навчання та розробки.

Ще однією ключовою особливістю NRF51822 є наднизьке енергоспоживання, що дозволяє йому працювати від батарей CR2032 або літій-

іонних акумуляторів протягом тижнів або навіть місяців. Це робить micro:bit ідеальним для автономних IoT-проектів, де важливо мінімізувати споживання енергії. Така властивість є критичною для мобільних пристроїв, носимих гаджетів та бездротових датчиків.

Micro:bit відзначається простотою програмування, що робить його доступним навіть для новачків. Він підтримує різні середовища розробки, такі як MakeCode, MicroPython, C++ та Arduino, що дозволяє працювати з пристроєм як у навчальних, так і у професійних проектах. Завдяки цьому micro:bit можна використовувати для вивчення основ програмування, створення автоматизованих рішень та інтеграції з IoT-системами.

У таблиці 1.1 представлено порівняння мікроконтролера NRF51822, який використовується в micro:bit V1, з іншими популярними мікроконтролерами, що застосовуються у сфері IoT, вбудованих систем та навчальних проектів.

Таблиця 1.1 – Порівняння мікроконтролера NRF51822 з альтернативами [6]

Модель	Процесор	Пам'ять (Flash/RAM)	Безпроводний зв'язок	GPIO	Особливості
NRF51822 (micro:bit V1)	ARM Cortex-M0, 16 МГц	256 КБ / 16 КБ	BLE 4.0	31	Низьке енергоспоживання
NRF52833 (micro:bit V2)	ARM Cortex-M4, 64 МГц	512 КБ / 128 КБ	BLE 5.0	32	Підтримка голосових команд
ESP32	Xtensa LX6, 240 МГц	4 МБ / 520 КБ	Wi-Fi + BLE	34	Потужний, підтримка Wi-Fi
STM32F103C8T6	ARM Cortex-M3, 72 МГц	64 КБ / 20 КБ	Немає	37	Висока продуктивність

NRF51822, який є основою micro:bit V1, побудований на базі ARM Cortex-M0 з тактовою частотою 16 МГц. Він підтримує BLE 4.0, що дозволяє легко підключати пристрої до смартфонів та інших бездротових систем. Проте, через обмежений обсяг оперативної пам'яті (16 КБ) та відсутність Wi-Fi, його можливості значно поступаються сучаснішим рішенням.

Оновлена версія мікроконтролера – NRF52833 (використовується в micro:bit V2) – має потужніший процесор Cortex-M4 (64 МГц), удвічі більший обсяг Flash-пам'яті та суттєво розширену RAM (128 КБ). Крім того, він підтримує BLE 5.0 та може обробляти голосові команди, що робить його більш придатним для складних проєктів.

У порівнянні з ESP32, який працює на двоядерному процесорі Xtensa LX6 з частотою 240 МГц, мікроконтролери від Nordic значно поступаються в продуктивності. ESP32 підтримує як Wi-Fi, так і BLE, що робить його відмінним вибором для хмарних IoT-рішень і проєктів, які потребують швидкого обміну даними через інтернет.

Мікроконтролер STM32F103C8T6 (платформа Blue Pill) є потужнішим, ніж NRF51822, завдяки процесору Cortex-M3 (72 МГц) та розширеній кількості GPIO. Він добре підходить для промислових рішень та робототехніки, однак не має вбудованих модулів бездротового зв'язку, що може бути обмеженням у бездротових проєктах.

Загалом, NRF51822 є хорошим вибором для енергоефективних BLE-проєктів, освітніх задач та IoT-пристроїв, але у випадках, коли необхідна вища продуктивність, підтримка Wi-Fi або складніші обчислення, варто розглянути альтернативи, такі як ESP32 або NRF52833.

### **1.3 Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) для бездротового управління**

Bluetooth Low Energy (BLE) – це енергоефективний стандарт бездротового зв'язку, розроблений для пристроїв, які потребують низького споживання енергії та тривалого часу роботи від батареї [7]. BLE був представлений в специфікації Bluetooth 4.0 і став важливою технологією в Інтернеті речей (IoT), розумних пристроях та мобільних додатках. Завдяки низькому енергоспоживанню BLE ідеально підходить для сенсорних систем, розумних годинників, фітнес-браслетів, бездротових контролерів та домашньої автоматизації.

BLE працює за клієнт-сервальною моделлю, де один пристрій виконує роль периферійного пристрою, наприклад, сенсор або контролер, а інший – центрального пристрою, наприклад, смартфон чи комп'ютер (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Принцип роботи Bluetooth Low Energy [8]

Однією з ключових особливостей Bluetooth Low Energy (BLE) є режим низького енергоспоживання, який значно відрізняється від класичного Bluetooth. Пристрої, що використовують BLE, можуть працювати у сплячому режимі більшу частину часу, активуючись лише тоді, коли необхідно передати або отримати дані. Це дозволяє знизити енергоспоживання до рівня мікровоат, що критично важливо для пристроїв, які працюють від батарей. Наприклад, фітнес-браслети, бездротові сенсори, розумні замки можуть функціонувати протягом місяців або навіть років без потреби у заміні або підзарядці елемента живлення.

Ще однією важливою характеристикою BLE є динамічне з'єднання, яке забезпечує швидке встановлення та розрив зв'язку між пристроями. На відміну від класичного Bluetooth, де парування може займати значний час, BLE дозволяє пристроям миттєво з'єднуватися при наближенні один до одного і так само швидко роз'єднуватися при втраті сигналу. Це особливо корисно для мобільних пристроїв, розумних домашніх систем, медичних датчиків та автоматизованих систем управління, де важлива швидка взаємодія та мінімізація витрат енергії.

Основою роботи BLE є обмін даними через профіль GATT (Generic Attribute Profile), який визначає структуру взаємодії між пристроями. GATT

дозволяє пристроям передавати дані у вигляді характеристик та сервісів, що спрощує комунікацію та управління пристроями. Наприклад, у фітнес-браслеті одна характеристика може містити дані про частоту серцевого ритму, інша – про кількість кроків, а смартфон може зчитувати ці значення у реальному часі. Така модель передачі даних дозволяє BLE-пристроєм працювати ефективно навіть за обмежених ресурсів пам'яті та обчислювальної потужності.

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) відіграє ключову роль у системах розумного дому та автоматизації, забезпечуючи бездротове управління різними пристроями (рис. 1.5). Завдяки низькому енергоспоживанню та швидкому з'єднанню BLE використовується для дистанційного керування освітленням, дверними замками, термостатами та системами безпеки. Наприклад, розумні лампи з підтримкою BLE дозволяють змінювати яскравість та колір освітлення безпосередньо зі смартфона. Також BLE широко використовується у розумних замках, які можуть відкриватися за допомогою мобільного додатка або автоматично при наближенні користувача, що підвищує зручність і рівень безпеки.

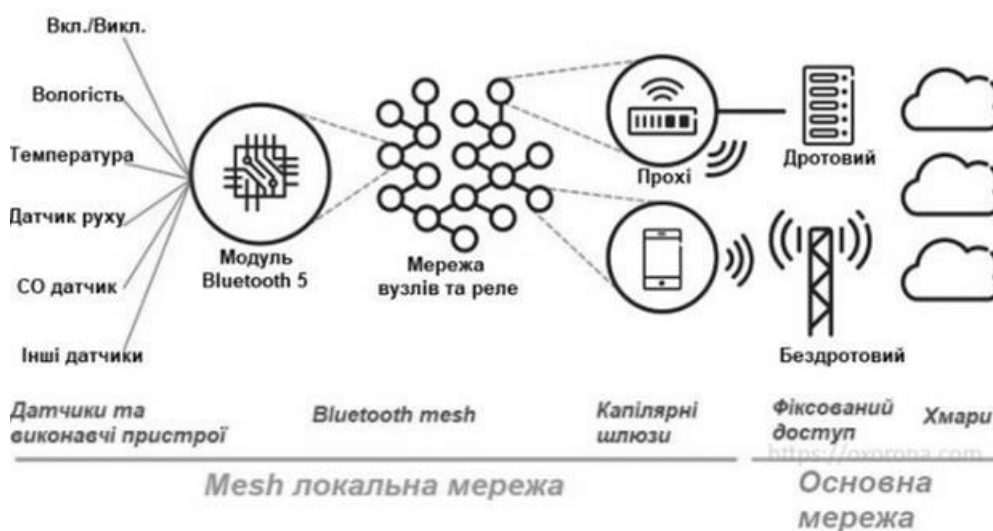


Рисунок 1.5 – Мережа Bluetooth Mesh з технологією BLE для розумного будинку [9]

У сфері робототехніки BLE забезпечує ефективну передачу команд на роботизовані платформи, дистанційне керування дронами та автономними

системами. Наприклад, мініатюрні роботи, що використовуються в освітніх проєктах або промислових додатках, можуть отримувати команди від смартфона чи комп'ютера через BLE-з'єднання. Завдяки малим затримкам при передачі даних, BLE ідеально підходить для керування рухом роботів у реальному часі. У дронах BLE використовується для відправлення базових команд, таких як зміна висоти чи напрямку руху, а також для передачі телеметричних даних про стан батареї, швидкість та координати.

BLE також знайшов широке застосування у сфері розваг та мультимедіа, де використовується для бездротового керування ігровими контролерами, телевізорами, аудіосистемами та VR-гарнітурами. Завдяки BLE геймери можуть підключати контролери до смартфонів та планшетів без необхідності кабельного з'єднання, що робить ігровий процес більш зручним. У VR-системах BLE використовується для передачі команд від контролерів до гарнітури, забезпечуючи низьку затримку між діями користувача та реакцією пристрою. У сфері домашніх розваг BLE дозволяє керувати мультимедійними пристроями, наприклад, змінювати гучність гучномовців або перемикати канали телевізора за допомогою смартфона.

