

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри АКТ,

кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЩО КЕРУЄТЬСЯ ЧЕРЕЗ
ДОДАТОК АНДРОЇДНИМ СМАРТФОНОМ**

Спеціальність «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ.1 – 471. 22327101

Студент

_____ Хейна М.В

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник доктор технічних наук, професор

_____ Трунов О.М

« ____ » _____ 2025 р.

Миколаїв – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення:

Комп'ютерних наук

Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Напрямок підготовки 15 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

Сідєлєв М. І. _____

“ ____ ” _____ 2024 р

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

1. Хейна Максим

(прізвище, ім'я, по батькові)

2. Тема проекту (роботи): Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном

3. Керівник проекту (роботи) доктор техн. наук, професор, О. М. Трунов, затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2024 р.

№ _____

4. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06. 2025

5. Вихідні дані до проекту (роботи)

Підприємства переробної промисловості, сільськогосподарські підприємства, виробничі автоматизовані ділянки, що потребують різних форм контролю застосовують мобільні засоби переміщення та автоматичного контролю у ході якого застосовуються робото-технічні системи у тому числі з маніпулятором на боту. Одним із вузьких місць є система керування та комунікації на відстані від 0,1 до 1000 метрів, автономність до 10 годин, відстань по прямій до 10000 метрів, маса устаткування в цілому до 20 кг, вантажо-підйомність маніпулятора 10 Н.

1. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) огляд сучасних автоматизованих систем просторового виміру та контролю мобільними роботизованими системами у тому числі такими, що керується через додаток андроїдним смартфоном;

- 2) обґрунтування вибору методів, моделей, апаратного забезпечення та програмного середовища розв'язку задач переміщення устаткування для контролю;
 - 3) розробка системи керування по радіо каналу бортовим маніпулятором, що захищена і яка здана проводити експрес виміри;
 - 4) моделювання динаміки і випробування макету елементів системи та синтез систем керування структурними елементами та системою у цілому.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Блок-схеми систем, рисунки загальних видів елементів конструкцій, схематичні зображення, блок схеми алгоритмів програм, екранні відображення фрагментів ПЗ (скрін-шоти), осцилограми процесів результатів моделювання роботи елементів. Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	17.10.2022	
2	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	03.01.2023	
3	Трунов О. М., д. т. н. професор каф. АКІТ	03.04.2023	
4	Алексєєва А.О., доцент кафедри екології	19.04. 2023	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обговорення пропозицій теми від керівника	23.09.2024	
2	Обговорення із студентом теми, яка вибрана	01.10.2024	
3	Формування завдання, затвердження теми	30.10.2024	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2024	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2024	
6	Виконання першої частини	02.12.2024	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	27.12.2024	
8	Опрацювання другої частини	14.03.2025	
9	Робота над третьою частиною (при наявності)	18.04. 2025	
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2025	
11	Передзахисти	27.05. 2025	
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	19.06.2025	
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06. 2025	

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____ Хейна Максим

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Трунов О. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

«Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном»

студента гр. 471м Хейна Максима Вікторовича

Керівник: д-р техн. наук, професор Трунов Олександр Миколайович

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності підвищення доступності безлюдних технологій для широкого спектру користувачів, від побутових потреб, до промисловості.

Метою роботи є підвищення ефективності мобільної роботизованої системи, що керується через додаток андроїдним смартфоном, шляхом розробки та створення макету для моделювання і дослідження системи керування мобільною роботизованою системою з використанням смартфона на операційній системі Android.

Об'єктом дослідження є процеси керування у сучасних мобільних платформах у тому числі на макетах, що реалізують типові принципи їх роботи, конструктивні рішення, методи керування через стандартні засоби зв'язку.

Предметом дослідження є моделі, макети, алгоритми та програми керування мобільною роботизованою системою з маніпулятором на борту, що керується через додаток андроїдним смартфоном.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання**:

- 1) Провести аналіз стану та тенденцій розвитку, структури, конструктивних апаратних і програмних реалізацій АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами;
- 2) Провести патентний пошук АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами;

- 3) Розробити та створити макет мобільної роботизованої системи, що керується через додаток андроїдним смартфоном;
- 4) Сформувати модель та розробити алгоритм і програму керування мобільною роботизованою системою з маніпулятором на борту за допомогою андроїдного смартфона через додаток;
- 5) Розробити програму випробувань та провести експерименти з використанням макету мобільної роботизованої системи;
- 6) Розробити системи моделювання та визначити параметрів регуляторів;
- 7) Розглянути питання щодо охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Кваліфікаційна робота містить, вступ, чотири розділи, висновок, перелік джерел посилання.

Вступ містить основні обґрунтування актуальності розробки обраної теми, об'єкт, предмет дослідження, мету та завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети.

У розділі 1 було досліджено стан та тенденції розвитку автоматизованих систем дистанційного керування мобільними роботизованими системами

У розділі 2 було запропоновано конструкцію та створено макет мобільної роботизованої системи з маніпулятором на борту. Розглянуті схема функціональна, схема електрична принципова. Створено та описано алгоритм керування, описано використане програмне забезпечення, запропоновано програму випробувань.

У третьому розділі було проведення експериментів з макетом мобільної роботизованої платформи. Проведено аналіз роботи системи автоматизованого керування, внесені корективи в алгоритм керування, додані автоматичні функції. Проведено моделювання перехідного процесу керування та експерименти з дослідження перехідної функції.

У четвертому розділі розглянуті питання з охорони праці та безпеки на робочих місцях операторів дистанційно керованих платформ.

У висновку описано результати виконання кваліфікаційної роботи.

Кваліфікаційна магістерська робота містить 114 сторінок, 59 рисунків, 4 таблиці, 31 джерело посилання.

Наукова новизна полягає у створенні моделі, алгоритму та програмного забезпечення для використання андроїдного смартфона в якості панелі керування мобільною роботизованою платформою у складі автоматизованої системи керування.

Практична значимість розробленої системи полягає у можливості масштабувати технологію використання смартфона в автоматизованих системах дистанційного керування та підвищенні доступності безлюдних технологій.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи відбувалась під час XXI міжнародної наукової конференції «ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2025 :

Стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі»

Миколаїв 2025 (доповідь Трунов О.М., Малько А.П., Хейна М.В.

«Автоматизовані системи випробувань на базі мобільних робототехнічних платформ»

Публікації. Основні положення та результати бакалаврської роботи опубліковані у збірці матеріалів XXI міжнародній наукової конференції «ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2025 : Стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі», 16-21 червня 2025 року в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили, м. Миколаїв, в дистанційному он-лайн форматі. **Тема роботи:** «автоматизовані системи випробувань на базі мобільних робототехнічних платформ».

Ключові слова: автоматизована система, роботизована платформа, android смартфон, bluetooth, дистанційне керування, ПЗ, мікроконтролер, мобільна платформа, безлюдні технології.

ANNOTATION

for the Bachelor's Qualification Work

"Robotic System Controlled via an Android Smartphone App"

by student of group 471m, Maksym Viktorovych Heina

Supervisor: Dr. Sc. (Tech.), Prof. Oleksandr Mykolaiovych Trunov

The **relevance** of the qualification work lies in the need to enhance the accessibility of unmanned technologies for a wide range of users, from household applications to industrial use.

The **objective** of the work is to improve the efficiency of a mobile robotic system controlled via an Android smartphone app by developing and constructing a prototype for modeling and studying the control system of a mobile robotic platform using a smartphone running the Android OS.

The **research** object encompasses control processes in modern mobile platforms, including prototypes implementing their typical operational principles, design solutions, and control methods via standard communication tools.

The **research** subject includes models, prototypes, algorithms, and control software for a mobile robotic system with an onboard manipulator, operated via an Android smartphone app.

To achieve the objective, the following **tasks** must be completed:

- 1) Analyze the state and development trends, structure, hardware designs, and software implementations of automated control systems (ACS) for remotely operated mobile robotic systems;
- 2) Conduct a patent search on ACS for remote control of mobile robotic systems;

- 3) Design and construct a prototype of a mobile robotic system controlled via an Android smartphone app;
- 4) Develop a model, algorithm, and control program for a mobile robotic system with an onboard manipulator operated via an Android smartphone app;
- 5) Design a testing program and conduct experiments using the mobile robotic system prototype;
- 6) Develop simulation systems and determine regulator parameters;
- 7) Address occupational safety and health considerations.

The qualification work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and a list of references.

The introduction provides justification for the relevance of the chosen topic, defines the research object and subject, and outlines the objectives required to achieve the goal.

Chapter 1 examines the state and development trends of automated remote control systems for mobile robotic platforms.

Chapter 2 proposes the design and constructs a prototype of a mobile robotic system with an onboard manipulator. The functional diagram, schematic electrical diagram, control algorithm, and software are described. A testing program is proposed.

Chapter 3 presents experiments with the mobile robotic platform prototype. The performance of the automated control system is analyzed, adjustments to the control algorithm are made, and autonomous functions are added. Transient control process modeling and experiments studying the step response are conducted.

Chapter 4 discusses occupational safety and health for operators of remotely controlled platforms.

The conclusion summarizes the results of the qualification work.

The qualification work comprises 114 pages, 59 figures, 4 tables, and 31 references.

Scientific novelty lies in the development of a model, algorithm, and software for using an Android smartphone as a control panel for a mobile robotic platform within an automated control system.

Practical significance of the developed system is its potential for scaling smartphone-based technology in automated remote control systems and improving the accessibility of unmanned technologies.

Approval of Results. The findings were presented at the XXI International Scientific Conference "OLVIYSKY FORUM-2025: Strategies of Black Sea Region Countries in the Geopolitical Space" (Mykolaiv, 2025) in the report by Trunov O.M., Malko A.P., and Heina M.V. titled "Automated Testing Systems Based on Mobile Robotic Platforms."

Publications. Key provisions and results were published in the proceedings of the XXI International Scientific Conference "OLVIYSKY FORUM-2025: Strategies of Black Sea Region Countries in the Geopolitical Space" (June 16–21, 2025, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, online format). Topic: "Automated Testing Systems Based on Mobile Robotic Platforms."

Keywords: automated system, robotic platform, Android smartphone, Bluetooth, remote control, software, microcontroller, mobile platform, unmanned technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ АСК МОБІЛЬНИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	7
1.1 Стан, структура та особливості будови і застосування АСК мобільних робото-технічних систем	7
1.2 Аналіз конструктивних особливостей існуючих мобільних роботизованих систем.....	18
1.3 Аналіз способів передачі сигналу та програмне забезпечення, що реалізує дистанційне керування мобільними роботизованими системами .	22
1.4 Аналіз патентних рішень, що забезпечують функціонування АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами.....	25
Висновки до першого розділу	30
2. РОЗВИТОК АСК МОБІЛЬНИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ.....	31
2.1 Розробка структури АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту через додаток андроїдним смартфоном.....	31
2.2 Розробка конструкції макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту.....	34
2.3 Розробка моделі, алгоритму та програм керування макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту....	46
2.4 Розробка програми випробування макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту	58
Висновки до другого розділу	62

3. ВИПРОБУВАННЯ МАКЕТУ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З МАНІПУЛЯТОРОМ НА БОРТУ АНДРОЇДНИМ СМАРТФОНОМ.....	63
3.1 Випробування роботи мобільного макету з ультразвуковим датчиком при наявності перешкод	63
3.2 Випробування макету з маніпулятором на борту з використанням андроїдного смартфона.....	68
3.3 Випробування та експериментальне визначення характеристик роботизованої системи з маніпулятором на борту.....	76
3.4 Розробка засобів корекції перехідних процесів за допомогою програмного забезпечення	86
Висновки до третього розділу	95
4. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ОПЕРАТОРІВ	96
ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ПЛАТФОРМ.....	96
4.1 Нормативно-правові акти, що регламентують питання охорони праці при роботі операторів з екранними пристроями та комп'ютерним обладнанням	96
4.2 Вимоги до приміщень для експлуатації екранних пристроїв та комп'ютерного обладнання.....	97
4.3 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями	101
4.4 Захист працівників від шкідливого впливу електромагнітного поля ..	106
Висновки до четвертого розділу	110
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	114

ВСТУП

Інноваційні пошуки засобів і методів підвищення продуктивності та ефективності підприємств спрямовуються на зменшення долі людської участі у загальній трудомісткості та як наслідок зменшення собівартості. Останнє досягається шляхом впровадження автоматизації та роботизації і є однією із актуальних задач переоснащення підприємств особливо в умовах відновлення.

У більшій мірі переоснащення потребує машинобудівна, переробна промисловість і сільське господарство. У більшості випадків інтеграція безлюдних технологій є одним із таких інноваційних рішень. У зв'язку з цим за останні кілька років застосування мобільних дистанційно - керованих платформ набуло великої поширеності. Успіхи їх впровадження та властивості також обумовлюють їх поширення серед нових досягнень як сільсько-господарча техніка, рятувально-розвідувальні апарати, системи безпілотних доставок та моніторингу, мобільні платформи з маніпуляторами на борту широкого застосування та навіть іграшки і тощо.

Одним з критичних елементів таких систем є апаратно-програмний інтерфейс керування. Його рівень подальшої досконалості приводе до збільшення вартості, складності в розробці і уніфікації, оскільки у більшості випадків це вимагає виготовлення спеціалізованих пультів керування, використання різноманітних елементів вводу команд таких, як джойстики, важелі, кнопки і тд. Їх спрощення досягається шляхом створення моделей, макетів і фізичного моделювання роботизованих систем та їх подальшого удосконалення і уніфікації.

Проривною є інтеграція до складу систем керування у таку платформу побутових поширених смартфонів з операційною системою Android. Наразі

такі смартфони максимально розповсюджені і використання їх у якості пульту дистанційного керування дозволить створити значно доступніші, дешевші та зрозуміліші для користувачів системи.

Метою роботи є підвищення ефективності мобільної роботизованої системи, що керується через додаток андроїдним смартфоном, шляхом розробки та створення макету для моделювання і дослідження системи керування мобільною роботизованою системою з використанням смартфона на операційній системі Android.

Об'єктом дослідження є процеси керування у сучасних мобільних платформах у тому числі на макетах, що реалізують типові принципи їх роботи, конструктивні рішення, методи керування через стандартні засоби зв'язку.

Предметом дослідження є моделі, макети, алгоритми та програми керування мобільною роботизованою системою з маніпулятором на борту, що керується через додаток андроїдним смартфоном.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- аналіз стану та тенденцій розвитку, структури, конструктивних апаратних і програмних реалізацій АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами;
- проведення патентного пошуку АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами;
- розробка та створення макету мобільної роботизованої системи, що керується через додаток андроїдним смартфоном;

- формування моделі та розробка алгоритму і програми керування мобільною роботизованою системою з маніпулятором на борту за допомогою андроїдного смартфона через додаток;
- розробка програми випробувань та проведення експерименту з використанням макету мобільної роботизованої системи;
- розробка систем моделювання та визначення параметрів регуляторів у одному програмних середовищ;
- розгляд питань щодо охорони праці та безпеки життєдіяльності.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ АСК МОБІЛЬНИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

1.1 Стан, структура та особливості будови і застосування АСК мобільних робото-технічних систем

Дистанційно керовані платформи є важливим напрямом розвитку сучасної техніки, який охоплює широкий спектр застосувань: від побутових пристроїв до спеціалізованих промислових і дослідницьких систем. Суть таких платформ полягає у здатності отримувати команди від оператора на відстані та виконувати відповідні дії у режимі реального або відкладеного часу. Залежно від призначення та складності, дистанційно керовані платформи можуть бути мобільними або стаціонарними, автономними чи напіваавтоматизованими. Найбільш поширеними прикладами є наземні мобільні роботи, повітряні дрони, підводні платформи, а також роботизовані маніпулятори, що керуються з пульта або через програмне забезпечення.

Перші дистанційно керовані платформи з'явилися задовго до появи сучасних бездротових технологій і керувалися за допомогою дротових з'єднань. У таких системах сигнали від оператора передавалися безпосередньо через фізичний кабель, що обмежувало дальність їх дії та мобільність. Подібні рішення були поширені у промисловості, наукових дослідженнях та в демонстраційних моделях, де необхідно було забезпечити надійне й стабільне керування.

З розвитком радіотехніки дротові з'єднання поступово були витіснені аналоговими радіосистемами, які дозволяли передавати команди на відстань за допомогою радіохвиль. У таких системах кожна дія оператора (наприклад, поворот керма чи регулювання швидкості) відповідала певному зміненню

електричного сигналу, що кодувався й передавався у вигляді амплітудної або частотної модуляції. Аналогові рішення значно розширили сферу застосування керованих платформ, хоча й залишалися чутливими до перешкод, обмежень по частотах та не забезпечували зворотного зв'язку з пристроєм.

Сучасні дистанційно керовані платформи дедалі частіше використовують цифрові засоби зв'язку, що базуються на протоколах WI-FI, Bluetooth, ZigBee, GSM або LTE. Такі системи дозволяють не лише надсилати команди, а й отримувати зворотний зв'язок, вести телеметрію, обробляти дані сенсорів у режимі реального часу та інтегрувати пристрої в інтелектуальні мережі.

Сфера дистанційного керування роботизованими системами стрімко розвивається та стає все більш актуальною в умовах загальної цифровізації суспільства. Сьогодні інтеграція мобільних пристроїв, мікроконтролерів і бездротових засобів зв'язку дозволяє створювати компактні, ефективні та економічно доступні роботизовані платформи для широкого кола застосувань. Вони знаходять застосування в побуті (наприклад, автоматизовані системи прибирання, поливу чи доставки), у сфері розваг, освіти (навчальні набори з програмування та електроніки), у легкій індустрії (виконання рутинних дій на складі або виробництві), у медицині (дистанційна доставка інструментів чи матеріалів), а також у сільському господарстві. Одним із ключових напрямів розвитку є системи, керовані за допомогою смартфонів, зокрема, платформою Android, яка забезпечує широкий спектр можливостей для взаємодії з користувачем, обміну даними та гнучкого налаштування функцій.

Сучасні технології дозволяють реалізовувати надійне та ефективне дистанційне керування роботами в реальному часі за допомогою таких

протоколів зв'язку, як Bluetooth, WI-FI , GSM або інші бездротові стандарти. Це значно розширює функціональні можливості роботизованих систем, роблячи їх частиною інтелектуального середовища – так званого smart environment.

Можливість створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу керування у вигляді мобільного додатка робить такі системи зручними у використанні навіть для користувачів без спеціальної технічної підготовки. Крім того, завдяки розвитку відкритих апаратних платформ, таких як Arduino, ESP32, Raspberry Pi, та безкоштовних програмних середовищ, значно знижено бар'єр входу у сферу робототехніки. Це, в свою чергу, сприяє зростанню популярності аматорських і навчальних проєктів, які формують нову культуру інженерної творчості та інновацій.

Розглянемо сучасні мобільні платформи:

DJI Agras T30 – це сучасний аграрний безпілотний літальний апарат, розроблений спеціально для обприскування сільськогосподарських культур. Він належить до класу дронів із великою вантажопідйомністю та автоматизованим керуванням. Його основною конструктивною особливістю є міцна складна рама з вуглепластику, на якій розміщено 16-літровий бак для рідини, вісім роторів (октакоптерна схема) для стабільного польоту навіть при повному завантаженні, а також модульна система розпилення з електронним керуванням. Обприскувальні форсунки розташовані симетрично, а також оснащені інтелектуальним регулюванням тиску, що забезпечує рівномірне нанесення речовин на поверхню культур. Рама T30 має механізм складання променів, що значно спрощує транспортування і зберігання, особливо в умовах господарства.



Рисунок 1.1 – Агродрон DJI Agras T30 [1]

Однією з найбільших переваг DJI Agras T30 є високий рівень автоматизації та точності. Дрон оснащено системами RTK (Real Time Kinematic) для сантиметрової навігації, модулем активного обльоту перешкод з багатофункціональними радарми, а також програмною підтримкою автоматичного планування маршруту на основі топографічних даних.

Пілот або агроном може за допомогою планшета або смартфона на Android/IOS у застосунку DJI Agriculture точно задавати зони обробки, регулювати дозування, відстежувати витрати в реальному часі та отримувати аналітичні звіти.

Дрон має також функцію розпізнавання типу рельєфу, що дозволяє оптимізувати висоту польоту та інтенсивність обприскування. Завдяки великій ємності бака та високій швидкості роботи (до 40 акрів/год) T30 значно підвищує продуктивність аграрних операцій порівняно з традиційними методами.

Використання DJI Agras T30 не позбавлене певних конструктивних обмежень. Його велика вага в повному спорядженні (понад 25 кг з рідиною) потребує міцного шасі та додаткових опорних елементів, що ускладнює ручне транспортування без допоміжного обладнання. Обмежена ємність акумуляторів конструктивно обумовлює короткий цикл польоту – близько 7–10 хвилин при повному навантаженні, що вимагає постійної заміни батарей або організації мобільної зарядної станції на місці обробки.

Крім того, велика розмірність розпилювальних балок і їх складна механіка потребують регулярного технічного обслуговування, зокрема перевірки фіксаторів і чистки форсунок, які схильні до засмічення. У складних умовах рельєфу або високої рослинності робота сенсорів висоти та система автоматичної стабілізації можуть втрачати точність, що конструктивно обмежує ефективність розпилення без ручного коригування або додаткових калібрувань.

Mugin EV350 VTOL – це високотехнологічний безпілотний літальний апарат з вертикальним зльотом і посадкою (VTOL), що поєднує можливості гелікоптера та планера. Його конструкція базується на композитному фюзеляжі з вуглецевого волокна, що забезпечує високу міцність при відносно малій масі. Розмах крила становить 3,5 метра, що дозволяє досягати великої підйімальної сили та здійснювати польоти на значні відстані.

Унікальною особливістю конструкції є комбінована система рушіїв: апарат має вертикальні двигуни для зльоту та посадки, розташовані на балки-підкрилки, а також окремий маршовий мотор для горизонтального польоту. Це рішення дозволяє поєднати переваги точного вертикального старту з ефективністю тривалого крейсерського польоту, що є важливим для завдань моніторингу великих територій без потреби у злітно-посадкових смугах.



Рисунок 1.2 – Розвідувально-рятувальний дрон Mugin EV350 VTOL [2]

Конструктивно EV350 дозволяє інтегрувати до 3 кг корисного навантаження, включно з камерами високої роздільної здатності, мультиспектральними сенсорами, гіростабілізованими платформами або LIDAR-системами. Його внутрішній простір передбачає змінний модульний відсік для встановлення електроніки, акумуляторів і корисного навантаження, що спрощує обслуговування й адаптацію до конкретних завдань.

У конструкцію також входить система складаних шасі, що зменшує габарити під час транспортування, а великі елерони та стабілізатори забезпечують стабільність під час горизонтального польоту навіть за сильного вітру. Апарат обладнаний цифровою системою керування з підтримкою GPS/RTK-навігації, автопілотом і телеметрією реального часу, що дозволяє виконувати повністю автономні місії з високою точністю маршруту.

Mugin EV350 VTOL широко використовується в завданнях моніторингу лісових пожеж завдяки своїм конструктивним особливостям, що дозволяють

йому працювати в складних та віддалених умовах. Його здатність до вертикального зльоту і посадки особливо цінна у важкодоступних районах, де відсутні спеціально підготовлені майданчики.

Завдяки тривалому часу польоту та можливості нести оптичні, інфрачервоні й мультиспектральні сенсори, дрон здатен виявляти осередки загоряння на ранній стадії, проводити картографування зони поширення вогню, а також контролювати ефективність гасіння. Його система телеметрії та автоматичне слідування маршрутам дозволяють рятувальним службам оперативно отримувати високоточну інформацію про ситуацію в режимі реального часу, а міцна та модульна конструкція витримує тривалу експлуатацію навіть у високотемпературному середовищі та при сильному вітрі.

Cobham TeleMAX EOD/IEDD – це сучасна мобільна платформа, розроблена для виконання завдань з виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів (EOD – Explosive Ordnance Disposal, IEDD – Improvised Explosive Device Disposal), а також для робіт у небезпечних або важкодоступних середовищах.

TeleMAX має модульну конструкцію, яка дозволяє адаптувати його під різні типи місій. Його основою є гусенична платформа з незалежною підвіскою та здатністю змінювати кліренс, що забезпечує відмінну прохідність на складному рельєфі – включно зі сходами, вузькими проходами та пересіченою місцевістю. Система оснащена маніпулятором з великою кількістю ступенів свободи, що дозволяє виконувати точні рухи, брати об'єкти, розкривати сумки, відкривати двері тощо.

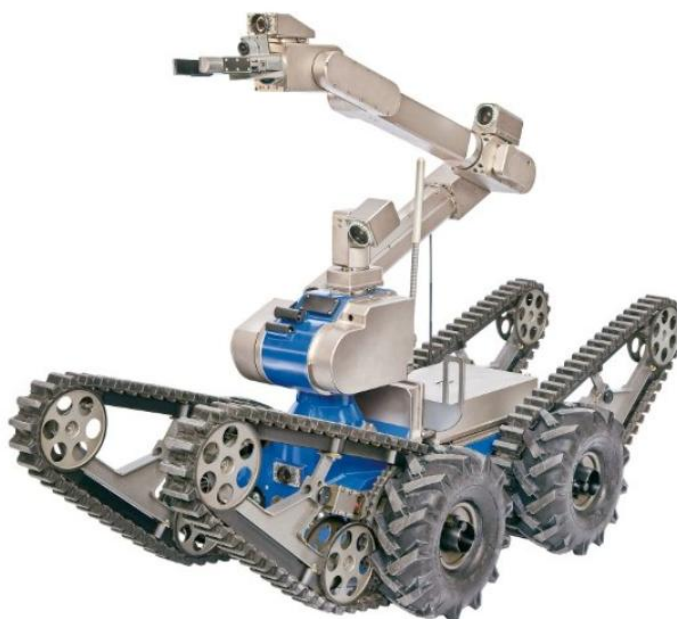


Рисунок 1.3 – Наземний роботизований комплекс Cobham TeleMAX
EOD/IEDD [3]

Однією з ключових переваг TeleMAX є його інтеграція з цифровою системою керування через захищений радіоканал, що працює на базі технології COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Завдяки цьому робот може працювати навіть у середовищі з високим рівнем радіозавад або за наявності фізичних перешкод, таких як бетонні стіни чи підземні структури.

