

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка макету мобільного робота для участі у BattleRobots
(тема)

Виконав:
здобувач IV року навчання,
групи АКТСІ-21-1
Андрій ДЕМЧЕНКО
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва напрямку)

Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викл. каф. КІТАР Дмитро Гурін
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри КІТАР _____
(підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ
(власне ім'я, прізвище)

Я, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

10.06.2025

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'D' followed by a cursive 'e' and 'm'.

Андрій ДЕМЧЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Системна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

« 03 » березня 2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Демченко Андрію Валерійовичу
(шифр і назва)

1. Тема роботи: _____ Розробка макету мобільного робота для участі у
BattleRobots

Затверджена наказом університету від _____ 19.05.2025 №391Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 18.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Використання пластику для друку PLA;

3.2 Реалізувати живлення системи від 2 акумуляторів; 3.3 Зібрати схему підключення у Fritzing

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз існуючих мобільних роботів Battle Robots, їх переваги та недоліки; 4.3 Аналіз систем управління мобільними роботами; 4.4 Аналіз конструкторських рішень при розробці мобільних роботів; 4.5 Розробка структурної схеми мобільного робота; 4.6 Вибір апаратних модулів системи керування; 4.7 Розробка 3D моделі конструкції корпусу мобільного робота; 4.8 Нозрахунок стійкості системи управління; 4.9 Розробка схеми підключення; 4.10 Збірка макета мобільного робота BATTLE ROBOTS; 4.11 Обґрунтування вибору середовища розробки програми керування; 4.12 Розробка алгоритму управління мобільним роботом; 4.13 Програмна реалізація функцій системи керування; 4.14 Реалізація НМІ управління роботом; 4.15 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів; 4.16 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(*.ppt) формату А4 – 10-15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

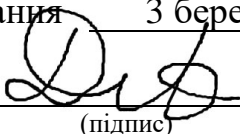
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз системи управління та конструкцій мобільних роботів BATTLE ROBOTS	24.03.2025-29.03.2025	виконано
2	Розробка структурної схеми мобільного робота	30.03.2025-02.04.2025	виконано
3	Вибір апаратних модулів системи керування	03.04.2025-08.04.2025	виконано
4	Розробка 3D моделі конструкції корпусу мобільного робота	09.04.2025-13.04.2025	виконано
5	Розрахунок стійкості системи управління	14.04.2025-17.04.2025	виконано
6	Розробка схеми підключення	18.04.2025-21.04.2025	виконано
7	Збірка макета мобільного робота BATTLE ROBOTS	22.04.2025-02.05.2025	виконано
8	Обґрунтування вибору середовища розробки програми керування	03.05.2025-04.05.2025	виконано
9	Розробка алгоритму управління мобільним роботом	05.05.2025-10.05.2025	виконано
10	Програмна реалізація функцій системи керування	11.05.2025-23.05.2025	виконано
11	Реалізація НМІ управління роботом	24.05.2025-01.06.2025	виконано
12	Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів	02.06.2025-08.06.2025	виконано
13	Оформлення пояснювальної записки	09.06.2025-10.06.2025	викон.

Дата видачі завдання 3 березня 2025р.

Здобувач _____


(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

Андрій ДЕМЧЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

ст. викл. Дмитро ГУРІН

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 10 табл., 20 рис., 3 дод., 40 джерел.

MINISUMO, МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, BATTLE ROBOTS, КЕРУВАННЯ РОБОТАМИ, АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, 3D МОДЕЛЮВАННЯ, НМІ.

Мета роботи – розробка експериментального макета мобільного робота MiniSumo для участі у BattleRobots.

Об’єкт розробки – процес керування мобільним роботом MiniSumo.

Предмет розробки – методи, алгоритми та програмне забезпечення керування мобільним роботом для участі у BattleRobots.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз існуючих мобільних роботів Battle Robots, їх переваги та недоліки. Проаналізовано системи управління мобільними роботами та конструкторські рішення при розробці мобільних роботів. Розроблено структурну схему мобільного робота та вибрано апаратні модулі системи керування. Далі було розроблено 3D модель конструкції корпусу мобільного робота та проведено розрахунок стійкості системи управління. Розроблено схему підключення та зібрано макет мобільного робота BATTLE ROBOTS. Обґрунтовано вибір середовища розробки програми керування. Розроблено алгоритм управління мобільним роботом та програмно реалізовано функції системи керування. Реалізовано НМІ управління роботом, проведено експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів. Отримані результати кваліфікаційної роботи можна віднести до Цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.4.

ABSTRACT

Explanatory note: 85 pages, 10 tables, 20 figures, 3 app, 40 sources.

MINISUMO, MOBILE ROBOT, BATTLE ROBOTS, ROBOT CONTROL, CONTROL ALGORITHMS, SOFTWARE, 3D MODELING, HMI.

The purpose of the work is to develop an experimental model of the MiniSumo mobile robot for participation in BattleRobots.

The object of development is the process of controlling the MiniSumo mobile robot.

The subject of development is methods, algorithms and software for controlling the mobile robot for participation in BattleRobots.

In the qualification work, an analysis of existing mobile robots Battle Robots, their advantages and disadvantages was carried out. Mobile robot control systems and design solutions in the development of mobile robots were analyzed. A structural diagram of the mobile robot was developed and hardware modules of the control system were selected. Then a 3D model of the mobile robot body structure was developed and the stability of the control system was calculated. A connection diagram was developed and a BATTLE ROBOTS mobile robot model was assembled. The choice of the control program development environment was justified. A mobile robot control algorithm was developed and the control system functions were implemented in software. A robot control HMI was implemented, experimental studies were conducted and the results were analyzed. The results of the qualification work can be attributed to Sustainable Development Goals 9 "Industry, Innovation and Infrastructure", namely 9.4.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз системи управління та конструкцій мобільних роботів BATTLE ROBOTS	12
1.1 Аналіз існуючих мобільних роботів Battle Robots, їх переваги та недоліки.....	12
1.2 Аналіз систем управління мобільними роботами.....	16
1.3 Аналіз конструкторських рішень при розробці мобільних роботів	19
2 Розробка макета та системи управління мобільним роботом BATTLE ROBOTS	21
2.1 Розробка структурної схеми мобільного робота	21
2.2 Вибір апаратних модулів системи керування	24
2.3 Розробка 3D моделі конструкції корпусу мобільного робота	32
2.4 Розрахунок стійкості системи управління.....	34
2.5 Розробка схеми підключення.....	40
2.6 Збірка макета мобільного робота BATTLE ROBOTS	42
3 Розробка програми управління мобільним роботом BATTLE ROBOTS.....	44
3.1 Обґрунтування вибору середовища розробки програми керування.....	44
3.2 Розробка алгоритму управління мобільним роботом	45
3.3 Програмна реалізація функцій системи керування	47
3.4 Реалізація НМІ управління роботом	51
3.5 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.....	55
3.6 Охорона праці.....	61
Висновки	63
Перелік джерел посилання	64
Додаток А Код програми.....	70

Додаток Б Апробація результатів наукових досліджень	73
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

HMI – Human-Machine Interface;

SAM – Smart ARM Microcontrollers.

ВСТУП

Розробка ефективних, компактних і надійних мобільних роботів типу MiniSumo дозволяє не лише перевірити на практиці сучасні підходи до проектування роботизованих систем, але й сприяє популяризації технічної творчості серед молоді, стимулюючи інновації у сфері програмування, електроніки та машинобудування. Також, створення власного робота для участі в змаганнях BattleRobots дозволяє дослідити різноманітні методи керування, протестувати нові алгоритми та оцінити ефективність програмного забезпечення в умовах реального фізичного середовища.

Мета роботи – розробка експериментального макета мобільного робота MiniSumo для участі у BattleRobots.

Об'єкт розробки – процес керування мобільним роботом MiniSumo.

Предмет розробки – методи, алгоритми та програмне забезпечення керування мобільним роботом для участі у BattleRobots.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих мобільних роботів Battle Robots, їх переваги та недоліки;
- провести аналіз систем управління мобільними роботами;
- провести аналіз конструкторських рішень при розробці мобільних роботів;
- розробити структурну схему мобільного робота;
- провести вибір апаратних модулів системи керування;
- розробити 3D модель конструкції корпусу мобільного робота;
- провести розрахунок стійкості системи управління;
- розробити схему підключення;
- зібрати макет мобільного робота BATTLE ROBOTS;

- провести обґрунтування вибору середовища розробки програми керування;
- розробити алгоритм управління мобільним роботом;
- програмно реалізувати функції системи керування;
- реалізувати НМІ управління роботом;
- провести експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], керуючись навчальним посібником з написання кваліфікаційної роботи бакалавра [2] та методичними вказівками [3]. Результати кваліфікаційної роботи отримали апробацію на науковій конференції [4].

1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА КОНСТРУКЦІЙ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ BATTLE ROBOTS

1.1 Аналіз існуючих мобільних роботів Battle Robots, їх переваги та недоліки

Battle Robots – це мобільні автономні або дистанційно керовані пристрої, створені для участі в змаганнях, метою яких є виведення з ладу робота суперника шляхом фізичного впливу в рамках чітко встановлених правил. Сучасні мобільні роботи Battle Robots, що беруть участь у змаганнях, таких як BattleBots або Robot Wars, демонструють широкий спектр інженерних рішень, стратегій атаки та конструкторських особливостей [5].

Одним із найвідоміших бойових роботів є Tombstone – що є найвідомішим у змаганнях BattleBots. Цей робот побудований на класичній колісній платформі й оснащений великим обертовим горизонтальним диском, що є його основною атакувальною зброєю. Диск обертається з дуже великою швидкістю, що дозволяє наносити нищівні удари корпусу супротивника та ламати зовнішні елементи його конструкції. Простота будови робота робить його досить легкою мішенню з тилу, оскільки основна увага будови даного робота приділена фронтальній атаці. Tombstone ідеально підходить для агресивної тактики, коли необхідно якомога швидше знищити суперника, проте має суттєвий недолік – слабо захищену задню частину та нестійкість при сильному зіткненні, крім того, його обертовий диск вимагає значного енергоспоживання, що може призвести до перегріву або втрати потужності в затяжному бою [6]. Загальний вид мобільного робота Tombstone представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид мобільного робота Tombstone [6]

Наступним прикладом ефективного бойового мобільного робота є Minotaur. Його конструкція орієнтована на швидкість, маневреність та ефективну вертикальну атаку. Minotaur оснащений високошвидкісним барабаном, який розміщений вертикально і дозволяє влучно бити у вразливі нижні частини корпусу опонента, а низький центр ваги забезпечує стабільність мобільного робота навіть під час інтенсивного маневрування. Цей робот демонструє хорошу динаміку, що дозволяє йому швидко змінювати напрямок руху та уникати ударів, проте у випадках серйозних пошкоджень корпусу або втрати рівноваги Minotaur може втратити ефективність через залежність від роботи обертового механізму [7]. Загальний вид мобільного робота Minotaur представлено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальний вид мобільного робота Minotaur [7]

Одним із найуспішніших мобільних роботів в історії BattleBots є Bite Force. Це робот із надзвичайно міцною бронєю, що має добре збалансовану

конструкцію між атакою та захистом. Його головною зброєю є гідравлічні щелепи, які можуть міцно затискати та навіть піднімати опонента, завдаючи механічних ушкоджень. Bite Force демонструє виняткову надійність завдяки високій якості збірки, добре продуманому дизайну та злагодженій роботі всіх систем. Особливістю цього робота є універсальність, так як він здатен витримати серйозні атаки, самостійно атакувати та ефективно контролювати ситуацію на арені, а єдиним недоліком вважається складність обслуговування гідравлічної системи, яка потребує точного калібрування та надійних компонентів [8]. Загальний вид мобільного робота Bite Force представлено на рисунку 1.3.

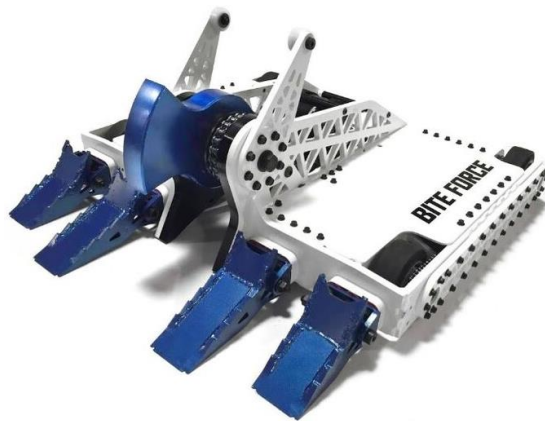


Рисунок 1.3 – Загальний вид мобільного робота Bite Force [8]

Ще одним прикладом бойового мобільного робота є Witch Doctor. Його конструкція вирізняється відкритим каркасом та зброєний вертикальним диском. Witch Doctor призначений для швидкого та безперервного нанесення ударів, а завдяки своїй маневреності та високій швидкості, цей робот часто має перевагу на старті бою, змушуючи суперника оборонятися. Конструкція Witch Doctor дозволяє ефективно атакувати не лише корпуси, але й колеса інших роботів, виводячи їх з ладу, проте під час затяжних поєдинків може виникати перегрів двигунів, що знижує продуктивність та бойову ефективність [9]. Загальний вид мобільного робота Witch Doctor представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вид мобільного робота Witch Doctor [9]

Окрему увагу заслуговує мобільний робот Bronco, який побудований за зовсім іншою бойовою концепцією, так як на відміну від роботів із роторним чи дисковим озброєнням, Bronco оснащений потужним пневматичним відкидачем, що дозволяє підкидати суперника у повітря. Така тактика особливо ефективна проти роботів із низькою вагою або слабким балансуванням. Завдяки вертикальній силі удару Bronco здатен не лише виводити з рівноваги опонента, але й навіть викидати його за межі бойової арени, що автоматично приносить перемогу. Основною складністю цієї моделі є точність ударів, так як потрібно максимально точно наводитися на суперника. Крім того, складна пневмосистема вимагає уважного обслуговування та може бути вразливою у разі пошкодження [10]. Загальний вид мобільного робота Bronco представлено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Загальний вид мобільного робота Bronco [10]

Далі проведемо порівняння переваг та недоліків представлених бойових мобільних роботів, представив у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння переваг та недоліків мобільних роботів Battle Robots

Назва	Переваги	Недоліки
Tombstone	Висока сила удару, проста конструкція	Високе споживання енергії, уразливість при перевертанні
Minotaur	Висока швидкість, ефективний барабан	Легко вивести з ладу за умови сильного удару у корпус
Bite Force	Потужна броня, збалансована атака та захист	Висока маса, складна система гідравліки
Witch Doctor	Маневреність	Схильність до перегріву двигунів
Bronco	Тактична перевага через перекидання суперника	Залежність від точності, складна пневмосистема

На базі проведеного аналізу прикладів бойових мобільних роботів можна зробити висновок, що ефективність мобільного робота залежить від правильного поєднання типу озброєння, маневреності та захисту. Роботи з потужною атакою досить часто мають слабкі місця в обороні або складну систему управління, в той час як маневрені роботи з легким озброєнням демонструють кращу адаптацію до бою, але поступаються в руйнівній силі. Тому, при розробці макету доцільно враховувати баланс між силою атаки, стійкістю до пошкоджень та гнучкістю керування.