У промисловому IoT BLE відіграє важливу роль у моніторингу виробничого обладнання, контролі датчиків та керуванні механізмами. Завдяки можливості передавати дані на великі відстані у BLE 5.0, технологія активно застосовується у розумних фабриках для віддаленого моніторингу стану обладнання. Наприклад, датчики температури та вологості можуть передавати дані на центральний сервер без потреби у дротовому підключенні. Також BLE використовується у відстеженні переміщення вантажів на складах та логістичних центрах, де BLE-мітки допомагають швидко ідентифікувати об'єкти.

З розвитком BLE 5.0 та 5.1 технологія стала ще ефективнішою, забезпечуючи збільшену дальність передачі (до 400 м), удвічі вищу швидкість обміну даними (до 2 Мбіт/с) та покращену енергоефективність. BLE 5.0 дозволяє використовувати різні режими роботи, балансує між високою швидкістю та великою дальністю, що робить його ідеальним для IoT-пристроїв, розумного

дому та промислових систем. BLE 5.1, у свою чергу, впровадив точне позиціонування завдяки технології напрямленого визначення сигналу (AoA/AoD), що суттєво покращує навігацію у приміщеннях та дозволяє створювати точні трекінгові системи. Завдяки цим удосконаленням BLE продовжує зміцнювати свої позиції як основний стандарт для енергоефективного бездротового зв'язку.

#### **1.4 Сумісність та взаємодія з iOS-пристроями через Bluetooth**

Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) широко підтримується в екосистемі Apple, починаючи з iOS 5 та новіших версій. Apple інтегрувала BLE у свої пристрої, включаючи iPhone, iPad, MacBook та Apple Watch, що дозволяє бездротове підключення до аксесуарів, датчиків та IoT-пристроїв.

Мікроконтролер NRF51822, який використовується в платформі micro:bit, підтримує BLE 4.0, що дозволяє реалізовувати бездротове керування робототехнічними системами через iOS-пристрої, такі як iPhone та iPad. Завдяки підтримці Core Bluetooth API в iOS, мобільні додатки можуть взаємодіяти з micro:bit для обміну даними та керування роботизованими пристроями.

Apple надає Core Bluetooth API, що дозволяє додаткам iOS сканувати, підключатися та взаємодіяти з BLE-пристроями. Цей API підтримує два основні режими роботи:

- central (центральний пристрій) – iPhone або iPad виступає контролером, який відправляє команди та отримує дані;
- peripheral (периферійний пристрій) – micro:bit може передавати дані, наприклад, телеметрію або статус роботи.

Це дозволяє створювати додатки для керування роботами без необхідності використання додаткових модулів зв'язку.

Щоб робототехнічна система на основі micro:bit могла взаємодіяти з iPhone (рис. 1.6), необхідно реалізувати GATT (Generic Attribute Profile), що визначає, як дані передаються між пристроями.



Рисунок 1.6 – Взаємодія робототехнічної системи на основі micro:bit з iPhone [10]

iOS-пристрій може використовувати BLE для передачі команд руху до роботизованої системи на основі micro:bit. Наприклад, користувач може керувати напрямком руху за допомогою сенсорного джойстика в додатку. BLE передає числові значення, які мікроконтролер інтерпретує як команди керування двигунами. Завдяки низькій затримці BLE, роботом можна керувати у реальному часі.

Окрім відправки команд, iOS-пристрій може отримувати дані від робота через BLE. Наприклад, micro:bit може передавати інформацію про стан батареї, показники акселерометра та гіроскопа, дані про перешкоди (якщо підключено ультразвуковий сенсор). Це дозволяє реалізовувати автоматичні системи ухилення від перешкод або моніторинг стану пристрою через iPhone.

BLE підтримує одночасне підключення кількох пристроїв, що дозволяє керувати кількома роботами з одного iPhone або отримувати дані від різних сенсорів. Це особливо корисно в навчальних робототехнічних проєктах, де можна створювати координацію між декількома пристроями.

Розробники можуть створювати додатки для керування micro:bit через Swift та Core Bluetooth. Це дозволяє реалізувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для керування, наприклад, сенсорний джойстик для керування рухом, кнопки для зміни режимів роботи робота та графічний моніторинг даних з датчиків у реальному часі.

Apple розробила HomeKit API (рис. 1.7), який підтримує BLE-пристрої для автоматизації. У робототехнічній системі на основі micro:bit можна

використовувати HomeKit для автоматичного запуску руху або зміни параметрів роботи робота через Siri. Наприклад, можна налаштувати голосове керування, сказавши «Hey Siri, увімкни робота».



Рисунок 1.7 – HomeKit [11]

Оскільки BLE споживає дуже мало енергії, воно дозволяє підтримувати тривале підключення між iPhone та micro:bit без значного впливу на заряд батареї. Це важливо для автономних роботів, які працюють на акумуляторах і повинні зберігати енергію.

Попри переваги, BLE на iOS має деякі обмеження:

- Apple вимагає використання специфічних UUID для сервісів та характеристик BLE;
- додатки повинні запитувати дозвіл користувача для роботи з BLE, що може ускладнити процес підключення;
- обмежена пропускна здатність BLE (максимальна швидкість передачі даних 2 Мбіт/с у BLE 5.0).

Використання BLE 5.0 та BLE 5.1 у робототехнічних системах на основі iOS дозволяє збільшити дальність з'єднання до 100 м без втрати якості сигналу, швидше передавати дані, що дозволяє покращити реакцію робота на команди, а також реалізувати точне позиціонування робота за допомогою BLE AoA/AoD (Angle of Arrival/Departure), що дає змогу точно визначати його розташування.

Отже, сумісність micro:bit NRF51822 із iOS через BLE відкриває широкі можливості для створення інтерактивних робототехнічних систем. Використання Core Bluetooth API дозволяє з легкістю підключати пристрої, передавати команди, отримувати дані з сенсорів і навіть інтегрувати голосове керування через Siri. BLE забезпечує енергоефективне бездротове з'єднання, що є критично важливим для роботів, які працюють від батарей. Завдяки підтримці BLE 5.0, робототехнічні системи на micro:bit можуть використовувати покращену дальність, швидкість і стабільність зв'язку, що робить їх ідеальним рішенням для IoT, освіти та промислової автоматизації.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

#### 2.1 Вибір компонентів для робототехнічної системи

##### 2.1.1 Основний обчислювальний модуль

Проектування робототехнічної системи вимагає ретельного вибору апаратних компонентів, що забезпечують необхідний рівень продуктивності, автономності та гнучкості. Для реалізації системи на основі мікроконтролера micro:bit NRF51822 з бездротовим керуванням через iOS Bluetooth слід враховувати ключові модулі, такі як, основний обчислювальний модуль, сенсори, двигуни, модулі живлення та комунікації.

Вибір основного керуючого модуля є критично важливим, оскільки він визначає обчислювальну потужність, енергоспоживання та можливості інтеграції з іншими пристроями. У даній робототехнічній системі використовується BBC micro:bit, що базується на мікроконтролері NRF51822.

Основні характеристики micro:bit, які роблять його придатним для цієї системи представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики micro:bit для використання у робототехнічній системі

Параметр	Характеристики
Процесор	ARM Cortex-M0, 16 МГц
Пам'ять	256 КБ флеш-пам'яті, 16 КБ ОЗП
Комунікаційні можливості	Bluetooth Low Energy (BLE), I2C, SPI, UART
Вбудовані сенсори	акселерометр, магнітометр
Живлення	підтримка живлення від USB або батареї 3V

BLE-модуль дозволяє підключатися до iOS-пристроїв через Core Bluetooth API, що дає змогу передавати команди на мікроконтролер та отримувати дані з датчиків.

##### 2.1.2 Модулі керування рухом і сенсорна система

Для забезпечення мобільності робототехнічної системи необхідно вибрати відповідні двигуни та драйвери керування. Вибір залежить від конструкції та

призначення системи – для колісного робота використовуються DC-двигуни (3-6V, 150-300 RPM) з драйверами L298N або DRV8833 та енкодерами для точного контролю руху, для робота-маніпулятора застосовуються серводвигуни (SG90, MG995, MG996R) разом із контролером PCA9685, а для гусеничного робота або дрона – крокові двигуни (NEMA 17) або ESC-контролери для регулювання швидкості обертання пропелерів.

Для інтеграції цих компонентів використовується I2C, PWM або цифрові GPIO-виходи micro:bit.

Автономне функціонування робота можливе за рахунок сенсорів, які забезпечують зворотний зв'язок і дозволяють адаптувати рух відповідно до середовища. Для забезпечення навігації та взаємодії з навколишнім середовищем у робототехнічній системі використовуються різні типи датчиків:

- датчики відстані, такі як HC-SR04 (ультразвуковий датчик) для визначення перешкод та TFmini (лазерний далекомір) для точної навігації;
- датчики положення, включаючи акселерометр (вбудований у micro:bit) для вимірювання нахилу та прискорення, а також гіроскопи (MPU6050, MPU9250) для стабілізації руху;
- датчики слідування за лінією, такі як TCRT5000 (інфрачервоні датчики), що допомагають роботам слідувати за заданою траєкторією;
- датчики дотику та контакту, до яких належать мікроперемикачі для виявлення зіткнень і ємнісні датчики, що забезпечують взаємодію з оточенням.

Micro:bit може підключати ці датчики через I2C, цифрові або аналогові входи, передаючи дані на iOS-пристрій через BLE.

### 2.1.3 Комунікаційні модулі та живлення системи

Вбудований у NRF51822 BLE-модуль дозволяє пристроям взаємодіяти через Core Bluetooth API, що забезпечує швидку передачу команд і отримання зворотного зв'язку від сенсорів у реальному часі.

Окрім вбудованого BLE, можливе використання HM-10, який може слугувати альтернативним BLE-модулем для підключення інших мікроконтролерів або розширення функціональності системи.