Комплекс може передавати відео високої якості в реальному часі з кількох камер, що значно підвищує ситуаційну обізнаність оператора. Крім того, платформа підтримує різні додаткові модулі – наприклад, рентген-обладнання, систему подачі водяного заряду або сенсори хімічного контролю, що робить її багатофункціональною. Електроживлення забезпечується батареями з великим ресурсом, що дозволяє платформі автономно працювати до 4–6 годин залежно від навантаження.

Попри численні переваги, комплекс TeleMAX має й низку конструктивних обмежень, які слід враховувати під час його використання. Однією з основних проблем є висока вартість платформи, що ускладнює її впровадження в рамках обмежених бюджетів, зокрема для муніципальних служб цивільного захисту або волонтерських рятувальних підрозділів. Управління системою потребує ретельної підготовки: оператор має володіти спеціальними навичками, оскільки точне керування маніпулятором, особливо в умовах стресу чи підвищеної складності завдань, вимагає значного досвіду.

Хоча платформа оснащена цифровими засобами передачі відео та телеметрії, в умовах міських середовищ або на місцевості з активним радіоперешкодженням можуть виникати тимчасові перебої сигналу, що знижує оперативність зворотного зв'язку. Крім того, значна маса системи – понад 100 кг – обумовлює потребу у спеціалізованих засобах транспортування, що ускладнює розгортання у важкодоступних районах або при екстрених ситуаціях. Загалом, TeleMAX залишається ефективним інструментом для виконання складних завдань у небезпечних середовищах, однак його повноцінне застосування можливе лише за умови наявності відповідних ресурсів і підготовленого персоналу.

Узагальнена схема дистанційно керованих платформ включає послідовність функціональних блоків, кожен з яких виконує важливу роль у забезпеченні надійного керування. В основі системи лежить **оператор або пристрій керування** – це може бути людина з пультом або автоматизована система, яка генерує команди для платформи. У найпростішому випадку це користувач, який керує з допомогою смартфона, планшета або комп'ютера.



Рисунок 1.4 – Узагальнена функціональна схема дистанційно керованих платформ

Далі команда проходить через **інтерфейс керування**, який перетворює дії оператора (наприклад, натискання кнопки, рух повзунка чи сенсорний жест) у електронний сигнал. У сучасних системах цю роль можуть виконувати мобільні застосунки, графічні інтерфейси або навіть голосові помічники. Інтерфейс забезпечує зручність керування, а також точність і швидкість реакції.

Цей сигнал потрапляє до **передавача сигналу**, який формує його у придатний для передачі вигляд. Тип передавача залежить від обраної технології: дротової, оптичної, радіоканал і тд. У аналогових системах це може бути радіопередавач із модуляцією, а у цифрових – модуль Bluetooth, WI-FI або GSM. Основне завдання цього елемента – забезпечити правильне кодування і стабільність сигналу при передачі.

Між передавачем і приймачем знаходиться **лінія зв'язку**, яка фактично є середовищем передавання сигналу. Це може бути як дротове з'єднання (кабель), так і бездротовий канал – наприклад, радіохвилі, інфрачервоний зв'язок і тд. Надійність, дальність дії та завадостійкість системи значною мірою залежать саме від характеристик цієї лінії.

На платформі сигнал приймається **приймачем**, який декодує інформацію та передає її далі. Як і передавач, приймач повинен бути сумісним із обраним каналом зв'язку. Він відповідає за правильне розпізнавання команд і передання їх у блок керування без спотворень, затримок чи втрат.

Блок керування виконує роль «мозку» всієї платформи. Він аналізує отримані команди та приймає рішення про подальші дії. У більшості випадків це мікроконтролер або мікропроцесор, який виконує запрограмовані алгоритми – наприклад, регулює швидкість, напрям руху, керує обхідними маневрами тощо. Від ефективності програмного забезпечення та обчислювальних можливостей цього блоку залежить інтелектуальність та адаптивність платформи.

Після обробки сигналів керування команда передається до **виконавчих механізмів**, які реалізують фізичні дії. Це можуть бути електродвигуни, сервоприводи, гідравлічні або пневматичні приводи. Вони відповідають за

рух, повороти, маніпуляції з об'єктами та інші функції платформи. Надійність і точність виконавчих органів критично важливі для ефективності всієї системи.

Для більш складних і розумних систем важливо також мати **зворотний зв'язок**, який забезпечують сенсори, датчики положення, камери або телеметричні пристрої. Вони дозволяють отримувати інформацію про стан навколишнього середовища або самої платформи, наприклад, її положення, швидкість, наявність перешкод або рівень заряду.

Останнім елементом є **передавач** зворотного сигналу, який доставляє інформацію від сенсорів назад до оператора. Це дозволяє оператору в режимі реального часу контролювати ситуацію, приймати обґрунтовані рішення, а в автоматизованих системах – забезпечити саморегулювання. Так формується повний цикл керування, який забезпечує адаптивність, точність і безпеку роботи платформи.

1.2 Аналіз конструктивних особливостей існуючих мобільних роботизованих систем.

Дронове з'єднання – одне із найперших і водночас найпростіших конструктивних рішень, що використовувалися для дистанційного керування роботизованими або технічними платформами. Його принцип дії ґрунтується на прямому фізичному з'єднанні між керуючим пристроєм та виконавчим модулем платформи за допомогою кабелю. Як правило, для цього застосовувалися мідні багатожильні дроти, які забезпечували як передачу команд, так і живлення елементів керування.

У найпримітивніших системах керування здійснювалося шляхом простого замикання або розмикання електричних ланцюгів, що викликало відповідну реакцію з боку виконавчих механізмів. У складніших реалізаціях дротове з'єднання могло включати передачу даних через аналогові або цифрові інтерфейси, наприклад UART або PWM, дозволяючи підвищити точність і варіативність керування. Такий підхід забезпечував високу надійність зв'язку, проте був обмежений у мобільності, довжині кабелю й стійкості до механічних пошкоджень.



Рисунок 1.5 – пульт дистанційного керування вантажопідйомним обладнанням через кабель [4]

Основна перевага дротових рішень – висока завадостійкість, стабільність сигналу, простота реалізації та низька вартість. Однак вони

мають суттєві обмеження по мобільності – довжина кабелю обмежує радіус дії, і сам кабель є фізично вразливим: його легко пошкодити, він заважає руху платформи і вимагає організації кабельних ланцюгів або напрямних. У багатьох випадках, наприклад, у промисловості, дротове управління досі використовується через вимоги до надійності та безпеки – там, де не допускаються помилки зв'язку.

Аналоговий радіозв'язок став наступним кроком розвитку дистанційного керування, особливо активно розвивався в 1960–1990-х роках у системах керування моделями, побутовими пристроями й технікою. Такі рішення ґрунтуються на використанні радіочастотного передавача та приймача, які передають аналоговий сигнал, закодований, наприклад, через широтно-імпульсну модуляцію (PWM) або частотну модуляцію (FM).



Рисунок 1.6 – Пульти керування аналогової системи дистанційного керування авіамоделями Futaba Skysport 4YF 35 МГц [5]

Важливою частиною конструкції є вибір робочої частоти і якісної антени. У випадках, коли потрібен захищений аналоговий зв'язок,

використовується коаксіальний кабель як радіоканал – він екранує сигнал від зовнішніх завад і дозволяє передавати ВЧ-сигнали на відносно великі відстані без втрат.

Аналогові системи мають просту конструкцію, не вимагають складної цифрової логіки, але страждають від шумів, обмеженої кількості каналів і складного захисту від перешкод. Крім того, зміна налаштувань вимагає ручного регулювання. Проте в простих застосуваннях і сьогодні використовуються через свою енергоефективність та миттєву реакцію.

Цифрове бездротове з'єднання є найсучаснішим і найгнучкішим варіантом у системах дистанційного керування. У його основі лежить передача даних у цифровій формі – як правило, з використанням модулів Bluetooth, WI-FI , ZigBee, LoRa, GSM/4G або спеціалізованих цифрових протоколів.



Рисунок 1.7 – WI-FI модуль ESP8266 [6]

Конструктивно такі рішення вимагають інтеграції мікроконтролерів або процесорів як на стороні передавача, так і приймача, оскільки сигнал потребує кодування, стиснення, модуляції, а після прийому – зворотної обробки. Однією з важливих особливостей є можливість шифрування, передавання великої кількості інформації (наприклад, відео чи телеметрії) та реалізації зворотного зв'язку з підтвердженням прийому.

Цифрові системи дозволяють створювати мобільні застосунки для керування, підключення до хмарних платформ, автоматичне оновлення прошивок, а також складну логіку взаємодії з оточенням. Основні конструктивні виклики – це забезпечення стабільного живлення для модулів, антенне узгодження, вибір надійного протоколу зв'язку та управління затримками передачі. Ці системи найперспективніші, але вимагають глибокого інженерного підходу до розробки як апаратної, так і програмної частин.

1.3 Аналіз способів передачі сигналу та програмне забезпечення, що реалізує дистанційне керування мобільними роботизованими системами

Bluetooth – це технологія бездротового зв'язку, яка працює на частоті 2,4 ГГц і призначена для передачі даних на короткі відстані (зазвичай до 10 метрів, максимум до 100 м для пристроїв високого класу). Основним принципом роботи Bluetooth є створення стабільного з'єднання між двома або більше пристроями за допомогою процесу парування, після якого вони обмінюються даними через радіоканал з використанням серійної передачі.

У мікроконтролерних системах Bluetooth часто реалізується за допомогою модулів, наприклад, HC-05 (Bluetooth 2.0) або BLE-модулів

(Bluetooth Low Energy), які забезпечують просте серійне з'єднання через UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Після встановлення зв'язку мікроконтролер приймає дані у вигляді байтів, які можуть бути інтерпретовані як команди або вимірювання, отримані, наприклад, зі смартфона, сенсора чи іншого пристрою.

Такий підхід дозволяє інтегрувати Bluetooth у різноманітні IoT-проекти з мінімальним енергоспоживанням та високою надійністю.

WI-FI – це бездротова технологія передачі даних, яка базується на стандартах IEEE 802.11 і працює на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц. Принцип роботи WI-FI полягає в тому, що пристрої підключаються до точки доступу (роутера або WI-FI модуля), утворюючи локальну мережу або отримуючи доступ до Інтернету.

У мікроконтролерних системах для реалізації WI-FI-зв'язку часто використовуються модулі типу ESP8266 або ESP32, які мають вбудовані стек-протоколи TCP/IP і можуть виконувати роль як клієнта, так і сервера. Передача даних здійснюється через стандартні мережеві протоколи, зокрема HTTP (через GET/POST-запити), MQTT або WebSocket. Мікроконтролер приймає дані через WI-FI -модуль по внутрішньому UART або SPI, обробляючи їх у програмі з відповідною логікою.

Ця технологія дозволяє передавати великі обсяги даних з високою швидкістю і широко використовується в проєктах типу "розумний дім", відеоспостереження або автоматизація виробництва.

GSM/4G – це стандарти мобільного зв'язку, які забезпечують передачу голосу, повідомлень та мобільних даних на великі відстані за допомогою базових станцій операторів. Принцип роботи полягає у використанні SIM-

карти в спеціалізованому модулі (наприклад, SIM800L, SIM900 або SIM7600 для 4G), який підключається до мікроконтролера через UART.

Для передачі даних модуль може використовувати GPRS (у GSM) або LTE (у 4G), дозволяючи мікроконтролеру надсилати й приймати HTTP-запити, працювати з MQTT-серверами або обмінюватися SMS-повідомленнями. Ці модулі мають власний процесор і командний інтерфейс (AT-команди), що дозволяє мікроконтролеру керувати модемом, надсилати запити в мережу або отримувати інформацію з Інтернету без складних зовнішніх пристроїв.

Завдяки покриттю мобільних операторів, GSM/4G забезпечує зв'язок у віддалених або мобільних об'єктах, таких як GPS-трекери, метеостанції чи системи безпеки.

ZigBee – це протокол бездротового зв'язку, що базується на стандарті IEEE 802.15.4 і працює на частоті 2,4 ГГц, хоча можливе використання й інших діапазонів у залежності від регіону.

Принцип роботи ZigBee полягає в організації мережі з великою кількістю вузлів у топології "mesh", де кожен пристрій може передавати дані далі через сусідні вузли, що значно збільшує дальність покриття та надійність з'єднання.

Для підключення до мікроконтролера використовуються модулі типу XBee, які спілкуються з мікроконтролером через UART, SPI або I2C. Дані передаються у вигляді пакетів, які містять як самі дані, так і службову інформацію про маршрутизацію та адресацію.

ZigBee ідеально підходить для систем автоматизації, освітлення, сенсорних мереж або "розумного дому", оскільки забезпечує низьке

енергоспоживання, автономну роботу та масштабованість за рахунок мережі з багатьма пристроями.

LoRa (Long Range) – це технологія бездротового зв'язку, яка дозволяє передавати невеликі обсяги даних на дуже великі відстані (до 10–15 км у сільській місцевості) завдяки використанню модуляції з розширеним спектром (Chirp Spread Spectrum). Принцип роботи LoRa полягає у формуванні вузькосмугового сигналу, стійкого до завад, що дозволяє передавати дані з мінімальним енергоспоживанням, навіть у складних умовах.

Для передачі даних у мікроконтролерних системах використовуються модулі типу Ra-02 або SX1278, які підключаються до мікроконтролера через інтерфейс SPI. Дані передаються у вигляді кадрів, які можуть містити корисну інформацію, адресацію та контрольні суми. LoRa зазвичай використовується в рамках більш складного протоколу LoRaWAN, який забезпечує мережеву архітектуру, автентифікацію та маршрутизацію даних до централізованих серверів.

Ця технологія широко використовується в аграрному секторі, смарт-містах, моніторингу довкілля, водних ресурсів і будь-де, де потрібен тривалий автономний режим без частого обслуговування.

1.4 Аналіз патентних рішень, що забезпечують функціонування АСК дистанційного керування мобільними роботизованими системами.

Маніпулятор для керування електронним пристроєм

Патент UA 156083 U стосується автономного транспортного засобу (рисунок 1.8), призначеного для виявлення вибухонебезпечних металевих предметів, зокрема мін, нерозірваних боєприпасів та металевих уламків, переважно на сільськогосподарських землях.

Він складається з рами, на якій розміщені двигун (бензиновий або електричний), ходова частина з колесами на шинах низького тиску, система дистанційного керування, GNSS-приймач із RTK-корекцією (з точністю до 2 см), а також один або кілька металодетекторів.

Головною перевагою є інтеграція RTK-навігації, яка дозволяє точно слідувати заданому маршруту та фіксувати координати знайдених об'єктів у реальному часі. Дані передаються через бездротовий зв'язок (наприклад, супутниковий) на комп'ютер оператора для створення детальної електронної мапи.

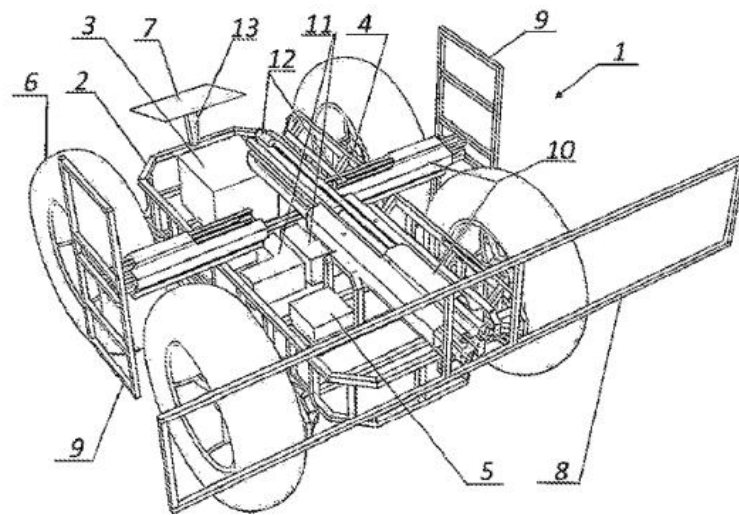


Рисунок 1.8 – Конструкція транспортного засобу [7]

1 - колісний транспортний засіб; 2 - рама; 3 - двигун; 4 - ходова частина; 5 - блок із засобом дистанційного керування двигуном та ходовою частиною та високоточним GNSS-приймачем з модемом для RTK-корекції; 6 - шини

низького тиску; 7 - супутникова система зв'язку з антеною; 8 - фронтальний металодетектор; 9 - бічні металодетектори; 10 - телескопічна система розкладання-складання; 11 - електромеханічний привід; 12 - засіб управління телескопічною системою розкладання-складання та глибиною сканування; 13 - модуль з відеокамерою, тепловізором та лідаром.

Конструкція транспортного засобу включає кілька унікальних технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності та безпеки. Ходова частина має нульовий радіус повороту, що дозволяє маневрувати на обмеженому просторі без «мертвих зон».

Металодетектори (фронтальний та бічні) забезпечують ширину сканування до 6–7,5 метрів і регулюються за висотою за допомогою телескопічного механізму, що дозволяє адаптуватися до нерівного рельєфу. Шини низького тиску зменшують тиск на ґрунт, запобігаючи детонації мін при наїзді. Додатково засіб оснащений модулем відеозйомки (у видимому, інфрачервоному та лідарному діапазонах), що допомагає візуалізувати знайдені об'єкти та уточнювати їхнє розташування.

Засіб призначений для повністю автономної роботи з можливістю дистанційного контролю до чотирьох одиниць одночасно. Він сканує до 10 000 м² за годину, що значно прискорює процес обстеження великих територій порівняно з ручними методами.

Після виявлення об'єктів система генерує цифрову мапу з точними координатами, яка використовується для подальшого знешкодження. Це рішення особливо актуальне для постконфліктних регіонів, де залишилися невиявлені вибухові пристрої, а також для сільськогосподарських угідь, де металеві предмети можуть заважати обробітку землі. Патентом також

передбачено можливість повторного сканування для підтвердження результатів після проведення робіт з розмінування.

Рухомий пристрій для оптоелектронного контролю

Патент UA 143653 U описує рухомий пристрій для оптоелектронного контролю якості поверхонь металоконструкцій, зокрема зварних швів трубопроводів, металевих конструкцій та інших об'єктів. Пристрій складається з двох магнітних коліс, закріплених на окремих напівплатформах, з'єднаних гнучкою перемичкою, що дозволяє йому адаптуватися до нерівностей поверхні. Він оснащений відеокамерою з підсвічуванням, бездротовим зв'язком із монітором та блоком радіокерування, який дозволяє оператору дистанційно керувати пристроєм на відстані до 30 метрів.

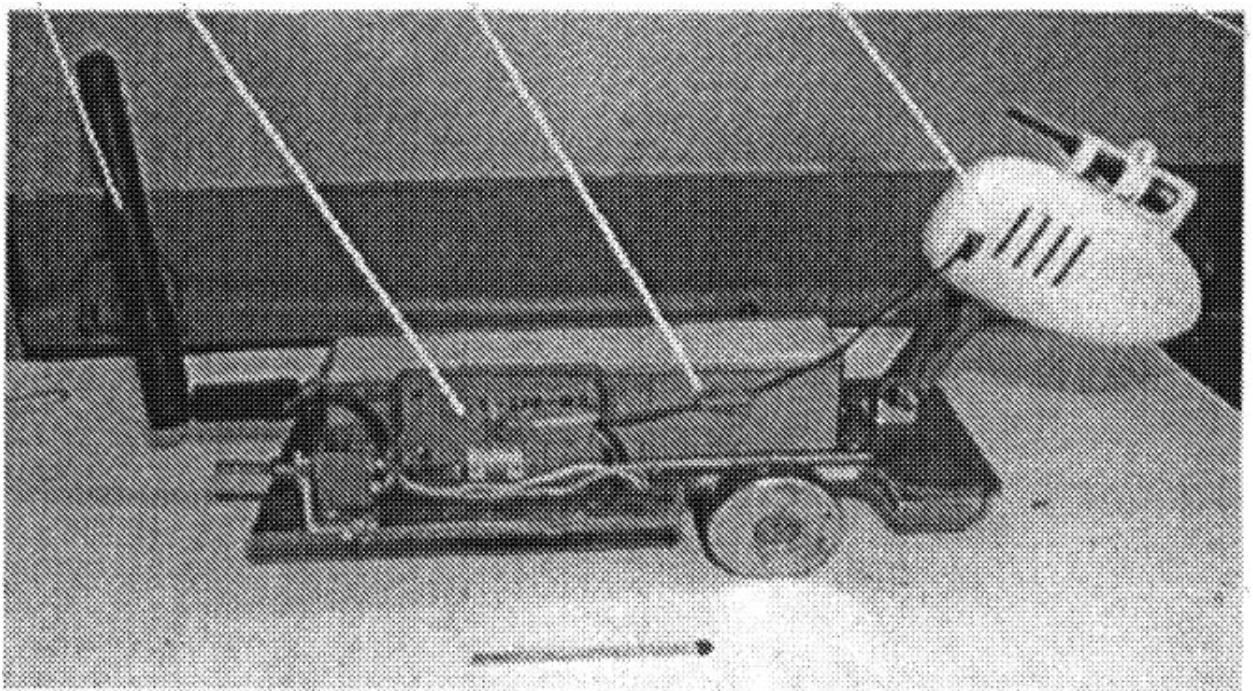


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд пристрою [8]

Ключові особливості включають зміщені осі коліс (на 0,5–1,5 їх діаметра), що забезпечує стійкість на складних поверхнях, та автономні електроприводи для кожного колеса. Пристрій може працювати у вертикальному, горизонтальному та навіть стельовому положенні, передаючи зображення дефектів у реальному часі через Wi-Fi на планшет або комп'ютер. Це значно зменшує вплив людського фактора та підвищує безпеку при обстеженні небезпечних зон.

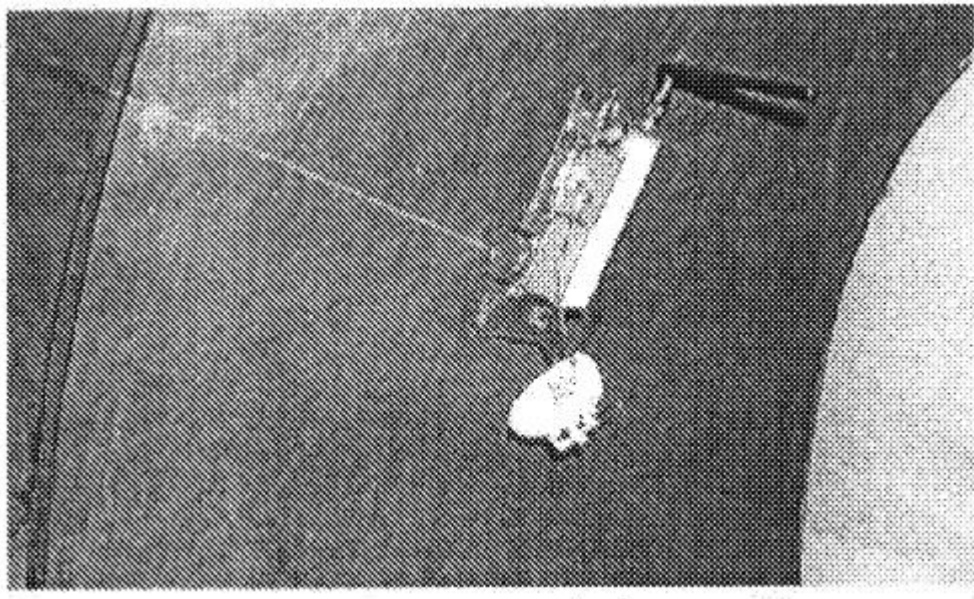


Рисунок 1.10 – Переміщення пристрою
по вертикальній металевій поверхні [8]

Застосування охоплює галузі, де потрібний точний візуальний контроль: нафтогазову промисловість, суднобудування, металургію та будівництво. Пристрій дозволяє виявляти навіть дрібні дефекти, запобігаючи аваріям, і є компактнішим та маневренішим за аналоги. Його технічні рішення захищені патентом як корисна модель.

Висновки до першого розділу

1) В даний момент спостерігається стрімкий розвиток галузі дистанційно керованих платформ. Безлюдні технології дозволяють значно розширити можливості роботи на великі відстані, в складних, небезпечних умовах, мінімізувати навантаження на людини, зменшити кількість необхідного персоналу. Це приводить до зменшення економічних витрат, скорочує необхідний для виконання задач час, підвищує ефективність праці.

2) Сучасні роботизовані системи активно використовують цифрові протоколи зв'язку, які забезпечують надійне радіоз'єднання між платформою та оператором. Завдяки таким рішенням передача даних, команд і телеметрії відбувається стабільно навіть у складних умовах – при наявності перешкод, перешкоджань або в обмежених просторах. Це значно підвищує ефективність роботи комплексу, дозволяючи точно контролювати всі дії платформи в режимі реального часу.

3) Завдяки спеціальним застосункам, які працюють на базі Android або iOS, користувачі можуть отримати зручний інтерфейс для взаємодії з платформою без потреби у громіздкому обладнанні. Це рішення може бути особливо ефективним в польових умовах, де швидкість розгортання і мобільність системи є критичними, що не тільки зменшує вимоги до кваліфікації користувача, а й забезпечує більш надійну та гнучку роботу в умовах невизначеності.

