




Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ**

Виконав студент 2 курсу, групи 1КІ-22м  
спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія  
 Ярцун В.В.

Керівник д.ф., ст.викл. каф. ОТ  
 Обертюх М.Р.  
" 15 " 12 2023 р.

Опонент к.т.н., доц. каф. ПЗ  
 Ракитянська Г.Б.  
" 18 " 12 2023 р.

Допущено до захисту  
зав. каф. ОТ  
д.т.н., проф. Азаров О.Д.



" 20 " 12 2023 р.

# ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки  
Галузь знань — Інформаційні технології  
Освітній рівень — магістр  
Спеціальність — 123 Комп'ютерна інженерія  
Освітня програма — Комп'ютерна інженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри обчислювальної техніки



д.т.н. проф. О.Д. Азаров  
"26" вересня 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту **Ярцуну Владиславу Вікторовичу**

1 Тема роботи «Автоматизована система управління рухомою платформою» керівник роботи Обертюх Максим Романович д.ф., старший викладач, затверджено наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247

2 Строк подання студентом роботи 14.12.2023.

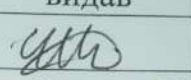
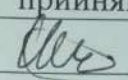
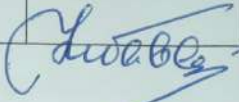
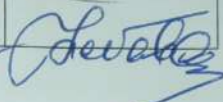
3 Вихідні дані до роботи: технічні параметри автоматизованих систем управління рухомими платформами.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналітичний огляд сучасного стану робототехніки, методи та засоби розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, моделювання та перевірка розробленої системи, економічний розділ, висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): технічне завдання, структурна схема, схема електрична принципова, блок-схема алгоритму керування, лістинг програми керуючого мікроконтролера.

6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.






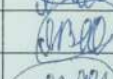
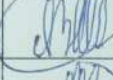







Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Обертюх Максим Романович д.ф., ст.викл.		
5	Небава Микола Іванович к.е.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 19.09.2023.

8 Календарний план виконання МКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання	Підпис
1	Постановка задачі	20.09-22.09.2023	
2	Аналітичний огляд існуючих рішень, опрацювання літературних джерел	22.09-30.09.2023	
3	Обґрунтування методів та засобів вирішення задачі	01.10-05.10.2023	
4	Розробка структурної та функціональної схем	05.10-10.10.2023	
5	Розробка апаратної частини	11.10-01.11.2023	
6	Розробка програмного забезпечення	01.11-15.11.2023	
7	Верифікація та моделювання	16.11-20.11.2023	
8	Розрахунок економічної частини	20.11-24.11.2023	
9	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	24.11-01.12.2023	
10	Виконання магістерської кваліфікаційної роботи	01.12-10.12.2023	
11	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	11.12-12.12.2023	
12	Підписи супроводжувальних документів у керівника, опонента, нормоконтролера	13.12.2023	
13	Перевірка «антиплагіат»	14.12.2023	
14	Попередній захист	18.12.2023	

Студент



Ярцун Владислав Вікторович

Керівник



д.ф., ст.викл. Обертюх Максим Романович

## АНОТАЦІЯ

УДК 685.1+004.7

Ярцун В.В. Автоматизована система управління рухомою платформою. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2023. 129 с. На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 29; табл.: 11.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. В роботі виконано аналітичний огляд існуючих рішень в області автоматизованого керування колісними платформами, методів та засобів розробки автоматизованих систем управління. Визначено основні існуючі проблеми автоматизованого керування колісними платформами, розглянуто відомі способи їх вирішення. Запропоновано вдосконалення апаратного забезпечення, розроблено програмне забезпечення для дистанційного керування платформою. Спроектвана автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою має наступний функціонал: віддалене керування через Wi-Fi, виявлення перешкод та попередження оператора про них, вимірювання температури та вологості навколишнього середовища. Новизна роботи полягає у реалізації дистанційного керування через протокол HTTP, що дозволяє на будь-якій відстані керувати платформою через браузер, вдосконаленні апаратної частини та програмного забезпечення. Графічна частина роботи включає структурну, функціональну та принципову електричну схеми, а також блок-схеми реалізованих алгоритмів.

Ключові слова: рухома платформа, автоматизація, керування, Arduino, ESP8266.



## **ABSTRACT**

УДК 685.1+004.7

Yartsun V.V. Automated moving platform control system. Master's thesis in the specialty 123 — Computer engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 129 p. In Ukrainian language. Bibliographer: 28 titles; fig.: 29; tabl.: 11.

The master's thesis is devoted to the design of an automated computer system for the control of a moving platform. The work includes an analytical review of existing solutions in the field of automated control of wheeled platforms, methods and means of developing automated control systems. The main existing problems of the automated control of wheeled platforms are identified, and the known ways of solving them are considered. Improvements to the hardware have been proposed, and software for remote control of the platform has been developed. The designed automated computer control system of the moving platform has the following functionality: remote control via Wi-Fi, detection of obstacles and warning the operator about them, measurement of temperature and humidity of the environment. The novelty of the work consists in the implementation of remote control through the HTTP protocol, which allows you to control the platform through a browser at any distance, improving the hardware and software. The graphic part of the work includes structural, functional and basic electrical diagrams, as well as block diagrams of implemented algorithms.

**Keywords:** moving platform, automation, control, Arduino, ESP8266.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....		<b>8</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РОБОТОТЕХНІКИ</b> .....		<b>11</b>
1.1 Історія розвитку робототехніки.....		11
1.2 Робототехніка та мехатроніка.....		15
1.3 Сфери застосування колісних рухомих платформ .....		17
1.4 Огляд існуючих автоматизованих систем управління рухомими платформами.....		23
1.5 Постановка задачі .....		32
<b>2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ</b> .....		<b>35</b>
2.1 Структура сучасних систем автоматизованого управління .....		35
2.2 Огляд сучасних мікроконтролерних платформ .....		38
2.2.1 Одноплатні мікрокомп'ютери Raspberry Pi .....		39
2.2.2 Плати на базі мікроконтролерів STM32 .....		42
2.2.3 Мікроконтролерна платформа Arduino .....		45
2.3 Методи передачі даних у автоматизованих системах управління.. ..		48
2.3.1 Зв'язок через Bluetooth .....		51
2.3.2 Зв'язок через Wi-Fi .....		53

					08-54.МКР.023.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Розроб.		Ярцун В.В.					5	129
Перевір.		Обернюх М.Р.						
Опонент.		Ракитянська Г.Б.				ВНТУ, гр. 1КІ-22м		
Н. Контр.		Швець С.І.						
Затверд.		Азаров О.Д.						

2.4	Методи передачі даних у автоматизованих системах управління..	55
2.5	Методи та засоби комп'ютерного моделювання .....	57
<b>3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ .....</b>		<b>61</b>
3.1	Структура та функції автоматизованої системи управління.....	61
3.2	Вибір апаратного забезпечення .....	64
3.3	Вибір засобів розробки програмного забезпечення .....	76
3.4	Розробка електричної схеми .....	77
3.5	Розробка програмного забезпечення .....	83
<b>4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ .....</b>		<b>94</b>
4.1	Вибір засобів моделювання .....	94
4.2	Розробка та тестування моделі в середовищі Proteus .....	96
4.3	Інструкція оператора .....	98
4.4	Системні вимоги програмного забезпечення.....	99
<b>5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>		<b>101</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>		<b>125</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>		<b>127</b>
<b>ДОДАТОК А Технічне завдання.....</b>		<b>131</b>
<b>ДОДАТОК Б Структурна схема автоматизованої системи управління рухомою платформою.....</b>		<b>135</b>
<b>ДОДАТОК В Схема електрична принципова .....</b>		<b>136</b>

ДОДАТОК Г Блок-схема алгоритму керування .....	137
ДОДАТОК Д Лістинг програми керуючого контролера .....	138
ДОДАТОК Е Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень .....	142

					08-54.МКР.023.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7



## ВСТУП

Стрімкий розвиток інформаційних технологій протягом останніх десятиліть визначає нові горизонти можливостей для автоматизованих комп'ютерних систем в різноманітних галузях. Сфера застосування систем автоматизації стає дедалі ширшою. Дедалі більшу популярність набирають системи автоматизації з можливостями віддаленого керування, в той час як раніше для цього була необхідна безпосередня присутність оператора. Одними з найбільш актуальних напрямків розвитку систем автоматизованого управління є робототехніка та мехатроніка, до яких відноситься дане дослідження.