Оскільки робот працює автономно, важливо правильно вибрати акумулятори та модулі живлення, що забезпечать стабільну роботу системи. Для довготривалої експлуатації найкраще підходять Li-ion акумулятори (18650, 3.7V, 2200-3400 мАг), тоді як Li-Po батареї (7.4V, 1000-2000 мАг) використовуються у високопродуктивних роботах, які потребують більшої потужності. Якщо ж енергоспоживання мінімальне, можна застосовувати батареї CR2032. Для безпечної зарядки Li-ion акумуляторів використовується контролер TP4056, а для стабільного живлення micro:bit та моторів може застосовуватися блок живлення 5V або 9V.

## 2.2 Інтеграція апаратних модулів у єдину систему

Розробка робототехнічної системи на основі micro:bit NRF51822 передбачає інтеграцію різних апаратних компонентів для забезпечення стабільного функціонування та бездротового керування через Bluetooth. Основними етапами інтеграції є вибір модулів, їх взаємозв'язок, підключення до мікроконтролера, забезпечення енергоефективності, а також тестування та налагодження системи.

Для ефективного управління всіма компонентами потрібно чітко визначити архітектуру системи та способи підключення кожного модуля (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Структура інтеграції модулів [5]

Компонент	Функція	Спосіб підключення до micro:bit
1	2	3
Двигуни (DC, серво, крокові)	забезпечення руху робота	PWM, цифрові GPIO
Драйвери двигунів (L298N, DRV8833)	контроль швидкості та напрямку руху	PWM, GPIO
Акселерометр та гіроскоп	вимірювання нахилу, стабілізація	вбудований в micro:bit, I2C
Датчики відстані (HC-SR04, TFmini)	виявлення перешкод	цифрові входи, I2C
BLE-модуль (NRF51822, HM-10)	бездротовий зв'язок з iOS	вбудований, UART

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Wi-Fi-модуль (ESP8266, ESP32)	віддалене керування	UART, I2C
OLED-дисплей (SSD1306)	візуалізація даних	I2C
Літій-іонні акумулятори	автономне живлення	TP4056, 5V/9V регулятор

Двигуни є основним елементом мобільної робототехнічної системи. Для ефективного керування використовуються DC-двигуни, крокові двигуни або серводвигуни.

Підключення двигунів до micro:bit здійснюється через PWM-сигнали, які передаються на драйвери L298N або DRV8833. Для більш точного контролю використовуються енкодери.

Для безпечної навігації робототехнічної системи необхідна наявність датчиків відстані, положення та орієнтації (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Інтеграція сенсорної системи [12]

Датчик	Призначення	Інтерфейс
HC-SR04	виявлення перешкод	цифрові GPIO
TFmini	вимірювання відстані	UART
MPU6050	визначення нахилу та стабілізація	I2C
TCRT5000	слідування за лінією	аналогові входи

Датчики підключаються через I2C, цифрові або аналогові входи micro:bit. Наприклад, акселерометр та гіроскоп (MPU6050) використовують I2C, а ультразвуковий датчик HC-SR04 працює через цифрові порти GPIO.

Для комунікації з iOS-пристроями використовується вбудований NRF51822 BLE-модуль, який дозволяє керувати роботом через Core Bluetooth API (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Впровадження бездротового керування через BLE [8]

BLE-модуль	Функція	Протокол зв'язку
NRF51822 (вбудований)	керування через iOS	BLE, UART
HM-10 (додатковий)	підключення інших мікроконтролерів	BLE, UART

Використання BLE дозволяє створювати додатки для керування роботом через смартфон. Наприклад, iPhone може передавати команди руху через BLE-характеристики.

OLED-дисплей (SSD1306) використовується для відображення стану системи, рівня заряду батареї та режиму роботи.

Контролери TP4056 забезпечують безпечне заряджання акумуляторів.

Після підключення всіх модулів проводиться тестування роботи компонентів:

- перевірка зв'язку BLE (підключення до iOS);
- тестування руху двигунів через мобільний додаток;
- перевірка роботи сенсорів (правильне зчитування відстані та орієнтації).

### **2.3 Особливості програмування мікроконтролера micro:bit для Bluetooth**

Програмування мікроконтролера micro:bit NRF51822 для Bluetooth має свої особливості, зумовлені обмеженими апаратними ресурсами, специфікою роботи BLE-протоколу та підтримкою Core Bluetooth API на iOS.

Для програмування micro:bit з підтримкою BLE доступні різні інструменти, зокрема, MakeCode дозволяє легко працювати з BLE у вигляді блоків, але має менше налаштувань для роботи з BLE-пакетами, MicroPython підтримує BLE, але має обмежену функціональність, C++ (Mbed OS) дає повний контроль над BLE-стеком та параметрами з'єднання.

BLE використовує Generic Attribute Profile (GATT) для передачі даних між пристроями. У micro:bit можна визначати GATT-сервіси та характеристики (табл. 2.5), які дозволяють передавати команди та отримувати інформацію.

Таблиця 2.5 – Робота з BLE GATT-сервісами [13]

GATT-об'єкт	Функція	Приклад використання
Сервіс (Service)	набір характеристик	контроль робота
Характеристика (Characteristic)	одиниця даних	передача команди руху
Дескриптор (Descriptor)	метадані	опис значення характеристики

Наприклад, для керування роботом можна створити BLE-сервіс «Motor Control», де буде характеристика «Speed», що приймає значення від 0 до 255.

На iOS-програмуванні використовується Core Bluetooth API, що дозволяє зчитувати дані з micro:bit. Загальний алгоритм підключення:

- сканування доступних BLE-пристроїв з iPhone;
- встановлення зв'язку з micro:bit через унікальний UUID сервісу;
- підписка на характеристики GATT для прийому даних (наприклад, сенсорних показників);
- передача команд керування роботом.

Для передачі інформації micro:bit використовує BLE-характеристики, що можуть працювати у двох режимах (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Передача даних між micro:bit та iOS [14]

Тип передачі	Функція	Приклад
Read	iPhone читає значення	отримання показників датчиків
Write	iPhone надсилає команду	керування мотором
Notify	автоматичне оновлення	передача даних без запиту

Наприклад, якщо micro:bit передає дані з акселерометра, iPhone може підписатися на Notify-режим, і кожного разу, коли значення змінюється, micro:bit надсилатиме оновлення без потреби запитів.

При розробці BLE-з'єднання важливо мінімізувати затримку між передачею команд та їх виконанням, що особливо критично для керування рухом робота в реальному часі. Основні оптимізаційні техніки включають зменшення інтервалу з'єднання (Connection Interval) до 10-20 мс, що дозволяє збільшити частоту обміну даними між пристроями, використання максимально можливого розміру пакету передачі даних (MTU) для зменшення кількості відправлених BLE-пакетів та прискорення передачі інформації, а також обмеження використання «Read» запитів, натомість застосування Notify, що дозволяє пристрою автоматично надсилати оновлені значення без потреби в постійних запитах. Такий підхід значно підвищує швидкість реагування та ефективність зв'язку між iOS-пристроєм та micro:bit, забезпечуючи плавне та точне керування робототехнічними системами.

Для перевірки роботи BLE-з'єднання використовується:

- nRF Connect (Android/iOS) – дозволяє переглядати та тестувати BLE-сервіси;
- LightBlue Explorer (iOS) – аналізує GATT-профілі;
- відлагодження через UART на micro:bit – запис значень для перевірки роботи модуля.

При тестуванні важливо перевірити стабільність з'єднання, швидкість оновлення даних та коректність обробки команд.

Попри переваги, BLE-програмування на micro:bit має свої обмеження, які передбачають ряд проблем, розглянемо їх у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Виклики та обмеження у програмуванні BLE на micro:bit [15]

Обмеження	Проблема	Рішення
Малий обсяг пам'яті	16 КБ RAM обмежує складність BLE-програм	оптимізація коду, спрощення GATT-профілів
Обмежена кількість одночасних підключень	підтримує лише 1-2 пристрої	використання BLE-маяків
Відсутність потокового аудіо	BLE 4.0 не підтримує аудіопотік	використання Wi-Fi-модуля (ESP32) для аудіо

Оскільки micro:bit має обмежений обсяг оперативної пам'яті, необхідно оптимізувати BLE-профілі, використовуючи мінімально необхідну кількість GATT-сервісів і характеристик, що зменшує споживання пам'яті.

Через обмеження на кількість одночасних підключень альтернативним рішенням є використання BLE-маяків (BLE Beacon) або розгортання комунікації через центральний вузол (наприклад, ESP32 або Raspberry Pi), що може керувати декількома BLE-пристроями.

Щоб мінімізувати затримку передачі команд, варто оптимізувати параметри BLE-з'єднання:

- зменшити інтервал з'єднання (Connection Interval) до 10-20 мс для підвищення частоти обміну даними;
- максимально збільшити MTU (розмір переданого пакета), що зменшить кількість BLE-пакетів;

– використовувати `Notify` замість `Read`-запитів для автоматичного оновлення значень без затримок.

Через відсутність підтримки потокового аудіо та інших розширених можливостей у BLE 4.0, якщо потрібно передавати аудіосигнал або відеопотік, слід інтегрувати Wi-Fi-модуль (ESP8266 або ESP32), який може працювати в парі з `micro:bit` для розширення комунікаційних можливостей.

Таким чином, правильна оптимізація GATT-сервісів, покращення параметрів з'єднання та використання додаткових модулів дозволяє розширити можливості BLE-з'єднання на `micro:bit`, забезпечуючи надійне та ефективне керування робототехнічними системами через iOS.

## **2.4 Мобільний додаток для iOS для керування роботом**

### **2.4.1 Інтерфейс мобільного додатка**

Для забезпечення зручного керування роботом через iPhone або iPad мобільний додаток повинен мати простий та функціональний графічний інтерфейс (UI). Основні елементи інтерфейсу:

- віртуальний джойстик – для керування напрямком руху робота;
- кнопки керування швидкістю – для регулювання швидкості руху;
- сенсорні елементи керування (кнопки вперед, назад, вліво, вправо) – як альтернативний метод керування;
- індикатор стану з'єднання з `micro:bit` – для відображення статусу BLE-з'єднання;
- моніторинг даних сенсорів (ультразвукові, акселерометр, батарея) – для візуального відображення інформації, отриманої з `micro:bit`.