2. РОЗВИТОК АСК МОБІЛЬНИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

2.1 Розробка структури АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту через додаток андроїдним смартфоном

Система реалізує дистанційне керування мобільною платформою та маніпулятором через Android-пристрій, використовуючи бездротовий інтерфейс зв'язку. Архітектура побудована на принципі централізованого управління, де мікроконтролер виступає основним обчислювальним вузлом, що інтегрує команди користувача, керування приводами та обробку даних. Взаємодія компонентів організована за двосторонньою схемою, що дозволяє як передавати керуючі сигнали, так і отримувати дані про стан системи.

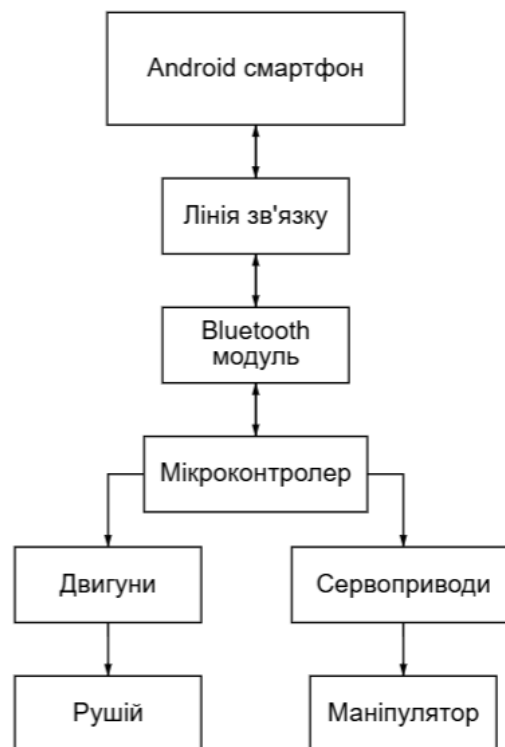


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи керування мобільною платформою

Ключовою особливістю архітектури є модульність, яка забезпечує гнучкість у виборі апаратних рішень: від типу рушійної системи (колісна/гусенична) до конфігурації маніпулятора (кількість ступенів свободи, тип приводів). Система підтримує стандартні протоколи передачі даних, що спрощує інтеграцію різних виконавчих механізмів і датчиків без необхідності глибокої модифікації програмного забезпечення.

Управління реалізоване через ієрархічну структуру, де верхній рівень (Android-додаток) відповідає за інтерфейс користувача, середній (мікроконтролер) – за обчислення та розподіл команд, а нижній – за фізичне виконання дій. Така організація дозволяє масштабувати систему, додаючи нові підсистеми (наприклад, сенсорні модулі або додаткові маніпулятори) без зміни базової логіки роботи.

Android-смартфон

Смартфон виконує роль інтелектуального пульта дистанційного керування, забезпечуючи інтуїтивно зрозумілий інтерфейс взаємодії оператора з технічною системою. На цьому рівні реалізовано візуалізацію стану системи, генерацію керуючих команд та обробку вхідних даних від користувача. Додаток забезпечує трансформацію дій оператора у стандартизовані цифрові сигнали, готові для передачі на контролер. Функціонально включає механізми калібрування, налаштування профілів роботи та аварійного зупину, що робить його центральним пунктом прийняття рішень у системі.

Канал бездротового зв'язку

Цей елемент системи відповідає за створення стабільного цифрового мосту між інтерфейсом користувача та апаратною частиною. Виконує функції модуляції/демодуляції сигналів, пакування даних у передавальні пакети та забезпечення цілісності інформації при передачі. Технічно реалізує механізми виявлення та корекції помилок, синхронізацію пристроїв і адаптацію параметрів передачі до умов навколишнього середовища. Підтримує двосторонній обмін даними, що включає як передачу керуючих команд, так і отримання телеметрії від апаратних компонентів.

Мікроконтролер

Виступає "мозковим центром" всієї системи, виконуючи функції реального часу по обробці вхідних сигналів та координації роботи підсистем. Архітектурно включає модулі інтерпретації команд, генерації керуючих сигналів для приводів, обробки даних з датчиків та моніторингу стану апаратної частини. Забезпечує синхронізацію роботи всіх компонентів, реалізує алгоритми безпеки та обмеження параметрів роботи. Має вбудовані механізми адаптації до змінних умов експлуатації та обробки аварійних ситуацій.

Рухова система платформи

Відповідає за переміщення всієї конструкції в просторі, перетворюючи електричні сигнали у механічний рух. Функціонально включає підсистеми перетворення енергії, передачі крутного моменту та механічної стабілізації. Забезпечує плавність старту/зупинки, точність траєкторії руху та адаптацію до різних типів поверхонь.

Маніпуляційна система

Призначена для виконання механічних дій у заданому робочому просторі. Система складається з механічних ланок, з'єднаних рухомими елементами, що забезпечують їх переміщення відносно одна одної. Керування здійснюється через набір електромеханічних приводів, які перетворюють електричні сигнали у механічний рух. Кожен привід відповідає за певний тип руху (обертання, підйом, стискання тощо), що в сукупності забезпечує виконання поставлених операцій.

2.2 Розробка конструкції макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту.

У якості мікроконтролеру обрано плату **Arduino Uno** – це відкрита мікроконтролерна платформа на базі ATmega328P. Вона містить усі необхідні компоненти для автономної роботи: 16 МГц кварцовий генератор, стабілізатор живлення 5V, USB-UART інтерфейс для програмування та роз'єми для підключення периферії. Плата має 32 КБ флеш-пам'яті для програми, 2 КБ оперативної пам'яті та 1 КБ EEPROM. Її архітектура включає 14 цифрових портів (6 з апаратною ШІМ), 6 аналогових входів та стандартні комунікаційні інтерфейси (UART, I2C, SPI).

У проектних рішеннях Arduino Uno виступає універсальною базою для керування електронними компонентами. Вона дозволяє реалізовувати алгоритми управління через прямий доступ до апаратних ресурсів мікроконтролера – таймерів, переривань та периферійних інтерфейсів.

Особливістю плати є стандартизоване розміщення роз'ємів, що спрощує підключення зовнішніх модулів та сенсорів без необхідності додаткової обв'язки.

Для побудови макету використовується версія плати **Ks0001 keyestudio UNO R3 BOARD** (рис. 2.2). Вона виконує роль центрального контролера для керування 4 сервоприводами, 2 DC-моторами та бездротовим модулем зв'язку. Для керування сервоприводами та DC-мотори застосовуються 6 цифрових ШІМ-виходи які генерують імпульси з точним таймінгом (0.5–2.5 мс) через апаратні таймери мікроконтролера. Бездротовий модуль підключається через UART (RX/TX) інтерфейс для обміну даними зі смартфоном.

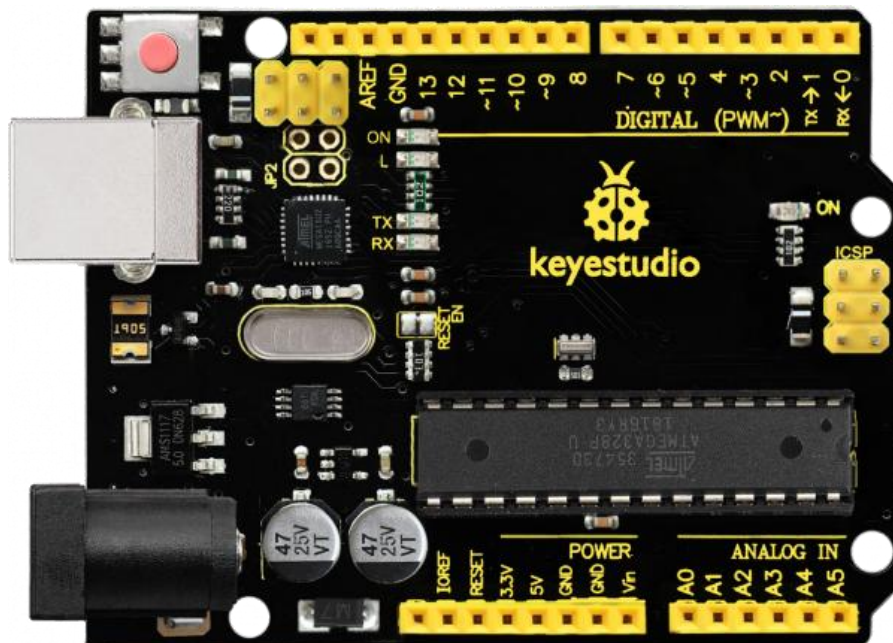


Рисунок 2.2 – Плата Ks0001 Keyestudio UNO R3 BOARD [9]

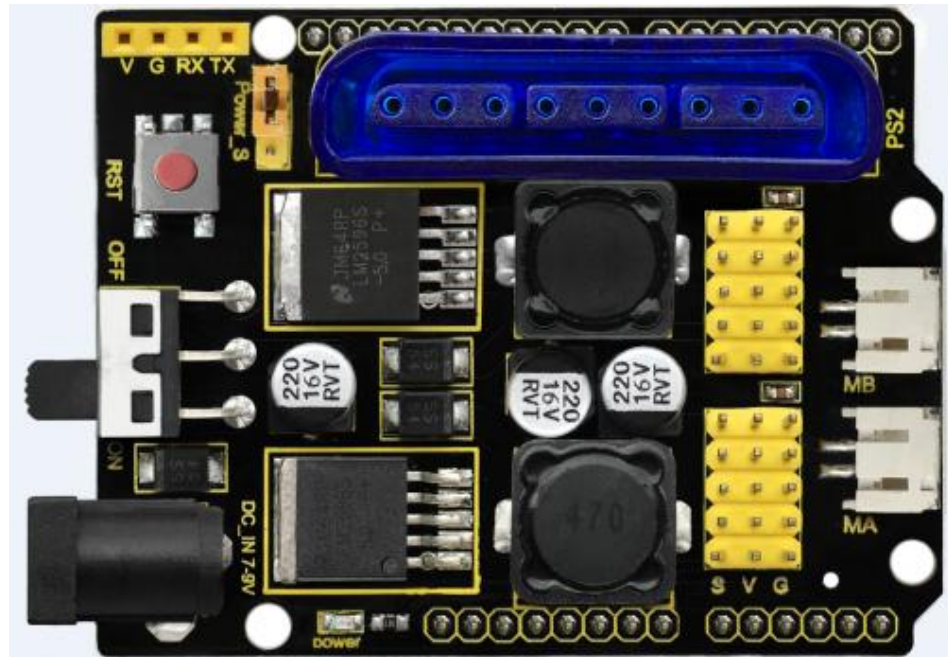


Рисунок 2.3 – Плата розширення Keyestudio UNO R3 Development Board
TB6612FNG Motor/Servo Drive Shield [10]

Keyestudio UNO R3 Development Board TB6612FNG Motor/Servo Drive Shield with PS2 Socket – це спеціалізована плата-розширення для Arduino Uno R3, призначена для керування моторами та сервоприводами. Вона інтегрує драйвер моторів TB6612FNG (підтримує 2 DC-мотори або 1 кроковий мотор з струмом до 1.2A на канал), 4 канали для сервоприводів (з роз'ємами у стандарті SERVO) та PS2-роз'єм для підключення джойстика. Плата має стабілізатор живлення 5V, захист від переполюсовки та індикацію стану.

У складі макету ця плата дозволяє керувати 2 моторами та 4 сервоприводами одночасно без додаткових модулів. Драйвер TB6612FNG забезпечує плавний пуск/гальмування моторів з ШІМ-керуванням, а вбудовані роз'єми для сервоприводів спрощують підключення. Плата сумісна з стандартними бібліотеками Arduino (наприклад, Servo.h для сервоприводів),

що прискорює розробку. Містить роз'єм для підключення bluetooth-модуля (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Bluetooth-модуль Keyestudio HC-06 [11]

Keyestudio HC-06 – це Bluetooth-модуль на базі чипа BC417, який забезпечує бездротовий послідовний зв'язок (UART) на відстані до 10 метрів. Він працює на частоті 2.4 ГГц зі швидкістю передачі даних 9600–115200 бод і підтримує профілі SPP (Serial Port Profile), що дозволяє легко інтегрувати його з Arduino через AT-команди. Модуль має низьке енергоспоживання і вбудовану антену, а його компактний розмір робить його ідеальним для мобільних проектів.

У складі макету Keyestudio HC-06 використовується для створення бездротового інтерфейсу між Arduino та смартфоном. Підключивши модуль до UART-портів Arduino (RX/TX), можна передавати команди для керування моторами, сервоприводами або отримувати дані з датчиків. Налаштування

параметрів (ім'я, пароль, швидкість) виконується через АТ-команди, що дозволяє адаптувати модуль під конкретні потреби.



Рисунок 2.5 – Сервопривід Keyestudio micro servo 9G [12]

Keyestudio Micro Servo 9G – компактний сервопривід з вагою 9 грамів, призначений для точного позиціювання в малогабаритних системах. Він оснащений двигуном постійного струму та шестерним редуктором, що забезпечує момент сили 1.2–1.6 кг·см при напрузі живлення 4.8–6V. Діапазон кутів повороту становить 180°, час реакції – 0.12–0.15 с/60°. Корпус виконаний з ABS-пластику з пластиковими шестернями, що підвищує його міцність та довговічність. Сервопривід керується стандартними PWM-імпульсами (50 Гц, тривалість 0.5–2.5 мс) та споживає струм 100–300 мА в робочому режимі (з піковим значенням до 500 мА).

У складі макету Keyestudio Micro Servo 9G використовується для забезпечення точної кутової позиції ланок маніпулятора. Він підключається

до цифрових PWM-виводів Arduino та відповідає за плавне переміщення рухомих елементів. Завдяки малій вазі та компактним розмірам сервопривід легко інтегрується в конструкцію, не перевантажуючи систему.

LS-25GA310 – компактний редукторний двигун постійного струму з планетарною передачею (рис. 2.6), призначений для застосувань у робототехніці та автоматизованих системах. Двигун працює при напрузі 6-12V (номінал 9V) і забезпечує вихідну швидкість обертання 100-300 об/хв (залежно від напруги живлення) з крутним моментом до 3.5 кг·см. Він оснащений вбудованим металевим редуктором з передавальним числом 1:310, що забезпечує плавний хід і високу ефективність. Корпус виконаний з міцного пластику, а вихідний вал має стандартний D-подібний профіль для надійного кріплення. Споживаний струм в режимі холостого ходу становить близько 70-100 мА, а при максимальному навантаженні може досягати 500-800 мА.



Рисунок 2.6 – Редукторний двигун LS-25GA310 [13]

У складі макету LS-25GA310 використовується як основний двигун гусеничної платформи, забезпечуючи пересування та маневрування. Два таких двигуни керуються ШІМ-сигналами від Arduino, що дозволяє регулювати швидкість та напрямок руху кожного гусеничного модуля незалежно. Висока тяга та крутний момент дозволяють платформі долати невеликі перешкоди та пересуватися по нерівній поверхні

Модуль гусеничного рушія з набору Keyestudio Mini Tank Robot KS0071 (рис 2.7) складається з пари гусеничних траків з пластиковим покриттям, двох редукторних моторів постійного струму та металевої рами для їх кріплення. Конструкція включає підшипники для плавного ходу та спеціальні напрямні для стабільного руху гусениць. Модуль має стандартні кріплення для Arduino-сумісних плат та роз'єми JST для швидкого підключення.

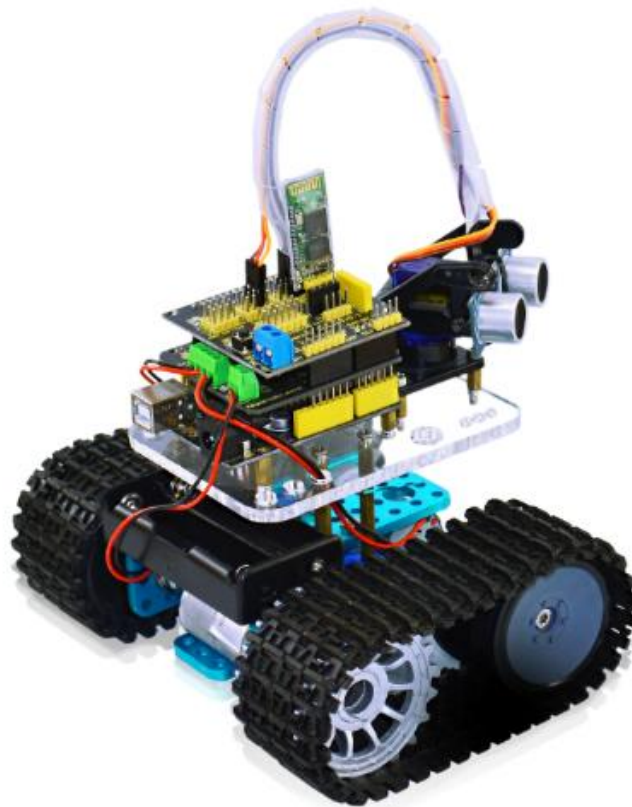


Рисунок 2.7 – Keyestudio Mini Tank Robot KS0071 [14]

У складі макету цей модуль використовується як базова рухова платформа з можливістю диференціального керування. Два мотори підключаються до драйвера, що дозволяє через ШІМ керувати швидкістю кожного двигуна незалежно, для поворотів на місці або дугового руху. Гусенична конструкція забезпечує хороше зчеплення з різними поверхнями (килим, лінолеум, нерівний ґрунт). Конструкція шасі була суттєво переглянута та перекомпонована (рис 2.8) під потреби макету з використанням комплектних запчастин. Перегляд конструкції дозволив розширити базу шасі, що підвищило стійкість платформи. Виготовлені кріплення для встановлення маніпулятора через перехідну пластину. Виготовлений кронштейн для кріплення батарейного відсіку.

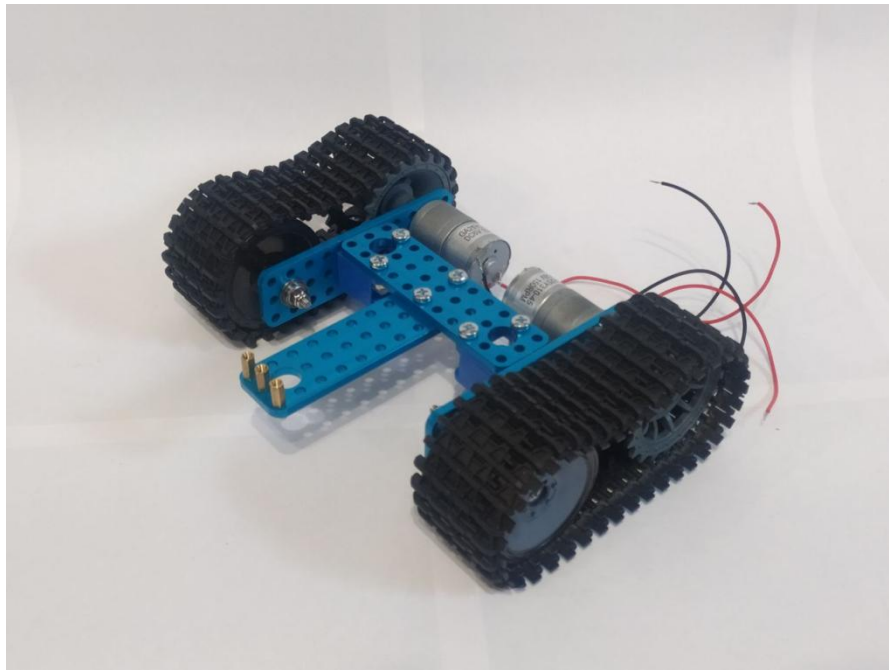


Рисунок 2.8 – Перекомпонований модуль гусеничного рушія

У проекті робота цей модуль використовується як базова рухова платформа з можливістю диференціального керування. Два мотори

підключаються до драйвера (наприклад, L298N або TB6612FNG), що дозволяє через ШІМ керувати швидкістю кожного двигуна незалежно для поворотів на місці або дугового руху. Гусенична конструкція забезпечує хороше зчеплення з різними поверхнями.

Модуль маніпулятора з набору Ks0198 keyestudio 4DOF Robot Mechanical Arm Kit for Arduino DIY (рис. 2.9) є 4-ступеневою (4DOF) механічною рукою, спеціально розробленою для проектів на базі Arduino. Він складається з акрилових елементів та сервоприводів G9 (4 шт.), які забезпечують рух у чотирьох площинах: базове обертання (0-180°), підйом/опускання плеча (0-180°), згинання/розгинання ліктя (0-180°) та робота захвату (0-180°).



Рисунок 2.9 – Ks0198 Keyestudio 4DOF Robot Mechanical Arm Kit [15]

У складі макету цей модуль використовується для виконання точних операцій з переміщення предметів. Через Arduino сервоприводи отримують PWM-сигнали для плавного позиціонування кожного сегмента.

Живлення макету забезпечується через спеціальний батарейний відсік, розрахований на 2 літій-іонних акумулятори типу 18650. Це дозволяє отримувати вихідну напругу в діапазоні 6-8.4V (залежно від ступеня зарядженості акумуляторів), що є оптимальним для роботи мікроконтролера Arduino та периферійних пристроїв. Відсік має стандартний роз'єм DC 2.1×5.5 мм для підключення до плати.



Рисунок 2.10 – Відсік для двох акумуляторів типорозміру 18650 [16]

У складі макету батарейний відсік використовується як основний джерело живлення для всієї системи. Напруга з нього подається на стабілізатор 5V Arduino, а також (через додатковий стабілізатор або безпосередньо) на сервоприводи та двигуни. Рекомендується використовувати акумулятори з

високим струмом розряду, особливо при роботі на режимах з великим навантаженням. Відсік дозволяє швидко замінювати акумулятори, що зручно при тривалих сеансах роботи.

Схема електрична принципова макета зображена на рисунку 2.11, Загальний вигляд макету можна побачити на рисунках 2.12-2.14