**Актуальність теми** обумовлена широкою сферою застосування рухомих платформ. У магістерській кваліфікаційній роботі розглядається автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою. Сьогодні рухомі платформи використовуються у багатьох галузях діяльності людини. Вони можуть бути застосовані для транспортування, забезпечення дистанційної роботи на потенційно небезпечних для людини ділянках тощо. Зважаючи на широку сферу застосування, рухомі платформи становлять інтерес для проведення наукових досліджень.

Одним з найбільш розповсюджених різновидів рухомих платформ є колісні платформи. Вони можуть мати різну кількість коліс. Одноколісні та двоколісні рухомі платформи, які є нелінійними нестійкими системами, є більш мобільними, проте вимагають складніших алгоритмів автоматичного керування для підтримки стійкості. Через цей недолік найбільше розповсюдження отримали чотириколісні платформи, які характеризуються більшою стійкістю і не вимагають складних алгоритмів для балансування. В даній роботі розглядається саме така чотириколісна рухома платформа.

Отже, актуальність дослідження обумовлена стрімким розвитком робототехніки та мехатроніки та дедалі більшою потребою застосування систем автоматизованого управління рухомими чотириколісними платформами у багатьох галузях.

**Метою дослідження** є вдосконалення автоматизованої комп'ютерної системи управління чотириколісною рухомою платформою та розширення її функціональних можливостей.

**Задачі**, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети:

- виконати аналітичний огляд існуючих автоматизованих комп'ютерних систем управління рухомими платформами;
- підібрати необхідне апаратне та програмне забезпечення;
- розробити апаратну частину автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою;
- розробити програмне забезпечення для мікроконтролера рухомої платформи, інтерфейс оператора, а також реалізувати їхню взаємодію.

**Методи дослідження**, застосовані для досягнення поставленої мети:

- системний аналіз;
- об'єктно-орієнтовані методи проектування;
- комп'ютерне моделювання.

**Об'єктом дослідження** є процеси автоматичного комп'ютерного управління рухомими об'єктами.

**Предметом дослідження** є процеси автоматичного комп'ютерного управління чотириколісною рухомою платформою.

**Наукова новизна** полягає в удосконаленні процесу віддаленого керування рухомою платформою та її функціональних можливостей за рахунок використання системи виявлення перешкод та збору даних про навколишнє середовище та віддаленого керування рухомою платформою через Wi-Fi, використовуючи протокол HTTP, веб-інтерфейс та оптимізації взаємодії мікроконтролера з модулем Wi-Fi, що гарантує сумісність з більшістю пристроїв, що мають доступ в Інтернет, без необхідності встановлення стороннього програмного забезпечення та дозволяє розробляти додаткове програмне забезпечення оператора, не обмежуючись виключно веб-інтерфейсом.

**Практичне значення** роботи полягає в тому, що розроблена автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою може

бути широко застосована у багатьох галузях. Можливість використання оператором веб-інтерфейсу дозволяє керувати платформою на будь-якій відстані з більшості пристроїв, що мають доступ в Інтернет, незалежно від встановленої операційної системи. Виявлення перешкод та вимірювання параметрів оточуючого середовища розширюють функціонал і можливості застосування рухомої платформи. Крім цього, в процесі розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою було застосовано комп'ютерне моделювання, що дозволяє наочно продемонструвати роботу системи і може бути використано для подальших досліджень.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РОБОТОТЕХНІКИ

## 1.1 Історія розвитку робототехніки

Робототехніка — це прикладна наука, присвячена розробці роботів — автоматизованих технічних систем [1]. Термін походить від поєднання слів «робот» та «техніка». За даними «Великої української енциклопедії», робот — це «автоматичний пристрій, що імітує поведінку живого організму, комп'ютерна програма, що регулярно виконує певну послідовність інструкцій зі збору та обробки інформації [2].

Основною задачею робототехніки є створення робототехнічних систем, які можуть бути застосовані для автоматизації певних технологічних процесів та операцій, в тому числі, небезпечних або важких для людини робіт. Робототехніка застосовується у багатьох галузях діяльності людини. Таким чином, робототехніка може бути промисловою, побутовою, авіаційною, будівельною, екстремальною (космічною, підводною, військовою) [1].

Термін «робототехніка» у 1942 році запропонував письменник-фантаст Айзек Азімов. У своєму оповіданні «Я, робот» він сформулював обов'язкові правила поведінки для роботів, дотримання яких є актуальним і в реальному житті [1]:

- робот не може завдати шкоди людині або допустити, щоб людині була заподіяна шкода, своєю бездіяльністю;
- робот має виконувати накази людини, крім тих, що суперечать першому пункту;
- робот має захищати себе, тільки якщо його дії не будуть суперечити першому та другому пунктам.

На сьогодні робототехніка стала невід'ємною частиною різноманітних галузей науки та виробництва і увага до неї стрімко зростає. Розвиток робототехніки призводить до того, що дедалі більше рутинної роботи виконують роботи, значно скорочуючи час виготовлення продукції, підвищуючи рівень

розвитку науки і дозволяючи розв'язати дедалі більше проблем, які раніше люди вирішити не могли.

Історія розвитку робототехніки тісно переплітається із загальною історією розвитку науки і техніки. Початком історії робототехніки можна вважати виникнення ідеї про створення живої істоти людиною. Найперші згадки античних роботизованих механізмів зустрічаються за часів Стародавньої Греції та епохи розквіту Римської Імперії [3]. Проте історія сучасної робототехніки починається з 1942 року, після введення терміну робототехніки та формулювання трьох основних законів робототехніки, згаданих вище. Далі розглянемо детальніше історію розвитку робототехніки, починаючи з середини 1940-х років.

В 1947 році було представлено перший у світі напівпровідниковий транзистор, що заклало початок бурхливому розвитку електроніки і, як наслідок, робототехніки. А вже у 1948 році Норбертом Вінером було сформульовано основні принципи кібернетики, які заклали основу для сучасної практичної робототехніки [4].

У 1951 році Раймондом Герцом було представлено перші механічні маніпулятори, призначені для роботи з небезпечними радіоактивними речовинами. Його пристрій повністю відтворював дії руки людини, подібно до аналогічних сучасних систем. В цьому ж році було опубліковано наказ про створення автоматичної системи управління військовою технікою [4].

Одного з найперших роботів в сучасному розумінні цього слова було розроблено наприкінці 1950-х років. У 1959 році (за деякими даними, у 1954 [5]) винахідник-самоучка Джордж Девол створив першого автоматизованого промислового робота Unimation, який виконував складальні завдання на одній з ліній у General Motors. Цей робот мав вагу близько двох тон, для виконання рухів використовувались гідравлічні приводи, точність маніпулятора становила 0,254 мм, а програма для нього була записана на магнітний барабан. Прийнято вважати, що сучасне роботобудування розпочалось саме з цього робота [4].