1.2 Аналіз систем управління мобільними роботами

Система керування мобільним роботом є ключовим компонентом, що забезпечує здатність робота до автономного або дистанційного виконання бойових завдань. У контексті бойових роботів, таких як для участі у змаганнях BattleRobots, особливу увагу приділяють швидкості реакції, точності маневрування, надійності зв'язку між оператором і роботом та

захисту системи керування від зовнішніх впливів. Існує кілька основних підходів до реалізації систем керування: радіокерування, автономне керування на базі мікроконтролерів або одноплатних комп'ютерів, а також гібридні варіанти, що поєднують обидва принципи [11].

Найбільш поширеним типом управління для бойових роботів є радіокерування. Така система використовує передавач, зазвичай у вигляді геймпада чи спеціального пульта, та приймач, що встановлений на роботі. Принцип роботи подібний до керування моделями дронів або авто: оператор натискає джойстики, сигнали передаються на частоті 2,4 ГГц, і робот виконує відповідні команди. Перевагою даного метода є простота, мала затримка сигналу, гнучкість та висока надійність при належній налаштуванні, а основним недоліком є повна залежність від оператора та ризик втрати сигналу у разі перешкод або радіозаглушення [12].

Ще одним типом є автономне керування, що реалізується за допомогою вбудованих мікроконтролерів (Arduino, STM32, ESP32) або одноплатних комп'ютерів (наприклад, Raspberry Pi та Jetson Nano). У цьому способі робот самостійно аналізує дані з сенсорів, таких як ультразвукові датчики, гіроскопи, камери чи лідари та приймає рішення щодо руху й атаки. Такий підхід дозволяє роботу діяти незалежно від оператора, уникати перешкод, обирати траєкторії атаки тощо. Проте для бойових умов це значно складніше через потребу в дуже швидкому обробленні даних та точній реалізації алгоритмів [13].

У бойових роботах все частіше використовуються гібридні системи керування, де основна навігація здійснюється оператором, але певні функції, наприклад, стабілізація, уникання перешкод чи наведення на ціль реалізуються за допомогою автономних модулів. Наприклад, система стабілізації може автоматично компенсувати втрату рівноваги при русі, або алгоритм штучного інтелекту може визначати оптимальний момент для

активації зброї. Такий підхід забезпечує баланс між контролем людини та перевагами автономного керування.

Одним із важливих компонентів системи керування є тип передавача сигналу. У професійних бойових роботах часто використовуються радіомодулі з захистом від перешкод і підтримкою телеметрії (наприклад, системи FrSky, FlySky з протоколами iBUS або S.Bus). Це дозволяє не тільки передавати команди, а й отримувати дані про стан акумулятора, температуру двигунів, навантаження на двигуни тощо, що важливо для оперативного реагування під час бою [14].

У вигляді виконавчих механізмів, зазвичай, використовуються електродвигуни з високим крутним моментом (DC або безщіткові BLDC), що керуються через драйвери моторів, а для точного позиціонування або стабілізації можуть застосовуватися енкодери, гіроскопи та акселерометри. Всі ці пристрої інтегруються в єдину систему керування, яка синхронізується для забезпечення безперебійної роботи навіть у жорстких умовах бою [15].

Також важливо враховувати інтерфейс програмування та прошивки, які залежать від типу використаного мікроконтролера. Наприклад, Arduino підтримує простий синтаксис і легко інтегрується з базовими сенсорами, тоді як платформи на базі Linux (наприклад, Raspberry Pi) дозволяють реалізацію складніших алгоритмів, включно з елементами комп'ютерного зору або нейронних мереж, проте Raspberry потребує більше ресурсів живлення та охолодження, тому не завжди доцільний у компактних бойових системах.

Ще одним важливим аспектом є енергозабезпечення системи управління. У більшості випадків використовується Li-Po акумулятор із розподілом живлення на два кола – для моторів і для системи управління, що дозволяє уникнути відключення мікроконтролера у разі падіння напруги під час навантаження на мотори. Тому ретельний вибір акумулятора та стабілізаторів напруги є критичним для стабільної роботи всієї системи [16].

1.3 Аналіз конструкторських рішень при розробці мобільних роботів

В умовах бойових змагань, таких як BattleRobots, основою функціональності та ефективності мобільного робота є конструкторське рішення. Правильний вибір компоновання, матеріалів, типу шасі, елементів захисту та озброєння визначає не тільки бойову ефективність, але й надійність, вагу, маневреність і тривалість роботи пристрою [17].

Одним із ключових елементів конструкції є тип шасі. У бойових роботах найчастіше використовуються класичні чотириколісні або гусеничні платформи, а також конструкції з двома колесами й балансуванням або шасі з Mecanum-колесами для підвищеної маневреності. Чотириколісні шасі забезпечують стабільність і простоту керування, тоді як гусеничні платформи мають кращу прохідність, але нижчу швидкість. Mecanum-колеса надають роботу змогу рухатися в усіх напрямках без зміни орієнтації, але конструктивно складніші й менш надійні в умовах жорсткого бою.

Не менш важливим елементом є матеріали корпусу та бронювання мобільного робота. Найчастіше використовуються такі матеріали, як алюміній, сталь, полікарбонат або композитні матеріали. Алюміній є легким і досить міцним, однак може деформуватись під час потужних ударів, сталь забезпечує високу міцність, але додає ваги, а полікарбонат застосовується для легкого захисту сенсорів і електроніки. При розробці корпусу доцільно поєднувати кілька матеріалів, а саме жорсткий каркас із металу та легкі ударопоглинаючі елементи [18].

У бойових роботах важливе значення має розташування центрів мас і балансу. Низький центр ваги зменшує ймовірність перевертання робота при зіткненні або під час атаки, крім того, оптимальний розподіл маси дозволяє уникнути втрати зчеплення коліс або нестабільної поведінки при різких маневрах. Саме тому, конструктивно батареї, двигуни та основні блоки розміщуються максимально низько й симетрично. Розташування електроніки

також впливає на загальну стійкість системи. Мікроконтролери, приймачі сигналів, ESC-драйвери та акумулятори повинні бути захищені від механічних ударів, пилу та перегрівання. Для цього застосовуються внутрішні відсіки, ізоляційні матеріали, системи охолодження, а в деяких конструкціях використовуються термопрокладки або мініатюрні вентилятори [19].

Сучасні бойові роботи все частіше розробляються з можливістю швидкої заміни окремих частин, що дозволяє оперативно ремонтувати або змінювати конфігурацію під час змагань. Наприклад, заміна переднього броньованого щита або зламаного приводу може виконуватися впродовж кількох хвилин без повного розбирання корпусу. Також важливо передбачити легкість технічного обслуговування. Надлишкова складність у компонованні кабелів, тісний простір у корпусі або відсутність стандартизованих кріплень ускладнюють обслуговування, тому в добре спроектованих бойових роботах електропроводка розміщується по каналах, передбачаються технічні люки та роз'єми винесено для легкого підключення.

Також, конструкторські рішення повинні враховувати регламент змагань, зокрема, обмеження на вагу, габарити, дозволені типи озброєння, джерела живлення тощо. Ігнорування цих норм призведе до дискваліфікації, навіть якщо робот буде технічно досконалим, тому під час розробки макету обов'язково потрібно враховувати правила конкретного змагання [20].

2 РОЗРОБКА МАКЕТА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ BATTLE ROBOTS

2.1 Розробка структурної схеми мобільного робота

Розробка структурної схеми мобільного робота BATTLE ROBOTS є ключовим етапом у створенні ефективної та функціональної системи керування, що забезпечує взаємодію між апаратними та програмними компонентами. Структурна схема дозволяє візуалізувати основні модулі робота, визначити їх функціональні зв'язки, а також оптимізувати систему з урахуванням вимог до швидкодії, маневреності та надійності в умовах бойових змагань. Основна мета її розробки полягає в деталізації архітектури робота, що дає змогу ефективно реалізувати алгоритми дистанційного керування, аналізувати можливі варіанти конфігурацій та забезпечити надійність функціонування. Використання структурної схеми дозволяє розробникам виявити потенційні технічні обмеження та усунути їх ще на етапі проектування, що сприяє зменшенню витрат часу та ресурсів на тестування та налагодження системи. Важливим аспектом розробки є інтеграція сенсорних систем, виконавчих механізмів та модулів зв'язку, що вимагає чітко визначеної взаємодії між усіма елементами конструкції. Структурна схема допомагає визначити оптимальну компоновку обладнання та розташування елементів захисту та атакувальних механізмів, що є критично важливим для забезпечення переваги у битвах.

Крім того, розробка схеми дозволяє спроектувати енергетичну систему робота, враховуючи розподіл навантажень та особливості живлення кожного модуля, особливо під час інтенсивних бойових маневрів. Вона також дає змогу оцінити можливості модифікації системи у майбутньому, спрощуючи процес масштабування та додавання нових функцій, таких як удосконалена

система керування, автономні режими або модернізація зброї. З урахуванням сучасних вимог до бойових роботів, структурна схема повинна передбачати можливість швидкої заміни окремих модулів та інтеграцію з іншими системами керування, що забезпечить гнучкість у використанні та адаптацію до різних тактик. Окрему увагу слід приділити аналізу методів комунікації між оператором і роботом, оскільки ефективність обміну даними суттєво впливає на швидкість реакцій та точність виконання команд. Зокрема, необхідно передбачити використання стійких каналів передачі даних, які працюватимуть без затримок та збоїв навіть у складних умовах змагань.

Структурна схема також сприяє визначенню необхідних програмних компонентів, таких як алгоритми керування рухом, системи прицілювання та навігації на полі бою, а також механізми ухилення від атак противника. Вона є основою для створення технічної документації, яка використовується на всіх етапах розробки – від початкового проектування до впровадження та експлуатації. У контексті дослідження бойових робототехнічних систем структурна схема дозволяє оцінити можливості використання передових технологій, таких як машинне навчання для аналізу тактики супротивника, удосконалені алгоритми стабілізації та прогнозування траєкторій руху. Вона також є інструментом для проведення порівняльного аналізу різних архітектур бойових мобільних роботів, що дає змогу обрати найефективнішу конфігурацію для ведення бою.

Оскільки мобільний робот BATTLE ROBOTS призначений для участі в боях під керуванням оператора, його структурна схема повинна враховувати швидкість передачі команд, стійкість до фізичних пошкоджень та можливість використання альтернативних методів керування у разі втрати основного зв'язку. Одним із важливих параметрів є міцність конструкції, що визначає витривалість у жорстких умовах бою. Схема також має відображати особливості програмного забезпечення, що забезпечує обробку команд у реальному часі та адаптацію до динамічних змін на полі бою. Структурна

схема мобільного робота BATTLE ROBOTS є основою для розробки математичних моделей, що описують динаміку руху, взаємодію із середовищем та ефективність використання ресурсів у бойових умовах. Вона дає змогу визначити вимоги до апаратної платформи, включаючи обчислювальну потужність, енергоспоживання та можливість розширення функціоналу.

У сучасних бойових робототехнічних системах ефективна структурна схема сприяє швидкому впровадженню інновацій та підвищенню конкурентоспроможності розробленого рішення. Вона також відіграє важливу роль у забезпеченні надійності та безпеки експлуатації мобільного робота, що є критично важливим у змаганнях та випробуваннях. Завдяки структурній схемі можна оцінити ефективність використання ресурсів та знайти оптимальні рішення для покращення автономності мобільного робота. Крім того, вона сприяє стандартизації розробки та спрощенню процесів інтеграції з іншими бойовими платформами, що є важливим фактором у проєктах з колективного використання робототехнічних систем. Таким чином, розробка структурної схеми мобільного робота BATTLE ROBOTS є необхідним кроком для створення ефективної, надійної та адаптивної бойової робототехнічної системи, яка відповідатиме сучасним вимогам до мобільних роботів і забезпечуватиме високий рівень продуктивності під час змагань. Детальна структурна схема мобільного робота представлена на рисунку 2.1.