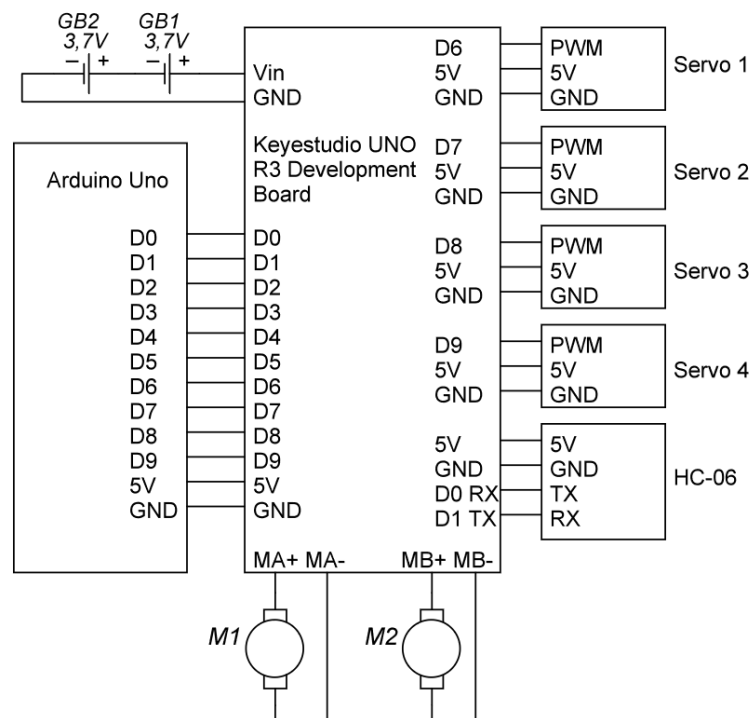


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном

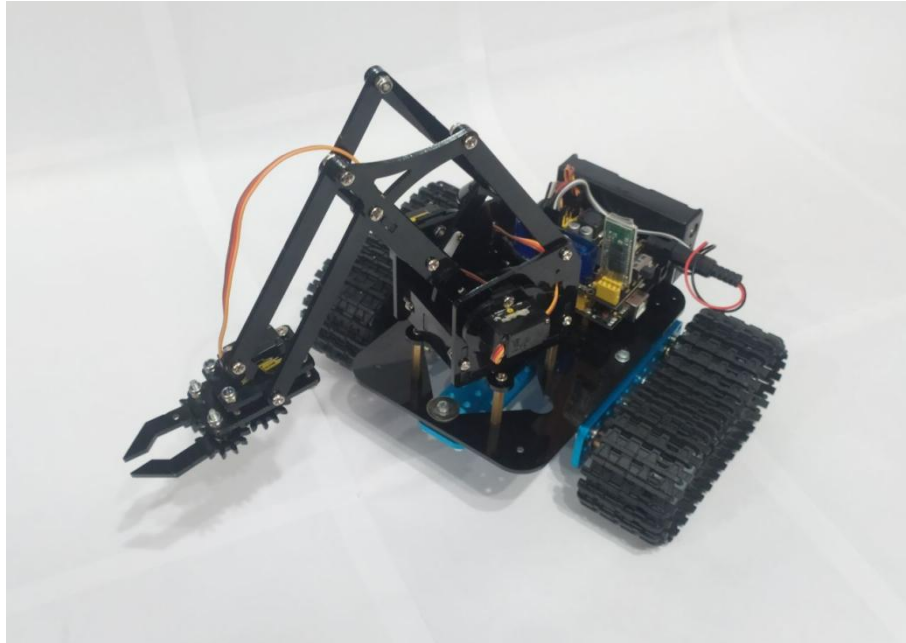


Рисунок 2.12 – Макет дистанційно керованої платформи

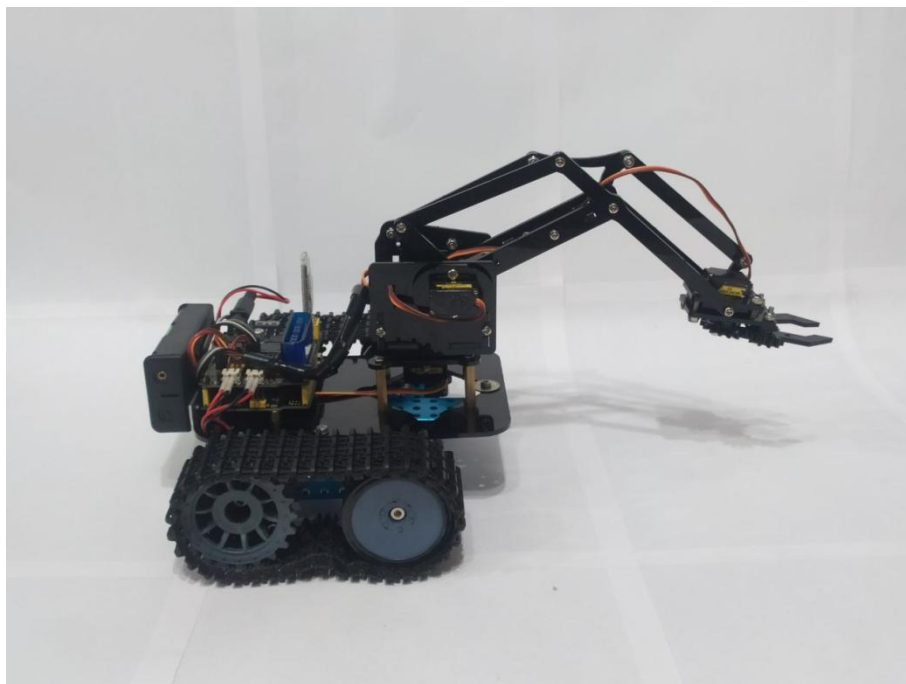


Рисунок 2.13 – Макет дистанційно керованої платформи

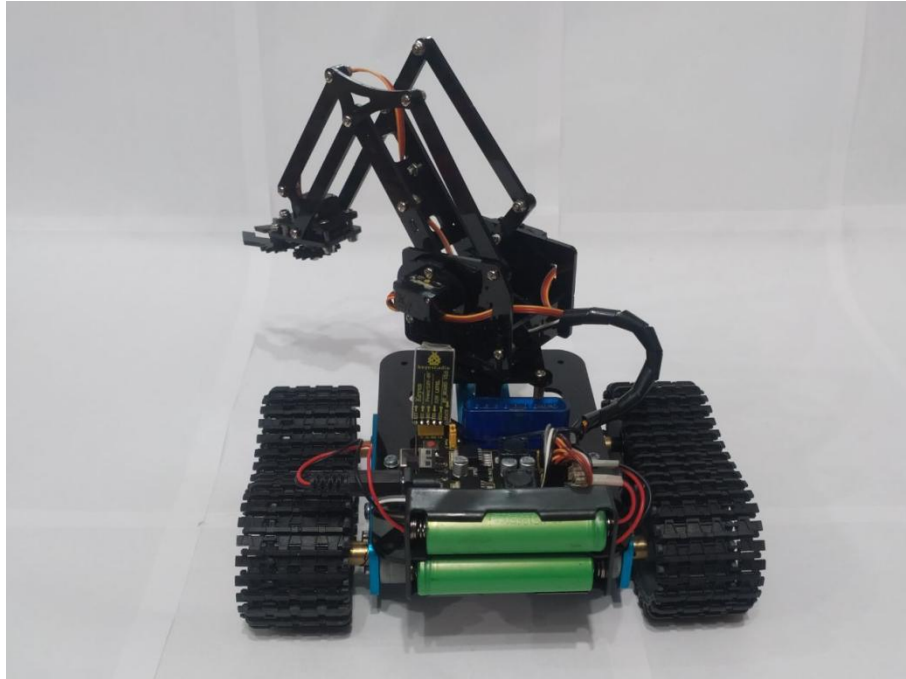


Рисунок 2.14 – Макет дистанційно керованої платформи

2.3 Розробка моделі, алгоритму та програм керування макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту

Для проектування АСК знадобиться дві програми, а саме програма для роботи з мікроконтролером та додаток для керування макетом через смартфон.

Для взаємодії з мікроконтролером використовується **Arduino IDE (Integrated Development Environment)** – це спеціалізоване програмне середовище, призначене для розробки, компіляції та завантаження програмного коду на плати Arduino. Вона базується на мові програмування C/C++, але використовує спрощений синтаксис та бібліотеки, адаптовані для роботи з мікроконтролерами. Середовище включає текстовий редактор з

підсвічуванням синтаксису, менеджер бібліотек, серійний монітор для відлагодження та інструменти для прошивки через USB.

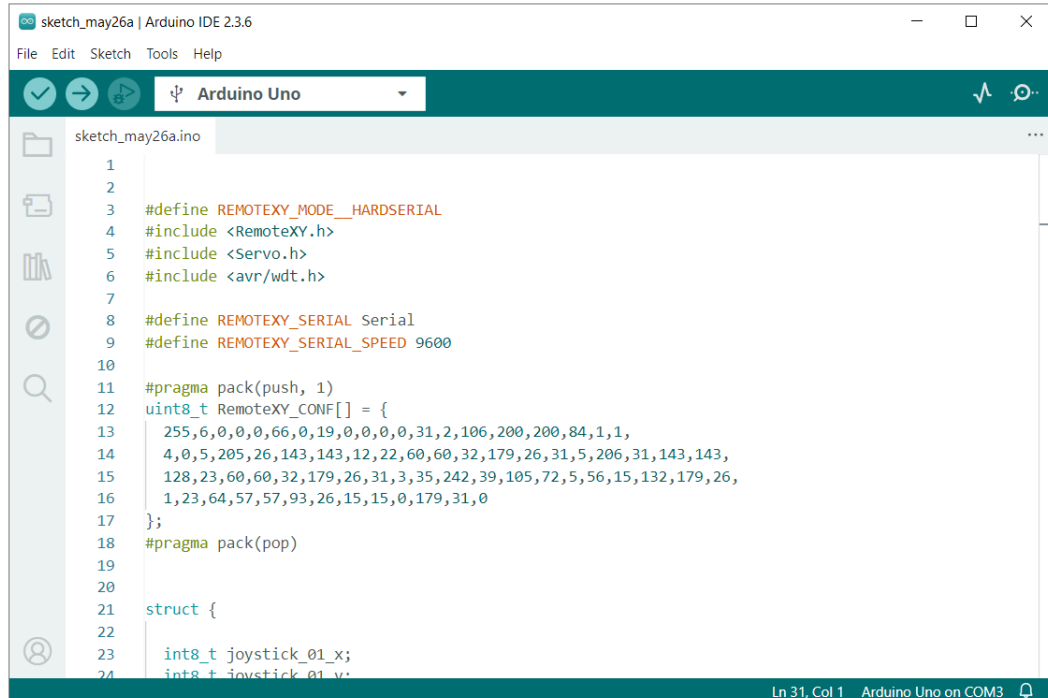


Рисунок 2.15 – середовище Arduino IDE [17]

Технічна архітектура Arduino IDE ґрунтується на компіляторі `avr-gcc` (для AVR-мікроконтролерів) та утилітах `avrdude` для завантаження прошивки. Код користувача (скетч) автоматично компілюється у машинний код для конкретної платформи (наприклад, ATmega328P для Arduino Uno). IDE також підтримує сторонні ядра (cores) для роботи з іншими архітектурами, як-от ESP32 або STM32.

Для реалізації дистанційного керування використовується додаток **Remote XY** – це онлайн-сервіс та мобільний додаток для швидкого створення пультів дистанційного керування через Bluetooth або Wi-Fi. Він дозволяє без програмування розробляти інтерфейси для керування Arduino, ESP32 та іншими мікроконтролерами, просто перетягуючи кнопки, слайдери та

графічні елементи. Готовий інтерфейс генерує код, який можна завантажити в пристрій і одразу почати керувати ним зі смартфона.

Сервіс підтримує різні модулі зв'язку (HC-05, HC-06, ESP8266, ESP32) і дозволяє створювати як прості пульти, так і складні панелі з графіками та налаштуваннями. Remote XY особливо корисний для IoT-проектів, керування роботами або домашньою автоматизацією, оскільки значно скорочує час розробки та не вимагає глибоких знань у програмуванні.

Використовуючи веб-сервіс Remote XY було створено панель дистанційного керування макетом.

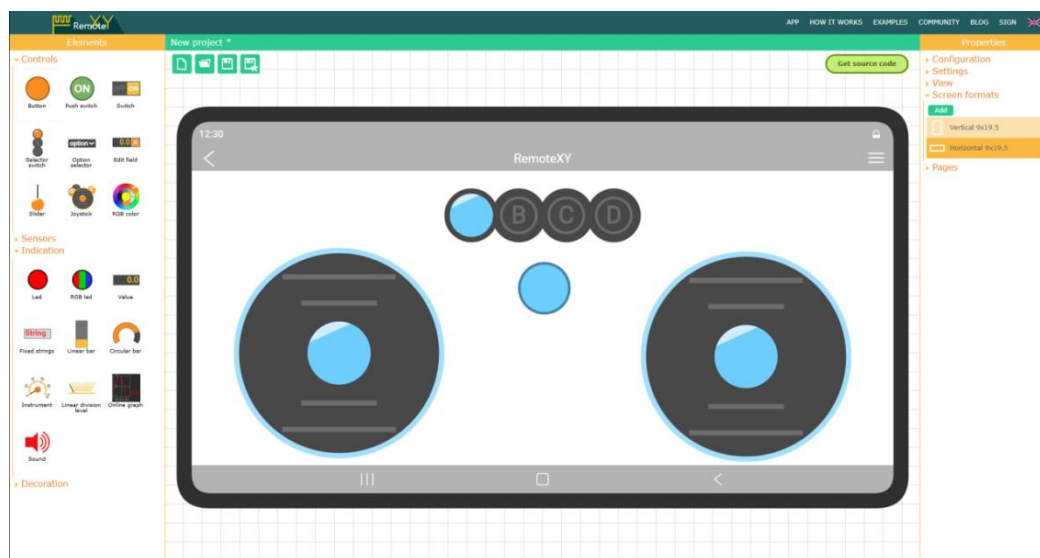


Рисунок 2.16 – Web середовище Remotexy.com [18]

Для керування сервоприводами та моторами використовуються два джойстики з осями «X» та «Y». Для вибору режиму керування передбачено перемикач на чотири положення:

- А. керування не відбувається;
- В. керування маніпулятором;
- С. керування рушієм на малій швидкості;

Д. керування рушієм на великій швидкості.

При положенні перемикача «А» програма блокує усі механізми макету, залишаючи його нерухомим. При положенні «В» відбувається керування сервоприводами маніпулятора за допомогою двох джойстиків. В положенні «С» відбувається керування рушієм з обмеженою швидкістю, для більш точного позиціонування платформи у робочій зоні. В положенні «D» рушій має максимальну швидкість, що дозволяє ефективно переміщувати платформу між робочими зонами.

Також на панелі керування передбачена кнопка, яка відповідає за переведення усіх сервоприводів у початкове положення.

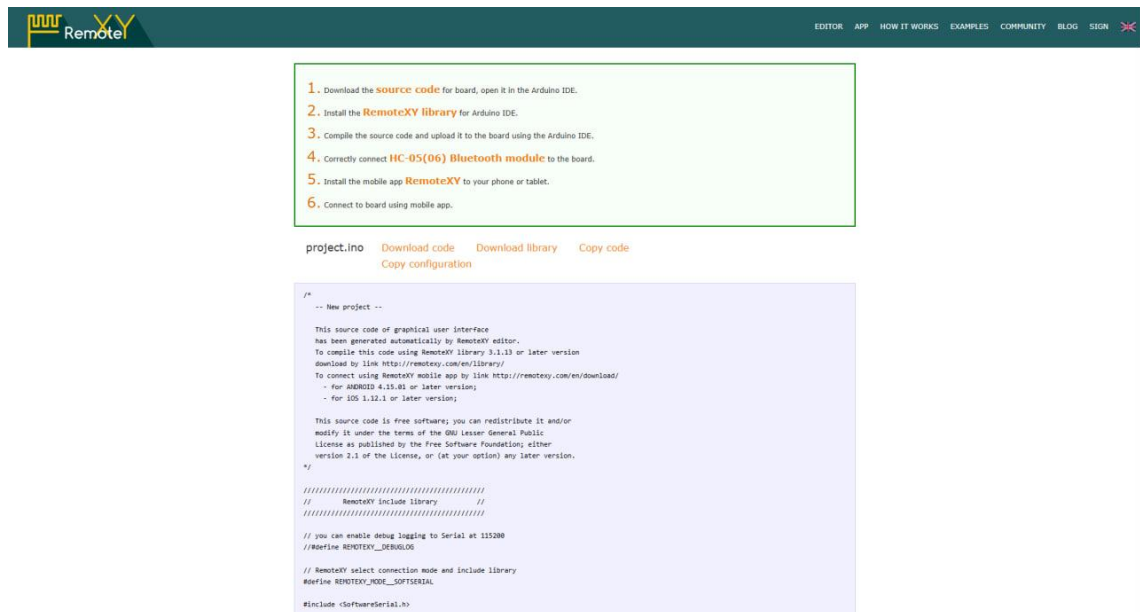


Рисунок 2.17 – Web середовище Remotexy.com

Після налаштування панелі керування, сервіс пропонує код, який модульно інтегрується у програму мікроконтролера. Інтерфейс керування зберігається у самому мікроконтролері і підтягується до додатку через канал

зв'язку. Це дозволяє використовувати для керування будь-який смартфон з додатком remotexu без додаткового налаштування.

При запуску додаток запропонує обрати тип зв'язку та модуль, через який буде відбуватися керування. На рисунку 2.18 можна побачити інтерфейс додатку та іконку модуля HC-06.

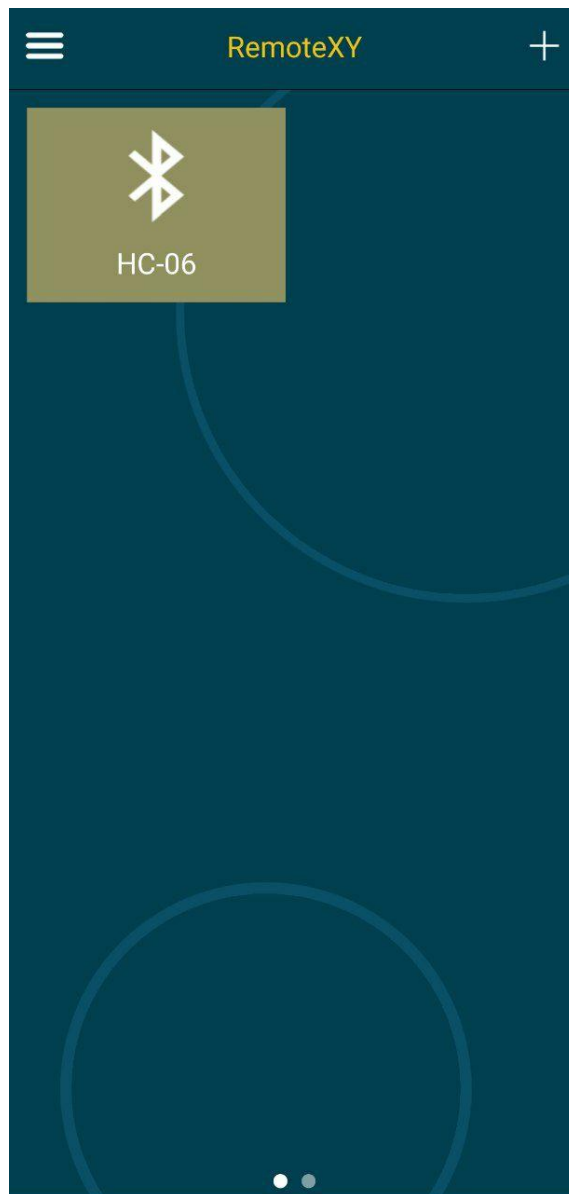


Рисунок 2.18 – Інтерфейс додатку remotexu

Після підключення до модулю, додаток отримує інструкції, на основі яких формує панель керування.

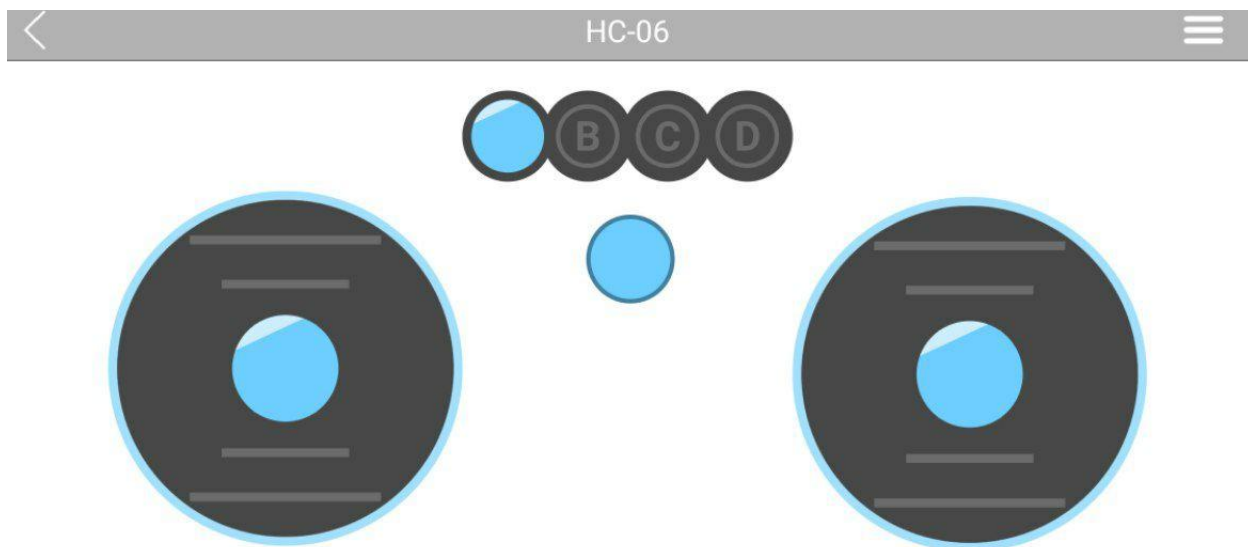


Рисунок 2.19 – Панель керування макетом роботизованої системи на основі додатку Remote XY

При втраті з'єднання додаток повідомляє користувача написом «Disconnect»



Рисунок 2.20 – Повідомлення про втрату з'єднання

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном

АСК макету керується наступним алгоритмом:

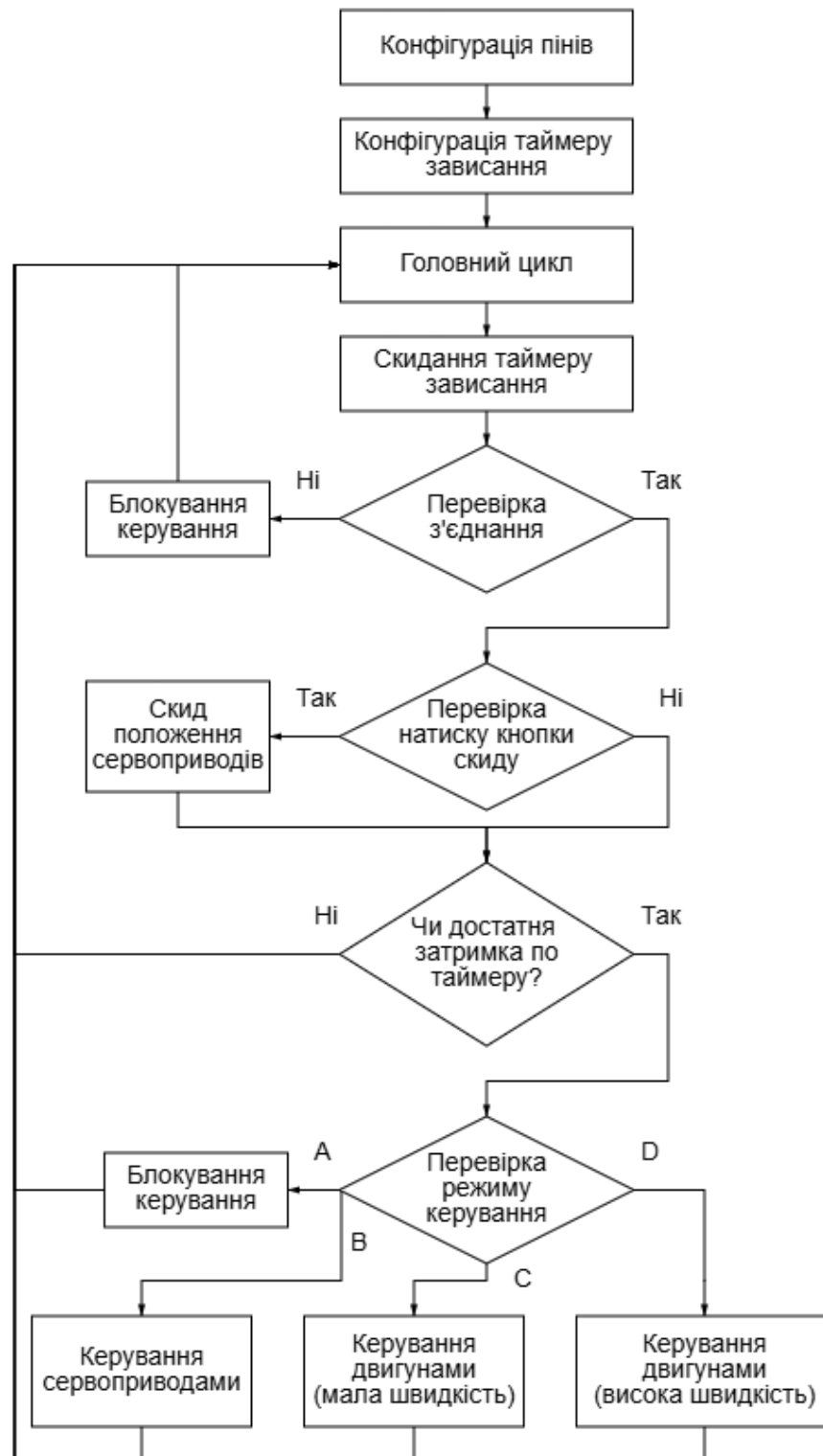


Рисунок 2.21 – Функціональна схема алгоритму АСК макету

Ініціалізація системи

На початку програми виконується конфігурація апаратної частини: ініціалізується бібліотека RemoteXY для зв'язку через Serial-порт, встановлюється режим роботи пінів Arduino – виходи для керування напрямом і ШІМ-сигналами моторів. Ініціалізуються об'єкти сервоприводів, кожен з яких прив'язується до відповідного піну й встановлюється в початкове положення згідно з масивом заданих кутів. Також активується сторожовий таймер (watchdog), який у разі зависання перезапускає мікроконтролер.

Обробка команд і контроль зв'язку

У циклі програми перевіряється стан зв'язку з інтерфейсом RemoteXY, а також аналізується активність користувача – чи виходять значення будь-якої з осей джойстиків за межі "мертвої зони" (± 15 одиниць). Якщо активність присутня, оновлюється час останньої валідної команди. Якщо протягом заданого таймауту (1000 мс) не надходить жодної дії, система переходить у безпечний режим: сервоприводи відключаються, ШІМ-сигнали двигунів обнуляються – тобто все зупиняється.

Обробка кнопки скиду

При натиску кнопки скиду система становлює сервоприводи в заздалегідь визначене положення. Це дозволяє швидко відновити нейтральне положення механізму або повернути систему у вихідне положення після аварійного відхилення.

Обробка команд у залежності від вибраного режиму

Уся логіка керування розгалужується відповідно до положення селектора режимів. Якщо обрано нульовий режим, система повністю зупиняється: обнулюються ШІМ-сигнали, серводвигуни від'єднуються. Якщо активовано режим 1, система переходить у режим керування сервоприводами. Якщо вибрано режим 2 або 3 – виконується керування двигунами із заданою швидкістю.