1960-ті роки характеризуються більш стрімким розвитком технологій, в тому числі, робототехніки. Саме тоді з'явився мобільний прото-робот «Beast», розроблений в Університеті Джона Гопкінза у США. Цей робот мав зародки власного інтелекту та міг орієнтуватись у просторі. У 1962 році на заводі Ford в Гуанчжоу було встановлено першого промислового циліндричного робота Versatran, розробленого компанією AMF. В 1965 році створено робота «Walking Truck», який мав допомагати солдатам у подоланні пересічної місцевості. У 1968-1969 роках було створено роботів-маніпуляторів «Стенфордська Рука» та «Щупальця». Також у 1969 році вперше було створено робота з технічним зором. Його роботу було продемонстровано у Стенфордському дослідницькому інституті. В цьому ж році Норвезька корпорація Trallfa для власного використання розробила перші у світі промислові фарбувальні роботи. Поштовхом до цього була нестача робочої сили в той період [4].

У 1970-х роках було розроблено значно більшу кількість робототехнічних систем, які застосовувались у найрізноманітніших галузях. У ці часи було створено мобільного робота, що вмів складати карти простору та орієнтуватись по ним, розроблено технологію інтелектуального технічного зору, завдяки якому роботи навчилися визначати місце розташування предметів та їх габарити. У 1971 році було запущено першу в Європі роботизовану лінію із застосуванням зварювальних роботів на заводі Daimler Benz. В 1973 році створили перший у світі шестиосьовий промисловий робот-маніпулятор, в якому електропривід використовувався для всіх осей. В цьому ж році розроблена новітня роботизована рука, яка була призначена для складання невеликих виробів, використовуючи для цього датчики дотику та сенсори зворотного тиску. Керування цим маніпулятором здійснювалось з використанням міні-ЕОМ. У 1974 році з'явився перший промисловий контролер, призначений для керування роботом, а також вперше був застосований цифровий мікропроцесор в контролері робота. Першим маніпулятором з управлінням на базі такого контролера став промисловий робот IRB 6. Він використовував 8-бітний мікропроцесор Intel, об'єм пам'яті якого становив 16 Кб. Контролер мав 16



цифрових входів/виходів, а для його програмування використовувались 16 клавiш та чотирирозрядний цифровий дисплей. Зi зростанням попиту на роботи з великою вантажопiдйомнiстю у галузi автомобiльної промисловостi, у 1975 році створили перший промисловий робот з вантажопiдйомнiстю до 60 кг. Він використовувався на заводi Saab у Швецiї [4].

У 1976 році робот вперше був застосований у космосi. Він являв собою манiпулятор, подiбний до механiчної руки i застосовувався в космiчних зондах Viking 1 та Viking 2 [4].

1978 рік вiдзначився появою нових складальних роботiв, якi дозволили значно скоротити кiлькiсть людей, зайнятих у рутинних операцiях, та пiдвищити швидкiсть перемiщення виробiв. У 1979 році в роботi було застосовано електроредуктори, що прийшли на змiну гiдравлiчним приводам. Завдяки цiй розробцi було вiдкрито нову еру в робототехнiцi [4].

У 1982 році IBM створила потужну i легко застосовну мову програмування, призначену спецiально для роботизованих систем автоматизацiї. У 1984 році на ринку з'являються новий тип роботiв SCARA, що використовує у своєму складi електродвигуни, завдяки чому роботи стали простiшими та надiйнiшими, зберiгаючи при цьому високу швидкодiю [4].

В 1985 році роботи вперше почали самостiйно виготовляти роботiв. Першою компанiєю, яка почала використовувати роботизованi промисловi лiнii для виробництва роботiв, була Fanuc [4].

У 1990-х роках розробляються принципово новi контролери. Вони мають бiльш зручний iнтерфейс та пiдтримують операцiйну систему Windows. Крім цього в контролерiв з'являється пiдтримка 6D-мишки, що значно спрощує та прискорює процес розробки керуючого програмного забезпечення. В цей же перiод роботи дедалi бiльше використовуються у вивченнi кратерiв вулканiв та космосу. У 1996-1997 роках на Марс вiдправляють марсохiд, за допомогою якого вдалося сфотографувати поверхню планети i дистанцiйно дослiдити геологiчні зразки [4].

Роботи 2000-х років стають все більш досконалішими і подібними до людей. Окрім оновлення зовнішності, вони вчаться розпізнавати навколишні об'єкти, грати на музичних інструментах, синхронізується між собою тощо. Еволюція роботів тісно пов'язана із загальним прогресом і продовжується до сьогодні.

## 1.2 Робототехніка та мехатроніка

Будь-яка машина складається з механічної та приводної частини, а також системи керування. Механічна частина утворена робочим органом, що виконує корисну механічну роботу, та механічною передачею, що змінює швидкість або характер руху. Приводна частина перетворює електричну енергію на механічну для приведення в дію робочих органів машини. Електромеханічна приводна частина складається з електричного двигуна та електричного силового перетворювача, що перетворює електроенергію для живлення обмоток двигуна. Саме цей перетворювач і відповідає за керування зусиллям, швидкістю, положенням валу двигуна, механічно пов'язаного з робочим органом [6].

Протягом останніх років у побудові нових поколінь машин чітко спостерігається тенденція передачі дедалі більшої кількості функцій від механічних вузлів до інтелектуальних (інформаційних, комп'ютерних, електронних), з яких будуються системи керування цими машинами. Інтелектуальні вузли, за необхідності, можна легко перепрограмувати для виконання нових завдань, завдяки чому значно розширюються функціональні можливості машин. Розвиток техніки постійно супроводжувався поступовим об'єднанням в єдине конструктивне ціле вузлів машин різної фізичної природи (електричних, механічних, електромеханічних, електронних, інформаційних тощо). Саме такий вид інтелектуальних машин називається мехатронними машинами [6].

Мехатроніка — це галузь науки та техніки, присвячена розробці та експлуатації машин, оснащених комп'ютерним керуванням, заснована на знаннях в області електромеханіки, електроніки, автоматики, мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій [6]. Назва отримана шляхом об'єднання

слів «механіка» та «електроніка». Ці поняття в єдиному слові означають інтеграцію знань у відповідних галузях науки й техніки, завдяки чому вдалося зробити великий якісний стрибок у розробці нових поколінь техніки та у виробництві новітнього обладнання та систем [7].

Інтеграція електромеханіки та мікроелектроніки призвела до утворення нових комплектних інтегрованих мехатронних модулів руху вузлів машин та робочих органів, а також до створення обладнання на їх основі [7].

На сьогоднішній день мехатроніка є одним з напрямків сучасної науки, технологій та техніки, що динамічно розвивається та визначає вигляд техносфери нового століття. Провідна тенденція розвитку сучасного машинобудування — перехід від механіки до мехатроніки. Головне завдання мехатроніки — створення інтелектуальних машин та рухомих систем, що мали б якісно нові функції та властивості. Предметом мехатроніки є процеси проектування та виробництва модулів, машин та систем для виконання заданих функціональних рухів, що передбачають цілеспрямоване механічне переміщення мехатронної системи, яке координується з паралельно керованими технологічними та інформаційними процесами [8].

Мехатронними системами називаються технічні системи, які виконують певні технологічні процеси, засновані на комплексному використанні механічних, електричних та інформаційних технологій. Отже, теоретичною основою мехатронних систем можна назвати сукупність методів формалізації математичних описів, прийнятих у механіці, електроніці та інформатиці [7].