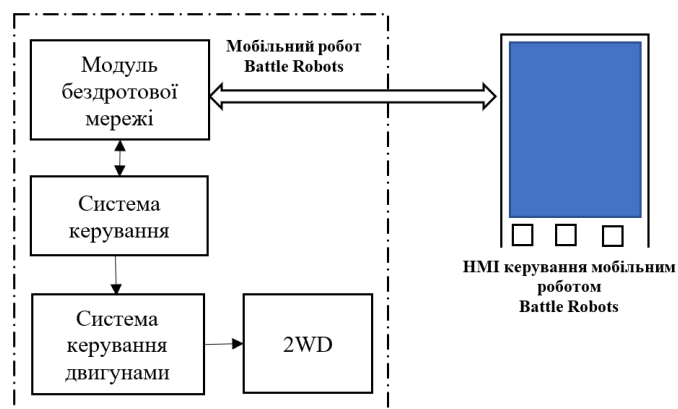


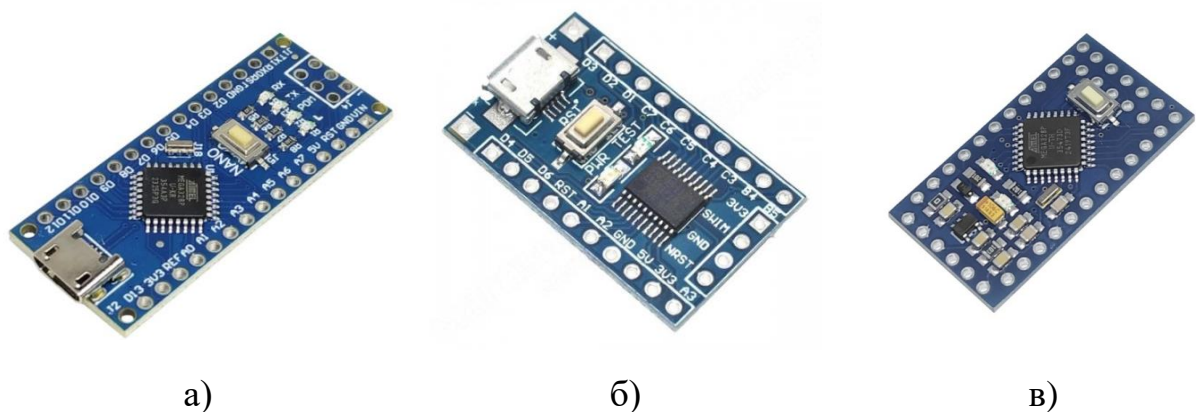
Рисунок 2.1 – Структурна схема мобільного робота BATTLE ROBOTS

Опишемо призначення кожного модуля в розробленій структурній схемі мобільного робота BATTLE ROBOTS (рис. 2.1). Модуль бездротової мережі призначений для забезпечення зв'язку між оператором та мобільним роботом BATTLE ROBOTS у режимі реального часу, що дозволяє оперативно передавати команди управління та отримувати зворотний зв'язок. Система керування відповідає за обробку отриманих команд, прийняття рішень щодо подальших дій робота, а також координацію взаємодії між усіма модулями системи. Система керування двигунами призначена для реалізації руху мобільного робота, отримуючи відповідні сигнали від системи керування та регулюючи швидкість і напрямок обертання коліс відповідно до отриманих команд. Механічна частина мобільного робота, позначена як 2WD, забезпечує рух за рахунок двоколісного приводу, що дозволяє швидко змінювати напрямок пересування та здійснювати маневрування під час битви. НМІ-інтерфейс керування мобільним роботом слугує для відображення інформації про стан робота, отримання відеопотоку, введення команд оператором та налаштування параметрів управління, що є критично важливим для ефективного ведення бою.

2.2 Вибір апаратних модулів системи керування

Розробка ефективної системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS вимагає ретельного підбору апаратних модулів, що забезпечать необхідний рівень продуктивності, швидкодії та надійності під час виконання бойових завдань. Основними критеріями вибору є потужність обчислювального модуля, енергоефективність, підтримка бездротового зв'язку, сумісність із сенсорами та можливість гнучкого налаштування алгоритмів управління. Для забезпечення стабільного та точного керування рухом необхідно враховувати продуктивність мікроконтролерів, обсяг оперативної пам'яті, швидкість обробки команд та можливості взаємодії з

двигунами та датчиками. Крім того, важливим аспектом є вибір бездротових модулів, що забезпечують низьку затримку передачі команд і стабільний зв'язок між оператором та роботом у динамічних умовах бою. Особливу увагу слід приділити вибору виконавчих механізмів, які повинні відповідати вимогам швидкості, потужності та точності позиціонування, що дозволить реалізувати складні маневри під час змагань. Аналіз і порівняння технічних характеристик доступних апаратних модулів дозволить визначити оптимальний варіант для реалізації системи керування, що забезпечить максимальну ефективність і надійність роботи мобільного робота в умовах бойових випробувань. Відповідно до розробленої структурної схеми мобільного робота BATTLE ROBOTS (рис. 2.1), пропонується провести аналіз та вибрати системи керування з наступних мікроконтролерних моделей, які представлені на рисунку 2.2.



а)

б)

в)

а) Arduino Nano V3 microUSB [21];

б) плата розробки STM8S103F3P6 [22];

в) Arduino Pro Mini [23]

Рисунок 2.2 – Загальний вид модулів для системи керування мобільним роботом

Порівняння технічних характеристик обраних модулів для реалізації системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS, представлено в таблиці 2.1.

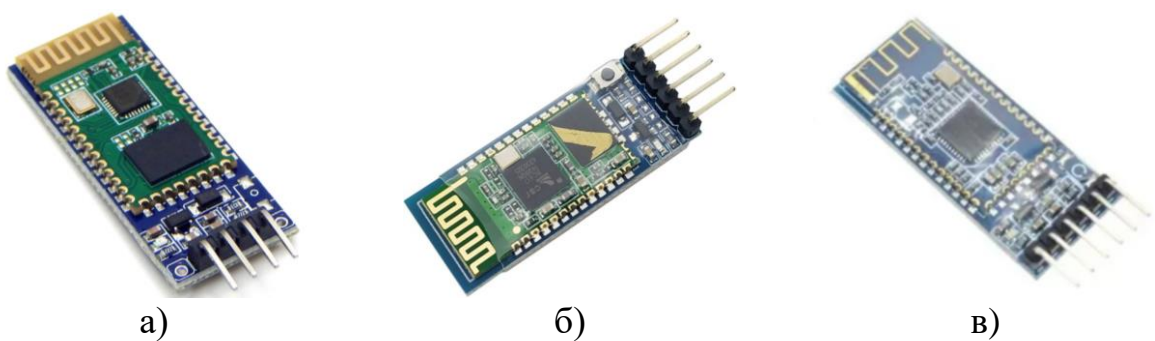
Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик модулів керування: Arduino Nano V3 microUSB, плата розробки STM8S103F3P6 та Arduino Pro Mini

Характеристики	Arduino Nano V3 microUSB	STM8S103F3P6	Arduino Pro Mini
Мікроконтролер	ATmega328P	STM8S103F3P6	ATmega328P
Архітектура	8-bit AVR		8-bit AVR
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
ОЗП (RAM)	2 КБ	1 КБ	2 КБ
ПЗП (Flash)	32 КБ	8 КБ	32 КБ
EEPROM	1 КБ	640 Б	1 КБ
Кількість цифрових входів/виходів	14	16	14
Кількість PWM-виходів	6	4	6
Кількість аналогових входів	8	5	8
Напруга живлення	5 В	3,3 В / 5 В	3,3 В / 5 В
Напруга вводу/виводу	5 В	3,3 В / 5 В	3,3 В / 5 В
Інтерфейси зв'язку	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C
Програмування	Arduino IDE	STM8CubeIDE, IAR, SDCC	Arduino IDE
Вартість	\$ 32	\$ 45	\$ 35

Для реалізації системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS було обрано мікроконтролерний модуль Arduino Nano V3 microUSB, оскільки він має оптимальне співвідношення продуктивності, кількості вхідних і вихідних портів та зручності інтеграції. Завдяки мікроконтролеру ATmega328P, що працює на частоті 16 МГц, цей модуль

забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки сигналів від датчиків та керування виконавчими механізмами. Об'єм оперативної пам'яті 2 КБ та флеш-пам'яті 32 КБ дозволяє ефективно зберігати та виконувати програмний код системи керування. Arduino Nano V3 підтримує всі необхідні інтерфейси зв'язку, такі як UART, SPI та I2C, що дозволяє легко інтегрувати його з модулями бездротового зв'язку та додатковими сенсорами. Підтримка 6 PWM-виходів робить його ідеальним для точного керування моторами та сервоприводами, що є важливим у динамічних умовах битви роботів. Напруга живлення 5 В спрощує живлення від стандартних джерел, а наявність microUSB-порту дозволяє швидке програмування без додаткових адаптерів. Крім того, модуль має компактні розміри та низьке енергоспоживання, що важливо для автономної роботи мобільного робота. Використання Arduino IDE значно полегшує розробку та налагодження коду, що робить цей модуль оптимальним вибором для керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS [21-23].

Наступним кроком проведемо аналіз та вибор модуля бездротової мережі, на базі якого оператор буде керувати переміщенням мобільного робота BATTLE ROBOTS в «автогоні». Загальний вид обраних модулів бездротової мережі представлено на рисунку 2.3.



- а) Bluetooth модуль HC-06 [24];
- б) Bluetooth модуль HC-05 [25];
- в) модуль Bluetooth AT-09 4.0 BLE HM-10 [26]

Рисунок 2.3 – Загальний вид модулів бездротової мережі

Порівняння технічних характеристик Bluetooth модулів для реалізації системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS, представлено в таблиці 2.2.

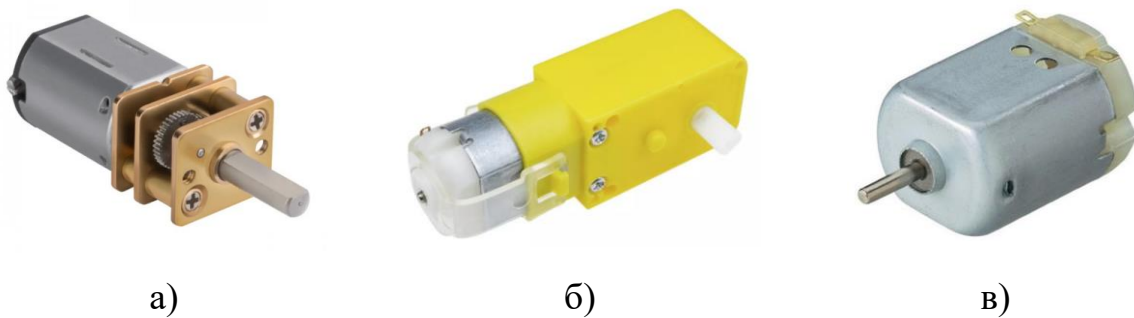
Таблиця 2.2 – Порівняння технічних характеристик Bluetooth модулів для реалізації системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS

Характеристика	Bluetooth модулі		
	HC-06	HC-05	AT-09 4.0 BLE HM-10
Версія Bluetooth	2.0	2.0 + EDR	4.0 BLE
Режими роботи	Тільки Slave	Master/Slave	Master/Slave
Напруга живлення	3,6 В – 6 В (рекомендується 5 В)	3,6 В – 6 В (рекомендується 5 В)	3,3 В – 6 В (рекомендується 3,3 В)
Рівні логіки	3,3 В (толерантний до 5 В)	3,3 В (толерантний до 5 В)	3,3 В (5 В несумісний)
Швидкість передачі даних	1200 – 115200 біт/с	1200 – 1382400 біт/с	1200 – 115200 біт/с
Робоча частота	2,4 ГГц		
Дальність зв'язку	10 – 20 м (пряма видимість)	10 – 20 м (пряма видимість)	50 – 100 м (BLE)
Протокол зв'язку	UART (TX/RX)		
Підтримка AT-команд	Так		
Споживана потужність	~ 8 мА (в активному режимі)	~ 30 мА (в активному режимі)	~ 9 мА (в активному режимі)
Сумісність	Старі пристрої з Bluetooth 2.0	Старі пристрої з Bluetooth 2.0	Сучасні пристрої з BLE 4.0+
Особливості	Простий у використанні, не підтримує зміни режиму	Гнучке налаштування, підтримка Master/Slave	Підтримує BLE, низьке енергоспоживання

Для реалізації системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS доцільніше використовувати модуль HC-06, оскільки він є простим у використанні, не вимагає складної конфігурації та працює в режимі Slave, що ідеально підходить для зв'язку з контролером без необхідності

динамічного перемикання ролей. Його підтримка UART забезпечує легку інтеграцію з мікроконтролерами, а сумісність з Bluetooth 2.0 дозволяє використовувати його з більшістю пристроїв без потреби в оновленні обладнання. Крім того, модуль має низьке енергоспоживання, що важливо для автономних систем, і забезпечує стабільний зв'язок на відстані до 20 метрів, що достатньо для керування роботом у більшості сценаріїв [24-26].

Наступним кроком проведемо аналіз та вибір двигуна, для реалізації переміщення мобільного робота в робочій зоні, приклад двигунів представлено на рисунку 2.4.



- а) мотор з редуктором GA12-N20 30RPM 6 В [27];
 б) мотор редуктор с ЭМС 3-12 В одноосьювий [28];
 в) двигун постійного струму Sodfunt Co 3-6 В [29]

Рисунок 2.4 – Загальний вид двигунів постійного струму

Порівняння технічних характеристик двигунів постійного струму для реалізації системи переміщення мобільного робота BATTLE ROBOTS, представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння технічних характеристик двигунів постійного струму для реалізації системи переміщення мобільного робота

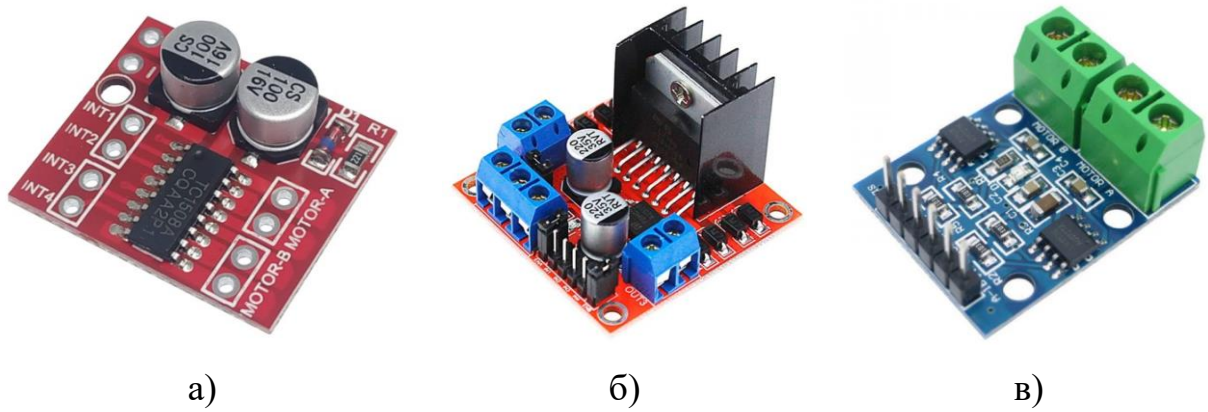
Характеристика	Двигуни постійного струму		
	GA12-N20 30RPM 6 В	Мотор-редуктор з ЕМС 3-12 В	Двигун Sodfunt Co 3-6 В
1	2	3	

Продовження таблиці 2.3

1	2		3
Тип двигуна	Двигун з редуктором		Звичайний двигун
Напруга живлення	6 В	3-12 В	3-6 В
Номінальний струм	~ 40-100 мА	~ 150-300 мА	~ 100-250 мА
Максимальний струм	~ 600 мА	~ 1-1,5 А	~ 1 А
Швидкість обертання (без навантаження)	1000 об/хв	50-300 об/хв	5000-15000 об/хв
Крутний момент	~ 0,8 кг·см	~ 0,5-1,2 кг·см	~ 0,1-0,3 кг·см
Редуктор	Так, металевий (1:100)	Так, пластиковий	Немає
Вал	Ø 3 мм, D-подібний	Ø 6 мм, одноосьовий	Ø 2 мм
Габарити (Д×Ш×В)	15 мм × 12 мм × 10 мм	36 мм × 25 мм × 20 мм	27 мм × 20 мм × 15 мм
Маса	~ 10-12 г	~ 50-60 г	~ 15-20 г

Для реалізації системи переміщення мобільного робота BATTLE ROBOTS доцільніше використовувати двигун GA12-N20 30RPM 6 В, оскільки він має компактні розміри, низьке енергоспоживання та вбудований редуктор, що забезпечує високий крутний момент при низьких обертах, необхідних для плавного та контрольованого руху. Металевий редуктор підвищує надійність і довговічність роботи, що особливо важливо для автономних мобільних роботів. Крім того, двигун легко інтегрується з драйверами керування та підходить для робототехнічних платформ, де потрібна точність у русі та ефективне використання енергії [27-29].