Керування сервоприводами у режимі В

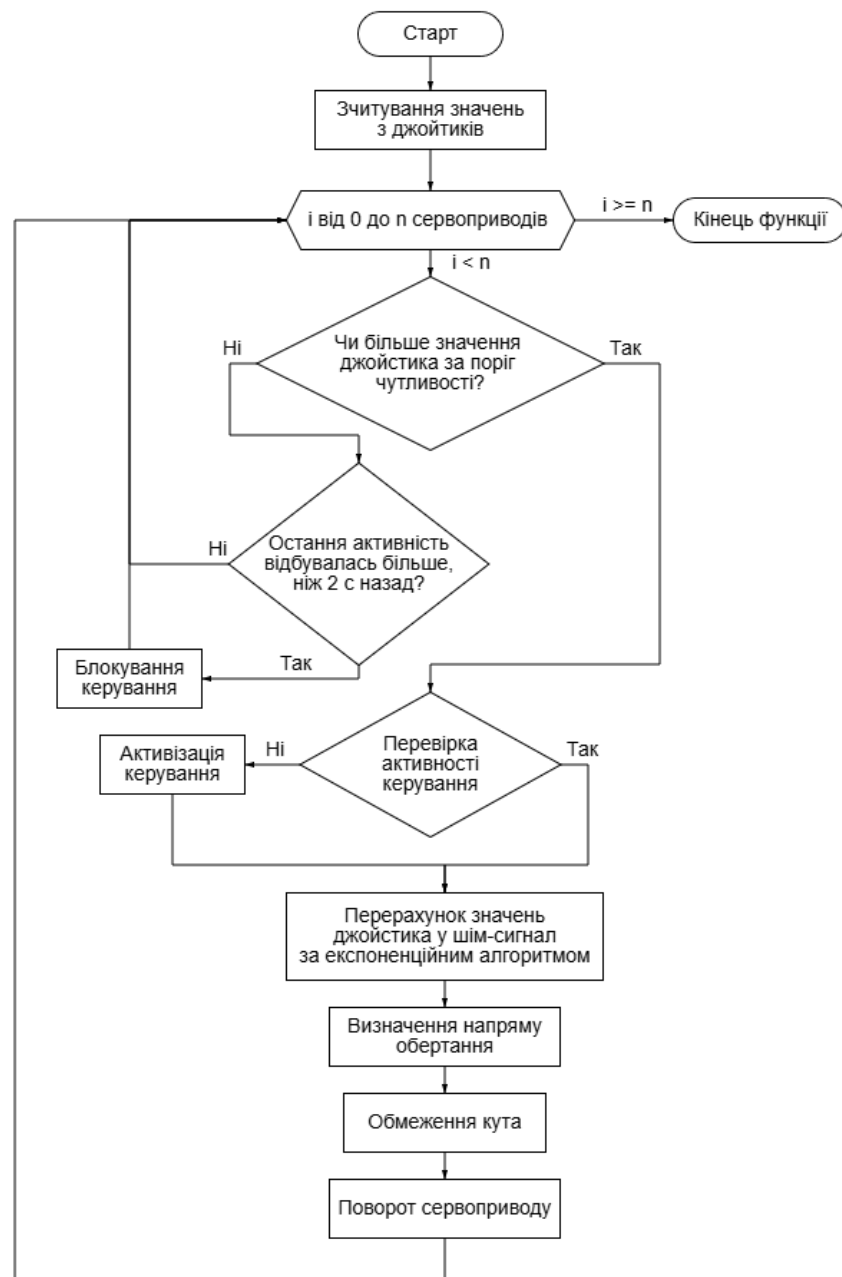


Рисунок 2.22 – Функціональна схема алгоритму керування сервоприводами

Кожному з чотирьох сервоприводів відповідає конкретна вісь одного з двох джойстиків. Значення з джойстика проходить через експоненційну трансформацію і масштабується до швидкості зміни кута в градусах. Залежно від знаку, кут збільшується або зменшується. Результат обмежується в межах мінімального і максимального значення кута. Якщо сервопривід не

використовувався понад 2 секунди, він автоматично від'єднується для зниження енергоспоживання.

Керування двигунами, мала швидкість (режим С)

Алгоритм керування двигунами зображений на рисунку 2.23

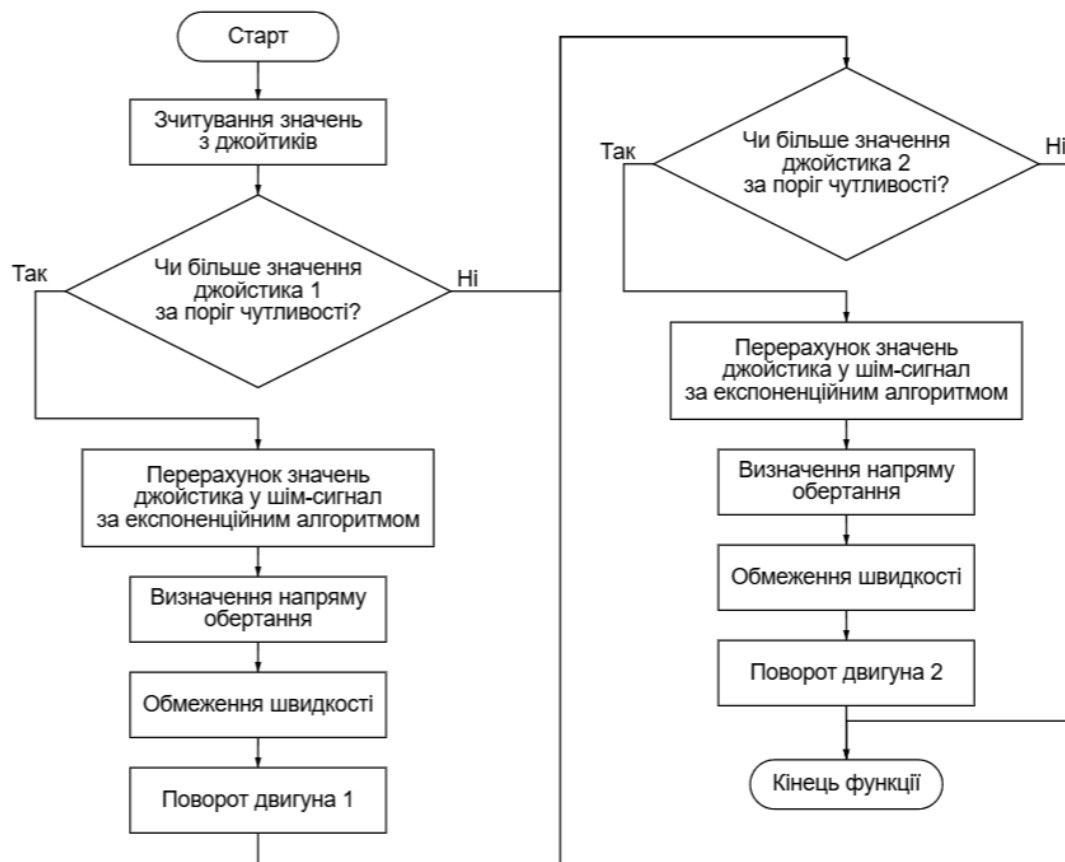


Рисунок 2.23 – Блок-схема функціонування алгоритму керування двигунами

Для керування використовуються вертикальні осі обох джойстиків. За кожною віссю обчислюється напрямок (вперед/назад) залежно від відхилення від центру (Різниця між поточним значенням осі й центром проходить через експоненційну трансформацію і масштабується до діапазону ШІМ з

урахуванням коефіцієнта малої швидкості. На відповідний ШІМ-вихід подається цей сигнал, що регулює оберти моторів. Напрямок обертання задається логічним рівнем на окремому піні, що реалізує інверсію полярності – відповідно до напрямку переміщення джойстика. Якщо значення в межах "мертвої зони", ШІМ-сигнал дорівнює нулю – мотор зупиняється.

Керування двигунами, висока швидкість (режим D)

Алгоритм ідентичний попередньому, але коефіцієнт швидкості вищий. Це дає можливість рухатися швидше, проте з меншою точністю. Користувач може миттєво перемикатися між режимами швидкості, не змінюючи логіки керування – лише масштаб PWM сигналу.

2.4 Розробка програми випробування макету АСК мобільних дистанційно керованих платформ з маніпулятором на борту

Програма випробувань макету передбачає сукупність методично розроблених заходів, спрямованих на комплексну перевірку функціональності, надійності та ефективності системи у різних умовах експлуатації. Її основна мета полягає у верифікації відповідності фактичних характеристик макету заявленим технічним вимогам, виявленню потенційних слабких місць конструкції та алгоритмів роботи, а також збору експериментальних даних для подальшого вдосконалення системи.

Перший етап випробувань передбачає перевірку роботи програми, що розташовується на борту мобільної роботизованої системи. Аналіз проводиться за такими факторами:

1) **Перевірка зв'язку** між Android-додатком та мікроконтролером через Bluetooth. Тестується стабільність підключення, час відгуку системи на команди, а також обробка розриву з'єднання. Перевіряється коректність передачі даних у обох напрямках - як від додатку до макету, так і зворотній зв'язок (наявність підтвердження виконання команд).

2) **Перевірка логіки роботи програми.** Аналізується коректність інтерпретації вхідних даних від користувача (джойстики, перемикач, кнопки) та їх перетворення у керуючі сигнали. Особлива увага приділяється обробці граничних значень (максимальна швидкість, крайні положення маніпулятора) та реакції системи на некоректні вхідні дані.

3) **Перевірка алгоритмів безпеки та аварійних режимів.** Тестується реакція програми на критичні ситуації - перевантаження двигунів, заклинювання маніпулятора, втрата зв'язку. Перевіряється ефективність функцій екстреного зупину та автоматичного повернення у безпечний стан.

4) **Перевірка взаємодії всіх підсистем** (рушій, маніпулятор) під керуванням програми. Аналізується узгодженість роботи компонентів, відсутність конфліктів команд та стабільність роботи в тривалих режимах експлуатації.

Другий етап випробувань передбачає випробування програми та перевірку зручності інтерфейсу, що розташовується на боці андроїдного смартфона, а саме:

1) **Підготовка до роботи.** Досліджується процес встановлення та налаштування додатку. Оцінюється доступність та зрозумілість підготовки додатку до роботи на типовому андроїдному смартфоні.

2) **Перевірка підключення** до андроїдного смартфона, оцінка швидкості та стабільності отримання команд щодо структури панелі керування від програми з боку макету.

3) Перевірка стабільності роботи додатку. Досліджується робота додатку упродовж тривалого часу, оцінюється конфліктність роботи додатку паралельно з іншими системами та додатками смартфона.

4) Перевірка роботи додатку в аварійних ситуаціях. Досліджуються алгоритми роботи додатку під час втрати зв'язку, переключення між додатками, перевантаження системи Android.

5) Аналіз зрозумілості елементів керування. Досліджується інтуїтивна зрозумілість панелі керування для користувача, необхідність додаткових інструкцій до інтерфейсу керування.

6) Аналіз ергономічності панелі керування. Досліджується зручність розташування елементів керування для оператора. Оцінюється комфортність використання смартфона упродовж тривалого часу.

Третій етап випробувань передбачає дослідження характеристик макету, а саме:

1) Дослідження зручності керування платформою. Оцінюється зручність макету при виконанні певних задач, відклик на взаємодію оператора з елементами керування, оцінка чутливості та нелінійності керування.

2) Дослідження мобільності платформи. Оцінюється швидкість переміщення, здатність долати перешкоди. Оцінюється здатність платформи розвертатися та змінювати напрям руху.

3) Дослідження роботи маніпулятора. Оцінка робочої зони системи, оцінка ваги, якою маніпулятор може вільно оперувати

4) Дослідження дальності дії зв'язку. Оцінюється відстань, на якій зберігається рівень зв'язку, достатній для коректного керування платформою.

Кожен етап супроводжується детальною фіксацією результатів, зокрема: час реакції, частота помилок, споживання ресурсів. Отримані дані дозволяють оптимізувати алгоритми роботи, покращити інтерфейс користувача та підвищити надійність системи в цілому.

Висновки до другого розділу

1) Застосування Android-смартфону як інтерфейсу керування поєднує доступність, гнучкість і зручність та забезпечує інтеграцію інструкцій безпосередньо в систему, що значно спрощує процес підключення та експлуатації для користувачів з різним рівнем підготовки. Цей підхід також відкриває широкі можливості для адаптації інтерфейсу під конкретні завдання без необхідності зміни апаратної частини.

2) Продемонстровано, як сучасна апаратна база мікроконтролерів, драйверів двигунів дозволяє реалізовувати складні системи з високим рівнем функціональності та безпеки, що розвиває механізми захисту від перевантажень, систем автономного моніторингу та резервування критичних компонентів і забезпечує надійність роботи навіть у нестандартних умовах руху мобільною платформою з маніпулятором на борту.

3) Модульний підхід до проектування апаратної і програмної частин прискорює розробку та масштабування системи і використання уніфікованих інтерфейсів і стандартних протоколів зв'язку дозволить інтегрувати додаткові компоненти або модифікувати існуючі без повної переробки всієї системи. Це робить технологію придатною не лише для лабораторних умов, а й для реального використання в побуті, промисловості чи освіті.

3. ВИПРОБУВАННЯ МАКЕТУ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З МАНІПУЛЯТОРОМ НА БОРТУ АНДРОЇДНИМ СМАРТФОНОМ

3.1 Випробування роботи мобільного макету з ультразвуковим датчиком при наявності перешкод

Сучасні роботизовані системи дозволяють використовувати широкий спектр датчиків, що дозволяють автоматизувати керування, забезпечити збір даних та вимір досліджуваних параметрів. Використання датчиків та телеметрії дозволяє використовувати мобільні платформи на віддалені від оператора, за умов поганої, або відсутньої можливості візуального контролю системи.

Для дистанційно керованих платформ є важливою така характеристика, як проходження перешкод. За умов поганої видимості, або недостатньо якісного зображення з бортової камери цей параметр може бути критичним при виконанні платформою поставлених задач. Автоматизувати цей процес може використання ультразвукових датчиків відстані.



Рисунок 3.1 – Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 [19]

HC-SR04 — це ультразвуковий датчик відстані, що працює за принципом ехолокації. Він генерує короткі імпульси звукових хвиль на частоті 40 кГц (поза діапазону чутності людини) і аналізує відбитий сигнал. Час між випромінюванням імпульсу (Tx) та прийомом його ехо (Rx) вимірюється для розрахунку відстані за формулою:

$$d = \frac{v * \Delta t}{2}$$

де v — швидкість звуку (~ 343 м/с при 20°C), Δt — час затримки, а ділення на 2 враховує подвійний шлях сигналу (до об'єкта і назад).

Датчик містить дві п'єзоелектричні керамічні пластини з дифузорами: одна виконує роль передавача (Tx), інша — приймача (Rx). Генерація імпульсів здійснюється за допомогою вбудованого мікроконтролера, який керує частотою резонансу п'єзоелемента (~ 40 кГц). Для посилення слабкого відбитого сигналу використовується низькошумний операційний підсилювач з корекцією частоти, що фільтрує завади. Точність вимірювання залежить від стабільності генерації та чутливості приймача, яка становить ~ 3 мм у ідеальних умовах.

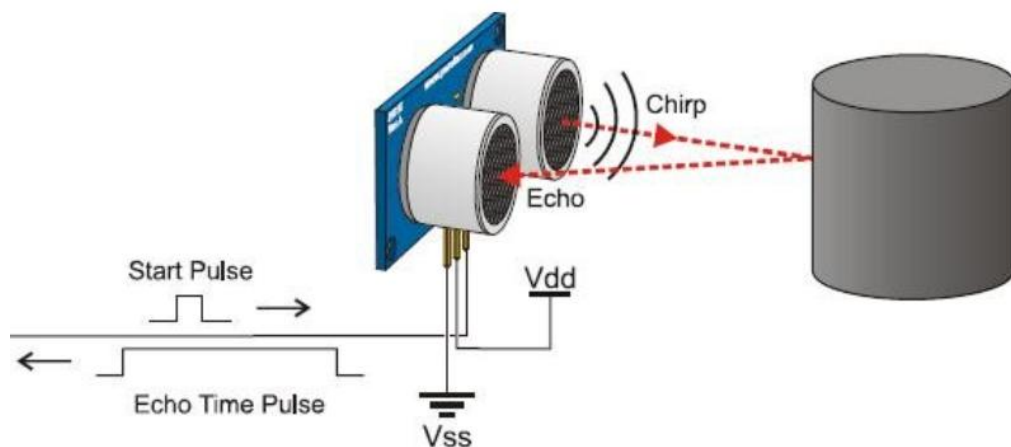


Рисунок 3.2 – Принцип дії ультразвукового датчику відстані HC-SR04 [20]

Даний датчик є частиною уніфікованої лінійки модулів, використовує типові стандарти передачі даних, уніфіковане живлення напругою 5В, що дозволяє використовувати його у типових модульних конструкціях, швидко інтегрувати у системи з мікроконтролерами Arduino.

Використання такого датчику у роботизованій платформі дозволяє використовувати алгоритм автоматичного виконання заданих інструкцій для оминання, уникнення перешкод. Такий алгоритм реалізований на наступному (рис. 3.2) макеті:

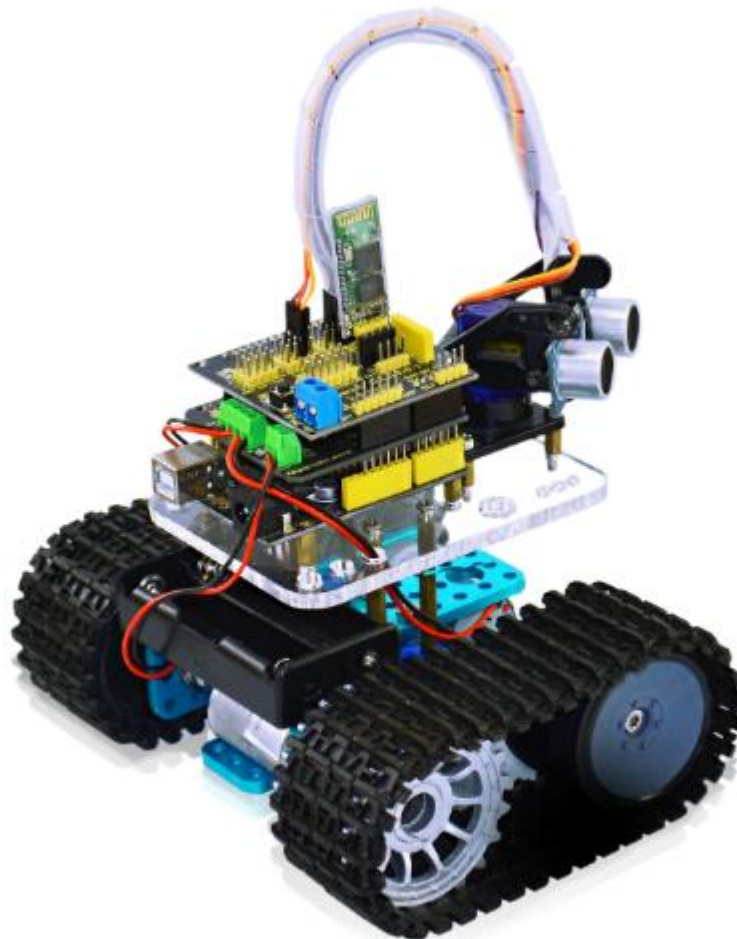


Рисунок 3.3 – Мобільна роботизована платформа з
ультразвуковим датчиком. [14]

Макет побудовано на основі мікроконтролера Arduino Uno. Для підключення елементів системи використовуються плата-драйвер моторів постійного струму та плата розширення, що дублює контакти мікроконтролера для зручного підключення типових конекторів модулів. Рушієм у даній конструкції виступає гусенична платформа, що приводиться в дію двома мотор-редукторами постійного струму. Над платформою закріплено сервопривід, до якого приєднаний ультразвуковий датчик відстані. Для дистанційного керування використовується модуль bluetooth зв'язку. Керування відбувається через андроїдний смартфон.

В даній роботизованій платформі реалізовано алгоритм оминання перешкод за рахунок автоматичного відвороту платформи в сторону при визначенні перешкоди датчиком.

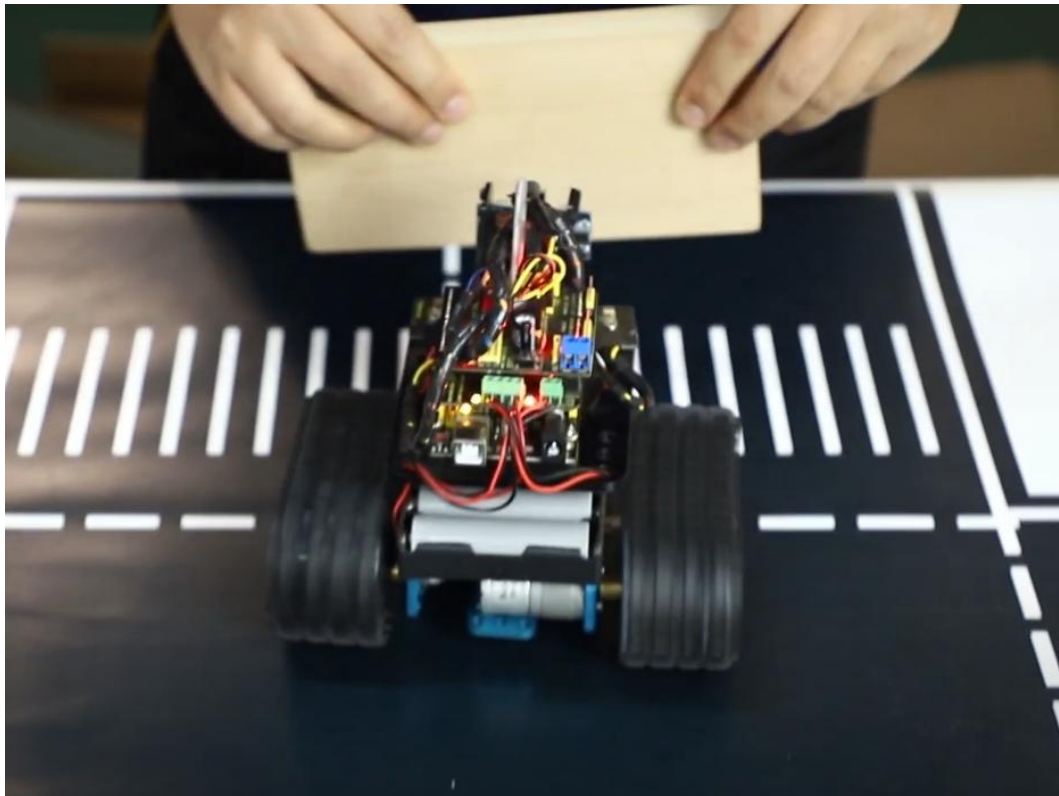


Рисунок 3.4 – Випробування макету роботизованої системи
з ультразвуковим датчиком[21]

Система сканує простір перед платформою та реєструє положення перешкоди. Виконується алгоритм огинання, перевіряється можливість виконати оминаючий маневр. При недостатній відстані для маневру, платформа попередньо від'їжджає назад. Функціональна схема алгоритму зображена на рисунку 3.5:



Рисунок 3.5 – Функціональна схема алгоритму оминання перешкод

3.2 Випробування макету з маніпулятором на борту з використанням андроїдного смартфона

Під час випробувань макету розглядалися такі питання, як:

- зручність керування та точність позиціонування маніпулятора;
- зручність використання автоматичного позиціонування маніпулятора;
- зручність керування та точність позиціонування платформи;
- зручність інтерфейсу керування;
- надійність зв'язку смартфона з платформою;
- можливість інтеграції додаткових функцій у конструкцію.

Керування маніпулятором у даній платформі в першу чергу залежить від двох факторів, а саме швидкості повороту валів сервоприводів та коефіцієнту експоненційності керуючих джойстиків.

Випробування полягало у підхопленні, переміщенні та встановленні заданого об'єкту за допомогою маніпулятора.

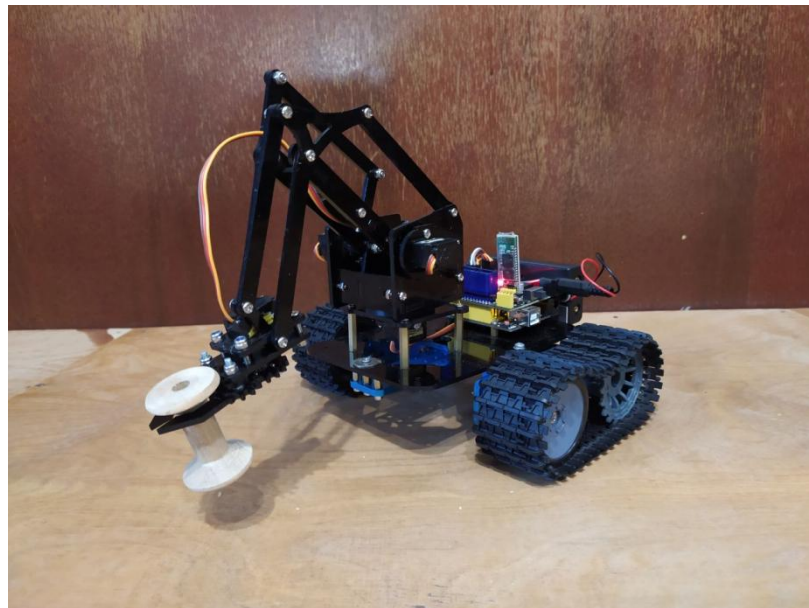


Рисунок 3.6 – Захват та переміщення об'єкта

Дослідження показали, що виникають певні труднощі у керуванні маніпулятором. Спостерігалася різка реакція сервоприводів на незначне відхилення джойстика, та надлишкова швидкість їх повороту.

За результатами випробувань було прийнято рішення підвищити коефіцієнт експоненційності у системі керування, що дозволило підвищити точність керування та плавність рухів. Також було прийнято знизити швидкість повороту сервоприводів для більш точного позиціонування.

Зручність використання автоматичного позиціонування маніпулятора залежить від заданих кутів повороту сервоприводів, та швидкості їх поворотів.

Під час дослідження було встановлено, що через недосконалість алгоритму, сервоприводи встановлюються у задане положення миттєво, зі швидкістю, яка обмежена лише конструкцією сервопривода. Це призводить до надто різкого переміщення маніпулятора, що може пошкодити його елементи, та унеможливує використання автоматичного позиціонування разом з об'єктом, що переміщується.

Було вирішено розробити досконаліший алгоритм автоматичного встановлення кутів сервоприводів (рис. 3.7).

За новим алгоритмом, під час кожного циклу програми, відбувається перевірка на натиск кнопки. Якщо кнопка натиснута, програма визначає напрямок повороту сервоприводу, та підкручує його на обмежений кут. Після цього цикл програми повторюється. Якщо різниця між положенням сервоприводу та заданим кутом менша за заданий крок повороту, то відбувається остаточне позиціонування строго за заданими кутами.

Такий підхід дозволяє плавно позиціонувати маніпулятор затисканням кнопки. Також це дозволяє зупиняти маніпулятор на шляху до заданої

позиції, чим розширює можливості керування та підвищує зручність експлуатації.