Однією з важливих переваг застосування мехатроніки є підвищення твердості пружних кінетичних ланок, завдяки скороченню їхньої довжини, що призводить до зниження динамічних навантажень та сприяє підвищенню точності руху. Тобто, досягається синергетичний ефект від інтегрального виконання пристрою, коли позитивний ефект збільшується, порівняно з роздільним виконанням того ж самого пристрою [8].

Мехатроніка є наукою майбутнього, яка включає в себе комплекс ідей, засобів та методів для розробки комп'ютерно-контрольованих та програмованих

механічних систем із заданими функціями, які мають силові та енергетичні взаємодії з навколишнім середовищем. З огляду на сказане вище, мехатроніку можна розглядати як основу автоматизації будь-яких об'єктів і цим обумовлена її актуальність [9].

### 1.3 Сфери застосування колісних рухомих платформ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглядається розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Таку комп'ютерну систему автоматизованого креування можна віднести до робототехнічних та мехатронних систем, розглянутих у попередніх підрозділах. Рухомі платформи включають багато різновидів. Серед них найбільш розповсюдженими є колісні платформи, які складають основу великої кількості робототехнічних систем. Такі системи отримали широке застосування і щодня використовуються у багатьох сферах діяльності людини. З огляду на це, розглянемо детальніше сфери застосування робототехнічних систем на базі колісних рухомих платформ.

Головною властивістю будь-якої механічної, в тому числі, і робототехнічної системи є її корисність. Залежно від неї прийнято виділяти різновиди роботів. Серед таких різновидів є промислові, побутові, медичні, дослідницькі, ігрові, будівельні, військові, підводні, космічні тощо. При цьому роботи можуть бути розподілені на керовані й автономні і мобільні та стаціонарні. Крім цього, можна виділити основні п'ять напрямків розвитку робототехніки: промислова автоматизація та роботи, медичні роботи, безпілотники, штучний інтелект, логістика [4].

У розглянутих класифікаціях рухомі платформи найчастіше зустрічаються у складі промислових, побутових, будівельних, дослідницьких, ігрових та військових роботах. Рухомі платформи можуть бути як керованими, так і автономними, проте найчастіше зустрічаються саме керовані платформи. Якщо розглядати напрямки розвитку робототехніки, то рухомі платформи входять до розділів промислової автоматизації та роботів, логістики та штучного інтелекту.

Можливе застосування рухомих платформ і в інших напрямках робототехніки, проте лише в якості окремої складової більш складної робототехнічної системи.

Розуміння класифікації роботів дозволяє сформулювати більш чітке уявлення про можливі сфери застосування автоматизованих комп'ютерних систем управління рухомими платформами.

Часто автоматизована рухома платформа є частиною інших роботів, що виконують більш складні задачі, ніж переміщення у просторі, охоплюючи таким чином не лише ті галузі робототехніки, які пов'язані виключно з транспортуванням, але і ті, де переміщення робота на платформі необхідно для виконання інших задач.

Призначення роботів на базі автоматизованих рухомих платформ найрізноманітніші. Вони застосовуються майже у всіх сучасних сферах діяльності, наприклад, у медицині для виконання хірургічно точних операцій, які рука простої людини через біологічні особливості виконати не здатна, або у виробництві, де небезпечні для людини операції виконуються автоматизованим комплексом. Дуже часто використовуються роботизовані рішення у транспортній сфері, в якій пристрій у безпілотному режимі доставляє певний вантаж.

На сьогодні відомі різні способи класифікації роботів за різноманітними ознаками. Серед них є і такі, що засновуються на сферах застосування роботів. Такий підхід наочно демонструє, де можуть бути застосовані роботи, в тому числі, автоматизовані рухомі платформи. Розглянемо детальніше одну з таких класифікацій.

За сферою застосування всі робототехнічні системи можна розділити на шість основних груп [3]:

- промислові роботи;
- побутові роботи;
- соціальні роботи;
- медичні роботи;
- дослідницькі роботи;

— бойові роботи.

Промислових роботів можна назвати найбільш розповсюдженими у світі. Вони використовуються для виконання руху та керування в процесі виробництва. Найчастіше такі роботи є автономними пристроями, що включають механічний маніпулятор та програмований пристрій управління. Промислові роботи часто застосовуються для транспортування об'єктів у просторі. В свою чергу, промислові роботи також поділяються на різновиди: ливарні, складальні, фарбувальні, будівельні, транспортні, фасувально-сортувальні, сільськогосподарські, для механічної обробки тощо [3]. Рухомі платформи у складі промислових роботів найчастіше зустрічаються у транспортних, складальних та сільськогосподарських роботах. Сучасний складальний робот наведений на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 — Складальний робот «BEFARD»

Особливої уваги також заслуговують роботи на базі рухомих платформ у сільському господарстві, яке є центральною ланкою сучасного агропромислового комплексу України. Ці роботи призначені для автоматизації монотонних та трудомістких процесів. Всі існуючі моделі подібних роботів на



сьогодні існують виключно у вигляді дослідницьких прототипів і, поки що, не функціонують на полях та фермах. Важливим напрямком досліджень при цьому є розробка агропромислових роботів, оснащених спеціальними засобами пересування, які мінімізували б тиск робота на ґрунт [10]. Прикладом сільськогосподарського робота може бути робот «AgroBot» (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 — Сільськогосподарський робот «AgroBot»

Наступний вид роботів — побутові роботи, які можуть використовуватись виключно у побутових цілях для допомоги людині у повсякденному житті. Останнім часом вони набувають дедалі більшого поширення. Одним з прикладів такого побутового робота, який широко застосовується у повсякденності, є робот-пилосос (рис. 1.3), в основу якого також закладена автоматизована рухома платформа [3].



Рисунок 1.3 — Робот-пилосос Xiaomi Robot Vacuum E10

Соціальні роботи здатні автономно або напівавтономно взаємодіяти з людьми. Найчастіше вони допомагають отримувати потрібну інформацію або використовуються у розважальних цілях [3]. Прикладами таких роботів можуть бути іграшки, які також часто будуються на базі автоматизованих рухомих платформ.

Медичні роботи розроблені спеціально для виконання медичних та фармацевтичних маніпуляцій або для виконання інших операцій, так чи інакше пов'язаних зі здоров'ям людини, надання їй медичної допомоги та лікарських засобів [3]. В цій галузі рухомі платформи можуть зустрічатись у складі роботів фармацевтів або роботів аптек.

Дослідницькі роботи призначені для проведення досліджень. Найчастіше їх застосовують для збору та обробки даних про досліджувані об'єкти. Отримана інформація при цьому передається оператору у зручному для людини вигляді [3]. Прикладом застосування рухомих платформ у дослідницьких робототехнічних системах можуть бути космічні роботи, призначені для досліджень поверхонь інших планет. На рис. 1.4 наведений марсохід.

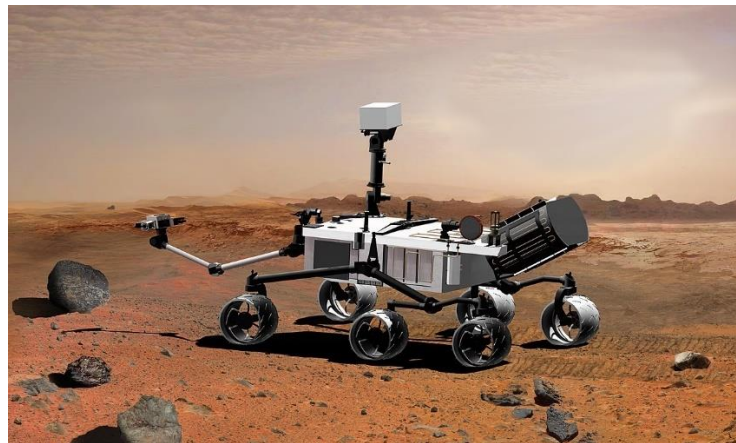


Рисунок 1.4 — Марсохід

Бойові роботи являють собою багатофункціональні технічні пристрої з поведінкою, подібною до поведінки людини, які можуть замінити людину під час виконання певних бойових операцій з метою збереження життя людей, захисту як військових, так і цивільного населення у зонах бойових дій.