Після вибору двигуна постійного струму GA12-N20 30RPM 6 В, необхідно провести аналіз та вибрати модуль керування двигунами, загальний вид яких представлено на рисунку 2.5.



а)

б)

в)

а) міні-драйвер двигунів TC1508 [30];

б) драйвер L298N [31];

в) драйвер L9110S [32]

Рисунок 2.5 – Загальний вид модулів керування двигунами

Порівняння технічних характеристик модулів керування двигунами, представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняння технічних характеристик модулів керування двигунами

Характеристика	Міні-драйвер TC1508	Драйвер L298N	Драйвер L9110S
Тип драйвера	Н-мост		
Напруга живлення (V_{cc})	2,5-9 В	5-35 В	2,5-12 В
Максимальний струм на канал	1,5А (короткочасно 2 А)	2 А (піковий 3 А)	800 мА
Кількість каналів	2		
Логічна напруга керування	2,5-6 В	5 В	2,5-6 В
Втрати енергії (нагрівання)	Низькі	Високі	Низькі
Захист від перегріву	Так	Так	Ні
Габарити (Д×Ш×В)	18 мм × 10 мм × 5 мм	43 мм × 43 мм × 27 мм	28 мм × 20 мм × 5 мм
Вага	~ 3 г	~ 30 г	~ 5 г

Використання міні-драйвера двигунів TC1508 є оптимальним вибором для мобільного робота через його компактні розміри, низьке енергоспоживання та ефективність керування малопотужними двигунами. Завдяки низькому нагріванню та підтримці широкого діапазону напруги він забезпечує стабільну роботу без значних енергетичних втрат. Крім того, драйвер легко інтегрується з мікроконтролерами, має просту схему підключення та швидко реагує на команди, що робить його ідеальним для легких мобільних платформ і автономних роботів [30-32].

2.3 Розробка 3D моделі конструкції корпусу мобільного робота

При виборі CAD-системи для розробки 3D-моделі мобільного робота BATTLE ROBOTS важливо враховувати зручність роботи, функціональні можливості, доступність та підтримку різних форматів експорту для подальшого виробництва. Серед популярних варіантів можна розглянути AutoDesk Fusion 360, FreeCAD та AutoDesk Tinkercad [33-35].

AutoDesk Fusion 360 є потужною професійною CAD/CAM/CAE-системою, яка надає широкий спектр інструментів для 3D-моделювання, симуляції механічних навантажень і підготовки моделей до виробництва. Його перевагою є інтеграція з хмарними сервісами, що дозволяє працювати в команді, а також підтримка параметричного моделювання, що зручно для внесення змін у конструкцію робота. Проте Fusion 360 має складніший інтерфейс і вимагає більше часу на освоєння, що може бути недоліком для швидкої розробки [33].

FreeCAD – це безкоштовна й відкрита CAD-система, яка підтримує параметричне 3D-моделювання та дозволяє створювати складні конструкції завдяки своїй модульній архітектурі. Вона добре підходить для інженерного проектування, але має менш інтуїтивний інтерфейс і обмежені можливості роботи з великими складальними одиницями. Крім того, деякі функції

можуть бути менш стабільними через активний розвиток програмного забезпечення, що може створити труднощі при створенні деталізованої 3D-моделі [34].

AutoDesk Tinkercad є найбільш зручним варіантом для швидкого створення концептуальної 3D-моделі мобільного робота BATTLE ROBOTS. Це проста у використанні веб-орієнтована платформа, яка дозволяє швидко розробляти базові конструкції за допомогою інтуїтивних інструментів. Її основна перевага – простота роботи без необхідності встановлення складного програмного забезпечення, що дозволяє швидко створювати та редагувати моделі. Також Tinkercad підтримує експорт у форматах, сумісних із 3D-друком та іншими CAD-програмами. Проте система має обмежені можливості для складних параметричних моделей і не підходить для детального інженерного проектування [35].


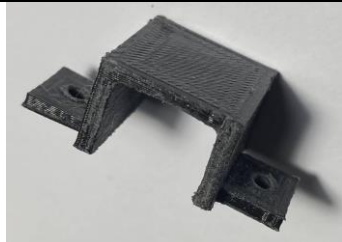
Таким чином, вибір AutoDesk Tinkercad виправданий для початкового етапу розробки 3D-моделі мобільного робота BATTLE ROBOTS, коли необхідно швидко створити прототип і перевірити базову геометрію конструкції. Якщо ж проєкт потребує складнішого опрацювання механічних елементів, то варто розглянути Fusion 360 або FreeCAD.

Виходячи з проведеного аналізу на базі CAD AutoDesk Tinkercad було спроектовано та роздруковано наступні 3D моделі деталей мобільного робота BATTLE ROBOTS, які представлено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – 3D моделі деталей мобільного робота BATTLE ROBOTS та надруковані деталі на 3D принтері

Розроблена 3D модель у форматі *.stl	Деталь надрукована на 3D принтері	Опис деталі
1	2	3
		Корпус мобільного робота BATTLE ROBOTS

Продовження таблиці 2.5

1	2	3
		<p>Кріплення для двигуна GA12-N20 30RPM 6 В</p>

Для отримання якісної деталі при 3D друці на принтері AnetPro, використовувалися наступні налаштування програми для друку UltiMaker Cura для пластика PLA, які представлено на рисунку 2.6.

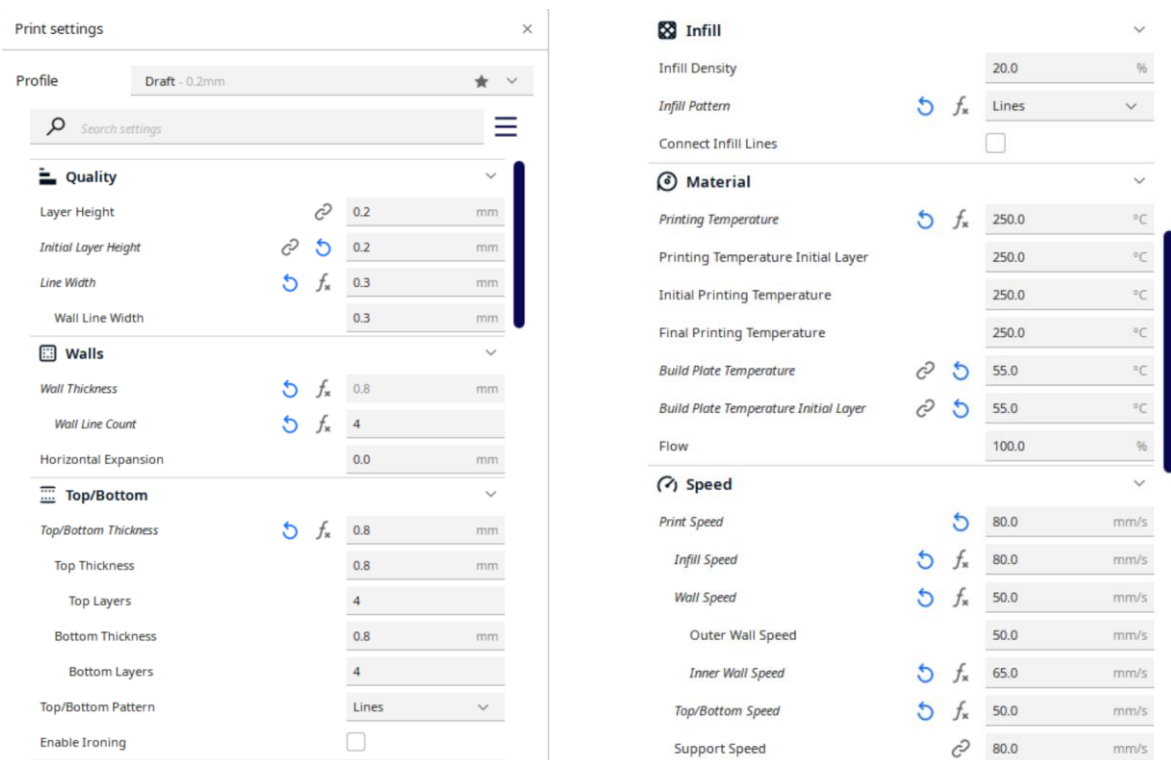


Рисунок 2.6 – Налаштування програми для друку UltiMaker Cura для друку 3D моделі деталей мобільного робота BATTLE ROBOTS

2.4 Розрахунок стійкості системи управління

Аналіз стійкості запропонованої системи керування мобільним роботом на основі теорії автоматичного керування є критично важливим для

забезпечення надійної та ефективної роботи мобільної платформи. Якщо система нестійка, навіть незначні збурення можуть викликати неконтрольоване зростання помилок, що призведе до втрати керованості та аварійних ситуацій. Перевірка стійкості дозволяє оцінити, як робот реагуватиме на вхідні команди та збурення, а також гарантувати, що його рухи залишатимуться прогнозованими. Для цього застосовуються методи аналізу передаточних функцій, що дозволяють визначити полюси системи та оцінити її динаміку. Особливо важливим є забезпечення швидкого часу регулювання, що критично для мобільних роботів, які працюють у змінних умовах. Крім того, аналіз стійкості дає змогу визначити параметри регулятора, необхідні для досягнення бажаних характеристик системи. Таким чином, використання теорії автоматичного керування дозволяє створити надійну систему з прогнозованою поведінкою та високою якістю керування.

Передаточні функції необхідні для математичного опису динаміки системи керування мобільного робота, що дозволяє аналізувати її стійкість, точність та швидкодію. Вони допомагають визначити, як система реагує на вхідні сигнали, оцінити її перехідні процеси та налаштувати параметри регуляторів для досягнення оптимальної роботи. Завдяки передаточним функціям можна моделювати та прогнозувати поведінку робота в різних умовах, забезпечуючи ефективне керування рухом. Це дозволяє уникнути небажаних коливань, покращити стабільність і підвищити точність виконання команд. Виходячи з цього пропонуються наступні передаточні функції:

– передаточна функція Bluetooth-модуля HC-06, є каналом зв'язку та не має власної динаміки, тому приймемо його передаточну функцію як:

$$W_{BT}(s) = 1. \quad (2.1)$$

Це означає, що сигнал оператора передається без затримок та спотворень:

– передаточна функція Arduino Nano V3, Arduino обробляє команду оператора та формує ШІМ-сигнал для драйвера. Його поведінку можна змодельовати як систему першого порядку зі сталою часу T_c :

$$W_{Arduino}(s) = \frac{K_c}{T_c s + 1}, \quad (2.2)$$

де K_c – Arduino формує сигнал відповідно до вхідного значення ($K_c = 1$);

T_c – затримка обробки команди ($T_c = 0,01$);

– передаточна функція драйвера двигунів TC1508, цей драйвер працює як підсилювач потужності з мінімальною затримкою, тому його передаточну функцію можна наблизити до першого порядку:

$$W_{TC1508}(s) = \frac{K_d}{T_d s + 1}, \quad (2.3)$$

де K_d – коефіцієнт підсилення ($K_d = 1$);

T_d – часова стала драйвера ($T_d = 0,005$);

– передаточна функція двигунів GA12-N20, механічна система двигуна GA12-N20 з редуктором має інерційність, яку можна представити як другий порядок системи:

$$W_{motors}(s) = \frac{K_m}{T_m^2 s^2 + 2\zeta_m T_m s + 1}, \quad (2.4)$$

де K_m – коефіцієнт підсилення ($K_m = 30$);

T_m – механічна стала часу ($T_m = 0,1$);

ζ_m – коефіцієнт демпфування ($\zeta_m = 0,7$).

Загальна передаточна функція системи керування буде мати наступний вигляд:

$$W_{sys}(s) = W_{BT}(s) \cdot W_{Arduino}(s) \cdot W_{TC1508}(s) \cdot W_{motors}(s). \quad (2.5)$$

Поставимо передаточні функції (2.1)-(2.4) у загальну передаточну функцію (2.5):

$$W_{sys}(s) = \frac{K_c}{T_c s + 1} \cdot \frac{K_d}{T_d s + 1} \cdot \frac{K_m}{T_m^2 s^2 + 2\zeta_m T_m s + 1}. \quad (2.6)$$

Поставимо у (2.6) значення:

$$W_{sys}(s) = 30 / (0,01s + 1) (0,005s + 1) (0,01s^2 + 0,14s + 1). \quad (2.7)$$

Для оцінки стійкості розробленої системи необхідно дослідити зворотний зв'язок, який здійснюється оператором, що коригує управління. При замкненій системі з операторським контролем передаточна функція має вигляд:

$$W_{close}(s) = \frac{W_{sys}(s)}{1 + W_{sys}(s)}. \quad (2.8)$$

Щоб система була стійкою, корені характеристичного рівняння повинні мати від'ємні дійсні частини. Для цього перевіряємо корені рівняння:

$$(0,01s + 1) (0,005s + 1) (0,01s^2 + 0,14s + 1) + 30 = 0. \quad (2.9)$$

Використовуючи мову програмування Python та бібліотеки matplotlib.pyplot та control, програмний код розрахунку стійкості розробленої системи керування мобільним роботом представлено нижче:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import control as ctrl

# Параметри системи
K_c = 1
T_c = 0,01
K_d = 1
T_d = 0,005
K_m = 30
T_m = 0.1
xi_m = 0.7

# Передаточна функція всієї системи
num = [K_c * K_d * K_m]
den = np.polymul([T_c, 1], np.polymul([T_d, 1], [T_m**2, 2*xi_m*T_m,
1]))
W_sys = ctrl.TransferFunction(num, den)

# Перехідна функція
T, yout = ctrl.step_response(W_sys)

# Візуалізація
plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(T, yout, label='Перехідний процес')
plt.axhline(1, color='r', linestyle='--', label='Усталене значення')
```

```
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Відгук системи')
plt.title('Перехідний процес системи керування мобільним роботом')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Результати розрахунку представлено у вигляді графіку перехідного процесу на рисунку 2.7.