Мобільний додаток розробляється з використанням Swift та SwiftUI або UIKit. Для керування інтерфейсом рекомендується використання UIKit для більшої кастомізації або SwiftUI для швидкої розробки.

### 2.4.2 Передача команд через BLE

Основним способом зв'язку між iOS-додатком та micro:bit є Bluetooth Low Energy (BLE). Передача команд здійснюється через GATT-характеристики, що дозволяють відправляти дані між пристроями.

На рисунку 2.1 представимо алгоритм роботи BLE-з'єднання.



Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи BLE-з'єднання для керування роботом

Для реалізації BLE-з'єднання використовується Core Bluetooth API у Swift. Після встановлення з'єднання, додаток надсилає команди на micro:bit через GATT-характеристики (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Передача команд через BLE-характеристики

Команда	Значення	Опис
FORWARD	1	рух вперед
BACKWARD	2	рух назад
LEFT	3	поворот вліво
RIGHT	4	поворот вправо
STOP	0	зупинка

Отже, використання Core Bluetooth API у Swift дозволяє створити ефективний додаток, що підтримує миттєве керування роботом у реальному часі.

### РОЗДІЛ 3

## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ MICRO:BIT

### 3.1 Складання мобільного робота на базі платформи Micro:bit Mini Smart Car Kit V2

На початковому етапі реалізації проектної частини було здійснено підготовку всіх необхідних елементів, що входять до комплекту Micro:bit Mini Smart Robot Car Kit V2, з метою подальшого складання робототехнічної платформи (рис. 3.1, 3.2).

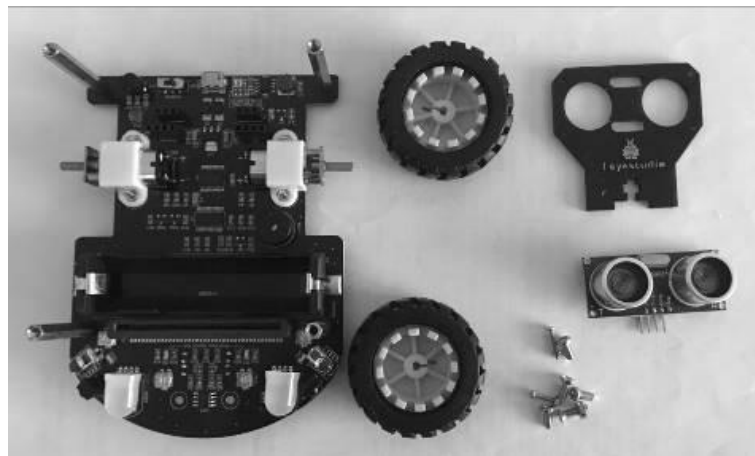


Рисунок 3.1 – Підготовка комплекту деталей до складання платформи Micro:bit Mini Smart Robot Car Kit V2

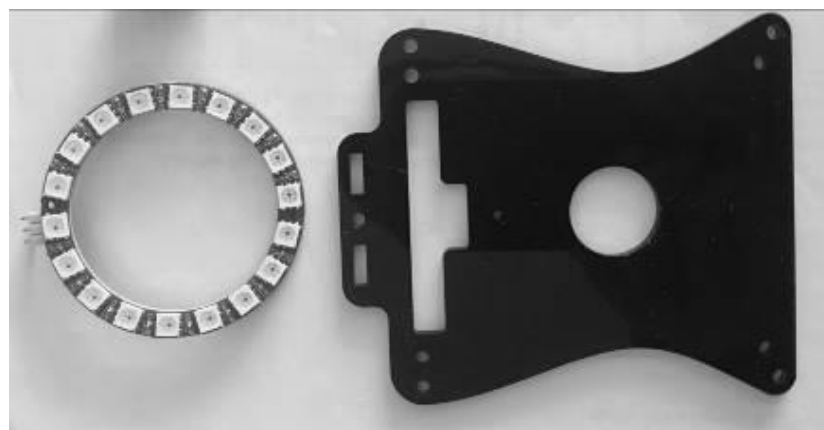


Рисунок 3.2 – Світлодіодний модуль KEYES-2812-18R, змонтований на верхньому щиті

На першому етапі складання було виконано монтаж опорних елементів до нижньої платформи шасі. Для цього використовувалися два жовті привідні колеса, чотири гвинти з напівкруглою головкою типу М3×6 мм, чотири двосторонні мідні шестигранні стійки довжиною 35 мм (типорозмір М3×35 мм), а також універсальне сталеве колесо з параметрами W22×H15 мм, яке забезпечує стабілізацію конструкції при русі.

Спочатку до нижньої частини шасі за допомогою двох гвинтів було прикріплено універсальне сталеве колесо, що виконує функцію передньої опори. Вигляд результату збирання з переднього та заднього боку наведено на рисунку 3.3. Наступним кроком стало встановлення двох електродвигунів, призначених для приводу основних коліс, які забезпечуватимуть поступальний рух платформи.

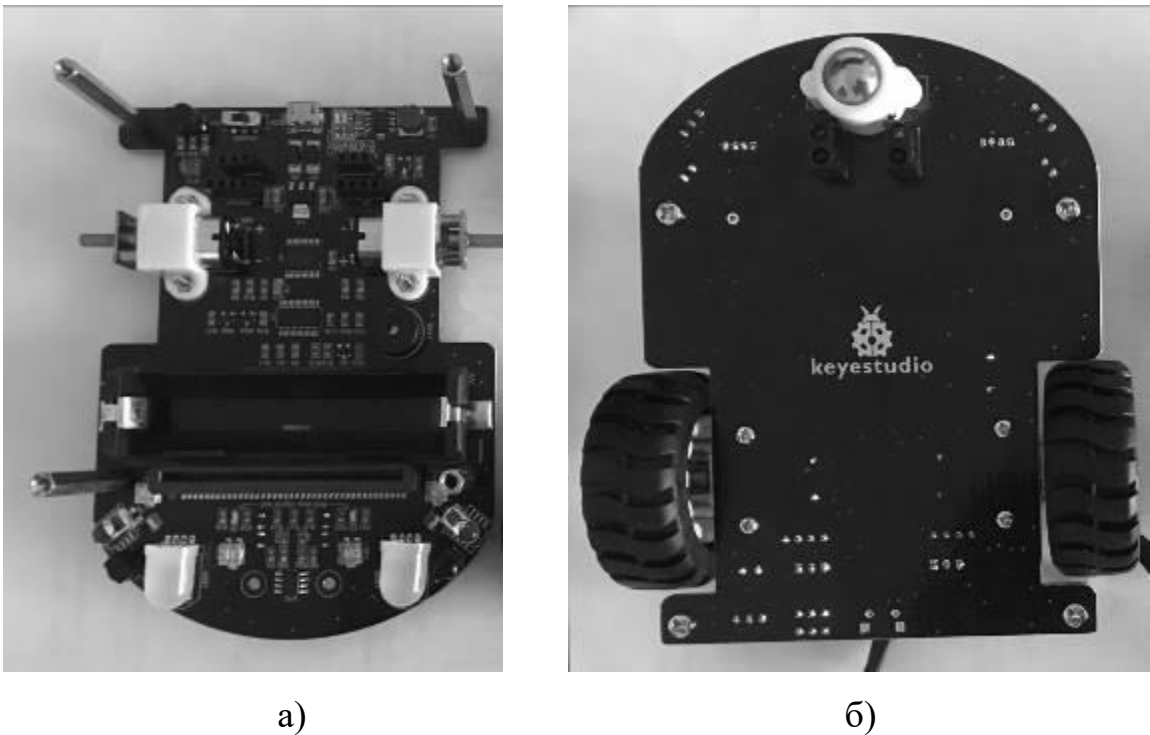


Рисунок 3.3 – Конструкція нижнього щита робота: а) фронтальний вигляд;  
б) вигляд ззаду

Наступним етапом стало закріплення на нижній платформі чотирьох круглих гвинтів типу М3×6 мм разом із чотирма двосторонніми мідними

опорами довжиною 35 мм (M3×35 мм). Ці елементи виконують функцію з'єднувальних стійок для подальшого монтажу верхніх частин конструкції, на рисунку 3.4.

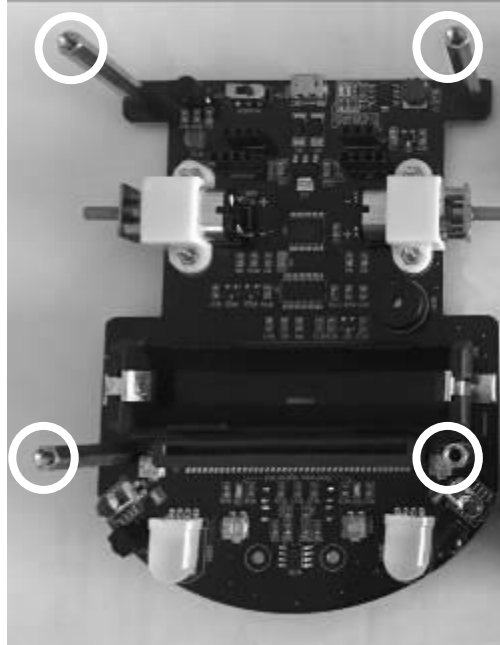


Рисунок 3.4 – Монтаж гвинтів M3×6 мм та мідних опор M3×35 мм на нижню платформу

Повторно встановлюється універсальне сталеве колесо розміру W22×H15 мм, яке необхідно надійно зафіксувати на нижньому щиті за допомогою двох монтажних гвинтів. Результат цього етапу показано на рисунках 3.5 та 3.6, де подано вигляд конструкції з передньої та задньої проєкції.