Застосування таких роботів дозволяє значно зменшити втрати людей в бою, здійснювати розмінування, проводити розвідку, брати участь в активних бойових діях тощо [3].

Через повномасштабне вторгнення росії в Україну у 2022 році, розвиток бойових роботів став особливо важливим для України і протягом останніх місяців було розроблену велику кількість нових систем для розвідки, розмінування, транспортування, протиповітряної оборони, ведення наступальних операцій тощо. В умовах застосування засобів радіоелектронної боротьби постає проблема підтримки зв'язку із роботом та його автономної роботи. В даному випадку важливим є застосування надійних автоматизованих рухомих платформ з можливістю автономної роботи у випадку втрати зв'язку з оператором.

Для розмінування можуть бути застосовані роботи на базі колісних платформ, оснащені маніпуляторами (рис. 1.5). Такі роботи значно полегшують роботу саперів і забезпечують їхнє життя та життя цивільного населення, своєчасно виявляючи та безпечно знешкоджуючи вибухонебезпечні предмети.



Рисунок 1.5 — Робот-сапер

Існують також універсальні бойові роботи (рис. 1.6). Вони призначені для транспортування (в тому числі, для евакуації поранених), розвідки та ведення бою в автономному або напівавтономному режимі.



Рисунок 1.6 — Універсальний бойовий робот

#### 1.4 Огляд існуючих автоматизованих систем управління рухомими платформами

Автоматизовані рухомі платформи отримали широке застосування у багатьох сферах діяльності людини. Їх дедалі більше використовують у промисловій, побутовій, соціальній, медичній, військовій та дослідницькій галузях. Такий великий попит на рухомі платформи потребує проведення досліджень в області автоматизації процесів керування такими роботами.

Рухомі платформи мають багато різновидів, проте найбільш розповсюдженими серед них є колісні платформи. Вони можуть мати різну кількість коліс: від одного до десятків, складатися з одного чи декількох колісних модулів. Зазвичай колісні платформи застосовуються у промисловості, побуті, дослідницькій та військовій галузі. Кожен з різновидів колісних платформ є унікальним та має свої особливості автоматизації управління. Наприклад, одноколісні та двоколісні платформи у звичайному стані є нестійкими і потребують застосування спеціальних алгоритмів балансування для підтримки стійкого стану в процесі роботи.

На сьогодні відомо багато наукових досліджень, присвячених колісним рухомим платформам та автоматизованому керуванню ними. Дедалі більше дослідників вивчають оптимізацію рухомих платформ. До цього відносяться нові способи керування, покращення передачі даних, підвищення точності

переміщення у просторі, визначення координат, робота в умовах перешкод, в тому числі, непередбачуваних, оснащення платформ додатковими вимірювальними пристроями та маніпуляторами, розробка спеціалізованого програмного забезпечення для операторів тощо.

Більшість наукових статей, присвячених автоматизованому управлінню рухомими платформами розглядають їх як складову більш складних роботів, не обмежуючись виключно задачею переміщення платформи у просторі. Для переміщення при цьому можуть застосовуватись різні алгоритми, включаючи застосування штучного інтелекту на базі нейронних мереж та нечіткої логіки.

Для подальшого розгляду відомих наукових досліджень, присвячених автоматизованим комп'ютерним системам управління рухомими колісними платформами, необхідно класифікувати самі рухомі платформи, оскільки основні принципи та алгоритми керування ними можуть значно відрізнятись. Як видно з попередніх підрозділів даної роботи, найбільше поширення отримали саме колісні платформи. Тому, для зручності, враховуючи розповсюдженість, можна розподілити рухомі платформи на дві основні групи: колісні та інші рухомі платформи. Колісні платформи, в свою чергу, можна розподілити на три групи: одноколісні, двоколісні та багатоколісні. Запропонована класифікація дозволяє розглядати кожен різновид окремо і наочно порівняти керування колісними платформами, залежно від кількості коліс.

Почати розгляд наукових публікацій в області автоматизації управління рухомими платформами справедливо з рухомих роботизованих платформ в цілому, не обмежуючись виключно колісними платформами, які зустрічаються у більшості галузей діяльності людини. Тому розглянемо спочатку неколісні рухомі платформи. Одним з різновидів неколісних роботів є роботи з рухомими ніжками. У статті [11] розглядається автоматизована мехатронна система — робот-гексапод з можливістю розпізнавання об'єктів в режимі реального часу. Гексаподом називається програмована мобільна платформа, що має шість рухомих ніжок, прикріплених до «тіла» робота. Зовнішньо робот схожий на павукоподібних живих істот. Один з головних мотивуючих факторів для

розвитку роботів-гексаподів — їхня більша здатність переступати ніжками через невеликі перешкоди, порівняно з колісними та гусеничними роботами. Така особливість є надзвичайно важливою для застосування роботів у різноманітних небезпечних середовищах, таких як, наприклад, шахтні поля, або місцевість, на якій важливо зберегти положення робота. Автори статті вважають, що майбутнє за мобільними роботами, які набули величезного значення завдяки своїм перевагам, таким як підвищена гнучкість, висока ефективність, легкість та швидкість переміщення, а також безпека для людей [11].

Іншим поширеним різновидом рухомих платформ є мобільні роботи, побудовані на базі гусеничного шасі. Такий робот розглядається у [12]. Дослідження присвячено мобільному роботу, призначеного для вимірювання теплових показників об'єктів. Тобто, в даному випадку розглядається не переміщення платформи, а питання її практичного застосування у складі робота, призначеного для вимірювання певних показників. При цьому автори пропонують будувати такі системи не лише на гусеничних, але і на колісних платформах. Роботизовані платформи такого типу автори пропонують застосовувати у розвідці, оскільки вони дозволяють отримувати необхідну інформацію у важкодоступних та/або небезпечних для людей місцях. Їх застосування може значно знизити ризики під час розвідки [12]. Отже, актуально розглядати роботизовані системи з точки зору можливостей їхнього застосування у військовій галузі. Це стосується не лише гусеничних платформ але і будь-яких інших мобільних роботів. Особливо важливим при цьому залишається питання керування роботом на великих відстанях, а також питання автономної роботи в умовах застосування засобів радіоелектронної боротьби. Як бачимо зі згаданого дослідження [12], вимірювання характеристик оточуючого середовища також є актуальним питанням у сучасній робототехніці.

Далі пропонується розглянути публікації, присвячені колісним платформам, оскільки цей різновид зустрічається найчастіше і застосовується у багатьох галузях. Аналітичний огляд проведених наукових досліджень будемо



виконувати в порядку збільшення кількості коліс рухомих платформ, починаючи з одноколісних роботів.