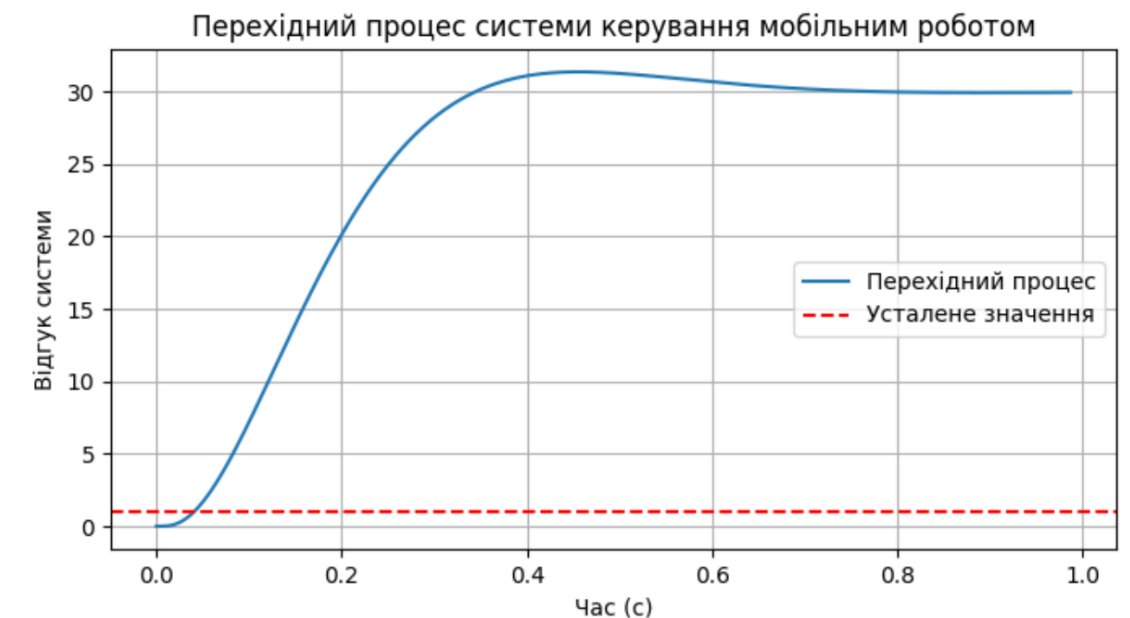


Рисунок 2.7 – Графік перехідного процесу

Аналізуючи отриманий графік перехідного процесу, можна зробити висновок, що система керування мобільного робота демонструє швидке наростання відгуку з незначним перерегулюванням, що свідчить про її високу чутливість до вхідного сигналу. Усталене значення значно нижче за максимальне, що вказує на значне перерегулювання, яке може впливати на точність керування. Час виходу на усталене значення знаходиться в межах 1 секунди, що відповідає вимогам до швидкодії системи. Проте спостерігається незначне затухаюче коливання після досягнення пікового значення, що може

призводити до нестабільності в деяких режимах роботи. Для покращення характеристик системи можна зменшити коефіцієнт підсилення або збільшити демпфування. В цілому система є достатньо швидкодіюною, але потребує оптимізації для зменшення перерегулювання та покращення точності керування [36].

2.5 Розробка схеми підключення

Розробка схеми підключення системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS є критично важливим етапом, оскільки вона забезпечує правильне з'єднання всіх електронних компонентів та їхню коректну взаємодію. Без чітко розробленої схеми можуть виникнути помилки у підключенні, що призведе до некоректної роботи або навіть виходу з ладу окремих модулів. Схема дозволяє заздалегідь передбачити всі необхідні з'єднання між мікроконтролером, модулями зв'язку, датчиками та двигунами, що сприяє зменшенню ризику коротких замикань і перевантажень. Вона також є основою для подальшого програмування, оскільки визначає, які порти та сигнали використовуються для керування кожним компонентом. Крім того, схема спрощує діагностику можливих несправностей, оскільки дозволяє швидко перевірити коректність з'єднань та напруги живлення. Використання добре продуманої схеми підключення робить систему більш надійною, масштабованою та зручною для подальшої модернізації, забезпечуючи ефективну роботу мобільного робота в складних умовах експлуатації. Базуючись на обраних апаратних модулях в підрозділі 2.2, спроектуємо схему підключення для реалізації системи керування мобільним роботом, яка представлена на рисунку 2.8.

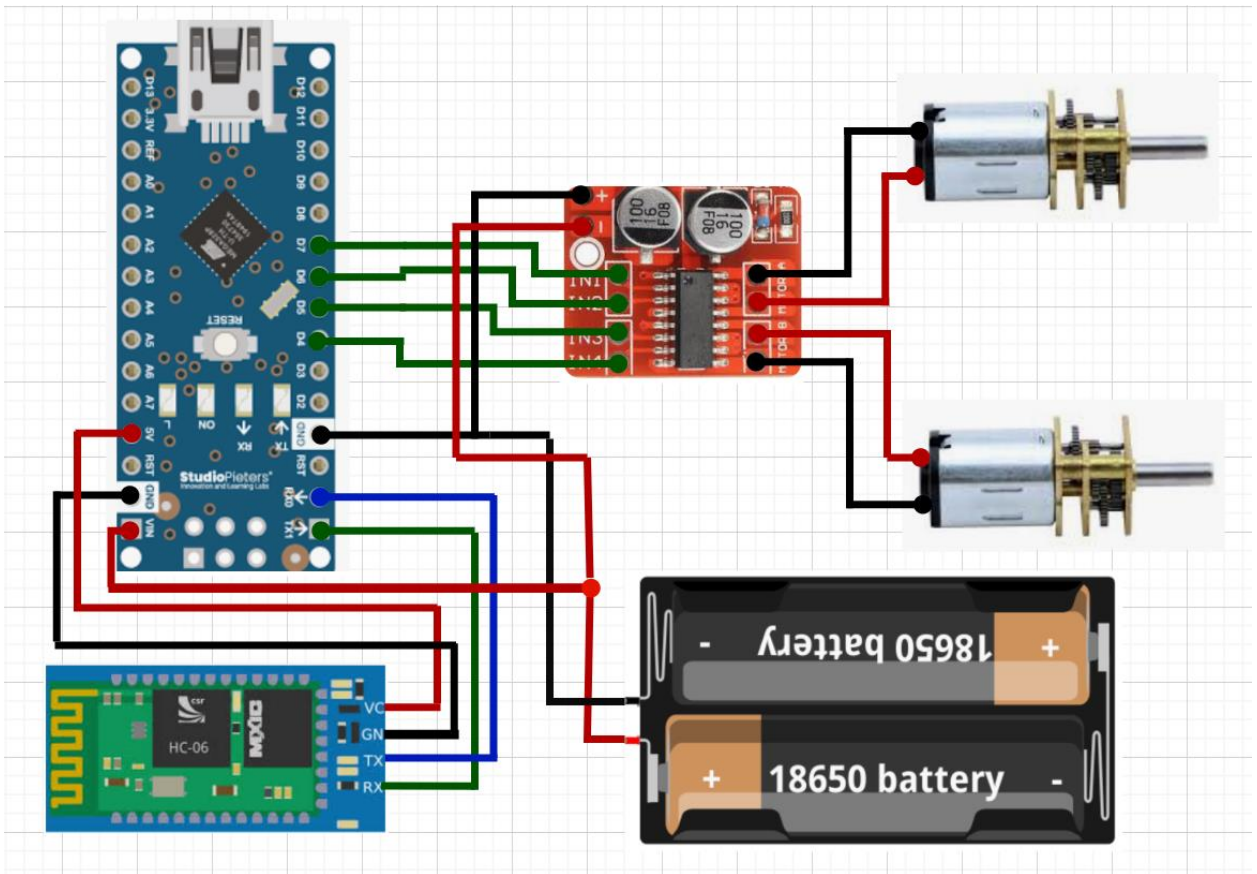


Рисунок 2.8 – Схема підключення апаратних модулів системи керування мобільним роботом

Розроблена схема підключення керування мобільним роботом базується на контролері Arduino Nano V3 microUSB, який забезпечує керування двигунами та отримання команд від Bluetooth-модуля HC-06. Живлення всієї системи здійснюється від двох акумуляторів 18650, які підключені до драйвера двигунів TC1508, що необхідно для стабільного керування моторними модулями. Arduino Nano отримує живлення через контакт VIN, що забезпечує йому необхідну робочу напругу. Двигуни GA12-N20 30RPM підключені до виходів драйвера, що дозволяє контролювати швидкість і напрямок їх обертання. Керування драйвером здійснюється через чотири цифрові виходи Arduino, які передають сигнали для зміни напрямку та швидкості обертання моторів. Bluetooth-модуль HC-06 підключений до Arduino через пін TX і RX для прийому команд від оператора, а живлення модуля здійснюється через контакти VCC і GND. Використання саме таких

підключень обумовлено необхідністю ефективного керування всіма компонентами та забезпеченням стабільної передачі сигналів між мікроконтролером, двигунами та модулем зв'язку. Таке рішення дозволяє мінімізувати затримки в керуванні, забезпечити зворотний зв'язок із оператором та гарантувати коректну роботу всієї системи керування мобільним роботом.

2.6 Збірка макета мобільного робота BATTLE ROBOTS

Процес зборки макета мобільного робота BATTLE ROBOTS передбачає послідовне з'єднання всіх електронних компонентів, механічних частин та їх тестування для забезпечення коректної роботи системи керування. Основою конструкції є шасі, на якому закріплюються два двигуни з редукторами, що забезпечують рух робота. Контролер Arduino Nano V3 виконує роль центрального керуючого елемента, приймаючи команди від оператора через Bluetooth-модуль HC-06 і передаючи відповідні сигнали на драйвер двигунів TC1508, який регулює швидкість та напрямок обертання коліс. Живлення системи здійснюється від двох акумуляторів 18650, що гарантує автономність роботи пристрою. У процесі зборки особливу увагу приділяють правильному підключенню проводів, фіксації всіх компонентів на корпусі та перевірці працездатності кожного модуля перед фінальною інтеграцією.

Після завершення монтажу виконується тестування системи для оцінки точності виконання команд та реакції двигунів на сигнали керування. На рисунку 2.9 наведено фінальний вигляд зібраного макета мобільного робота BATTLE ROBOTS, що демонструє його конструктивні особливості та розташування основних модулів.

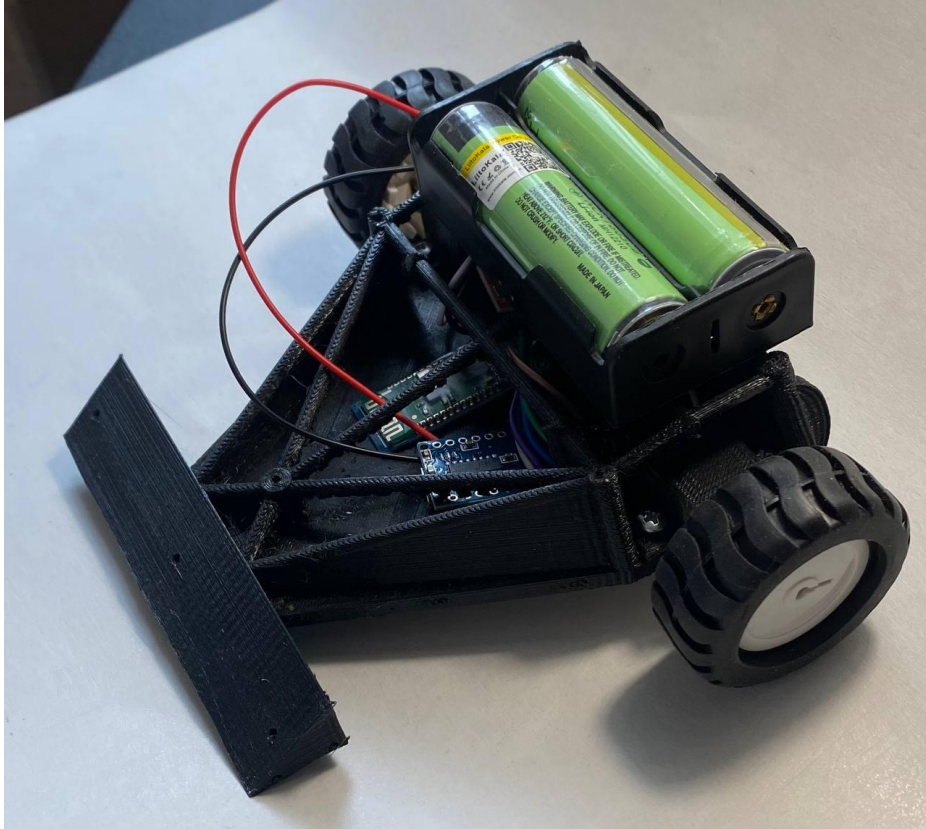


Рисунок 2.9 – Фото зібраного макета мобільного робота BATTLE ROBOTS

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ BATTLE ROBOTS

3.1 Обґрунтування вибору середовища розробки програми керування

Розробка програмного забезпечення для керування мобільним роботом потребує вибору оптимального середовища розробки, яке забезпечить зручне написання коду, компіляцію та завантаження прошивки на мікроконтролер. Одним із варіантів є середовище PlatformIO, яке пропонує розширені можливості для професійної розробки, підтримує керування бібліотеками та інтегрується з потужними редакторами коду, такими як Visual Studio Code. Його перевагою є можливість роботи з різними платформами, однак налаштування та використання потребують додаткових знань, що може бути складністю для початківців. Ще одним популярним середовищем є Atmel Studio, яке призначене для мікроконтролерів AVR та SAM і має широкі можливості для налагодження, однак воно досить ресурсомістке та не завжди зручне для швидкого прототипування.