Рисунок 3.5 – Конструкція сталевого універсального колеса W22×H15 мм

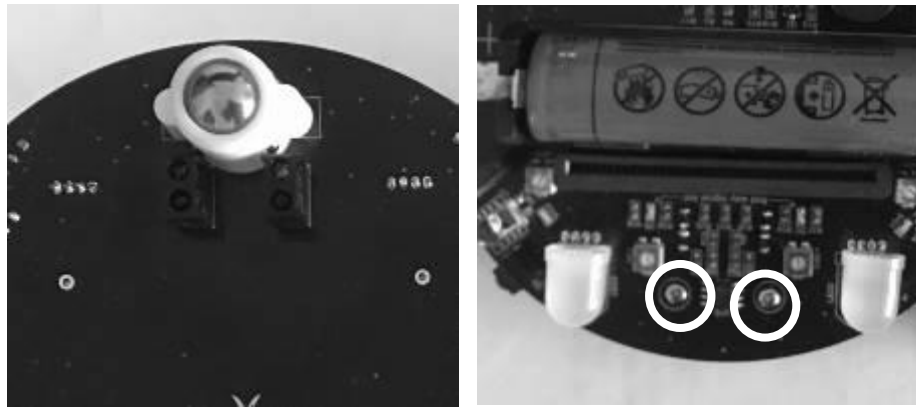


Рисунок 3.6 – Монтаж універсального колеса W22×H15 мм на нижню платформу: фронтальна та тильна проєкції

Завершальним кроком цього підетапу є встановлення жовтих провідних коліс на осі двигунів, які вже змонтовані на нижній частині платформи. Колеса щільно фіксуються на валах двигунів, забезпечуючи передачу обертового моменту (рис. 3.7).

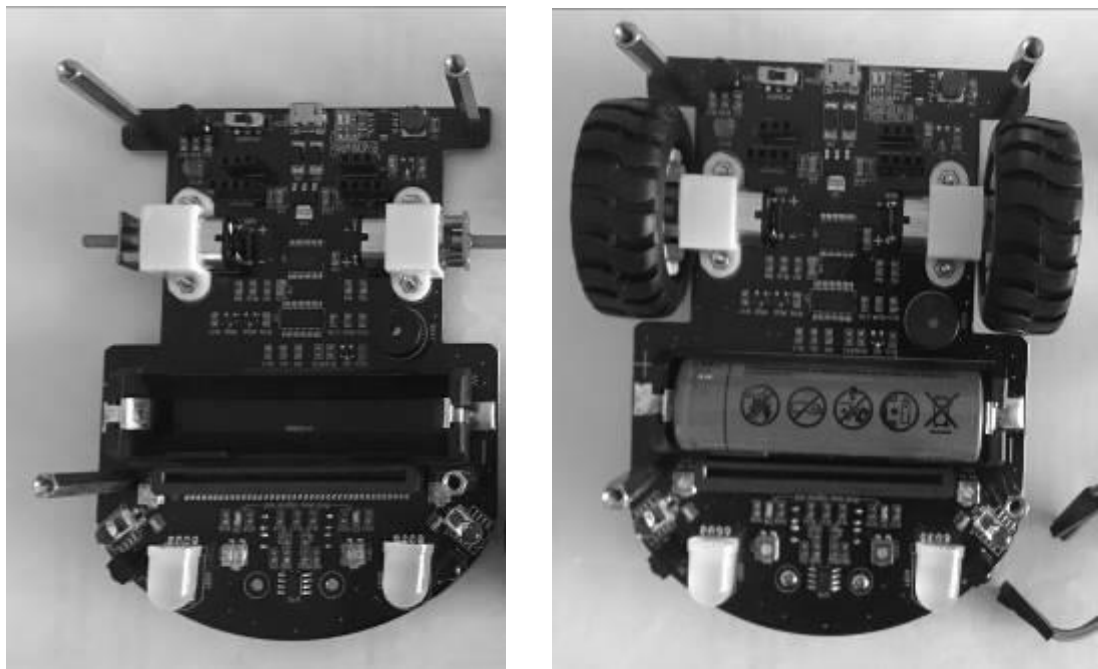


Рисунок 3.7 – Монтаж приводних коліс у конструкцію нижнього шасі робота

Після завершення механічного складання базової конструкції було розпочато етап встановлення електронних компонентів системи. До переліку елементів, необхідних для цього етапу, входять:

- ультразвуковий сенсорний модуль для вимірювання відстані до об'єктів;
- світлодіодний модуль KEYES-2812-18R з підтримкою RGB-ефектів;
- основна плата мікроконтролера micro:bit, що виконує функцію керування системою;

- 6 гвинтів з круглою головкою типорозміру M1.6×10 мм;
- 6 гайок з нержавіючої сталі M1.6 (сталь марки 304);
- 4 гвинти з круглою головкою типу M3×6 мм;
- 1 гвинт з плоскою головкою типу M3×10 мм;
- 1 гайка з нікельованим покриттям типу M3;
- набір провідників типу FM–перемичок для з'єднання між модулями.

На цьому етапі виконується перевірка сумісності отворів кріплення, а також підготовка необхідних інструментів для монтажу електронних модулів до корпусу мобільної платформи.

На етапі монтажу електронних компонентів було виконано встановлення RGB-модуля KEYES-2812-18R на акрилову монтажну пластину. Для фіксації використовували два гвинти з круглою головкою типу M1.6×10 мм, дві гайки з нержавіючої сталі стандарту M1.6 (304) та дві ізоляційні прокладки, які забезпечують механічну стабільність і запобігають коротким замиканням (рис. 3.8).

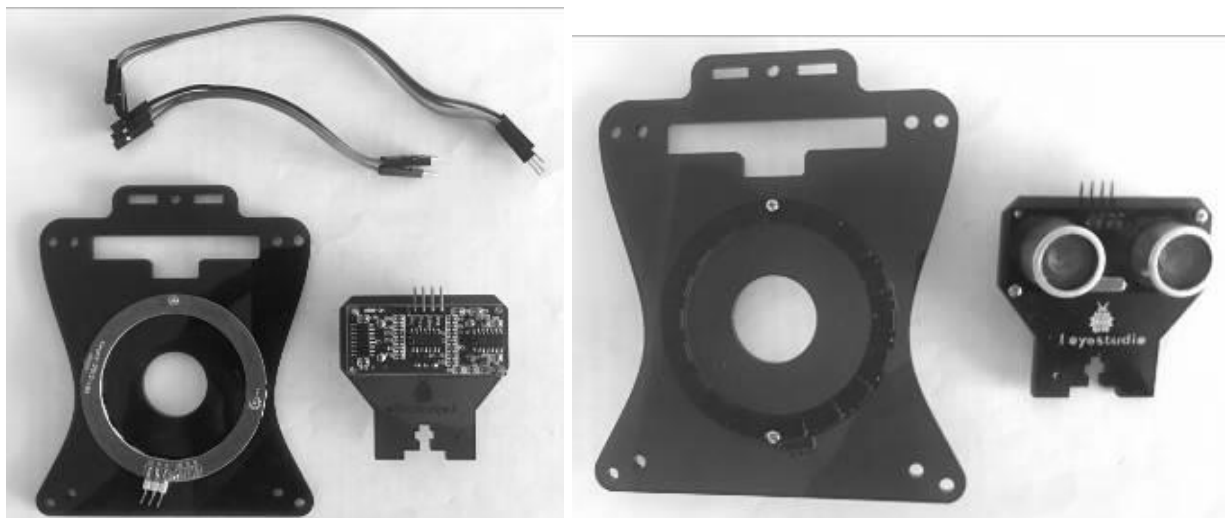


Рисунок 3.8 – Монтаж ультразвукового та світлодіодного модулів на акриловій платі

Після цього обидві акрилові пластини були об'єднані в єдину конструкцію. Для цього було використано один гвинт з плоскою головкою типу М3×10 мм та одну нікельовану гайку М3. Схематичне зображення остаточної конфігурації кріплення подано на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Верхній щит у зібраному вигляді після монтажу електронних компонентів

У результаті проведених монтажних робіт були отримані два окремі зібрані модулі на акрилових щитках – один із встановленим ультразвуковим сенсором HC-SR04, інший – зі світлодіодним RGB-модулем KEYES-2812-18R. Готові компоненти зображено на рисунку 3.10.

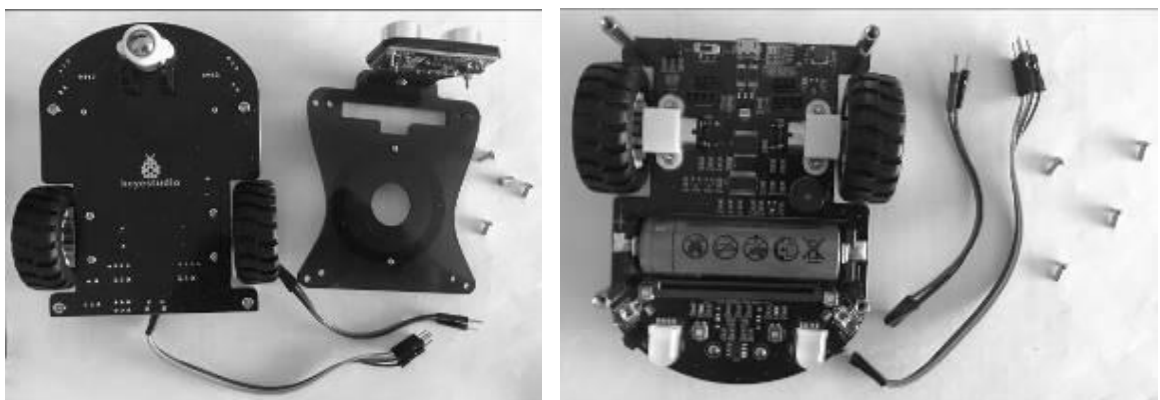


Рисунок 3.10 – Готові до встановлення щитки з модулями системи Micro:bit Mini Smart Robot Car Kit V2

Після складання виконано підключення обох модулів до нижньої частини шасі робототехнічної платформи за допомогою перемичок типу F-M (female-male).