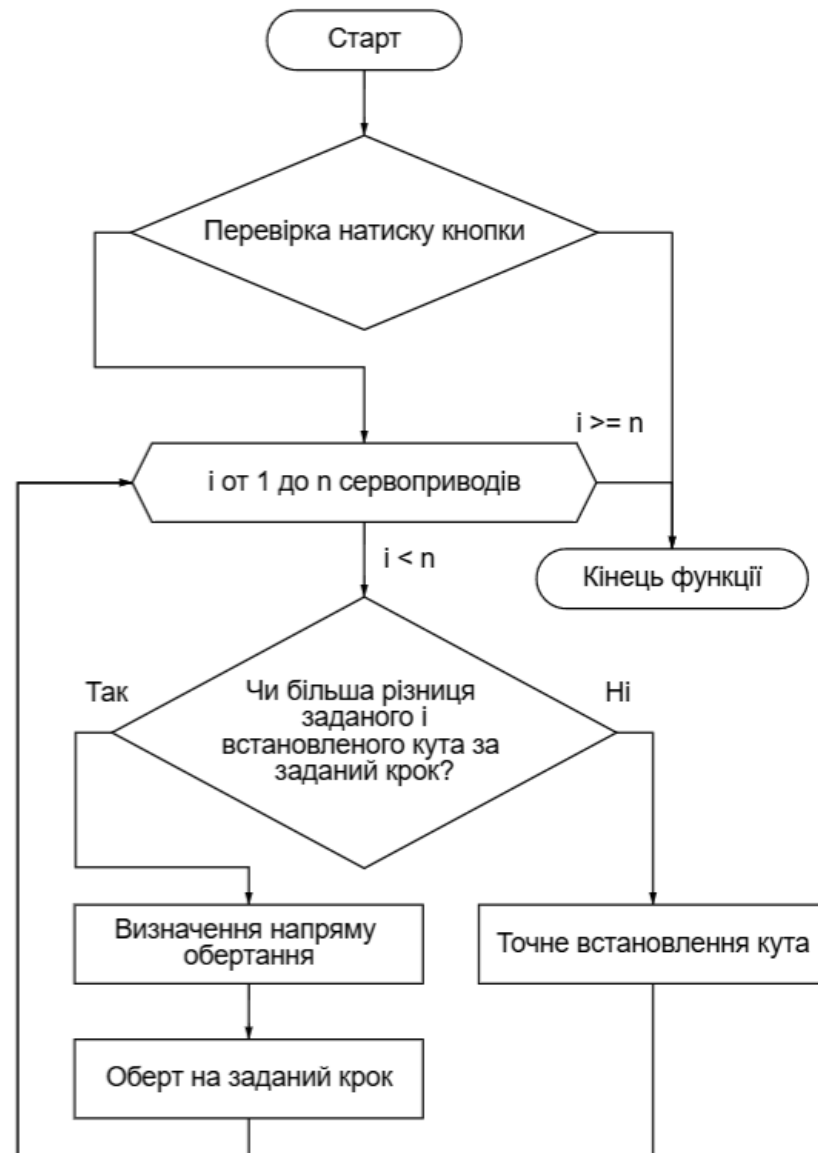


Рисунок 3.7 – Функціональна схема алгоритму
позиціонування маніпулятора в заданому положенні

Точність позиціонування платформи в даній системі залежить від коефіцієнту експоненційності керування джойстиками та величині обертів моторів постійного струму у складі рушія.

Випробування платформи полягали у переміщенні макету між робочими зонами, виконанні розворотів, позиціонуванні у робочій зоні.

Було встановлено, що плавність регулювання швидкості недостатня та не надає змоги точного переміщення платформи. У режимі позиціонування платформа рухалась надто повільно, її швидкість була надто обмежена.

Прийнято рішення підвищити коефіцієнт експоненційності керування рушієм, що значно підвищило плавність зміни швидкості, та надало можливість точного позиціонування. Також було змінено значення максимальної швидкості платформи у режимі її обмеження в більшу сторону, що дозволило більш комфортно оперувати платформою у робочій зоні. За рахунок експоненційного керування зберіглася можливість витримувати малу швидкість рушія.

Зручність інтерфейсу керування визначається ергономічними якостями панелі керування та інтуїтивністю її розуміння.

Випробування панелі керування полягали у оцінці комфортності роботи з платформою упродовж тривалого часу, зручність положення рук при керуванні джойстиками, взаємодії з рештою елементів керування та інтуїтивності їх використання.

Дослідження показали зручність взаємодії з інтерфейсом керування упродовж тривалого часу. При горизонтальному положенні смартфон тримається обома руками, для роботи з усіма елементами панелі достатньо великих пальців обох рук, що виключає необхідність зміни положення рук під час тривалої роботи.

Були зроблені висновки щодо високої інтуїтивності панелі керування. Під час роботи не виникало хибних натискань та необхідності повторного

звернення до інструкції. Це дозволило відмовитись від підписів елементів, тим самим зменшивши візуальне навантаження, що сприяє тривалій роботі.

Було вирішено збільшити розмір джойстиків, що дозволило підвищити точність керування та змістити їх до країв екрану, що підвищило ергономічність. Також було прийняте рішення відмовитись від заголовку панелі, що збільшило робочий простір на екрані та дозволило збільшити усі елементи панелі.

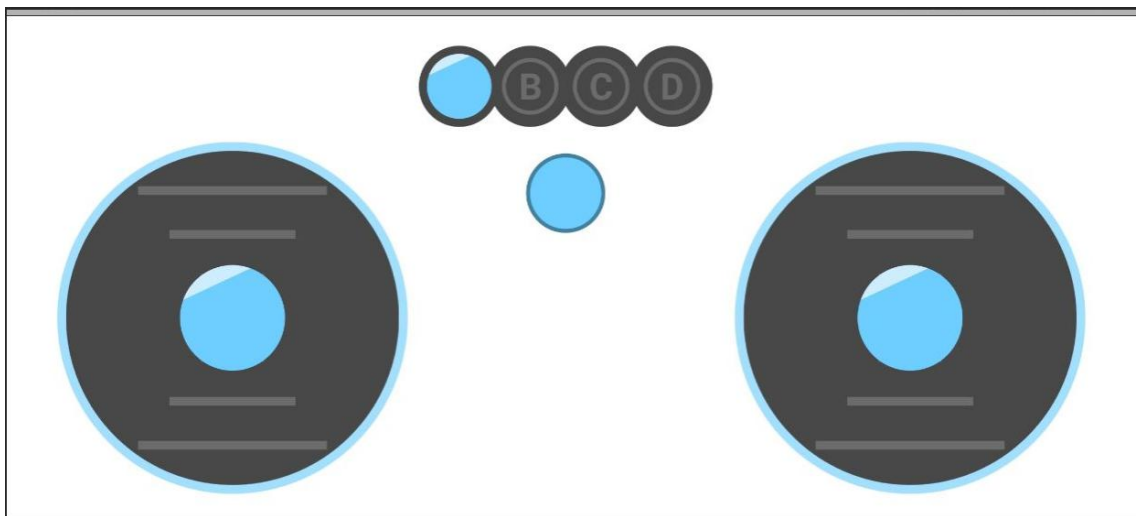


Рисунок 3.8 – Зображення вдосконаленої панелі керування макетом роботизованої платформи з маніпулятором на борту

Дослідження надійності зв'язку полягали у оцінці якості керування платформою при паралельному виконанні смартфоном обробки інших додатків, оцінці залежності bluetooth зв'язку від роботи інших підсистем зв'язку смартфона.

Було досліджено, що завантаженість смартфона іншими додатками викликає підвисання панелі керування, що призводить до ігнорування, або затримки команд, втрати зв'язку з модулем та навіть аварійного відключення додатку та систем платформи.

Також було зауважено, що на стабільність зв'язку впливає паралельна робота інших підсистем зв'язку смартфона, а саме мобільний інтернет, GPS, WI-FI. При їх відключенні спостерігалось підвищення якості керування.

Відповідно дослідження були сформовані рекомендації щодо експлуатації АСК, а саме зводити до мінімуму паралельну роботу сторонніх додатків та підсистем смартфона.

Можливість інтеграції додаткових функцій у конструкцію визначає здатність швидкої адаптації платформи під різні поставлені задачі, здатність до масштабування виробництва, простоти налагодження та введення в експлуатацію.

Реалізація додаткових автоматичних інструкцій дозволяє мінімізувати навантаження на оператора, перекладаючи виконання типових рухів макету на мікроконтролер.

Для дослідження можливості використання таких інструкцій у кількості, на панель керування була додана ще одна кнопка, що встановлює маніпулятор на задані кути (рис. 3.9). Функціонально вона використовує той самий алгоритм, що і кнопка 1, але задає інші кути. В алгоритмі передбачений захист від одночасного натиску обох кнопок, в цьому випадку програма ігнорує команду.

Кнопка 1 задає положення маніпулятора у якому платформа може безпечно рухатися між робочими зонами як з вантажем, так і без. Кнопка 2 задає таке положення маніпулятора, у якому зручно підхоплювати заданий об'єкт з мінімальними рухами. Це значно полегшило роботу з маніпулятором.

Також важливо, що обидві кнопки не впливають на сервопривід, що керує захватом, тому під час автоматичного позиціонування вантаж лишається в захваті маніпулятора.

Такий підхід дозволяє задавати багато автоматичних інструкцій, як для маніпулятора, так і для рухомої платформи, датчиків, пристроїв, тощо.

В застосованому програмному забезпеченні дозволяється безкоштовно використовувати лише п'ять елементів керування, тому в даному інтерфейсі розглянуто лише дві кнопки з інструкціями.

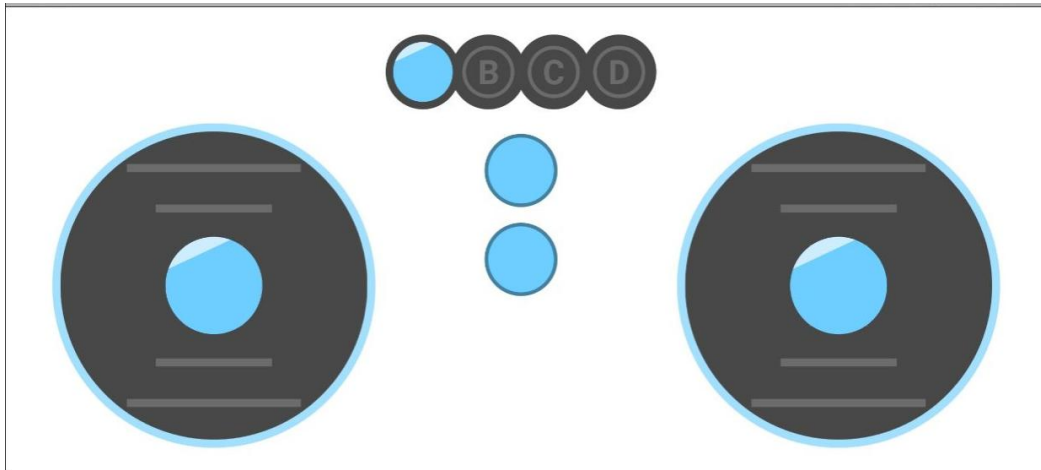


Рисунок 3.9 – Зображення вдосконаленої
панелі керування з двома кнопками

Також було спробовано **інтегрувати датчик відстані** HC-SR04 для реалізації режиму автоматичного оминання перешкод, що описаний в минулому підрозділі.

Під час налаштування системи було виявлено, що типовий алгоритм роботи з таким датчиком конфліктує з роботою програмного забезпечення RemoteXY. Для роботи з датчиком використовуються такі команди:

```
digitalWrite(Trig, LOW);  
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(Trig, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(Trig, LOW);  
  
long duration = pulseIn(Echo, HIGH);  
int distance = duration * 0.0343 / 2;
```

Рисунок 3.10 – Код керування ультразвуковим датчиком відстані

Bluetooth-модулі (HC-05, HM-6 тощо) та інтерфейси типу UART, (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – асинхронний протокол послідовного зв'язку, який передає дані без тактового сигналу через два дроти RX/TX), використовують буферизовану передачу даних у реальному часі.

Коли код зупиняється на `delay()`, мікроконтролер тимчасово припиняє обробку вхідних/вихідних пакетів, що призводить до переповнення буферу UART або тайм-ауту зв'язку.

Remote XY, як серверна система, очікує безперервного з'єднання. Якщо пауза між пакетами перевищує допустимий інтервал (наприклад, 200–500 мс), сервер (додаток) вважає з'єднання розірваним. В такому випадку виникає втрата керування та необхідність повторного підключення модулю зв'язку до смартфона.

На платформах типу Arduino затримки блокують не лише UART, але й інші критичні процеси. Наприклад, якщо під час `delay()` модуль отримує нові дані, то він не може їх обробити і тоді драйвер Bluetooth може аварійно скинути з'єднання. Це особливо актуально для слабких контролерів, де немає апаратної підтримки потокової обробки.

Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати інше програмне забезпечення, що менш вибагливе до розривів у з'єднанні, або розробити інші алгоритми роботи з ультразвуковими датчиками, що не використовують команди затримки.

3.3 Випробування та експериментальне визначення характеристик роботизованої системи з маніпулятором на борту

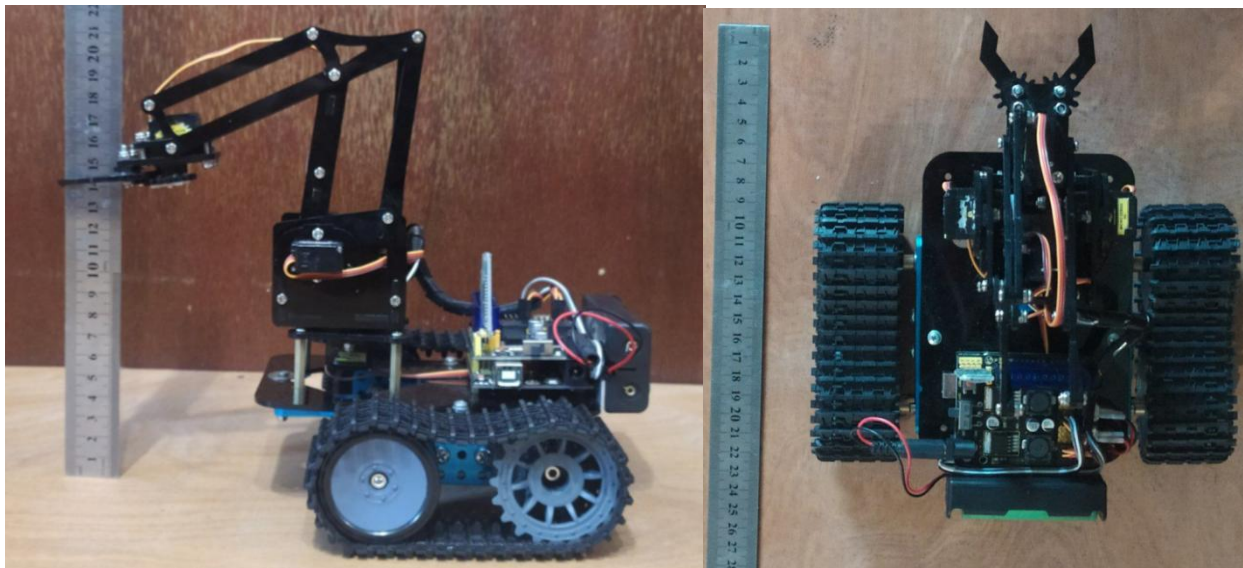
В ході випробувань визначаються такі характеристики:

- габарити макета;
- вага макета;
- швидкість платформи у режимі 1 та режимі 2;
- прохідність платформи;
- робоча зона маніпулятора;
- швидкість руху маніпулятора;
- максимальна вага вантажу;
- максимальні розміри вантажу;
- споживання струму;
- дальність зв'язку.

В ході вимірювання масо-габаритних характеристик макету було встановлено такі значення:

Таблиця 3.1 – масо-габаритні характеристики макету

Довжина без маніпулятора	180 мм
Довжина з маніпулятором при мінімальному вильоті стріли	240 мм
Довжина з маніпулятором при максимальному вильоті стріли	370 мм
Ширина	210 мм
Мінімальна висота	190 мм
Максимальна висота	220 мм
Вага без акумуляторів	740 г
Вага з акумуляторами	840 г



А

Б

Рисунок 3.11 – Фото макета роботизованої системи з маніпулятором на борту: А – вид збоку; Б – вид зверху

Вимірювання швидкості макету відбувається наступним чином:

Макет мобільної роботизованої системи з маніпулятором на борту розміщується на випробувальному треку (рис.3.12) довжиною 1м, з відмітками кожні 0,25м. Під час експерименту відбувається вимір часу, за який платформа долає певну відстань. Далі за формулою $v = \frac{s}{t}$ визначається швидкість. Провівши декілька експериментів визначається середнє значення швидкості.

Були розглянуті такі характеристики швидкості руху макету:

- швидкість у режимі 1 при повному заряді акумуляторів;
- швидкість у режимі 1 при низькому заряді акумуляторів;
- швидкість у режимі 2 при повному заряді акумуляторів;
- швидкість у режимі 2 при низькому заряді акумуляторів;
- мінімальна швидкість.



Рисунок 3.12 – Макет роботизованої системи з маніпулятором на борту на треку для дослідження кінематичних параметрів

Під час випробувань отримані наступні результати:

Таблиця 3.2 – швидкісні характеристики макета

Умова	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3	Середнє значення
Режим 1 повний заряд	0.144 м/с	0.152 м/с	0.139 м/с	0.145 м/с
Режим 1 низький заряд	0.117 м/с	0.126 м/с	0.13 м/с	0.124 м/с
Режим 2 повний заряд	0.392 м/с	0.384 м/с	0.383 м/с	0.386 м/с
Режим 2 низький заряд	0.263 м/с	0.254 м/с	0.259 м/с	0.257 м/с
Мінімальна швидкість	0.083 м/с	0.09 м/с	0.079 м/с	0.084 м/с

Можемо спостерігати, що в режимі 1, в залежності стану розряду акумуляторів, швидкість падає приблизно на 15%. В режимі 2 з розрядом акумуляторів швидкість може падати приблизно на 35%.

Прохідність платформи визначається двома характеристиками, а саме:

- висота перешкоди, яку платформа може подолати;
- максимальний кут підйому.

Висота перешкоди, яку платформа може подолати визначається наступним чином: на трек для дослідження характеристик макету встановлюється пластина певної висоти (рис. 3.13). Проводиться експеримент щодо її подолання. При успішному експерименті, висота пластини нарощується, поки не буде досягнуто межі прохідності макету.

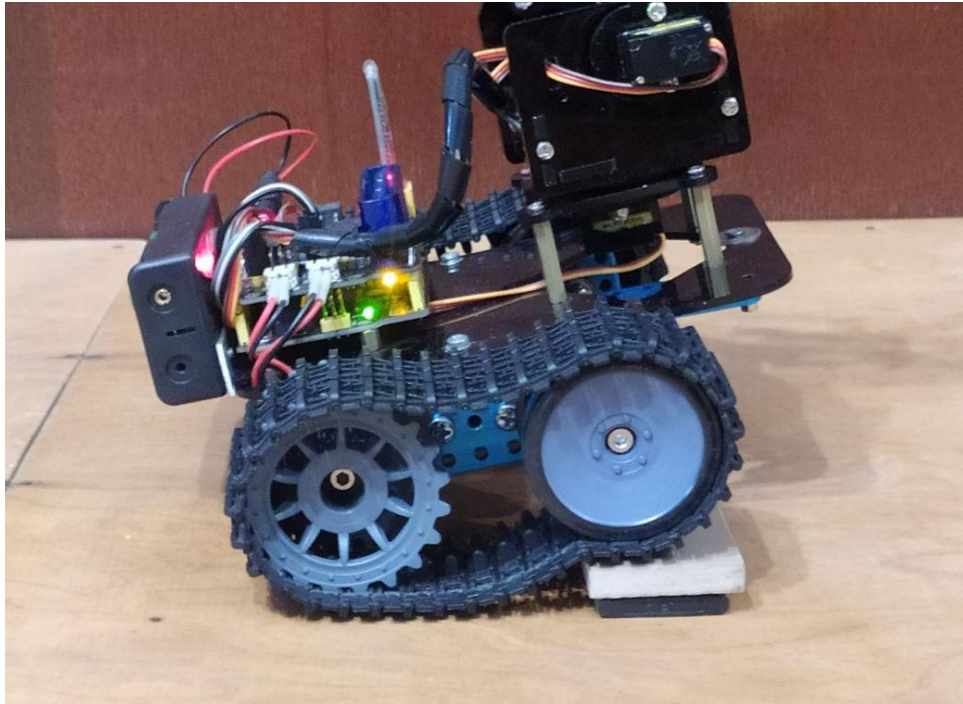


Рисунок 3.13 – Подолання перешкоди макетом роботизованої системи

В ході дослідження було встановлено, що межі прохідності рухомої платформи відповідає перешкода висотою 14мм.

Максимальний кут підйому визначається наступним чином: на трек під певним кутом встановлюється платформа, по якій має проїхати макет (рис.3.14). При вдалому пересуванні без втрати зчеплення з поверхнею, кут підйому підвищується до моменту, поки макет не втратить можливість їхати вперед.

В ході експерименту було встановлено, що максимальний кут підйому при руху по деревині становить 12° .

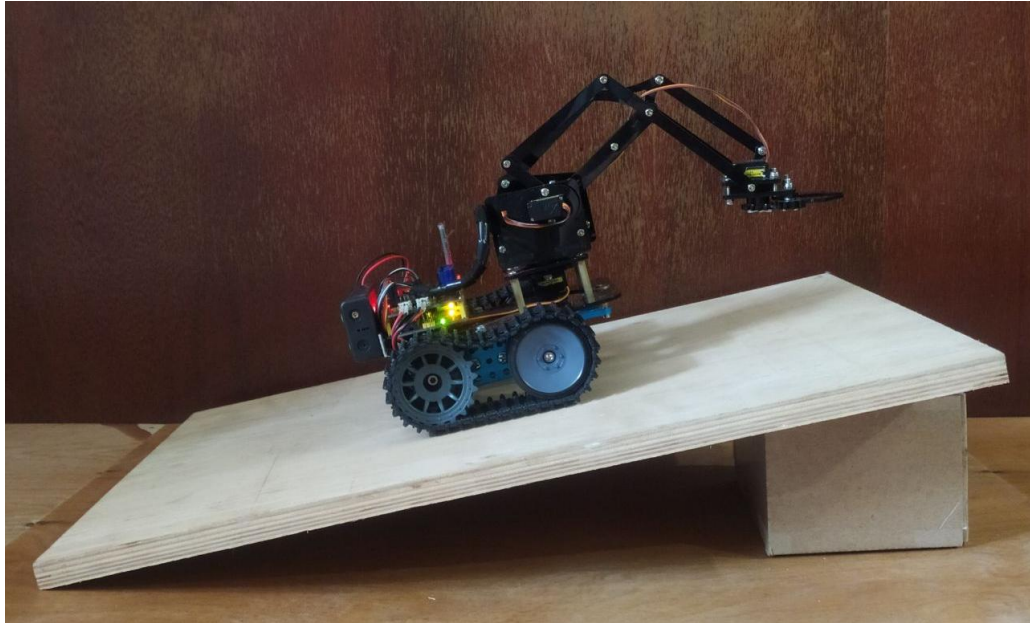


Рисунок 3.14 – Макет роботизованої системи на похилій площині

Для підвищення коефіцієнту тертя з поверхнею, платформу було покрито тканиною (рис. 3.15), що дозволило керувати макетом на поверхні з кутом підйому до 20° .

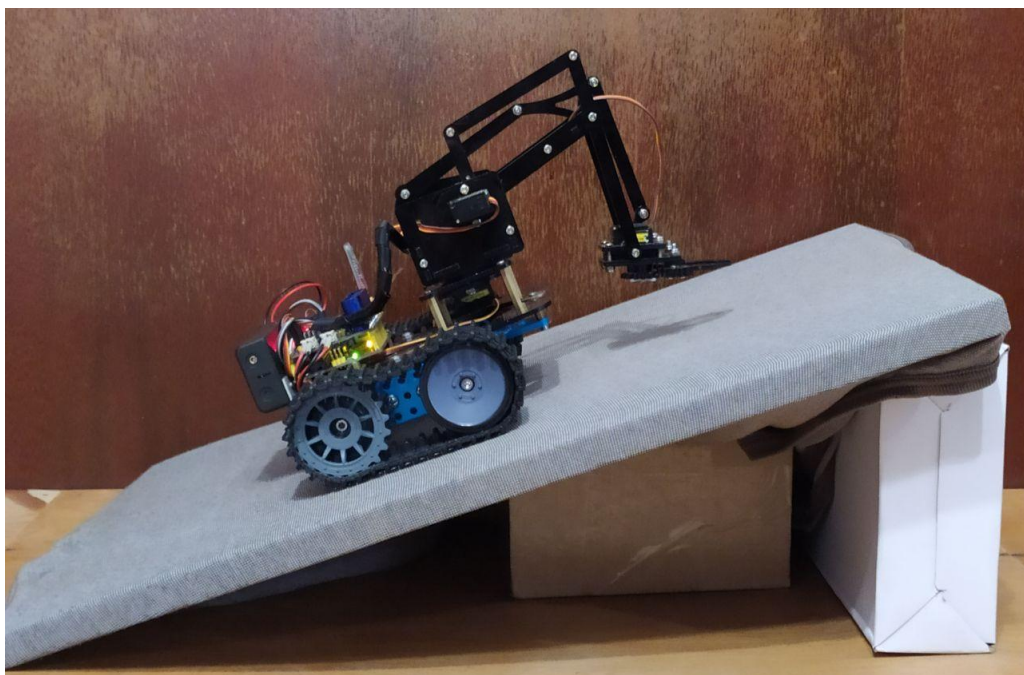


Рисунок 3.15 – Макет роботизованої системи на похилій
площині з підвищеним коефіцієнтом тертя

З результатів експерименту можна зробити висновки, що платформа вимагає допрацювання поверхні рушія, а саме встановлення на гусеницях вставок, (наприклад резинових), що підвищать коефіцієнт тертя з поверхнею.