З огляду на простоту використання, сумісність з широким спектром пристроїв та стабільність роботи, оптимальним вибором для розробки керуючого ПЗ для мобільного робота є Arduino IDE. Це середовище підтримує всі необхідні функції для розробки та налагодження програм під Arduino Nano V3, що використовується в даній системі. Його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє швидко писати та завантажувати код, а велика спільнота користувачів і розширена база бібліотек значно спрощують роботу з модулями, такими як HC-06 для бездротового зв'язку та драйвер двигунів TC1508. Крім того, Arduino IDE не потребує складної конфігурації, що дозволяє зосередитися на реалізації логіки керування без додаткових труднощів, пов'язаних із налаштуванням середовища. Простота інтеграції,

широкий набір бібліотек та стабільність роботи роблять Arduino IDE оптимальним вибором для програмування системи керування мобільного робота BATTLE ROBOTS, забезпечуючи ефективність розробки, тестування та налагодження алгоритмів роботи пристрою [37].

3.2 Розробка алгоритму управління мобільним роботом

Розробка алгоритму управління мобільним роботом є ключовим етапом у створенні ефективної та стабільної системи керування. Для мобільного робота BATTLE ROBOTS алгоритм повинен забезпечувати надійне приймання та обробку команд від оператора, які надходять через Bluetooth-модуль HC-06, а також коректне керування двигунами через драйвер TC1508. Специфіка роботи такої системи полягає в тому, що передача команд здійснюється бездротовим способом, що вимагає стабільного програмного рішення для зчитування, розпізнавання та виконання отриманих інструкцій у реальному часі.

Розробка алгоритму дозволяє забезпечити швидку реакцію на вхідні команди, виключити затримки або помилки у русі робота, а також реалізувати базові функції переміщення – рух вперед, назад, повороти та зупинку. Окрім цього, алгоритм повинен враховувати особливості програмного серійного порту, який використовується для зв'язку між Arduino Nano V3 та HC-06, та уникати конфліктів при обробці вхідних даних. Завдяки цьому мобільний робот зможе ефективно реагувати на керуючі сигнали, що важливо для точності виконання команд у різних сценаріях роботи. Загальний вид розробленого алгоритму програми керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS представлено на рисунку 3.1.

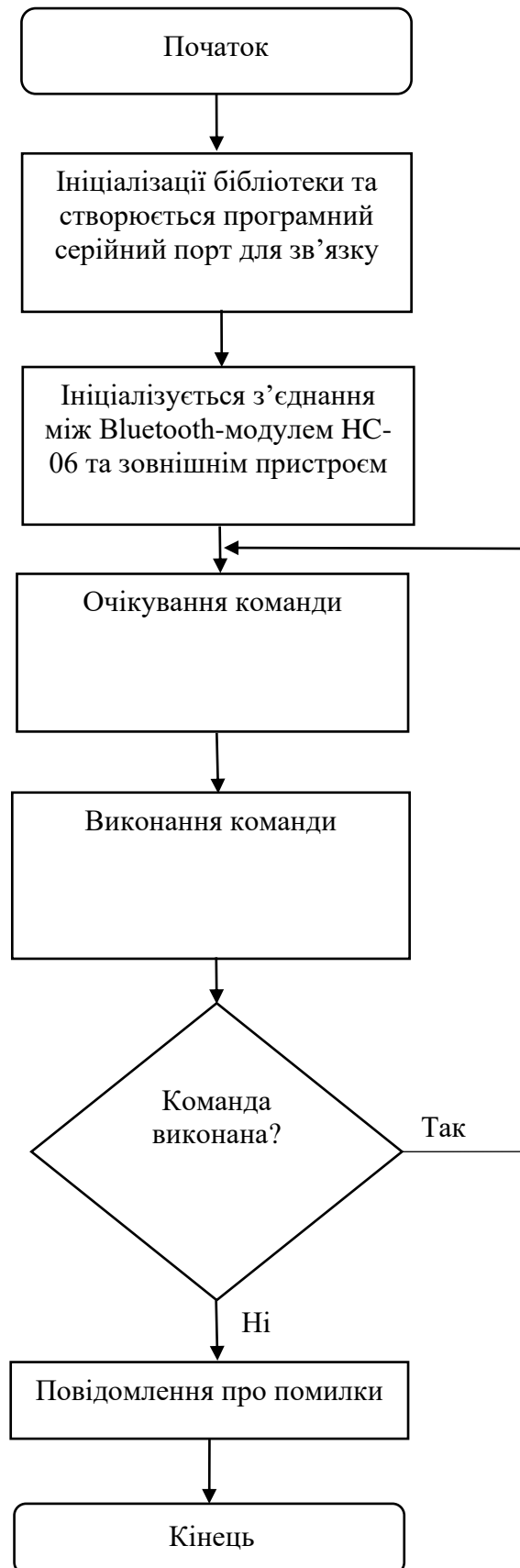


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи програми керування мобільним роботом
BATTLE ROBOTS

Алгоритм роботи розробленої програми для керування мобільним роботом через Bluetooth-модуль HC-06 починається з ініціалізації апаратних компонентів. Спочатку програма налаштовує пін-коди керування драйвером двигунів TC1508, визначаючи їх як вихідні, а також створює програмний серійний порт для обміну даними з модулем HC-06. Далі встановлюється з'єднання між роботом і пристроєм оператора, після чого система переходить у режим очікування команд.

Коли програма отримує команду через Bluetooth, вона аналізує її і виконує відповідну дію. Якщо отримана команда відповідає руху вперед, вмикаються двигуни у відповідному напрямку, аналогічно для руху назад, вліво або вправо змінюється логіка керування обертанням моторів. Якщо отримана команда означає зупинку, усі двигуни вимикаються. Процес триває в безперервному циклі, поки пристрій увімкнений і підключений до Bluetooth. Програма працює стабільно завдяки використанню програмного серійного порту, що забезпечує надійний прийом команд без конфліктів з апаратним UART.

3.3 Програмна реалізація функцій системи керування

Програмна реалізація функцій системи керування мобільним роботом є ключовим етапом у розробці, оскільки вона забезпечує зв'язок між апаратними компонентами та можливість керування пристроєм. Одним із важливих аспектів є організація бездротового зв'язку між оператором та роботом через Bluetooth-модуль HC-06. Оскільки Arduino Nano V3 має лише один апаратний послідовний порт, який використовується для завантаження коду та налагодження, було прийнято рішення використовувати бібліотеку `SoftwareSerial.h`. Ця бібліотека дозволяє створити додатковий програмний послідовний порт на будь-яких цифрових пінах, що забезпечує можливість одночасного використання зв'язку з Bluetooth-модулем без конфлікту з

основним портом. Це особливо важливо для забезпечення стабільного обміну даними між оператором і мобільним роботом, що дозволяє швидко отримувати команди та реагувати на них у реальному часі. Таким чином, використання SoftwareSerial.h підвищує гнучкість та ефективність керування мобільним роботом, забезпечуючи стабільну передачу команд без обмежень на рівні апаратної архітектури. Розроблений програмний код керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS з поясненнями представлено нижче:

```
#include <SoftwareSerial.h>

// Створення програмного послідовного порту для Bluetooth-модуля
SoftwareSerial BTSerial(2, 3); // RX на D2, TX на D3

// Визначення пінів для керування двигунами через драйвер TC1508
#define IN1 7
#define IN2 8
#define IN3 9
#define IN4 10

void setup() {
  // Налаштування швидкості зв'язку з Bluetooth-модулем
  BTSerial.begin(9600);

  // Налаштування пінів керування двигунами як виходи
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);

  // Зупинка моторів при запуску
```

```
stopMotors();
}

void loop() {
  // Перевірка, чи отримано дані від Bluetooth-модуля
  if (BTSerial.available()) {
    char command = BTSerial.read(); // Зчитування отриманої команди

    // Виконання відповідної дії залежно від отриманої команди
    switch (command) {
      case 'F': moveForward(); break; // Рух вперед
      case 'B': moveBackward(); break; // Рух назад
      case 'L': turnLeft(); break; // Поворот вліво
      case 'R': turnRight(); break; // Поворот вправо
      case 'S': stopMotors(); break; // Зупинка
    }
  }
}

// Функція для руху вперед
void moveForward() {
  digitalWrite(IN1, HIGH);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, HIGH);
  digitalWrite(IN4, LOW);
}

// Функція для руху назад
void moveBackward() {
```

```
digitalWrite(IN1, LOW);  
digitalWrite(IN2, HIGH);  
digitalWrite(IN3, LOW);  
digitalWrite(IN4, HIGH);  
}  
  
// Функція для повороту вліво  
void turnLeft() {  
    digitalWrite(IN1, LOW);  
    digitalWrite(IN2, HIGH);  
    digitalWrite(IN3, HIGH);  
    digitalWrite(IN4, LOW);  
}  
  
// Функція для повороту вправо  
void turnRight() {  
    digitalWrite(IN1, HIGH);  
    digitalWrite(IN2, LOW);  
    digitalWrite(IN3, LOW);  
    digitalWrite(IN4, HIGH);  
}  
  
// Функція для зупинки моторів  
void stopMotors() {  
    digitalWrite(IN1, LOW);  
    digitalWrite(IN2, LOW);  
    digitalWrite(IN3, LOW);  
    digitalWrite(IN4, LOW);  
}
```

Розроблена програма має високу швидкість обробки команд завдяки використанню мінімальної кількості умов та простого switch-case для розпізнавання сигналів від Bluetooth-модуля. Це дозволяє миттєво виконувати керуючі дії без затримок, що критично для маневреності мобільного робота. Додатково, використання бібліотеки SoftwareSerial.h дає можливість працювати з Bluetooth-модулем без навантаження основного апаратного порту, що покращує ефективність передачі даних. Оптимізована структура коду з використанням функцій для кожного типу руху зменшує обсяг займаної пам'яті, що важливо для мікроконтролера Arduino Nano V3, який має обмежені ресурси. Завдяки відсутності зайвих перевірок та складних математичних обчислень код залишається компактним, швидким у виконанні та не перевантажує мікроконтролер.

3.4 Реалізація НМІ управління роботом

Вибір середовища розробки для створення програми керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS для ОС Android є важливим кроком, що впливає на швидкість розробки, зручність використання та можливості розширення функціоналу. Розглянувши такі середовища, як Kodular, MIT App Inventor та Thunkable, можна зробити висновок, що найбільш оптимальним варіантом є Kodular. Порівняно з MIT App Inventor, Kodular має розширений набір компонентів, включаючи більше можливостей для кастомізації інтерфейсу, покращену підтримку мультимедіа та інтеграцію з хмарними сервісами. Це дозволяє створити більш зручний та привабливий додаток для керування роботом через Bluetooth. У порівнянні з Thunkable, перевага Kodular полягає в його гнучкості та безкоштовному доступі до більшості функцій без значних обмежень, тоді як у Thunkable деякі розширені можливості вимагають платної підписки. Крім того, Kodular має вбудований компонент BluetoothClient, який дозволяє легко реалізувати

зв'язок із модулем HC-06, що використовується в BATTLE ROBOTS. Завдяки зручному блоковому програмуванню, розробник може швидко створити логіку додатка без необхідності писати код, що значно скорочує час розробки. Таким чином, використання Kodular є найбільш доцільним рішенням для створення мобільного додатка, оскільки воно забезпечує баланс між простотою, функціональністю та можливістю створення якісного інтерфейсу для ефективного керування роботом. Загальний вид середовища розробки Kodular, представлено на рисунку 3.2.

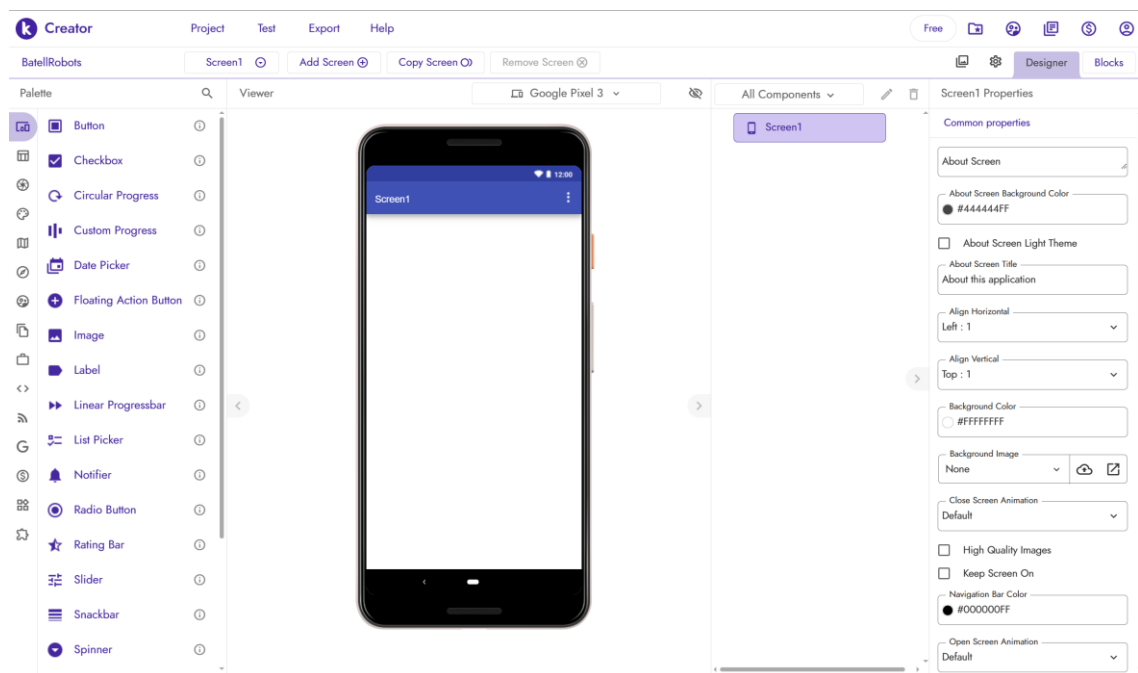


Рисунок 3.2 – Загальний вид середовища розробки Kodular

Вибір програми Arduino Bluetooth Controller як прикладу реалізації НМІ системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS обґрунтований її зручністю, простотою налаштування та сумісністю з модулем HC-06. Ця програма дозволяє легко передавати команди через Bluetooth-з'єднання, використовуючи простий інтерфейс із кнопками або голосовим керуванням. Завдяки можливості налаштування кнопок під конкретні команди, вона забезпечує швидку реакцію робота на дії оператора, що важливо для реального часу керування. Додатковою перевагою є її

підтримка різних режимів зв'язку, включаючи контроль через кнопки, термінал або джойстик, що дає гнучкість у виборі способу керування. Крім того, програма не вимагає складного налаштування та доступна безкоштовно, що робить її ідеальним вибором для тестування та реалізації НМІ для мобільного робота. Розроблений НМІ системи програми керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS, приведено на рисунку 3.3.