Найбільший науковий інтерес з точки зору теорії автоматичного керування становлять одноколісні та двоколісні рухомі платформи. В даному випадку дослідження зводяться до стабілізації платформи у вертикальному положенні з використанням різноманітних регуляторів. У загальному випадку в таких дослідженнях не розглядають алгоритми переміщення робота або приділяють цьому мінімальну увагу. При цьому дослідження багатоколісних платформ спрямовані більше на керування переміщенням, оскільки вони не вимагають стабілізації у вертикальному положенні. Відомі також дослідження, присвячені роботам, що містять у складі рухомі платформи. Особливо актуальні останнім часом дослідження застосування колісних роботів у військовій галузі. Багатоколісні платформи дедалі частіше використовуються в якості основи роботів для розмінування, транспортування, розвідки тощо. Це обумовлено більшою надійністю, стабільністю та прохідністю багатоколісних платформ. Іншою їхньою перевагою є більша вантажопідйомність, порівняно з одно- та двоколісними рухомими платформами, за рахунок використання більшої кількості двигунів, редукторів.

Розглянемо детальніше наукові публікації, присвячені одноколісним та двоколісним рухомих платформам. Задачею автоматизованого управління в даному випадку є, в першу чергу, балансування для підтримки стійкості платформи.

Дослідженню одноколісних роботів присвячено порівняно небагато публікацій. Це обумовлено високою складністю керування, низькою стійкістю, оскільки така система є нелінійною, нестійкою і має багато ступенів свободи, а також порівняно вузькою сферою практичного застосування. Керування подібними роботами вимагає застосування складних регуляторів, які реалізують підтримку стійкості, та додаткового програмного забезпечення для руху по заданій траєкторії або у вказану точку. Такі автоматизовані комп'ютерні системи управління становлять найбільший інтерес для науковців, оскільки вони є

прикладом порівняно складнішої для автоматичного керування системою. Українськими дослідниками мало опрацьована тема одноколісних самобалансуючих роботів. Проте відомо про згадки таких систем в публікаціях українських науковців. Наприклад, у [13] згадується одноколісний мобільний робот. Він розглядається як відома система автоматичного керування, яку можливо було б застосувати для автоматизації управління рухом агрегатів по кривих в польових умовах. Авторами розглядається можливість застосування декількох таких роботів у складі багатоколісної рухомої платформи в якості керованих коліс. У статті згадується відома схема планування траєкторії для одноколісного мобільного робота, що має можливості обмеження швидкості, крутних моментів та кривизну траєкторії. Система характеризується мінімальним часом керування. Планування траєкторії засновується на розбитті всього шляху на окремі ділянки, що складаються з кривих та прямих ліній. Керування такою системою є складною задачею, особливо за умови врахування динаміки, що потребує значного періоду виконання [13]. Отже, одноколісні рухомі платформи перебувають на стадії активного дослідження, проте практичне застосування таких наразі зустрічається вкрай рідко.

Більшої уваги заслуговують двоколісні рухомі платформи, також відомі як самобалансуючі роботи. Вони отримали більш широке застосування, ніж одноколісні, мають порівняно вищу стійкість і навіть знайшли практичне застосування. Нерідко їх збирають в домашніх умовах на базі простих у вивченні мікроконтролерних платформ. В Інтернеті опублікована велика кількість матеріалів з детальними інструкціями з їх розробки. Відомо багато досліджень присвячених цим системам автоматичного керування. Одним з найбільш відомих двоколісних роботів є робот, розроблений Boston Dynamics (рис. 1.7). Його планується використовувати в якості складального промислового робота. Він оснащений маніпулятором, завдяки якому може піднімати і переносити предмети з одного місця на інше.

Такі роботи мають великий потенціал і можуть отримати широке розповсюдження у різних сферах промисловості, побуту, у військовій галузі

тощо. Останнім часом дослідження двоколісних роботів дедалі більше переходить до практичного застосування.



Рисунок 1.7 — Двоколісний робот Boston Dynamics

Систему автоматизованого управління двоколісною балансуною платформою розглядають у своїх дослідженнях дедалі більше науковців. Відомі роботи [14-16], що відображають результати останніх досліджень у цій сфері. Розглянемо детальніше відомі на сьогодні системи автоматизованого керування двоколісними самобалансуючими роботами.

У дослідженні [14] автори представляють автоматизовану мікропроцесорну систему регулювання і управління станом рухомої платформи. Завданням дослідження є забезпечення регулювання стійкого стану рівноваги двоколісної рухомої платформи у просторі, як у стані спокою, так і під час руху, забезпечивши при цьому можливість дистанційного керування платформою. Умовно це завдання можна розділити на дві основні частини. Перша частина — балансування, а друга — дистанційне керування. Для вирішення задачі самобалансування автори пропонують застосувати пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон регулювання. Функції ПІД-регулятора при цьому реалізовано з використанням мови програмування C++. Регулюючий вплив в даному випадку спрямовано на зміну напрямку та частоти обертання

електродвигунів платформи, завдяки чому компенсується відхилення центру ваги балансуючої платформи від точки рівноваги. Зв'язок рухомої платформи з оператором запропоновано забезпечити через Wi-Fi, завдяки використанню модуля на основі мікросхеми ESP8266. Для цього авторами була розроблена програма інтерфейсу та управління через бездротовий канал. При цьому автори, імовірно, відмовились від використання інших мікроконтролерних платформ, передавши всі функції керування та обміну даними контролеру ESP8266 [14]. Таке рішення дозволило зменшити собівартість готового виробу, спростити електричну схему та збільшити швидкодію програми за рахунок виключення необхідності обміну даними між двома контролерами.

Інші дослідження [15-16] спрямовані на застосування технологій комп'ютерного моделювання з метою підвищення якості автоматизованого управління двоколісною рухомою платформою. Автори відзначають переваги застосування саме двоколісних рухомих платформ, обґрунтовуючи їхню важливість. Згідно з цими дослідженнями, автоматизовані системи управління двоколісними рухомими платформами отримали широке застосування в якості основи для роботів та транспортних засобів. Найбільший інтерес такі системи представляють для дослідників та розробників систем автоматизованого управління, оскільки це хороший приклад нелінійних нестійких систем, дослідження яких дозволяє краще відпрацювати різні методи регулювання із застосуванням різноманітних регуляторів. Пропонується використовувати для підтримки стійкості ПД-регулятор або лінійно-квадратичний регулятор. При цьому оператор здійснює керування через спеціалізоване програмне забезпечення, що передає роботу команди через Wi-Fi. У цих дослідженнях також наводиться синтез математичного забезпечення двоколісної рухомої платформи. Для цього їх розглядають як систему типу «зворотний маятник» з точкою підвісу на осі коліс. На основі отриманого математичного забезпечення пропонується розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів [15-16] з використанням середовища Simulink у пакеті Matlab та розробка імітаційної 3D-моделі робота з використанням середовища розробки ігор Unity [16].

Розглянувши сфери застосування та особливості автоматизованого керування двоколісними рухомими платформами, можна зробити висновки, що цей напрямок досліджень заслуговує окремої уваги, оскільки такі системи представляють великий інтерес для досліджень у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Застосування різних алгоритмів автоматичного керування для підтримки стійкості та обчислення оптимальних налаштувань при цьому є головною задачею під час розробки цих рухомих платформ. Окрему увагу варто приділити розробці програмного забезпечення оператора та реалізації взаємодії між оператором та роботом. Також можна зробити висновок про доречність комп'ютерного моделювання у розробці.