В ході досліджень не було досягнуто кутів підйому, при яких спостерігається перекидання макету, що говорить про хороший розподіл маси та достатню довжину рушія. Проте збільшення довжини рушія дозволить підвищити максимальну висоту перешкоди.

Робоча зона маніпулятора являє собою сектор кільця. Кут цього сектору обмежений конструкцією макету. Радіуси, що його утворюють обмежені мертвою зоною маніпулятора, та довжиною його стріли. Візуалізацію робочої зони можна побачити на рисунку 3.16.

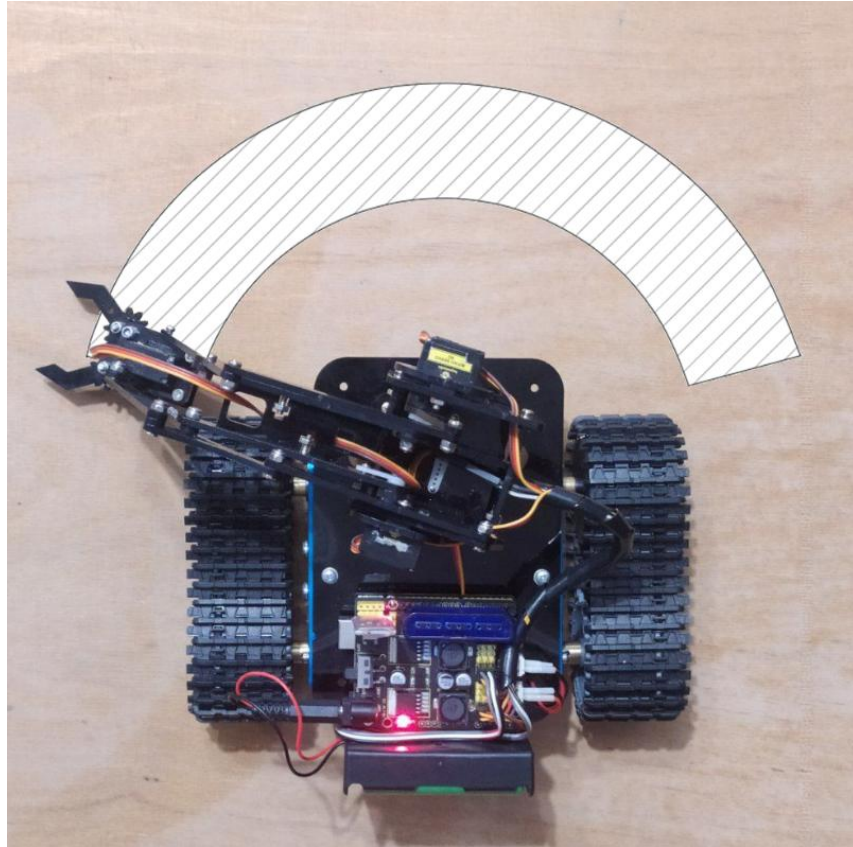


Рисунок 3.16 – Дослідження площі робочої зони бортового маніпулятора макета роботизованої системи

В процесі досліджень було встановлено наступні характеристики робочої зони маніпулятора:

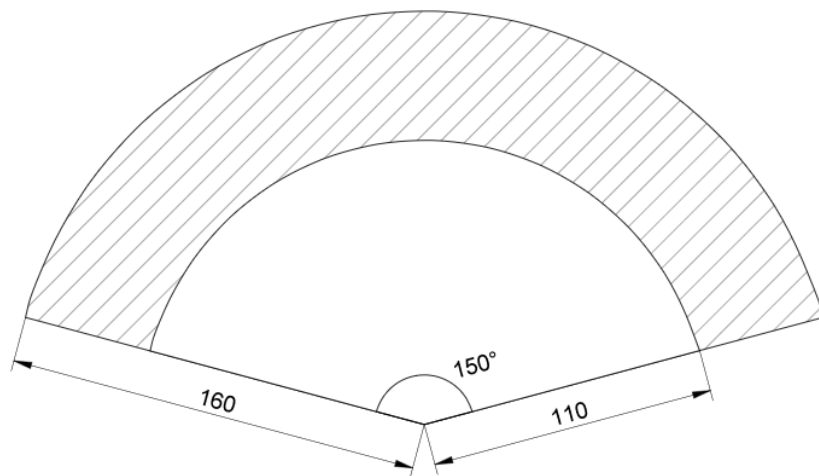


Рисунок 3.17 –Габарити робочої зони маніпулятора

Дослідження **кутової швидкості валу сервоприводу** полягає у вимірі часу, за який маніпулятор повернеться з одного крайнього положення своєї робочої зони у інше крайнє положення на максимальній швидкості. Знаючи, що сектор робочої зони обмежений кутом 150° , можна визначити кутову швидкість обертання. В даній конструкції швидкості всіх сервоприводів однакові.

В ході експерименту було визначено, що швидкість повороту валу сервоприводу становить приблизно $160^\circ/\text{с}$.

Максимальна вага вантажу, яким може оперувати маніпулятор, зумовлений потужністю сервоприводів та конструкцією маніпулятора.

В ході дослідження, яке полягало у поступовому навантаженні маніпулятора, було встановлено, що максимально допустима вага вантажу становить 60 г.

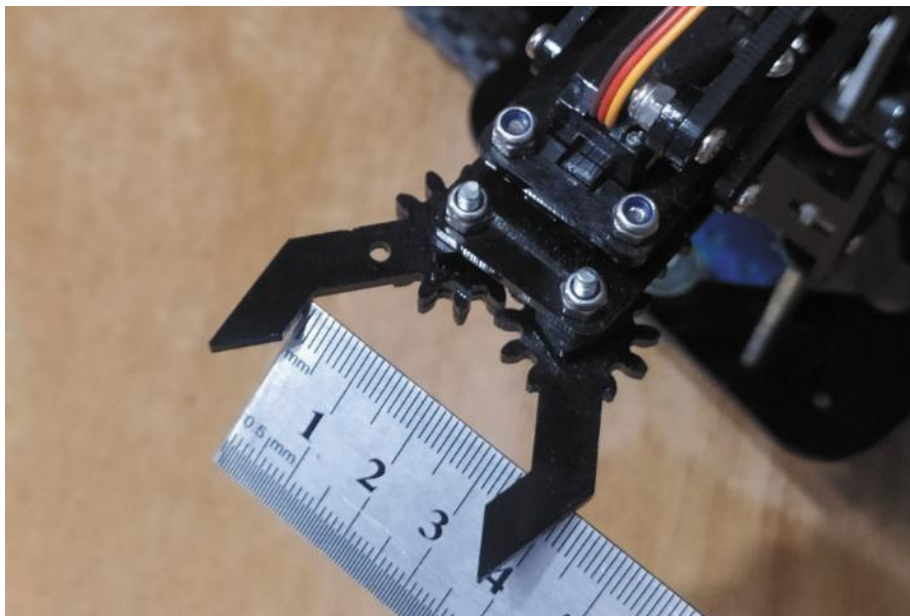


Рисунок 3.18 – Дослідження відстані між затискачами захвата бортового маніпулятора макета

Максимальні розміри вантажу зумовлені конструкцією захвату і становлять 35мм у найвужчому місці

Споживання струму макетом залежить від режимів його роботи та напруги на акумуляторах.

В ході дослідження було проведено виміри струму під час різних режимів роботи макету з напругою на акумуляторах 3.7в. Вимірювання проводились приладом ТЛ-4М. Отримані наступні значення:

Таблиця 3.3 – Споживання струму

Режим	Холостий хід	Під навантаженням
Струм спокою	100 мА	
Робота сервоприводів	200 мА	800 мА
Робота моторів режим 1	50 мА	500 мА
Робота моторів режим 2	50 мА	1000 мА

Дальність зв'язку в даній конструкції залежить від відстані між оператором та роботизованою платформою і від наявності перешкод між ними.

Дослідження дальності зв'язку полягало у проведенні експерименту у двох умовах, а саме: при прямій видимості з макетом роботизованої системи та при перешкоді у вигляді цегляної стіни товщиною 0,4м. На макет передавалося п'ять випадкових команд. При виконанні всіх команд, зв'язок визначався, як стабільний. При проходженні хоча б однієї команди, зв'язок вважався, як частково втрачений. При відсутності реакції макету на команди, зв'язок вважався втраченим повністю.

Таблиця 3.4 – Дальність зв'язку

	Часткова втрата зв'язку	Повна втрата зв'язку
Пряма видимість	17 м	22 м
Цегляна стіна 0.4м	5 м	7 м

3.4 Розробка засобів корекції перехідних процесів за допомогою програмного забезпечення

Використання програмованих мікроконтролерів у автоматизованих системах керування надає змогу задавати перехідну функцію у вигляді математичних формул. Завдяки цьому можливо точно моделювати роботу системи та швидко вносити корекції у її роботу.

В даній роботі розглядається керування виконавчими елементами, а саме сервоприводами та моторами постійного струму за експоненційним законом.

Перехідний процес для керування сервоприводами реалізований за наступним алгоритмом:



Рисунок 3.19 – Функціональна схема алгоритму перехідного процесу керування сервоприводами

Перехідну функцію даного алгоритму можна подати, як:

$$y = \frac{k_{exp}^x * \alpha_{max}}{k_{max}}, \text{ де}$$

y – кут повороту сервоприводу за одну ітерацію; x – значення з джойстика; k_{exp} – коефіцієнт експоненційності; α_{max} – максимальний кут повороту за одну ітерацію; k_{max} – значення коефіцієнту експоненційності, піднесеного до максимального значення x

Коефіцієнт експоненційності k_{exp} підраховується таким чином, щоб при максимальному значенні x отримати таке значення k_{max} , яке необхідне для подальших обчислень.

Даний алгоритм використовується також для керування моторів, які керуються сигналом ШІМ, для налаштування якого у середовищі Arduino

використовуються значення від 1 до 255. Відповідно, значення k_{max} прийнято, як 250.

Значення, що зчитуються з джойстика лежать у межах від -100 до 100. Алгоритм керування сервоприводами виконується тоді, коли модуль значення, що зчитане з джойстика, більше за 20. Таким чином, параметр x лежить у межах від 20 до 100.

Відповідно, коефіцієнт експоненційності k_{exp} розраховується таким чином, щоб при його піднесенні до степеню 100 отримати значення 250.

$$k_{exp}^{100} = 250, \text{ тоді}$$

$$k_{exp} = 250^{\frac{1}{100}} = 1.05676738232$$

Максимальний кут повороту сервоприводу за одну ітерацію обрано, як $\alpha_{max} = 4^\circ$.

Тоді перехідна функція буде виглядати, як:

$$y = \frac{1.0568^x * 4}{250}, x \in [20; 100]$$

Відповідно до розрахованих значень побудуємо графік залежності кута повороту сервоприводу за одну ітерацію від значень з джойстика:

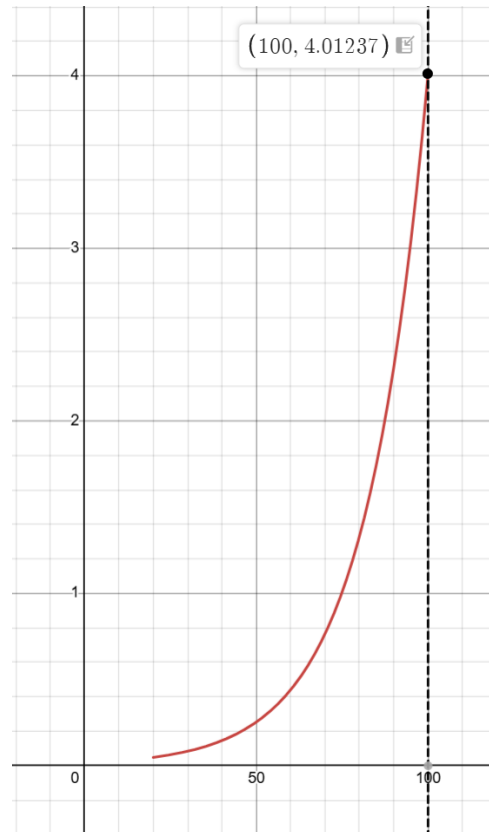


Рисунок 3.20 – Графік перехідної функції системи керування сервоприводами

Можемо бачити, що при значенні $x = 100$, функція набуває значення, дуже близьке до 4° .

Код програми для мікроконтролера Arduino Uno, що реалізовує перехідну функцію наведено на рисунку 3.21:

```
if (abs(joyValue) > deadZone) {
    if (!servos[i].attached()) {
        servos[i].attach(servoPins[i]);
    }

    float normalized = abs(joyValue);
    float expSpeed = pow(expFactor, normalized);
    float speed = expSpeed / expMax * maxSpeed;
```

Рисунок 3.21 – Код, що реалізовує перехідну функцію системи керування сервоприводами

Керування моторами постійного струму у складі рушія мобільної платформи керуються за подібним алгоритмом:



Рисунок 3.22 – Функціональна схема алгоритму перехідного процесу системи керування моторами постійного струму

Перехідну функцію даного алгоритму можна подати, як:

$$y = k_{exp}^x * k_{vmax}, \text{ де}$$

y – швидкість двигуна постійного струму; x – значення з джойстика; k_{exp} – коефіцієнт експоненційності; k_{vmax} – коефіцієнт обмеження швидкості у заданому режимі керування

Межі значень y зумовлені налаштуванням ШІМ в середовищі Arduino і лежать у проміжку від 1 до 256.

Перехідна функція для режиму керування 1 виглядає, як:

$$y = 1.0568^x * 1$$

Перехідна функція для режиму керування 2 виглядає, як:

$$y = 1.0568^x * 0.5$$

Код програми для мікроконтролера Arduino Uno, що реалізовує перехідну функцію наведено на рисунку 3.22:

```
if (abs(joyB) > deadZone) {
    float normalized = abs(joyB);
    float expSpeed = pow(expFactor, normalized);
    float speed = expSpeed * maxMotorSpeed;

    digitalWrite(motorBPin, joyB > 0 ? HIGH : LOW);
    analogWrite(motorPWMB, speed);
} else {
    analogWrite(motorPWMB, 0);
}
```

Рисунок 3.23 – Код, що реалізовує перехідну функцію системи керування моторами постійного струму

Графік залежності рівня сигналу ШІМ від значень з джойстика показано на рисунку 3.23:

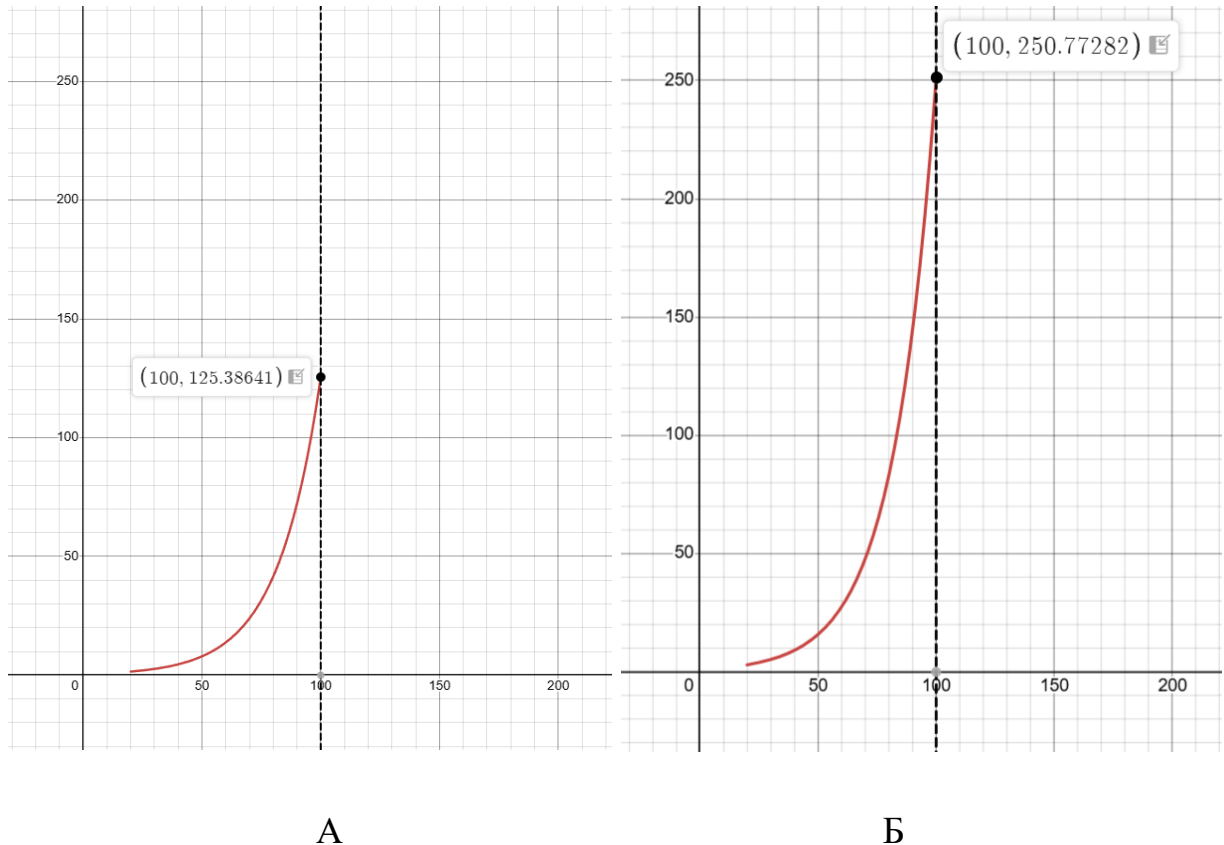


Рисунок 3.24 – Графік перехідної функції системи керування моторами постійного струму: А – Швидкісний режим 1; Б – Швидкісний режим 2

Можемо бачити, що в швидкісному режимі 2, при значенні $x = 100$, функція набуває значення, дуже близьке до 250.

Експериментальне дослідження перехідного процесу полягало у дослідженні осцилограм, знятих з контактів одного з двигунів постійного струму у складі рушія.

Для дослідження використовувався осцилограф С1-73. Час розгортки встановлений 0,5 мс/поділ, чутливість 5в/поділ.

Осцилограми, отримані в результаті дослідження, наведені на рисунку 3.25.

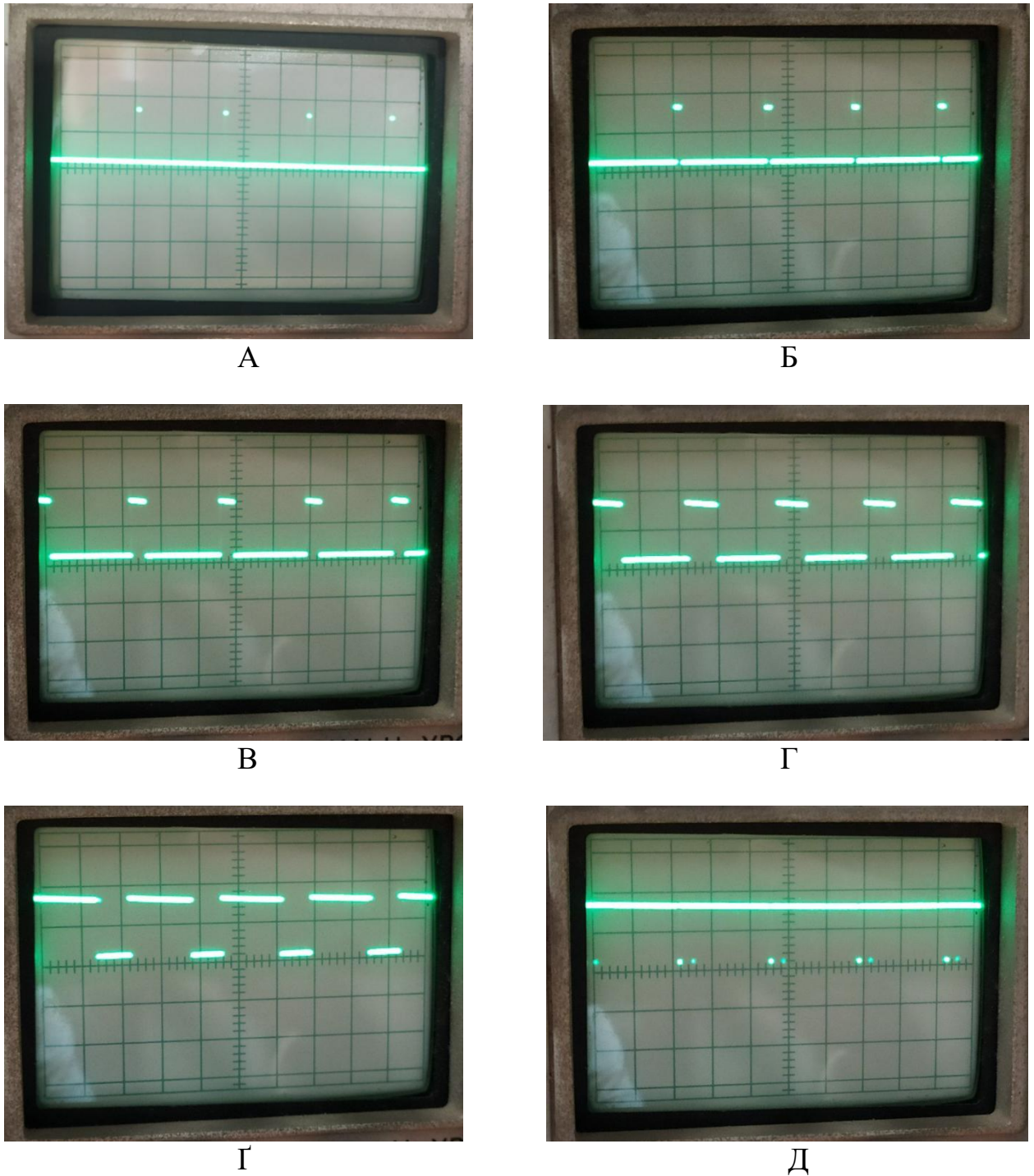
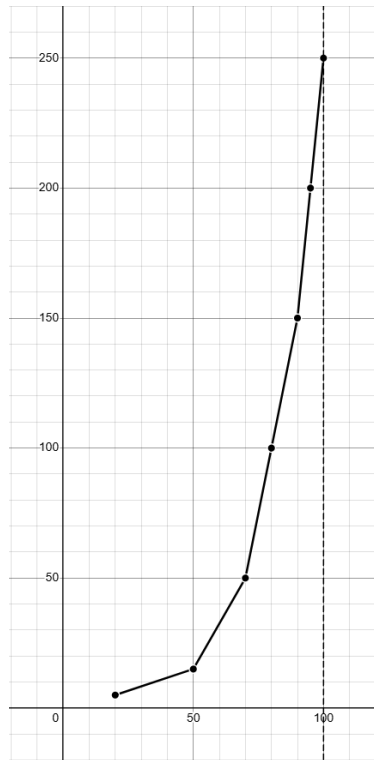
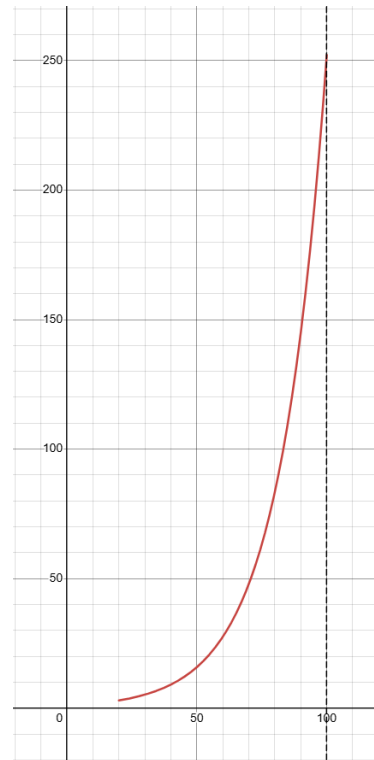


Рисунок 3.25 – Осцилограми сигналу керування двигуном постійного струму
при відхиленні джойстика на :
А – 20%; Б – 50%; В – 70%; Г – 80%; Г – 90%; Д – 100%

Відповідно результатам осцилограм побудовано графік залежності
рівня сигналу ШІМ від значень з джойстика:



А



Б

Рисунок 3.26 – Графіки перехідної функції системи керування моторами постійного струму: А – За результатами експерименту 1; Б – За результатами моделювання

Можна бачити, що експериментальний графік відповідає графіку, отриманому при моделюванні перехідного процесу системи керування.

Висновки до третього розділу

1) Використання модульних конструкцій під час розробки роботизованих систем має такі переваги, як гнучкість, здатність інтегрувати нові модулі, можливість швидко переналаштувати систему. Використання мікроконтролерів у їх складі дозволяє широко використовувати математичні вирази для налаштовування перехідних процесів систем автоматизованого керування, що значно розширює можливості адаптації під широкий спектр задач.

2) Доналаштування макета роботизованої системи з маніпулятором на борту значно підвищило якість керування та знизило навантаження на оператора. Впровадження системи автоматичного позиціонування маніпулятора дозволило значно прискорити процес переміщення корисного вантажу та знизити складність керування. Розробка алгоритму плавного позиціонування сервоприводів зменшила механічні навантаження на елементи системи та розширила її функціонал.