Ультразвуковий модуль HC-SR04 для вимірювання відстані потребує двох цифрових ліній: Trig для запуску імпульсу і Echo для приймання відбитого сигналу. У даній конфігурації вони підключені до портів D14 та D15, що дає змогу програмно контролювати затримки та обчислювати дистанцію до об'єкта.

Модуль KEYES-2812-18R (RGB-світлодіоди) функціонує через цифрову лінію D5, яка передає дані у форматі PWM. Для коректної роботи обох модулів важливе дотримання полярності живлення та заземлення – контакти G (GND) і V/VCC підключені відповідно до спільної логіки живлення плати micro:bit.

Особливу увагу слід приділити сумісності напруг: HC-SR04 працює від 5 В, а DI-вхід KEYES-2812-18R може бути чутливим до рівня логіки, тому важливо переконатися у відповідності виходів micro:bit стандарту TTL (5V сумісний). Візуальне представлення схеми підключення продемонстровано на рисунку 3.11.

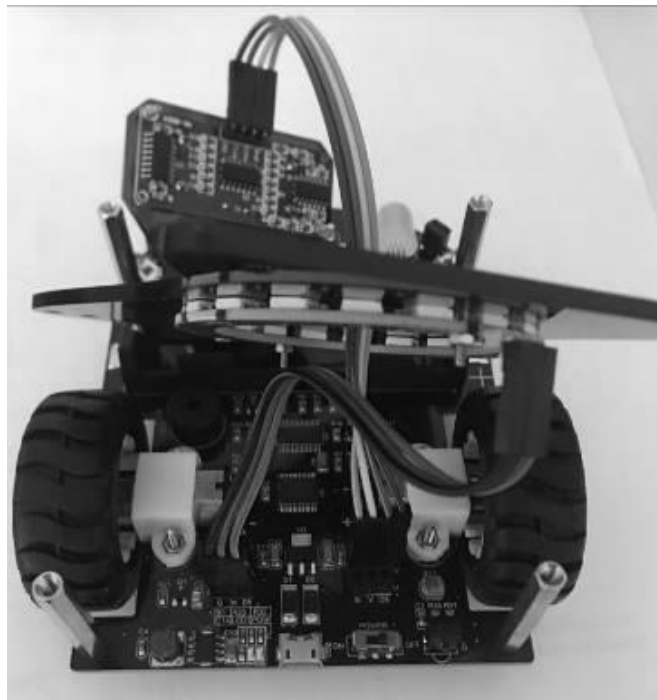


Рисунок 3.11 – З'єднання ультразвукового сенсора HC-SR04 і модуля KEYES-2812-18R з нижнім щитом через F-M перемички

Завершальним етапом складання конструкції є встановлення акрилових монтажних пластин на чотири кутові двосторонні шестигранні опори типу М3×35 мм, виготовлені з мідного сплаву. Кріплення здійснюється за допомогою чотирьох гвинтів із круглою головкою типорозміру М3×6 мм (рис. 3.12). Після фіксації верхньої частини корпусу залишається вставити основну мікроконтролерну плату micro:bit у відповідне гніздо нижнього щита, що завершує процес апаратного складання робототехнічної системи.



Рисунок 3.12 – Зібраний мобільний робот на базі комплекту Micro:bit Mini Smart Robot Car Kit V2

### **3.2 Встановлення програмного забезпечення для взаємодії з платою Micro:bit**

Мікроконтролерна плата BBC micro:bit постачається з попередньо інстальованою прошивкою, що дозволяє розробляти програми мовою JavaScript (або її спрощеним діалектом MakeCode), а також Python. Перед завантаженням на пристрій код автоматично компілюється у спеціальному середовищі розробки, оптимізованому під архітектуру мікроконтролера ARM Cortex-M0, який є недорогим і енергоефективним процесором з обмеженими ресурсами, але достатнім для освітніх і демонстраційних проєктів.

Для взаємодії з пристроєм на рівні передачі прошивки необхідно підключити плату micro:bit до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Після підключення пристрій автоматично розпізнається операційною системою як зовнішній накопичувач (рис. 3.13).

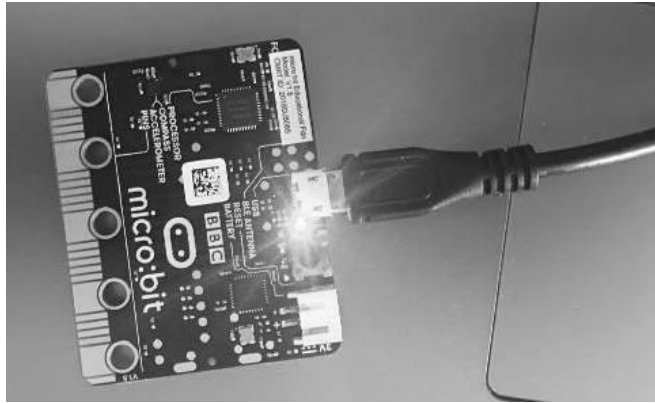


Рисунок 3.13 – Виявлення micro:bit як знімного диска «MICROBIT» у файльовій системі

Після підключення пристрою до комп'ютера, операційна система автоматично розпізнає плату як знімний диск з іменем «MICROBIT», що дозволяє здійснювати перенесення прошивки у вигляді \*.hex-файлу без додаткових інструментів (рис. 3.14).

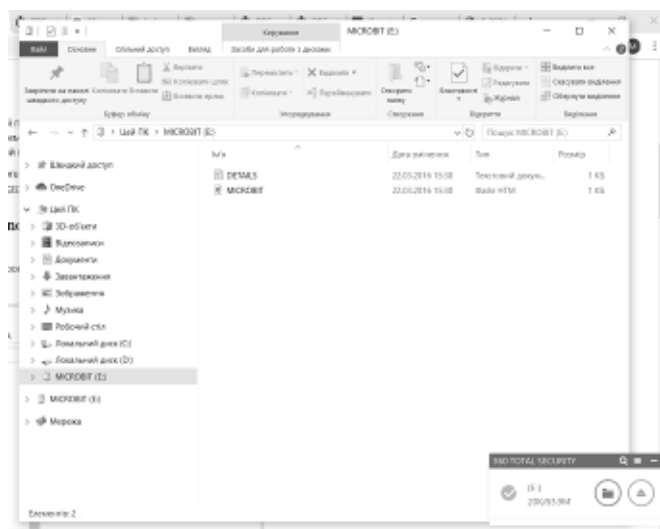


Рисунок 3.14 – Поява диска «MICROBIT» після підключення плати до комп'ютера

Далі необхідно перейти до офіційного онлайн-сховища прошивок Espruino, яке містить актуальні версії файлів для мікроконтролерів, зокрема й для micro:bit. Для цього у веббраузері відкривається сторінка за адресою: [www.espruino.com/binaries/](http://www.espruino.com/binaries/) (рис. 3.15), де доступний перелік бінарних файлів, що можуть бути завантажені на плату.

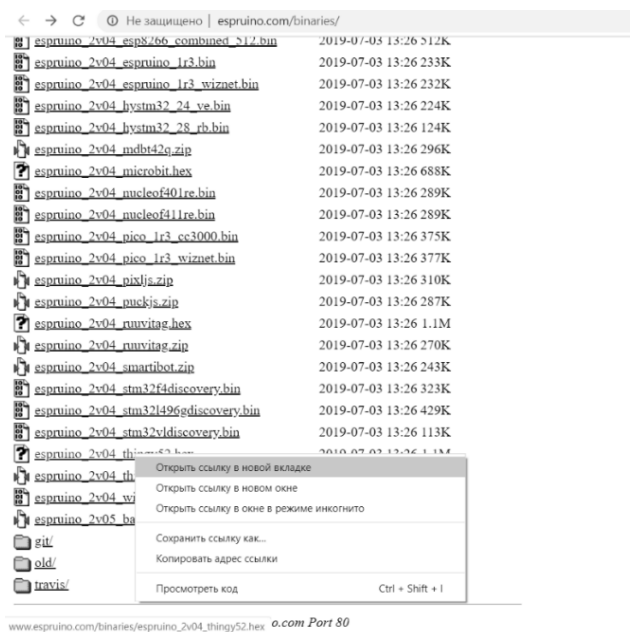


Рисунок 3.15 – Головна сторінка сховища прошивок Espruino

На сторінці сховища необхідно знайти найновішу доступну версію прошивки Espruino для платформи micro:bit. Імена відповідних файлів мають стандартизовану структуру: `espruino_XvXX_microbit.hex`.

Де `XvXX` – це номер версії (наприклад, `2v10` або `2v12`), що вказує на конкретне оновлення мікропрограми.

При відкритті посилання на відповідний файл у новій вкладці браузера відображається вміст у вигляді HEX-коду, що є машинним представленням прошивки для завантаження на плату (рис. 3.16).

```

:0400000330007B79D5
:02000040000FA
:10000000C0070000D1060000D1000000
:10001000000000000000000000000000
:10002000000000000000000000000000
:10003000000000000000000000000000
:10004000FF000000F900000003010000
:1000500017010000210100002B010000
:100060003F0100004901000053010000
:1000700067010000710100007B010000
:100080008F01000099010000A3010000
:10009000B7010000C1010000CB010000
:1000A000DF010000E9010000F3010000
:1000B00007020000110200001B020000
:1000C0001FB5C045C04600F0EFA094B6
:1000D00008205A490968095808473826
:1000E00095808473C20554909680958
:1000F000524909680958084744205049
:10010000084748204D49096809580847
:10011000096809580847502048490968
:10012000542046490968095808475826
:10013000095808475C20414909680958
:100140003E490968095808476203C49
:10015000084768203949096809580847
:10016000096809580847702034490968
:10017000742032490968095808477826
:10018000095808477C202D4909680958
:100190002A4909680958084784202849
:1001A000084788202549096809580847
:1001B000096809580847902020490968
:1001C00094201E490968095808479826
:1001D000095808479C20194909680958
-----

```

Рисунок 3.16 – Вміст прошивки Espruino у форматі HEX після відкриття в браузері

Для завантаження прошивки на плату необхідно натиснути правою кнопкою миші на відображеному HEX-коді та обрати опцію «Зберегти як...», після чого вказати шлях збереження безпосередньо до накопичувача MICROBIT, що ідентифікує підключену плату micro:bit.