Керування багатоколісними рухомими платформами можна розглянути на прикладі чотириколісних рухомих платформ. Вони застосовуються найчастіше і мають порівняно невелику кількість відмінностей від платформ з більшою кількістю коліс, якщо розглядати алгоритми керування подібними роботами. Основною задачею у більшості досліджень, присвячених багатоколісним рухомих платформам є розробка алгоритму переміщення платформи у задану точку або рух по заданій траєкторії. Такі системи є стійкими, на відміну від одноколісних та двоколісних рухомих платформ, отже для них не потрібне застосування алгоритмів автоматичного керування, спрямованих на підтримку стійкості платформи. Іншим напрямком досліджень, присвячених розробці автоматизованих комп'ютерних систем управління багатоколісними рухомих платформами, є розширення функціоналу робототехнічної системи в цілому. Сюди відноситься оснащення роботів маніпуляторами, датчиками, підвищення вантажопідйомності, зменшення розмірів, доповнення системи відеоспостереженням, самодіагностикою тощо. Відомі дослідження в цьому розділі спрямовані також на регулювання швидкості та прискорення руху платформи. Існують дослідження, присвячені вивченню сфери застосувань та визначення перспектив розвитку рухомих платформ. Деякі дослідники розглядають економічну ефективність застосування колісних платформ у тій чи іншій галузі.

Розглянемо детальніше деякі наукові роботи, присвячені автоматизованим комп'ютерним системам управління багатоколісними рухомими платформами. Ці дослідження спрямовані на керування рухом платформи, але в той же час включають більш загальний погляд на робототехнічні системи. У зв'язку з таким підходом, в публікаціях розглядається більше процесів і деякі з них не мають безпосереднього відношення до автоматичного керування самою платформою. Останнім часом типовою задачею стає оснащення роботизованих платформ функціями комп'ютерного зору та штучного інтелекту, для чого дедалі частіше застосовуються одноплатні мікрокомп'ютери. Проте ці додаткові можливості прямого відношення до керування, зазвичай, не мають.

У статті [17] розглядається автоматизована система управління рухом колісної платформи зі стабілізацією горизонталі за двома координатами. В результаті проведеного дослідження авторами було створено мобільну колісну платформу, що здатна автоматично обходити перешкоди в напрямку руху, оснащена механізмом стабілізації для робочого органу у горизонтальній площині. Систему розроблено на базі мікроконтролерної платформи Arduino на базі мікроконтролера Atmega. Розроблене авторами алгоритмічне та програмне забезпечення дозволяє вирішувати задачі маневрування з обходом фронтальних перешкод, застосовуючи рухливий ультразвуковий датчик. Представлена рухома платформа оснащена технологією комп'ютерного зору для взаємодії з оточуючими об'єктами. Камера при цьому встановлюється на стабілізуючій платформі, призначеної для покращення процесу розпізнавання робочої сцени. Автори відзначають, що для малих мобільних систем є важливим дотримання концепції мінітюаризації та максимального зменшення енерговитрат, застосування мінімально необхідної кількості технічного оснащення, а також визначення мінімальних умов для реалізації керуючих алгоритмів [17].

Інше дослідження [18] спрямоване на автоматизоване визначення механічної взаємодії колісної робототехнічної платформи із зовнішнім середовищем. У статті описуються основні принципові обмеження традиційних підходів автоматизованого управління рухомими платформами, що є необхідним



для усвідомлення значущості проблеми автоматизованого визначення механічної взаємодії платформи з навколишнім середовищем. Описана рухома платформа має шість коліс. Автори пропонують виправляти керування платформою, відповідно до різниці між її фактичним станом та бажаним, для забезпечення бажаного стану руху платформи. Таке керування може здійснювати оператор, візуально спостерігаючи за станом керованої колісної платформи, але такий підхід потребує від оператора неперервного спостереження за поточним станом, що повертає недоліки ручного управління, коли зворотний зв'язок забезпечується оператором. Автори пропонують виправлення цього недоліку завдяки автоматичному регулятору стану [18].

### 1.5 Постановка задачі

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Для постановки задачі сформулюємо основний функціонал та вимоги до рухомої платформи, спираючись висновки, одержані з розглянутих вище автоматизованих систем управління рухомими платформами. На основі поставленої задачі в наступних розділах роботи буде розроблена автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою.

Для початку визначимо різновид рухомої платформи, відповідно до розглянутих раніше класифікацій. Одноколісні та двоколісні рухомі платформи вимагають складних алгоритмів керування, а їх дослідження більше спрямоване на балансування — підтримку стійкого стану, а не переміщення у просторі. В той же час дослідження багатколісних платформ спрямоване на переміщення та розширення функціоналу. Виходячи з цього, пропонується обрати багатколісну рухому платформу.

Однією з важливих задач автоматизованого керування рухомими платформами є задача операторського керування. Для цього має бути розроблено програмне забезпечення оператора. Взаємодія з рухомою платформою відбувається завдяки технологіям бездротової передачі даних. Розширення

функціоналу, характерне для багатоколісних рухомих платформ, може полягати у вимірюванні параметрів оточуючого середовища та виявленні перешкод.

Отже, задачею магістерської кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління чотириколійної рухомої платформи. Платформа має вимірювати показники температури та вологості навколишнього середовища, виявляти перешкоди (попереджати оператора і зупинитись при наближенні до них). Керування платформою може здійснюватися оператором через програмний інтерфейс. Необхідно також забезпечити регулювання швидкості руху. Роботу електронної частини необхідно перевірити шляхом комп'ютерного моделювання.

Отже, у першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто такі питання як історія розвитку робототехніки, поняття мехатроніки, визначено сфери застосування рухомих платформ, виконано аналітичний огляд літературних джерел, присвячених розробці автоматизованих комп'ютерних систем управління рухомими платформами, сформульовано постановку задачі магістерської кваліфікаційної роботи.

Розглядаючи історію робототехніки, можна зробити висновок, що відкриття напівпровідникових матеріалів та створення напівпровідникових приладів сприяло різкому науковому прогресу. У 1960-х роках зі створенням інтегральних мікросхем з'явилася тенденція щодо їх впровадження у різні галузі науки і техніки.

На сьогоднішній день роботи представлені у вигляді помічників людей, адже вони можуть виконувати непосильно важкі завдання швидко, якісно та точно. Автоматизація впроваджується у такі сфери як наука, промисловість, космос і армія, побутові, розважальні та громадські області.

Серед існуючих автоматизованих комп'ютерних систем управління рухомими платформами можна виділити одноколійні, двоколійні та багатоколійні системи. Перші два види вимагають вирішення задачі стабілізації, а останній — задачі переміщення у просторі.

В процесі розробки важливими також є розширення функціоналу робототехнічних систем на базі рухомих платформ, створення програмного забезпечення оператора, розробка комп'ютерних моделей для дослідження роботи розроблених електричних схем.

В наступному розділі магістерської кваліфікаційної роботи пропонується розглянути методи та засоби, необхідні для вирішення поставленої задачі.

## **2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ**

### **2.1 Структура сучасних систем автоматизованого управління**

Сучасні системи автоматизованого управління (САУ) є складними та вдосконаленими конструкціями, що впроваджують передові технології для оптимізації та ефективності управління процесами у різноманітних галузях. Їхня сутність полягає в здатності поєднувати апаратні та програмні компоненти для автоматизації, моніторингу та контролю над різноманітними пристроями — об'єктами управління.

Структура сучасних систем автоматизованого управління включає в себе кілька ключових компонентів, які взаємодіють між собою для досягнення загальних цілей автоматизації. Серцем будь-якої системи автоматизованого управління є центральний мікропроцесорний контролер, який виконує операції, поєднуючи програмне забезпечення зі спеціалізованим апаратним забезпеченням. Цей контролер відповідає за обробку інформації, приймання рішень та керування виконавчими пристроями.

Важливою частиною структури є сенсори та датчики, які забезпечують збір даних в режимі реального часу, наприклад, інформації про стан системи. Ці дані подаються в центральний мікропроцесорний контролер для аналізу та формування подальших керуючих рішень. Крім того, виконавчі механізми реалізують виконання команд, виданих мікропроцесорним контролером, тим самим забезпечуючи фізичне втілення автоматизованого керування.