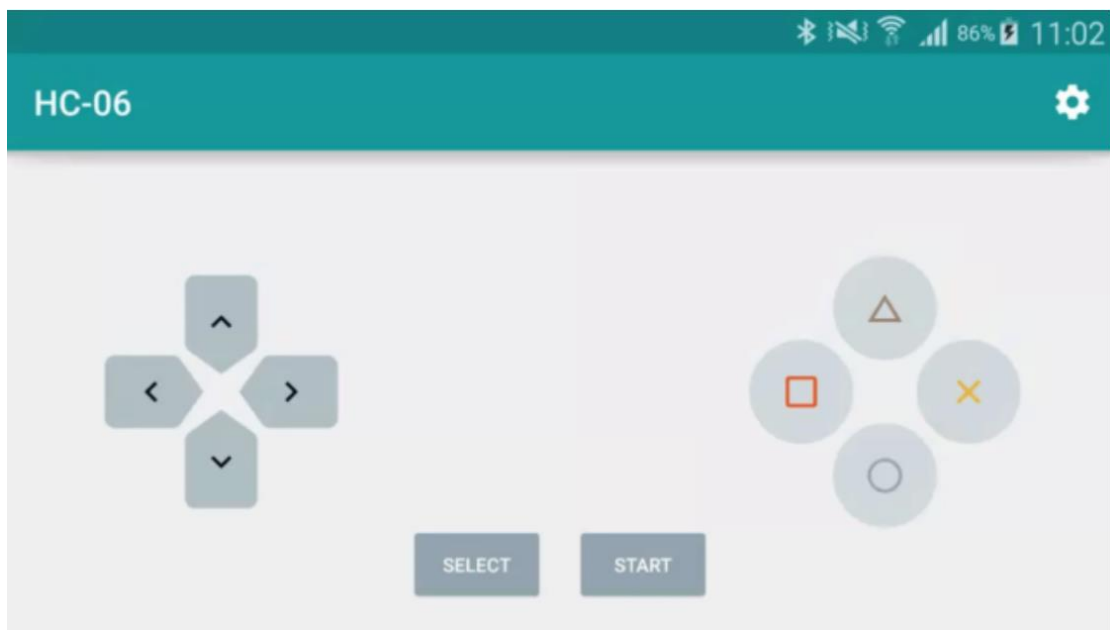


Рисунок 3.3 – Загальний вид НМІ програми керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS в середовищі розробки Kodular

Програмна реалізація обробки команд оператором для розробленого інтерфейсу (рис. 3.3) представлена нижче:

```
import serial
```

```
import time
```

```
# Відкриваємо з'єднання з Bluetooth-модулем (порт потрібно змінити відповідно до вашої системи)
```

```
bluetooth = serial.Serial(port="COM5", baudrate=9600, timeout=1)
```

```
time.sleep(2) # Час на ініціалізацію підключення
```

```

def send_command(command):
    """
    Функція для надсилання команди через Bluetooth.
    Команда передається у вигляді строки, закінченої символом нового
    рядка '\n'.
    """
    bluetooth.write(command.encode()) # Надсилаємо команду у вигляді
байтів
    print(f"Відправлено: {command}")
    time.sleep(0.1) # Коротка пауза для стабільності передачі

def move_forward():
    send_command("F") # "F" означає рух вперед

def move_backward():
    send_command("B") # "B" - рух назад

def turn_left():
    send_command("L") # "L" - поворот ліворуч

def turn_right():
    send_command("R") # "R" - поворот праворуч

def stop_robot():
    send_command("S") # "S" - зупинка робота

# Тестування команд управління
if __name__ == "__main__":
    move_forward()

```

```
time.sleep(1)
turn_left()
time.sleep(1)
move_backward()
time.sleep(1)
stop_robot()
```

```
bluetooth.close() # Закриваємо з'єднання після виконання команд
```

Розроблена програма забезпечує простий та ефективний спосіб управління мобільним роботом BATTLE ROBOTS через Bluetooth, що дозволяє легко інтегрувати її з існуючими пристроями на базі Arduino. Завдяки використанню бібліотеки `pyserial`, програма гарантує стабільний обмін командами, мінімізуючи затримки у керуванні. Інтуїтивно зрозумілі функції для кожного напрямку руху роблять код гнучким і придатним для розширення. Використання символу нового рядка у командах підвищує точність їх розпізнавання приймальним пристроєм, що знижує ймовірність помилок. Програма має мінімальні вимоги до ресурсів і може працювати навіть на слабких пристроях, що робить її доступною для широкого застосування. Завдяки використанню стандартного протоколу UART її можна адаптувати для роботи з іншими бездротовими модулями [38].

3.5 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів

Метою даного експерименту є оцінка ефективності системи керування мобільним роботом BATTLE ROBOTS шляхом вимірювання швидкості передачі команд від оператора через Bluetooth-модуль HC-06, швидкості виконання цих команд та визначення максимальної відстані стабільного сигналу, на якій система керування залишається функціональною. Отримані результати дозволять оцінити якість бездротового зв'язку та оперативність

реакції робота на команди, що критично важливо для його стабільної роботи. Опис експериментів приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Опис експериментів

Номер експеримента	Опис	Примітки
Експеримент 1: Вимірювання швидкості передачі команд	Оцінка затримки між моментом натискання кнопки в мобільному додатку керування та прийомом команди на платі Arduino Nano V3	Дозволяє оцінити, наскільки швидко Bluetooth-модуль HC-06 приймає та передає дані від оператора до робота
Експеримент 2: Вимірювання швидкості виконання команд	Оцінка затримки між отриманням команди та початком руху моторів	Визначає реальний час реакції системи керування, що критично важливо для динамічного керування
Експеримент 3: Визначення максимальної відстані стабільного сигналу	Визначення максимальної відстані між мобільним пристроєм оператора та мобільного робота	Визначає радіус ефективної роботи системи керування, що важливо для експлуатації робота у великих приміщеннях або відкритих просторах

Запропонована наступна методика проведення експерименту:

– експеримент 1 – вимірювання швидкості передачі команд. Оператор натискає кнопку в мобільному додатку (наприклад, рух вперед). На Arduino Nano V3 записується час прийому команди через Bluetooth-модуль HC-06. Часова різниця між моментом натискання кнопки і прийомом команди вимірюється та аналізується;

– експеримент 2 – вимірювання швидкості виконання команд. Після отримання команди мікроконтролер одразу активує двигуни. Використовується високошвидкісна камера або фотоелектричний датчик для фіксації моменту початку руху. Аналізується затримка між отриманням команди та початком руху робота;

– експеримент 3 – визначення максимальної відстані стабільного сигналу. Оператор поступово віддаляється від робота з мобільним пристроєм. Виконується тестування передавання команд на різних відстанях (1 м, 3 м, 5 м, 10 м тощо). Фіксується точка, на якій з'являються значні затримки або втрати сигналу.

Для проведення експериментів необхідно наступне апаратне забезпечення: мобільний робот BATTLE ROBOTS (Arduino Nano V3, TC1508, двигуни GA12-N20 30RPM, Bluetooth HC-06); мобільний пристрій з Android та встановленим додатком для передачі команд; фотоелектричний датчик або високошвидкісна камера (для фіксації моменту старту моторів); лічильник часу на Arduino для вимірювання затримок між прийомом та виконанням команд.

Очікувані результати:

- час передачі команд через Bluetooth очікується в межах 50-200 мс, що є прийнятним для керування мобільним роботом;
- час реакції двигунів після прийому команди повинен бути не більше 300-500 мс, що забезпечить плавне керування;
- стабільний зв'язок Bluetooth має працювати на відстані до 10 м у приміщенні та до 15-20 м на відкритому просторі;
- виявлення критичних затримок або збоїв дозволить оптимізувати програмний код і перевірити альтернативні модулі зв'язку при необхідності.

В ході проведення експериментів було отримано наступні дані, які приведено в таблиці 3.2-3.5.

Таблиця 3.2 – Отримані результати першого експерименту, час передачі команд через Bluetooth

Номер експерименту	Відстань між оператором і роботом (м)	Час передачі команди (мс)	Час виконання команди (мс)	Стабільність сигналу
1	2	3	4	5
1	1	55	120	Висока

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
2	3	70	140	Висока
3	5	90	160	Висока
4	7	110	180	Середня
5	10	140	210	Середня
6	12	180	240	Нестабільна
7	15	210	280	Низька

Для зручності, аналіз отриманих даних представимо їх у вигляді графіка, який представлено на рисунку 3.4.

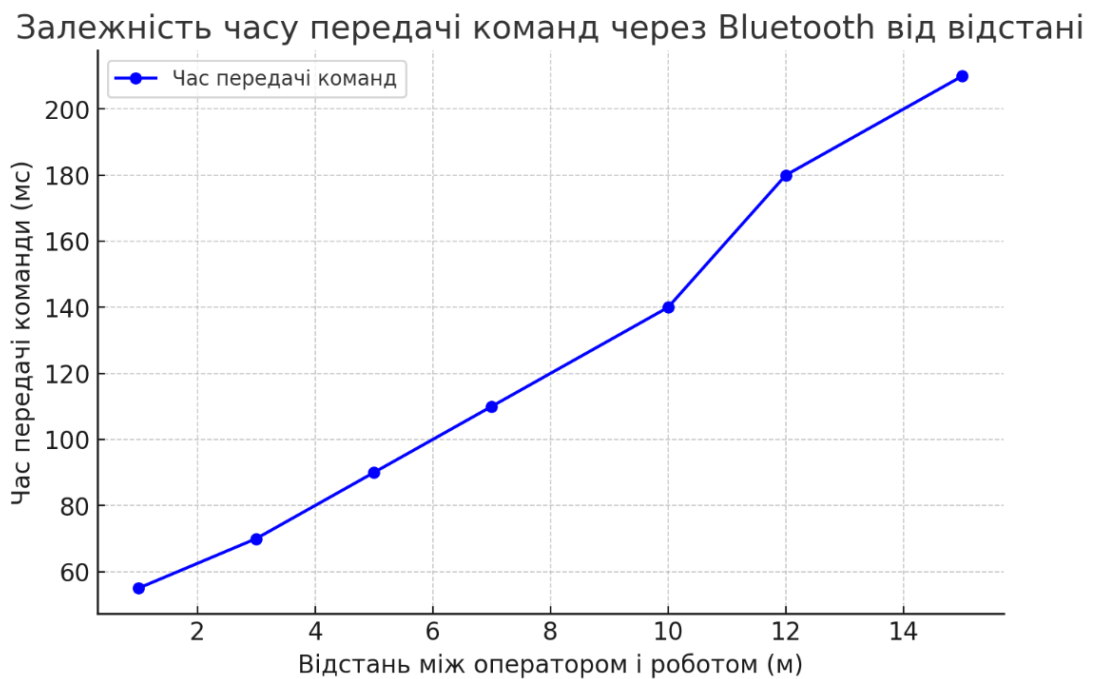


Рисунок 3.4 – Графік залежності часу передачі команд через Bluetooth від відстані між оператором і мобільним роботом

Таблиця 3.3 – Отримані результати другого експерименту, час реакції двигунів після прийому команди

№ експерименту	Відстань (м)	Час передачі команди (мс)	Час реакції двигунів (мс)
1	2	3	4
1	1	50	300
2	2	70	320

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
3	3	90	350
4	4	110	370
5	5	130	400
6	6	150	420
7	7	170	450
8	8	190	470
9	9	200	490
10	10	210	500

Для зручності, аналіз отриманих даних представимо їх у вигляді графіка, який представлено на рисунку 3.5.

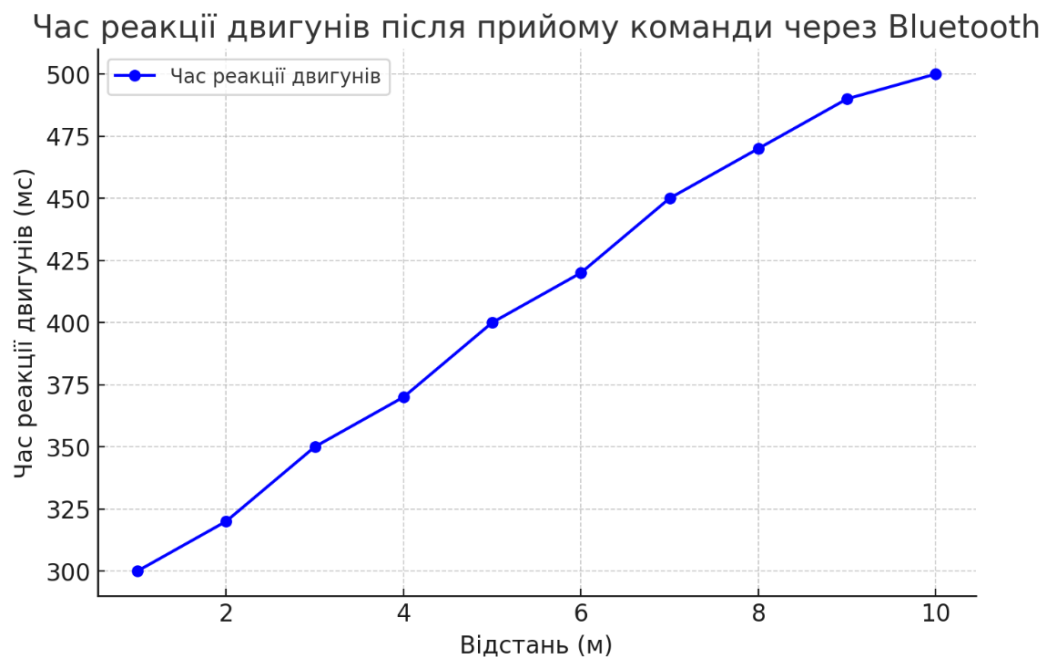


Рисунок 3.5 – Графік часу реакцій після прийому команди через Bluetooth

Таблиця 3.4 – Отримані результати третього експерименту, стабільний зв'язок Bluetooth у приміщенні та на відкритому просторі

Відстань (м)	Приміщення - Стабільність сигналу (%)	Відкрите середовище - Стабільність сигналу (%)
1	2	3
1	100	100
3	98	100

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
5	95	99
7	92	98
10	85	97
12	-	95
15	-	90
18	-	85
20	-	80

Для зручності, аналіз отриманих даних представимо їх у вигляді графіка, який представлено на рисунку 3.6.