У результаті виконаних дій було успішно здійснено підключення плати micro:bit до комп'ютера, а також встановлено на неї актуальну версію прошивки Espruino. Завдяки тому, що micro:bit розпізнається операційною системою як звичайний USB-накопичувач, процес запису прошивки не потребує додаткових утиліт і виконується шляхом простого копіювання \*.hex-файлу. Це значно спрощує розгортання програмного середовища та пришвидшує перехід до етапу тестування функціоналу пристрою.

### 3.3 Розробка керуючої програми в середовищі MakeCode

Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера Micro:bit у межах створеної робототехнічної системи здійснюється за допомогою онлайн-середовища MakeCode. Цей редактор підтримує візуальне блокове програмування, що базується на структурі JavaScript, дозволяючи створювати програму шляхом інтуїтивного перетягування готових функціональних блоків до робочого поля. Такий підхід забезпечує високу доступність розробки навіть для

користувачів без досвіду текстового програмування та значно прискорює створення логіки взаємодії між компонентами системи (рис. 3.17).

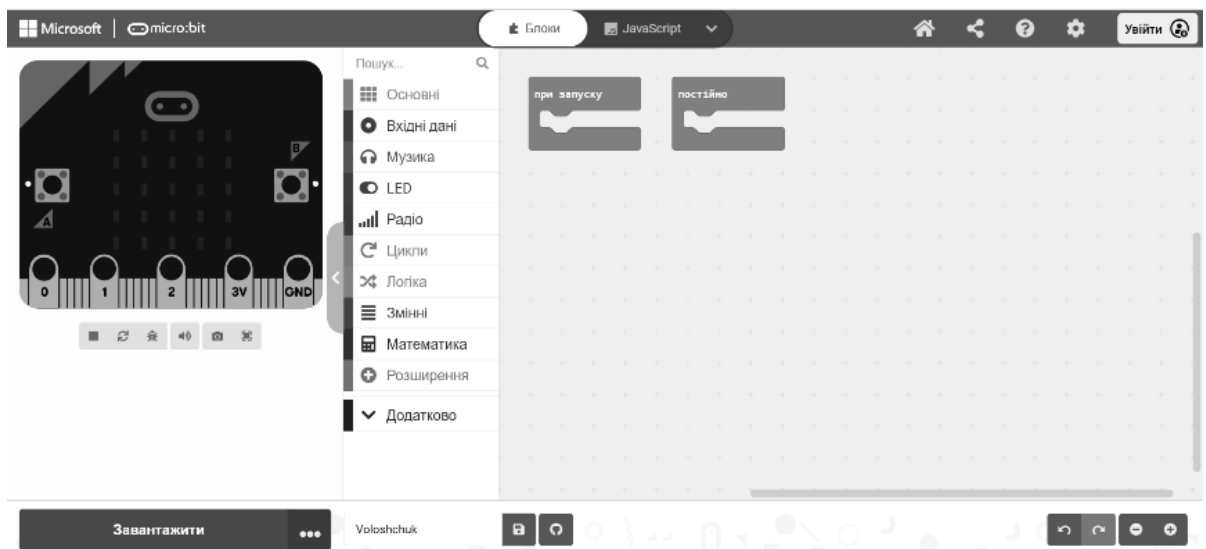


Рисунок 3.17 – Інтерфейс середовища розробки MakeCode

За допомогою візуального редактора MakeCode можна легко створити базову програму для мікроконтролера micro:bit шляхом послідовного поєднання блоків, що відповідають окремим логічним операціям. На рисунку 3.18 подано приклад такої найпростішої програми, реалізованої у блоковому режимі.

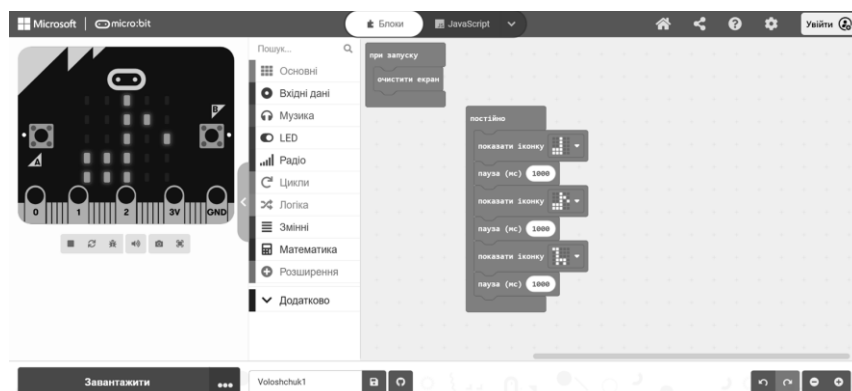


Рисунок 3.18 – Створення базової програми у блоковому режимі в середовищі MakeCode

Для перегляду її текстового представлення у форматі JavaScript достатньо натиснути відповідну вкладку у середовищі розробки. У результаті буде

згенеровано еквівалентний програмний код, який ілюструється на рисунку 3.19. Повний текст програми наведено в додатку А.

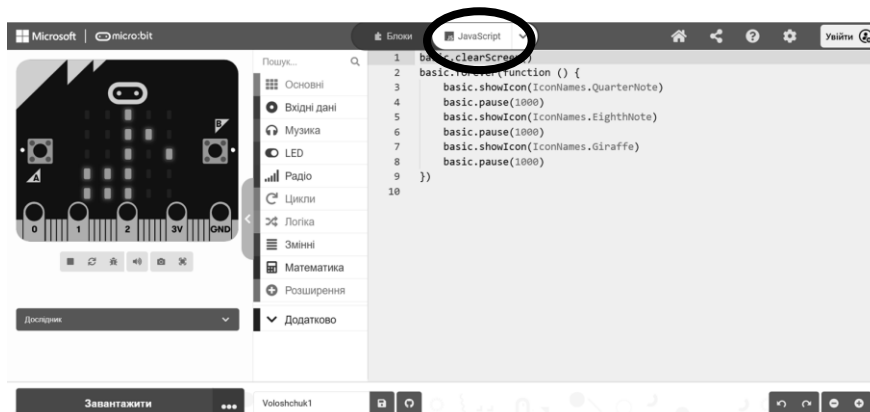


Рисунок 3.19 – Автоматично згенерований JavaScript-код програми в редакторі MakeCode

Наступним етапом після створення програми є її експорт у форматі HEX, що виконується безпосередньо в середовищі MakeCode. Після натискання кнопки «Зберегти» генерується спеціалізований файл з розширенням .hex, який є скомпільованою версією програми у шістнадцятковому представленні, придатною для завантаження на плату micro:bit.

Користувач має можливість задати індивідуальну назву проєкту, наприклад, «Voloshchuk1», перш ніж зберегти файл локально. Процес збереження та інтерфейс відповідного вікна зображено на рисунку 3.20.

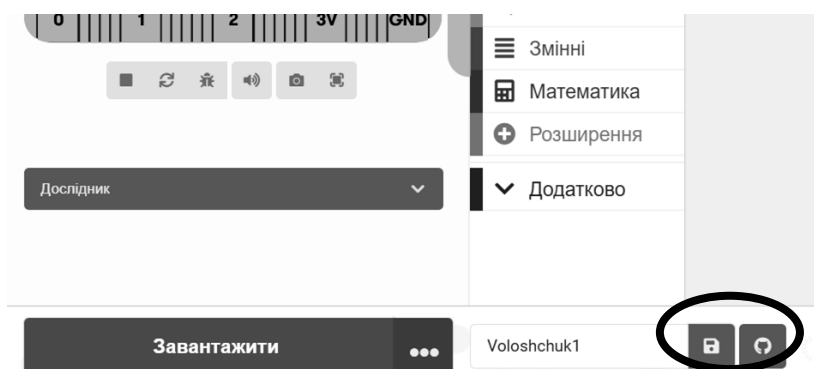


Рисунок 3.20 – Збереження скомпільованої програми у форматі HEX у середовищі MakeCode

Після генерації HEX-файлу програму необхідно скопіювати на micro:bit, що відбувається аналогічно до копіювання файлів на звичайний USB-накопичувач. Для цього потрібно відкрити каталог, у якому було збережено файл, наприклад «Voloshchuk1», клацнути по ньому правою кнопкою миші та обрати пункт меню «Надіслати до → MICROBIT».

Цей процес автоматично ініціює передавання прошивки на мікроконтролер. Після завершення копіювання на платі micro:bit запускається виконання завантаженої програми (рис. 3.21).