3) Розглянута конструкція має великий потенціал для удосконалення. Підсилення елементів маніпулятора дозволять проводити складніші операції з більшими та важчими об'єктами. Потенціал рушія дозволить значно підвищити прохідні якості платформи. Використання складнішого програмного забезпечення дозволить значно розширити функціонал та підвищити рівень автоматизації системи.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ОПЕРАТОРІВ

ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ПЛАТФОРМ

4.1 Нормативно-правові акти, що регламентують питання охорони праці при роботі операторів з екранними пристроями та комп'ютерним обладнанням

Експлуатація пристроїв, що містять екранні пристрої регламентовано наступними нормативно-правовими актами:

– наказ Міністерства соціальної політики України про затвердження вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, від 14.02.2018 № 207, що набув чинності 18 травня 2018 року, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 квітня 2018 р. за № 508/31960; [22];

– наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України про затвердження вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів, від 05.02.2014 № 99, що набув чинності 21 березня 2014 року, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014 р. за № 335/25112 [24];

– наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України про затвердження Правил улаштування електроустановок, від 21.07.2017 № 476, що набув чинності 21 серпня 2017 року [25];

– постанова Міністерства охорони здоров'я України, головного державного санітарного лікаря України про санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень від 01.12.1999 N 42 [23];

– ДСТУ EN 41003:2014 «Обладнання, яке підключають до телекомунікаційних мереж та/або кабельних розподільчих систем. Додаткові вимоги щодо безпеки»;

- ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання»;
- ДСТУ EN 62368-1:2017 «Обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій. Частина 1. Вимоги щодо безпеки».

4.2 Вимоги до приміщень для експлуатації екранних пристроїв та комп'ютерного обладнання

При проектуванні робочих приміщень з екранними пристроями необхідно дотримуватися принципів раціонального просторового розподілу, що забезпечує ергономічні умови праці та відповідає вимогам санітарного законодавства.

Оптимальна площа робочої зони на одного працівника має становити не менше 6 м² для стаціонарних робочих станцій та 4-5 м² для мобільних робочих місць з портативними пристроями. [23]

Такі параметри обумовлені необхідністю забезпечення вільного доступу до робочого місця, можливості безпечного пересування та розміщення необхідного обладнання.

Розміщення робочих місць повинно враховувати наступні технічні вимоги:

- мінімальна відстань між суміжними робочими станціями повинна становити 1,5 метра;
- орієнтація робочих місць має виключати пряме потрапляння сонячного проміння на екрани;
- розташування робочих місць має забезпечувати візуальний контакт з вхідними групами.

Освітлювальні системи робочих приміщень з екранною технікою повинні відповідати сучасним стандартам якості освітлення та забезпечувати оптимальні умови для зорової роботи.

Відповідно до чинних нормативних документів, освітлення має задовольняти наступним технічним характеристикам:

Природне освітлення:

- коефіцієнт природного освітлення (КПО) повинен становити не менше 1,5%;
- вікна повинні бути обладнані регульованими світлозахистними пристроями;
- співвідношення площі вікон до площі підлоги - не менше 1:6.

Штучне освітлення:

- нормована освітленість робочої поверхні - 300-500 люкс;
- індекс коливання освітленості не повинен перевищувати 10%;
- температура кольору джерел світла - 4000-5000K;
- коефіцієнт пульсації світлового потоку - не більше 5%.

Санітарно-гігієнічні вимоги до мікроклімату в приміщеннях з екранною технікою регламентуються спеціальними нормативними документами та передбачають дотримання наступних параметрів:

Температурний режим:

- холодний період року: 22-24°C;
- теплий період року: 23-25°C;
- допустимі коливання температури протягом зміни - не більше 3°C.

Параметри вологості:

- відносна вологість повітря: 40-60%;
- швидкість руху повітря: 0,1-0,2 м/с.

Системи вентиляції повинні забезпечувати:

- кратність повітрообміну не менше 30 м³/год на особу;
- концентрація CO₂ не більше 800 ppm;
- відсутність перепадів тиску між приміщеннями.

Шумовий режим робочих приміщень з екранною технікою регламентується відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 та передбачає:

Основні акустичні параметри:

- еквівалентний рівень звуку - не більше 60 дБ(А);
- максимальний рівень звуку - не більше 75 дБ(А);
- час реверберації - 0,6-1,0 с.

Заходи щодо зниження шумового навантаження:

- використання звукопоглинаючих матеріалів (коефіцієнт поглинання $\geq 0,7$);
- встановлення акустичних перегородок між робочими місцями;
- використання обладнання з рівнем звукової потужності ≤ 45 дБ [23].

Організація робочих місць з екранною технікою повинна відповідати сучасним стандартам ергономіки та забезпечувати:

Конструктивні параметри робочого столу:

- висота робочої поверхні: 720-750 мм;
- глибина робочої зони: не менше 800 мм;
- простір для ніг: висота ≥ 650 мм, ширина ≥ 500 мм.

Вимоги до робочого крісла:

- регулювання висоти сидіння в діапазоні 400-500 мм;
- наявність регульованої підтримки попереку;
- діапазон регулювання нахилу спинки 95-110°.

Розташування екранного пристрою:

- відстань від очей до екрана: 500-700 мм;
- кут нахилу екрана: 15-30° відносно вертикалі;
- висота верхнього краю екрана: на рівні очей або нижче.

Організація робочих місць з екранною технікою передбачає дотримання суворих вимог електробезпеки:

Основні вимоги до електропостачання:

- наявність заземлення з опором не більше 4 Ом;
- використання розподільчих пристроїв з захистом від перевантажень;
- наявність стабілізаторів напруги для критичного обладнання.

Заходи електромагнітного захисту:

- екранування кабельних трас;
- використання екранованих моніторів;
- дотримання санітарних норм щодо електромагнітного випромінювання.

Вимоги до експлуатації обладнання:

- заборона використання несертифікованих пристроїв;
- обов'язкове технічне обслуговування згідно з графіком;
- наявність інструкцій з безпечної експлуатації [26].

4.3 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями

Роботодавець зобов'язаний вжити комплексних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці для співробітників, які регулярно використовують екранні пристрої. Відповідно до вимог чинного законодавства, організація робочого процесу повинна базуватися на принципах профілактики професійних захворювань та створення оптимальних умов праці.

Основні організаційні вимоги включають:

- систематичне проведення інструктажів з техніки безпеки, зокрема щодо правил експлуатації обладнання, профілактики зорового втомлення та м'язо-скелетних розладів;
- розробку та затвердження внутрішніх регламентів, що передбачають оптимальний режим праці та відпочинку, з урахуванням тривалості робочої зміни та інтенсивності навантаження;
- забезпечення медичного супроводу, включаючи попередні та періодичні медичні огляди працівників з метою виявлення ранніх ознак професійних захворювань.

Згідно з вимогами ДСанПіН, періодичність проведення медичних оглядів має становити не рідше одного разу на два роки для працівників, які проводять за екраном понад 50% робочого часу. [8] При цьому особлива увага приділяється офтальмологічним обстеженням та діагностиці стану опорно-рухового апарату.

Сучасні екранні пристрої, що використовуються на робочих місцях, повинні відповідати міжнародним та національним стандартам безпеки. Технічні характеристики обладнання мають забезпечувати мінімізацію шкідливого впливу на організм працівника протягом тривалого періоду експлуатації.

До ключових вимог до технічного стану обладнання належать:

- сертифікація відповідності вимогам європейських (CE, RoHS) та національних стандартів (ДСТУ);
- регулярне технічне обслуговування з перевіркою стану апаратури, заміною застарілих компонентів та усуненням потенційно небезпечних дефектів;
- контроль параметрів випромінювання (електромагнітного, інфрачервоного, ультрафіолетового) з дотриманням гранично допустимих рівнів, встановлених санітарними нормами.

Згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98, інтенсивність електромагнітного випромінювання від екранних пристроїв не повинна перевищувати 25 Вт/м² на відстані 50 см від екрана. Коефіцієнт пульсації яскравості має бути не більше 5%, що забезпечує стабільність зорового сприйняття. [24]

Профілактичні заходи спрямовані на запобігання розвитку патологічних станів, пов'язаних із тривалою роботою за екраном. Вони включають як технічні, так і організаційні рішення, що базуються на сучасних медичних дослідженнях.

Основний комплекс профілактичних заходів включає:

- впровадження системи гімнастики для очей, що включає регулярні вправи для зняття зорового напруження (фокусування на віддалених об'єктах, масаж повік тощо);
- організацію фізкультхвилинок для профілактики м'язових дисфункцій (розминка шийного відділу, плечового пояса, кистей рук);
- забезпечення працівників окулярами зі спеціальними фільтрами (антибликовими, з комп'ютерним захистом) за показаннями офтальмолога.

Згідно з рекомендаціями МОЗ України, тривалість безперервної роботи за екраном не повинна перевищувати 2 години. Після цього необхідно робити 10-15 хвилинні перерви з проведенням спеціальних вправ. Для працівників з підвищеним ризиком розвитку зорової патології рекомендовані індивідуальні графіки роботи.

Сучасні дослідження доводять, що тривале використання екранних пристроїв може призводити до підвищення рівня стресу та емоційного вигорання. Тому організація робочого процесу повинна враховувати психофізіологічні особливості працівників [27].

Ключові аспекти забезпечення психологічного комфорту:

- оптимізація програмного інтерфейсу для зменшення когнітивного навантаження (інтуїтивне меню, адекватна кольорова гама, відсутність зайвих елементів);
- створення зон психологічного розвантаження у приміщеннях (кімнати релаксу, зони для короткочасного відпочинку);
- проведення тренінгів з тайм-менеджменту та технік протидії цифровому виснаженню.

Згідно з вимогами психофізіологічної ергономіки, кольорова гама інтерфейсів повинна бути витримана в холодних тонах (синій, зелений), що сприяє зниженню зорового напруження. Рекомендований коефіцієнт контрастності текстових елементів має становити не менше 3:1 по відношенню до фону.

Програмні продукти, що використовуються під час роботи з екранними пристроями, повинні відповідати сучасним стандартам ергономіки та доступності. Це особливо важливо для працівників, які проводять за комп'ютером більшу частину робочого дня. [28]

Основні вимоги до програмного забезпечення:

- мінімізація зорового навантаження (налаштування шрифтів, контрастності, частоти оновлення екрана);
- забезпечення ергономічної взаємодії (наприклад, підтримка гарячих клавіш для зменшення кількості рухів мишею);
- відповідність принципам доступності для користувачів з обмеженими можливостями.

Згідно з міжнародними стандартами WCAG 2.1, розмір шрифту в інтерфейсах повинен бути не менше 12 пунктів, а міжрядковий інтервал - не менше 1,5 від розміру шрифту. Для основних елементів інтерфейсу повинна бути передбачена можливість збільшення до 200% без втрати функціональності.

Ефективна система контролю за дотриманням вимог безпеки є невід'ємною частиною організації робочого процесу з використанням екранних пристроїв. Вона повинна охоплювати як технічні, так і організаційні аспекти.

Ключові елементи системи контролю:

- призначення відповідального працівника за умови праці з екранними пристроями;
- ведення журналів обліку стану обладнання, результатів медичних оглядів, проведених інструктажів;
- проведення аудитів відповідності робочих місць чинним нормативним вимогам (не рідше 1 разу на рік).

Відповідно до вимог наказу Міністерства охорони здоров'я України №246 від 21.05.2007, результати медичних оглядів повинні фіксуватися в індивідуальних картах працівників та аналізуватися для виявлення тенденцій до розвитку професійних захворювань. Особлива увага приділяється показникам зорової системи та стану опорно-рухового апарату [31].

4.4 Захист працівників від шкідливого впливу електромагнітного поля

Регулярний моніторинг рівнів електромагнітного випромінювання є обов'язковим елементом системи охорони праці на підприємствах, де працівники контактують з джерелами ЕМП. Вимірювальні процедури повинні проводитись з використанням сертифікованого обладнання, що відповідає міжнародним стандартам ІЕС 62233 та EN 50413. Особливу увагу слід приділяти зонам з підвищеним ризиком, де рівні випромінювання можуть наближатися до гранично допустимих значень. [24]

Основні вимоги до процедури вимірювань:

- проведення базових вимірювань при введенні нового обладнання в експлуатацію;
- щорічні планові вимірювання з фіксацією результатів у спеціальному журналі;
- позачергові вимірювання після будь-яких змін у конфігурації робочих місць;
- використання каліброваного обладнання з періодичністю перевірки не рідше 1 разу на 2 роки.

Сучасні наукові дослідження дозволили встановити чіткі нормативи безпечного впливу електромагнітних полів на організм людини. Ці норми враховують як термічний ефект, так і можливі нетермічні впливи на клітинному рівні. Для різних частотних діапазонів встановлені індивідуальні критерії безпеки, що базуються на міжнародних рекомендаціях ICNIRP та директивах ЄС.

Ключові граничні значення:

- для промислової частоти 50 Гц: електричне поле ≤ 5 кВ/м, магнітне поле ≤ 100 мкТл;
- для діапазону 100 кГц-10 МГц: щільність струму ≤ 10 мА/м²;
- для радіочастот 10 МГц-300 ГГц: питома швидкість поглинання $\leq 0,08$ Вт/кг.

Ефективна система захисту від ЕМП вимагає комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні та медико-профілактичні заходи.

Особливу увагу слід приділяти зонам з підвищеним рівнем випромінювання, де необхідно впроваджувати додаткові заходи безпеки.

Основні організаційні рішення:

- чітке зонування території з маркуванням небезпечних зон;
- розробка індивідуальних графіків роботи для персоналу з обмеженням часу експозиції;
- встановлення систем візуальної та звукової сигналізації про небезпеку;
- розробка алгоритмів дій при аварійних ситуаціях.

Сучасні технології пропонують широкий спектр засобів для зниження рівнів електромагнітного випромінювання на робочих місцях.

Вибір конкретних рішень залежить від виду обладнання, частотного діапазону та інтенсивності випромінювання.

Ефективні технічні рішення:

- застосування екранів з провідних матеріалів (мідь, алюміній) для локалізації випромінювання;
- використання поглинаючих покриттів на основі феромагнітних матеріалів;
- оптимізація конфігурації робочих зон для мінімізації впливу;
- встановлення систем дистанційного керування для зменшення часу перебування персоналу в зоні впливу.

Система медичного супроводу працівників, які займаються з джерелами ЕМП, повинна враховувати специфіку впливу електромагнітних полів на організм. Програма медичного контролю має бути розроблена з урахуванням індивідуальних особливостей працівників та умов їх роботи.

Ключові елементи медичного контролю:

- попередні медичні огляди з акцентом на стан нервової та серцево-судинної систем;
- періодичні огляди з проведенням клінічних та лабораторних досліджень;
- спеціальні обстеження після випадків наднормативного впливу;
- ведення індивідуальних медичних карток з фіксацією всіх параметрів здоров'я.

Ефективність заходів захисту значною мірою залежить від рівня обізнаності персоналу про ризики, пов'язані з впливом ЕМП. Програма навчання повинна охоплювати як теоретичні аспекти, так і практичні навички безпечної роботи.

Основні напрямки навчання:

- теоретичні основи біологічної дії ЕМП різних частотних діапазонів;
- практичні прийоми з мінімізації впливу випромінювання;
- алгоритми дій при аварійних ситуаціях;
- методи першої допомоги при гострому впливі ЕМП.

Система обліку та документування є важливим інструментом для моніторингу ефективності заходів захисту та дотримання нормативних вимог. Всі документи повинні бути оформлені згідно з чинними законодавчими вимогами.

Обов'язкові елементи документації:

- журнали вимірювань рівнів ЕМП з фіксацією дат, місць вимірювань та отриманих результатів;
- індивідуальні картки обстежень працівників; [29]
- протоколи інструктажів з підписами усіх учасників;
- акти перевірок умов праці з боку контролюючих органів [24].

Висновки до четвертого розділу

1) Сучасні вимоги щодо безпеки праці формують цілісну систему, яка охоплює технічні, організаційні та медико-профілактичні аспекти. Вони ґрунтуються на міжнародних стандартах і враховують комплексний вплив технологічних факторів на організм людини, включаючи не лише електромагнітне випромінювання, а й ергономічні, психофізіологічні та мікрокліматичні умови праці. Ця система спрямована на запобігання як негайним, так і віддаленим наслідкам професійного впливу.

2) Ключовим елементом ефективного захисту працівників є дотримання принципів профілактики, які передбачають регулярний моніторинг умов праці, застосування сучасних технічних засобів захисту та постійне вдосконалення організації робочого процесу. Особливе значення має індивідуальний підхід до кожного працівника, що враховує стан його здоров'я, індивідуальну чутливість до шкідливих факторів та специфіку виконуваної роботи. При цьому важливу роль відіграє не лише дотримання нормативних вимог, а й формування культури безпеки на всіх рівнях підприємства.

3) Для подальшого підвищення ефективності заходів захисту пропонується розвивати інтегровані системи управління охороною праці, які поєднують автоматизований моніторинг шкідливих факторів, сучасні методи аналізу ризиків та індивідуалізовані програми профілактики. Важливим напрямком є впровадження "розумних" систем попередження небезпечного впливу, розширення програм медичного супроводу та активізація наукових досліджень у галузі професійної гігієни. Особливу увагу слід приділити розробці нових національних стандартів, які враховуватимуть світовий досвід та специфіку вітчизняних умов праці.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи за темою «Роботизована система, що керується через додаток андроїдним смартфоном» була розроблена мобільна дистанційно керована роботизована система з маніпулятором на борту. Отримані результати задовільняють поставлені задачі та вимоги.

Досліджені основні тенденції галузі. Розглянуті існуючі приклади автоматизованих систем керування, конструктивні рішення, на яких базуються автоматизовані системи керування. Проведено дослідження існуючих патентів у галузі.

Сформульовані основні вимоги та задачі до роботизованої системи, розглянуто структуру апаратної частини, її елементну базу. Визначена конструкція рухомої платформи з маніпулятором на борту. Розроблені функціональна схема та схема електронна принципова. Проведена збірка макету відповідно розробленим схемам.

Розроблена автоматизована система дистанційного керування, що використовує андроїдний смартфон у якості панелі керування та стандарт зв'язку bluetooth для з'єднання з макетом роботизованої платформи.

Сформульована програма випробувань для перевірки роботи всіх систем макету та визначення його характеристик.

Проведено дослідження роботи макету рухомої платформи з маніпулятором на борту, допрацьовані недоліки, проведено доналаштування автоматизованої системи керування, запропоновані подальші варіанти вдосконалення.

Проведено низку експериментів, під час яких було визначено характеристики системи, а саме: масо-габаритні параметри макета , параметри маніпулятора, рушія, стійкості зв'язку, споживання струму системою, прохідні та вантажопідйомні якості.

Проведено моделювання перехідних процесів автоматизованої системи керування та експерименти, що підтвердили розрахунки.

Досліджено нормативно-правові документи щодо охорони праці операторів дистанційно-керованих систем, сформовані основні вимоги до умов праці.

Результати роботи доводять, що в наявному стані галузі можлива масштабна інтеграція смартфона у системи дистанційного керування на багатьох рівнях, від побутових приладів до важкої промисловості. Використання смартфона значно спрощує вимоги до навичок оператора, знижує вартість автоматизованих систем керування та дозволяє швидко перелаштовувати існуючі системи під інші задачі та розширення функціоналу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. DJI Agras T30 - Ein neues digitales Flaggschiff für die Landwirtschaft. DJI. URL: <https://www.dji.com/global/t30> (date of access: 07.11.2024).
2. » Mugin EV350 (KIT) Full Electric Carbon Fiber VTOL UAV Platform. URL: <https://www.muginuav.com/product/mugin-ev350-carbon-fiber-full-electric-vtol-uav-platform/> (дата звернення: 07.11.2024).
3. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. НАЗЕМНІ РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ: Монографія. Житомир: ПП "Рута", 2003. 524 с.
4. Пульт керування талем (тельфером) – радіоуправління. Головна. URL: <https://kzpto.com.ua/uk/pult-keruvannya/> (дата звернення: 16.11.2024).
5. 4х радіокерування Futaba Skysport 4YF 35 МГц (1-F4053-1) – відгуки, характеристики, фото. Радіокеровані моделі та аксесуари: інтернет магазин радіокерованих моделей - modelistam.com.ua. URL: <https://modelistam.com.ua/ua/radioupravlenie-futaba-skysport-4yf-mgts-p-517/> (дата звернення: 16.11.2024).
6. WI-FI модуль ESP8266 ESP-01S купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod2892-esp-01s-WI-FI -modyl-esp8266> (дата звернення: 16.11.2024).
7. САМОХІДНИЙ АВТОНОМНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТАЛЕВИХ ПРЕДМЕТІВ: пат. UA156083U Україна: F41H 11/136 (2011.01). № и 2023 03943; заявл. 18.08.2023; опубл. 09.05.2024. 7 с.

8. РУХОМИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОПТОЕЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЮ: пат. UA143653U Україна: F17D 5/06 (2006.01). № u 2020 00742; заявл. 07.02.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15. 9 с.

9. Ks0001 keyestudio UNO R3 BOARD - Keyestudio Wiki. Keyestudio Wiki. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0001_keyestudio_UNO_R3_BOARD (дата звернення: 21.02.2025).

10. Keyestudio UNO R3 Development Board TB6612FNG Motor/Servo Drive Shield with PS2 Socket. keyestudio. URL: <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-uno-r3-development-board-tb6612fng-motor-servo-drive-shield-with-ps2-socket> (дата звернення: 21.02.2025).

11. Keyestudio HC-06 Wireless Bluetooth Module for Arduino. keyestudio. URL: <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-hc-06-wireless-bluetooth-module-for-arduino> (дата звернення: 21.02.2025).

12. Ks0194 keyestudio Micro Servo - Keyestudio Wiki. Keyestudio Wiki. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0194_keyestudio_Micro_Servo (дата звернення: 21.02.2025).

13. NINGBO LEISON MOTOR CO.,LTD. NINGBO LEISON MOTOR CO.,LIMITEED. URL: <https://www.nbleisonmotor.com/LS-25GA310-Dc-Gear-Motor-pd6487204.html> (дата звернення: 21.02.2025).

14. Ks0071 keyestudio Mini Tank Robot - Keyestudio Wiki. Keyestudio Wiki. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0071_keyestudio_Mini_Tank_Robot (дата звернення: 21.02.2025).

15. Ks0198 keyestudio 4DOF Robot Mechanical Arm Kit for Arduino DIY - Keyestudio Wiki. Keyestudio Wiki. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0198_keyestudio_4DOF_Robot_Mechanical_Arm_Kit_for_Arduino_DIY (дата звернення: 21.02.2025).

16. Відсік для 2 батарей AA, 3В бокс кейс з дротами, Arduino: продаж, ціна у Рівному. Набори та компоненти для самостійного збирання електроніки від "Saga Market" - 1401056079. "Saga Market" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://saga-market.com.ua/ua/p1401056079-boks-batarei-kejs.html> (дата звернення: 21.02.2025).

17. Arduino IDE. URL: C (дата звернення: 23.02.2025).

18. Remote control Arduino - RemoteXY. *Remote control Arduino - RemoteXY*. URL: <https://remotexy.com/> (дата звернення: 23.02.2025).

19. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04> (дата звернення: 21.03.2025).

20. Working of Sonar sensor fig2. URL: https://www.researchgate.net/figure/Working-of-Sonar-sensor_fig2_328018578 (дата звернення: 21.03.2025).

21. keyestudio Robot. KS0428 keyestudio Mini Tank Robot Upgraded V2, 2020. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Xo7Ubev5mow> (date of access: 01.04.2025).

22. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями : Наказ М-ва соц.

політики України від 14.02.2018 № 207. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18#Text> (дата звернення: 11.05.2025).

23. Про санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : Постанова МОЗ України від 01.12.1999 № N 42. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення: 11.05.2025).

24. Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів : Наказ М-ва енергетики та вугіл. пром-сті України від 05.02.2014 № 99. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0335-14#Text> (дата звернення: 11.05.2025).

25. Про затвердження Правил улаштування електроустановок : Наказ М-ва енергетики та вугіл. пром-сті України від 21.07.2017 № №476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text> (дата звернення: 11.05.2025).

26. Охорона праці при роботі з комп'ютером. Бухгалтерські послуги. Аутсорсинг, аутстафінг | Компанія Вікторія. URL: <https://www.victorija.ua/dovidnik/osnovni-pravyla-dotrymannya-ohorony-pratsi-pry-roboti-na-personalnih-eom.html> (дата звернення: 15.05.2025).

27. Охорона праці та ПК, як безпечно працювати на персональному комп'ютері | Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека. URL: <https://oppb.com.ua/articles/ohorona-praci-ta-pk-yak-bezpechno-pracyuvaty-na-personalnomu-kompyuteri> (дата звернення: 15.05.2025).

28. Інструкція з охорони праці при роботі на персональному комп'ютері. Календар бухгалтера. URL: <https://services.uteka.ua/ua/publication/zrazky-34-trudovi-vidnosyny-ta-oplata-pratsi-138-instrukciya-po-oxrane-truda-pri-rabote-na-personalnom-kompyutere-obrazec> (дата звернення: 15.05.2025).

29. Медогляди працівників при роботі з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин - Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека. URL: <https://oppb.com.ua/news/medoglyady-pracivnykiv-pri-roboti-z-vizualnymy-dyspleynymy-terminalamy-elektronno> (дата звернення: 15.05.2025).

30. Інструкція з охорони праці під час користування електро побутовими приладами. Експертус Охорона праці – Цифрове видавництво Експертус. URL: <https://op.expertus.com.ua/forms/1529> (дата звернення: 15.05.2025).

31. Медичний огляд працівників. Довідник спеціаліста з охорони праці. URL: <https://pro-op.com.ua/article/1423-medoglyadi-pratsvnikv#:~:text=Медогляди%20працівників%20проводять%20для%20того,п рофілактики%20виникнення%20та%20розповсюдження%20інфекційних> (дата звернення: 15.05.2025).