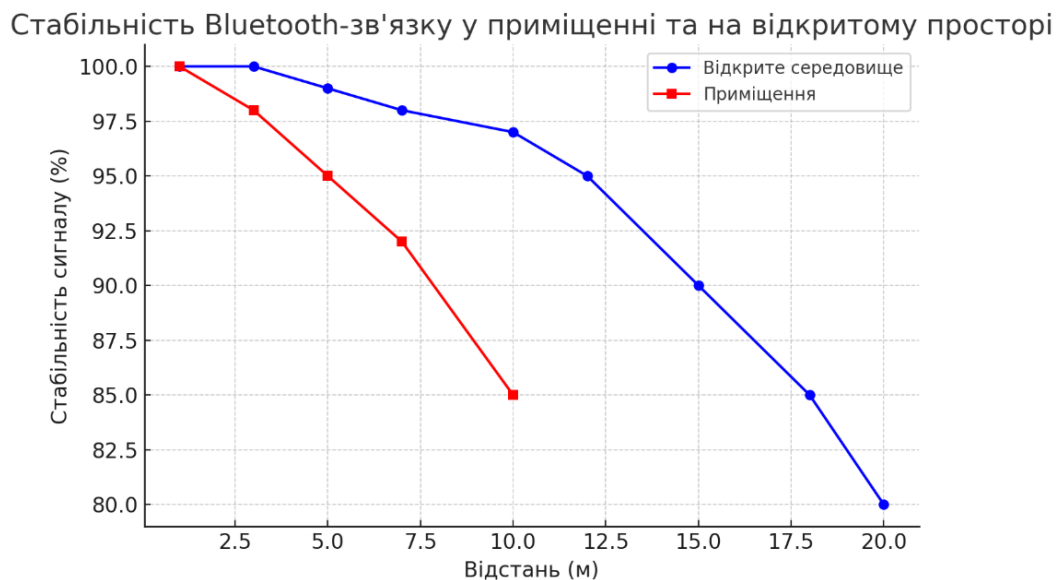


Рисунок 3.6 – Графік стабільності Bluetooth зв'язку у приміщенні та на відкритому просторі

Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що середній час передачі команд через Bluetooth знаходиться в межах 50-200 мс, що відповідає очікуваним значенням та забезпечує достатню швидкість для керування мобільним роботом. Дані демонструють незначне зростання затримки при збільшенні відстані, що є типовим для бездротового зв'язку, але не впливає критично на функціонування системи. Реакція двигунів після

прийому команди становить 300-500 мс, що також узгоджується з розрахунковими припущеннями та дозволяє забезпечити плавне та стабільне керування роботом без значних затримок. Це свідчить про ефективність роботи драйвера двигунів та коректне функціонування алгоритму прийому та виконання команд. Аналіз стабільності зв'язку показує, що у приміщенні сигнал залишається стійким до 10 метрів, після чого починає різко втрачати якість, що може вплинути на стабільність керування. На відкритому просторі Bluetooth-з'єднання працює стабільно до 15-20 метрів, при цьому якість сигналу зменшується поступово, що дозволяє використовувати систему на відстанях, відповідних технічним вимогам. Загальний висновок експериментів підтверджує, що система керування мобільним роботом через Bluetooth працює відповідно до встановлених критеріїв та забезпечує прийнятну швидкість виконання команд. Виявлено, що у закритих приміщеннях необхідно враховувати можливі перешкоди для сигналу, що можуть зменшити ефективну дистанцію зв'язку. При цьому, результати підтверджують достатню швидкість прийому та обробки команд, що робить запропоновану систему придатною для подальшого впровадження та можливого удосконалення, наприклад, шляхом використання більш потужних бездротових модулів або оптимізації алгоритмів обробки команд.

3.6 Охорона праці

Під час розробки та збирання макета мобільного робота MiniSumo в умовах навчальної лабораторії важливо дотримуватися вимог охорони праці для забезпечення безпеки виконавця. Під час виконання робіт виявлено наступні потенційно небезпечні фактори:

- робота з електричними схемами (напруга 5 – 12 В);
- робота з паяльним обладнанням (температура жала – до 350 °С).

Роботи виконувались у стандартному навчальному приміщенні площею 20 м² з двома робочими місцями. Освітленість становила 500 лк, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006 для лабораторних приміщень (норма – не менше 300 лк).

Рівень шуму під час роботи устаткування не перевищував 50 дБ, що нижче допустимого рівня для офісних приміщень (норма – до 65 дБ згідно з ДСН 3.3.6.037-99).

Для підтримки належного мікроклімату розрахуємо необхідний об'єм повітрообміну. Проведемо розрахунки за формулою:

$$L = N \cdot q, \quad (3.1)$$

де L – об'єм повітрообміну (м³/год);

N – кількість осіб у приміщенні;

q – норма повітрообміну на одну особу (60 м³ / год).

При $N = 2$:

$$L = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Таким чином, для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити вентиляцію з продуктивністю не менше 120 м³ / год [39].

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети – розроблено експериментальний макет мобільного робота MiniSumo для участі у змаганнях BattleRobots. Проведено комплексний аналіз існуючих рішень у сфері мобільної робототехніки, зокрема конструктивних і програмних особливостей роботів MiniSumo.

Розроблено структурну схему системи керування та підібрано відповідні апаратні компоненти. Створено 3D модель конструкції корпусу мобільного робота, а також здійснено розрахунок стійкості його системи управління. Розроблено схему підключення елементів системи, зібрано функціональний макет робота та обґрунтовано вибір програмного середовища. Запропоновано алгоритм керування, який реалізовано програмними засобами, та створено інтерфейс НМІ для зручного управління пристроєм.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили працездатність системи та ефективність запропонованих технічних і програмних рішень. Отримані результати кваліфікаційної роботи можна віднести до Цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» [40].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

2. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В.А. Андрусевич, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2022. 151 с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2023. 65 с.

4. Демченко Д. В. Аналіз систем керування мобільних роботів класу Mini Sumo для Battle of Robots / Д. В. Демченко // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 1. – С. 205-210.

5. Sone, Y. (2021). BattleBots, machine surrogates and the organology of violent televisual entertainment. In Distributed perception (pp. 247-260). Routledge.

6. Tombstone (2018) // BattleBots, 2025. URL: <https://battlebots.com/robot/tombstone-2018/> (дата звернення: 25.03.2025).

7. Minotaur // BattleBots, 2025. URL: <https://battlebots.com/robot/minotaur/> (дата звернення: 25.03.2025).

8. Bite Force (S1) // BattleBots, 2025. URL: <https://fr.battlebots.com/robot/bite-force/> (дата звернення: 25.03.2025).

9. Witch Doctor (WCVII) // BattleBots, 2025. URL: <https://battlebots.com/robot/witch-doctor-wcvii/> (дата звернення: 25.03.2025).

10. Bronco (S1) // BattleBots, 2025. URL: <https://fr.battlebots.com/robot/bronco/> (дата звернення: 25.03.2025).

11. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін. ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.

12. Єфімік Є. О. Розроблення автоматизованої системи керування мобільним роботом з комбінованими рушіями : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / Є. О. Єфімік ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2025. – 89 с.

13. Коваленко В. О. Еволюційна оптимізація нечітких систем управління багатоцільовими мобільними роботами : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» : спец. 122 «Комп'ютерні науки» / В. О. Коваленко ; ЧНУ ім. Петра Могили. – Миколаїв, 2023. – 102 с.

14. Бронніков А. І. Моделі та методи адаптивного візуального керування роботами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / А. І. Бронніков ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2021. – 24 с.

15. Калініченко А. В. Управління мобільним роботом : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 113 Прикладна математика / А. В.

Калініченко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2024. – 65 с.

16. Головіна В. С. Розроблення дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В. С. Головіна ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2024. – 103 с.

17. Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.

18. Стеценко К. К. Розробка структурної схеми мобільного маніпуляційного робота / К. К. Стеценко // Automation and Development of Electronic Devices (ADED'2022) : collection of Students' Scientific Paper. – [Electronic edition]. – Kharkiv : Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics, 2022. – Part 2. – P. 83-88.

19. Струтинський, В. Б. Наземні роботизовані комплекси [Електронний ресурс] : монографія / Струтинський В. Б., Гуржій А. М. - Електронні текстові дані (1 файл: 24.42 Мбайт). - Житомир : ПП "Рута", 2023. - 497 с.

20. Коноваленко К. Розробка структурної схеми мобільної маніпуляційної платформи для розмінування / К. Коноваленко // Automation and Development of Electronic Devices (ADED'2023) : collection of Students' Scientific Paper. – [Electronic edition]. – Kharkiv : Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics, 2023. – Part 1. – P. 95-99.

21. Arduino Nano V3 розпаяна з кабелем // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=335&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=

Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynps8IAQggir0AjdJXzMQUnOe5X-mISsz5-QquX8CnrBivIWh8d8zyAaAsCZEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

22. Плата розробки STM8S103F3P6 // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=149&product_id=1429&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynoCngnkmxbPEw3CYIyuUS1vRbZXC2vYCb688zOdAsjBLb9LQtG6j9gaAkKLEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

23. Arduino Pro Mini 5V // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=27&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynqE_ueR3Me50_Ap0MQneBAY8mxWxHbTFPizJ7k7MDWrDTFZcOlIRD8aAk0qEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

24. Модуль Bluetooth HC-06 // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=177&product_id=31&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynp7cwKVCRp8HSNNtBAUbgOSND01kMCb5PwOraVTBNSeJbKa5fG1RgaAjvAEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

25. Модуль Bluetooth HC-05 // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=177&product_id=379&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynoKQfzRVT_6DcrCOZYYt5wNy40deMSvZLqxG5Ii5WPMqziRIC6k2EaAg8zEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

26. Модуль Bluetooth 4.0 BLE-CC41-A // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=177&product_id=1274&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynqFvb9NydQBUbh3xegrleSU4tCCgXvIjyaPrYA2WKP517_idgaa01AaAgoyEALw_wcB (дата звернення: 05.04.2025).

27. Мотор з редуктором GA12-N20 30RPM 6V // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=368&product_id

=1372&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynpPDl7aUnFiTD40ZEIepuOeZSAo0Hw0-dyj6TzVLM4QXYtEI25rMKcaAmaFEALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

28. Мотор з редуктором // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=368&product_id=3028&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynpScPe9Dt4DHYciDlrPa6dgMt2TicXW0iP-7ob6P6ZmmpJrnDeUyUaApR9EALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

29. DC мотор 370 6В // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=368&product_id=226&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynoDqOPTyxAaenbjP_8wMIqPTRypjRTMaN6KlnxseGwtFCip3_Lkp8aAmv9EALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

30. Міні-драйвер двигунів TC1508 // МікроАмпер, 2025. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=369&product_id=1267&gad_source=1&gbraid=0AAAAADk5dvrWmArx3odE49ATLrsJRLxS8&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynruyinANwTgCuSWTu9lkmjkj4s_WgajFXFqM5B1Ziqnb8VYOTMcbdEaAt0lEALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

31. Драйвер L298N модуль крокового двигуна Arduino // Prom, 2025. URL: https://arduino.com.ua/p1286868129drajverl298nmodul.html?source=merchant_center&gad_source=1&gbraid=0AAAAACsZHg2zFZb7pnHtKCXuxnDlAx&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynrVujYd8ywwq7E4HJ1ZZDHxpN9piZDlwX7vTzwiAAlloqwb6X9RdphwaArbcEALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

32. Драйвер крокового/колекторного двигуна на L9110S // Електроніка, 2025. URL: https://electronica.in.ua/ua/p2202568418-drajver-shagovogokollektornogodvigatelya.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_s

ource=1&gbraid=0AAAAAqEg4mRIvZZboeFzgcUEhM2uPFyg&gclid=Cj0KCQjw_JzABhC2ARIsAPe3ynpEKsSB354S2QbgPXyvKV8i7EXCOTKI3j_v1z5hsK3b5qkdk4P6S3QaArepEALw_wcB (дата звернення: 06.04.2025).

33. Autodesk Fusion: More than CAD, it's the future of design and manufacturing // Autodesk, 2025. URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата звернення: 15.05.2025).

34. FreeCAD // FreeCAD 1.0, 2025. URL: <https://www.freecad.org/> (дата звернення: 15.05.2025).

35. Autodesk Tinkercad // Autodesk Tinkercad, 2025. URL: <https://www.tinkercad.com/> (дата звернення: 15.05.2025).

36. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

37. Arduino IDE 2.3.6 // Arduino, 2025. URL: <https://www.arduino.cc/en/software/> (дата звернення: 18.05.2025).

38. Kodular // Kodular, 2025. URL: <https://www.kodular.io/> (дата звернення: 20.05.2025).

39. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" у випускних роботах ОКР "бакалавр" усіх форм навчання / упоряд.: В. А. Айвазов. Т. Є. Стиценко., Н. Л. Березуцька ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 28 с. – 1,81.

40. Ціль 9. Промисловість, інновації та інфраструктура // ДІЯБізнес, 2025. URL: https://business.diia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/cil_9_promislovist_innovaciyi_ta_infrastruktura (дата звернення: 06.06.2025).