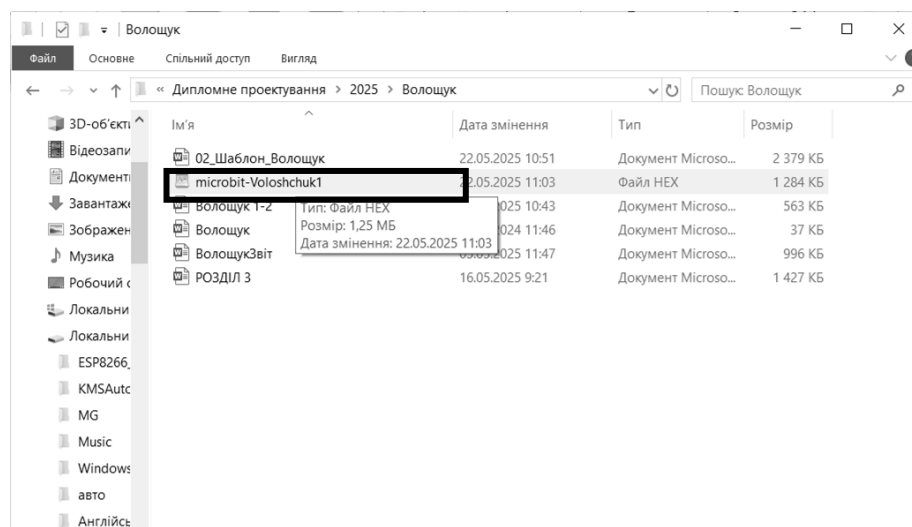


Рисунок 3.21 – Надсилання HEX-файлу програми на плату micro:bit через контекстне меню Windows

Після успішного завантаження прошивки на micro:bit відбувається автоматичний запуск виконання програми, і користувач може спостерігати результат на вбудованому світлодіодному дисплеї, розташованому на зворотному боці плати. Візуалізація даних або графічних символів (наприклад, фігрка, буква, стрілка, цифра тощо) відповідає логіці, закладеній у програмному коді (рис. 3.22).

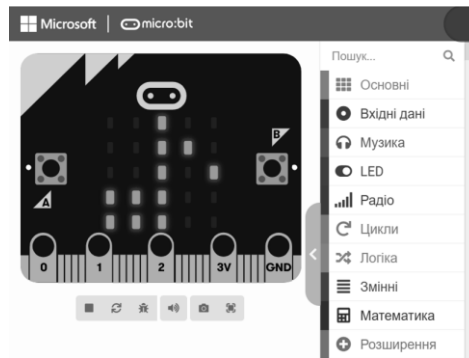


Рисунок 3.22 – Відображення зображення на світлодіодному дисплеї плати micro:bit під час виконання програми

Плата micro:bit може отримувати живлення як від USB-кабелю, так і від зовнішнього джерела – акумуляторної батареї, що підключається через окремий роз'єм. Така гнучкість дозволяє використовувати пристрій як у стаціонарному режимі під час розробки, так і в автономних мобільних застосуваннях.

## ВИСНОВКИ

У межах виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнуто поставлену мету, а саме реалізовано програмно-апаратний комплекс для дистанційного керування роботизованою платформою Mini Smart Robot Car Kit V2 із використанням мікроконтролера BBC micro:bit NRF51822. Проведений аналіз сучасного стану робототехнічних платформ і методів дистанційного управління дозволив виявити актуальні напрями розвитку у сфері мобільної робототехніки, зокрема в умовах обмеженого доступу до середовища керування.

В ході виконання роботи було здійснено огляд і порівняння робототехнічних платформ та обґрунтовано доцільність використання micro:bit як компактного, доступного та енергоефективного рішення для керування мобільною робо-системою.

Здійснено обґрунтований вибір компонентів, підібрано й протестовано необхідні компоненти, а саме сервомотори, шасі, Bluetooth-модуль, акумуляторний блок, що забезпечують надійну роботу роботизованої платформи.

Було спроектовано та зібрано прототип мобільного робота Mini Smart Robot Car Kit V2 із використанням мікроконтролера BBC micro:bit NRF51822.

Розроблено прошивку для мікроконтролера BBC micro:bit NRF51822, що забезпечує бездротове керування через Bluetooth-з'єднання з пристроями на базі iOS. Успішно протестовано функціональність системи в лабораторних умовах.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування плати BBC micro:bit для розробки недорогих, але функціональних рішень у сфері дистанційного керування роботизованими платформами. Впровадження подібних технологій має значний потенціал у воєнній, рятувальній та соціальній сферах, де критично важливо забезпечити безпечну взаємодію людини із середовищем через посередництво робототехнічних засобів. У майбутньому доцільним є розширення функціональності проєкту – зокрема, додавання сенсорів перешкод, модуля відеоспостереження або навігаційної системи для

автономної роботи, що дозволить розширити спектр завдань, які здатна виконувати робототехнічна система.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What is Arduino? *Arduino* URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (дата звернення: 18.01.2025).
2. What Is Raspberry Pi? Models, Features, and Uses. *Spiceworks*. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-raspberry-pi/> (дата звернення: 19.01.2025).
3. Raspberry Pi. *Raspberrypi* URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/> (дата звернення: 18.01.2025).
4. Lego Mindstorms EV3. *Constructors*. URL: <https://constructors.com.ua/ua/lego-mindstormsr/bazovyu-nabir-education-ev3-45544?srsIid=AfmBOopk6Hk5lLheSstP zug-x7lvIFho6Xm0EFpMrhYmXjheKl-ksgRo> (дата звернення: 18.01.2025).
5. BBC micro:bit. URL: <https://learn.adafruit.com/bbc-micro-bit-lesson-number-0/microcontroller> (дата звернення: 21.01.2025).
6. Найкращий мікроконтролер для IoT для підвищення рівня розвитку IoT. URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/best-microcontroller-for-iot-to-elevate-your-iot-development/> (дата звернення: 30.10.2025).
7. Natgunanathan I., Fernando N., Loke S.W., Weerasuriya C. Bluetooth Low Energy Mesh: Applications, Considerations and Current State-of-the-Art. Vol. 23(4). 2023. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/1826> (дата звернення: 10.02.2025).
8. Bluetooth Low Energy (BLE). URL: <https://tektelic.com/what-it-is/bluetooth-low-energy/> (дата звернення: 10.02.2025).
9. Перспективи Bluetooth Mesh для розумного будинку. URL: <https://oxorona.com/bluetooth-mesh/> (дата звернення: 10.11.2024).
10. BBC micro:bit + WiFi + phone notifications. URL: <https://www.hackster.io/393644/bbc-micro-bit-wifi-phone-notifications-ddb90d> (дата звернення: 15.02.2025).

11. HomeKit. Apple Developer Documentation.  
URL: <https://developer.apple.com/documentation/homekit/> (дата звернення: 15.11.2024).

12. Polishchuk M., Semenyuk O., Polishchuk L., Lomakin M. Authorization and User Data Protection Options when Developing Cloud Web Applications for IoT. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. Vol. 52. 2023. P. 94-103. URL: <https://www.cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/465> (дата звернення: 01.03.2025).

13. Introduction to Bluetooth Low Energy. GATT.  
URL: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt> (дата звернення: 10.03.2025).

14. Transfer code to the micro:bit. URL: <https://microbit.org/get-started/user-guide/transfer-code-to-the-microbit/> (дата звернення: 11.03.2025).

15. Lidia Cerasela Farcas, Ovidiu Florin Caltun. Robotics in Elementary School using the BIT microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1929. 2021. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1929/1/012077> (дата звернення: 11.03.2025).

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Код в Python

```
irRemote.connect_infrared(DigitalPin.P16)
strip = neopixel.create(DigitalPin.P5, 18, NeoPixelMode.RGB)
val = 0
val2 = 0

def on_forever():
    global val, val2
    val = irRemote.return_ir_button()
    if val != 0:
        val2 = val
        if val2 == 70:
            k_Bit.run(DIR.RUN_FORWARD, 40)
            strip.show_color(neopixel.colors(NeoPixelColors.GREEN))
        elif val2 == 68:
            k_Bit.motor(MotorObs.LEFT_SIDE, MotorDir.FORWARD, 15)
            k_Bit.motor(MotorObs.RIGHT_SIDE, MotorDir.FORWARD, 35)
            strip.show_color(neopixel.colors(NeoPixelColors.BLUE))
        elif val2 == 67:
            k_Bit.motor(MotorObs.LEFT_SIDE, MotorDir.FORWARD, 35)
            k_Bit.motor(MotorObs.RIGHT_SIDE, MotorDir.FORWARD, 15)
            strip.show_color(neopixel.colors(NeoPixelColors.YELLOW))
        elif val2 == 21:
            k_Bit.run(DIR.RUN_BACK, 40)
            strip.show_color(neopixel.colors(NeoPixelColors.PURPLE))
        elif val2 == 64:
            k_Bit.car_stop()
            strip.show_color(neopixel.colors(NeoPixelColors.RED))
basic.forever(on_forever)
```

## Додаток Б

### Код в JavaScript

```

irRemote.connectInfrared(DigitalPin.P16)
let strip = neopixel.create(DigitalPin.P5, 18, NeoPixelMode.RGB)
let val = 0
let val2 = 0
basic.forever(function on_forever() {

    val = irRemote.returnIrButton()
    if (val != 0) {
        val2 = val
        if (val2 == 70) {
            k_Bit.run(DIR.RunForward, 40)
            strip.showColor(neopixel.colors(NeoPixelColors.Green))
        } else if (val2 == 68) {
            k_Bit.Motor(MotorObs.LeftSide, MotorDir.Forward, 15)
            k_Bit.Motor(MotorObs.RightSide, MotorDir.Forward, 35)
            strip.showColor(neopixel.colors(NeoPixelColors.Blue))
        } else if (val2 == 67) {
            k_Bit.Motor(MotorObs.LeftSide, MotorDir.Forward, 35)
            k_Bit.Motor(MotorObs.RightSide, MotorDir.Forward, 15)
            strip.showColor(neopixel.colors(NeoPixelColors.Yellow))
        } else if (val2 == 21) {
            k_Bit.run(DIR.RunBack, 40)
            strip.showColor(neopixel.colors(NeoPixelColors.Purple))
        } else if (val2 == 64) {
            k_Bit.carStop()
            strip.showColor(neopixel.colors(NeoPixelColors.Red))
        }
    }

})

```