Сучасні системи автоматизованого керування також активно використовують мережеві технології для забезпечення зв'язку між різними компонентами системи. Це може бути здійснено через дротові або бездротові мережі, що дозволяє збільшити масштаб та дистанцію управління.

Загальну структуру сучасних систем автоматизованого керування можна представити графічно у вигляді схеми (рис. 2.1).

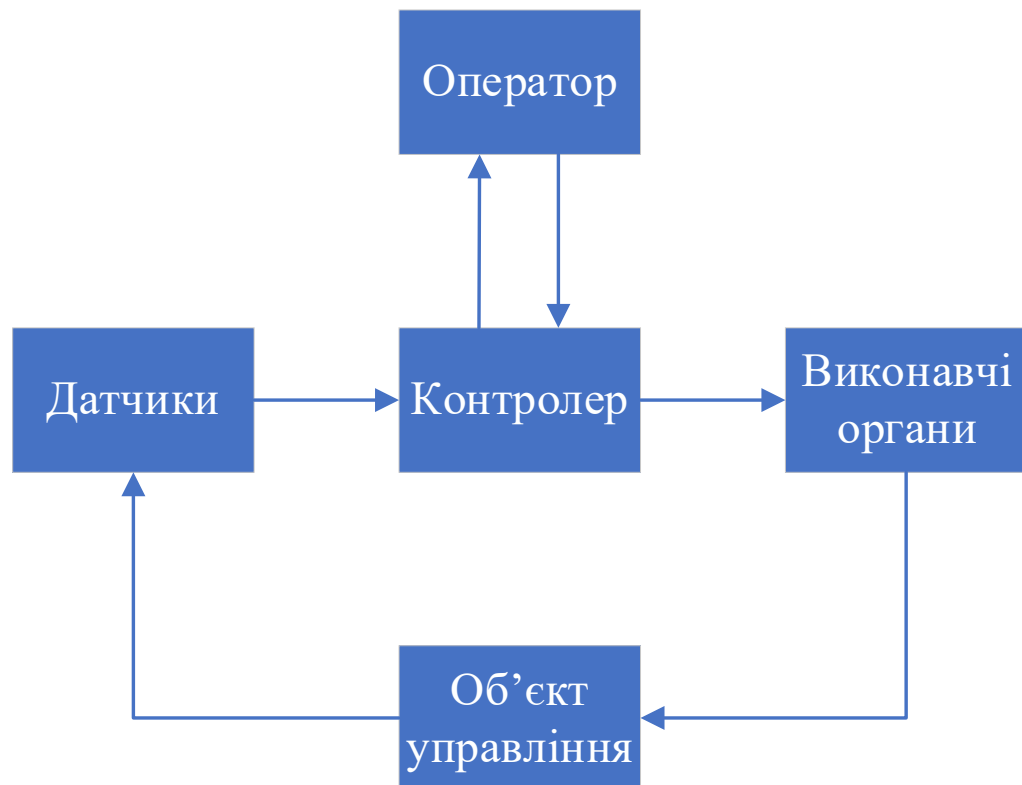


Рисунок 2.1 — Загальна структура системи автоматизованого управління

Як видно з наведеної схеми, в системі автоматизованого управління датчики отримують інформацію від об'єкта управління, передають її контролеру, який визначає величину необхідного керуючого впливу та здійснює переміщення регулюючих органів.

Під час розробки автоматизованих систем особливу увагу варто приділити спеціалізованому програмному забезпеченню, призначеному для програмування, моніторингу та діагностики системи. Це питання включає в себе розробку спеціалізованих алгоритмів керування, інтеграцію з базами даних, розробку інтерфейсів для користувачів та інші програмні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності та надійності.

Для вирішення цього питання у сучасних промислових системах автоматизованого управління виконують SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition). Вони відіграють ключову роль у сучасних системах автоматизованого управління, забезпечуючи моніторинг, збір та аналіз даних, а також керування промисловими процесами. Однією з основних функцій SCADA

є забезпечення операторам та інженерам візуального доступу до інформації про стан об'єктів системи в реальному часі. Це дозволяє вживати оперативні рішення та вчасно реагувати на події або відхилення в роботі. SCADA також відповідає за збір даних з різноманітних сенсорів та датчиків, аналіз цих даних, і в подальшому передачу команд виконавчим пристроям. Інтеграція SCADA в систему автоматизованого управління покращує продуктивність, ефективність та безпеку виробничих процесів, роблячи її необхідною складовою для реалізації сучасних технологій у промисловості.

Сучасні системи автоматизованого управління також враховують аспекти безпеки та кіберзахисту, оскільки збільшення автоматизації в системах призводить до зростання їхньої вразливості до кібератак та неправильного використання.

У підсумку, сучасні системи автоматизованого управління представляють собою високотехнологічні інтегровані системи, що використовують передові технології для оптимізації процесів управління в різних галузях, включаючи виробництво, транспорт, енергетику та багато інших.

Таким чином, розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою зводиться до поєднання апаратних та програмних компонентів для забезпечення надійного та ефективного функціонування робота. Першочерговим завданням є інтеграція різноманітних сенсорів, наприклад, таких як лідари, гіроскопи, акселерометри камери тощо, щоб надати платформі здатність сприймати оточуючий світ та, за необхідності, коригувати свій рух в реальному часі. Додатково, розробка алгоритмів навігації та планування маршрутів відіграє важливу роль у забезпеченні оптимального руху та уникненні перешкод.

На програмному рівні важливим етапом є створення інтелектуальних алгоритмів керування, які враховують зібрані дані та дозволяють роботу ефективно виконувати визначені завдання. Такий підхід до розробки системи автоматизованого управління рухомою платформою дозволяє підняти її

функціональність на новий рівень, роблячи її важливим інструментом в різноманітних областях, де потрібна автономна чи дистанційна мобільність.

## 2.2 Огляд сучасних мікроконтролерних платформ

Мікроконтролерні платформи відіграють ключову роль у сучасних автоматизованих комп'ютерних системах управління, поєднуючи в собі компактність, ефективність та гнучкість в реалізації функціональності. Ці платформи об'єднують в собі мікроконтролер та інші компоненти, такі як пам'ять, порти вводу-виведення, аналогові та цифрові перетворювачі, розроблені для виконання спеціалізованих завдань в області керування та обробки сигналів в режимі реального часу.

Мікроконтролери використовуються для керування різноманітними пристроями та системами, починаючи від промислових автоматизованих ліній до робототехніки та побутових пристроїв. Їх висока швидкодія та вбудована пам'ять дозволяють виконувати складні алгоритми керування та обробки сигналів без значних затримок.

Однією з важливих переваг мікроконтролерів є їхня здатність взаємодіяти з різноманітними сенсорами та пристроями через різні протоколи зв'язку. Це дозволяє їм взаємодіяти з оточуючим середовищем та забезпечувати ефективний обмін даними для прийняття керуючих рішень.

Загалом, мікроконтролерні платформи стали невід'ємною частиною сучасних автоматизованих систем управління, забезпечуючи їхню стабільну та ефективну роботу в найрізноманітніших застосуваннях.

Мікроконтролери грають важливу роль в робототехніці, забезпечуючи контроль, координацію та управління роботами в реальному часі. Застосування мікроконтролерів у робототехніці є різноманітним та охоплює різні аспекти, такі як: керування рухом, забезпечення сенсорного зворотного зв'язку, виконання навігації, керування маніпуляторами, взаємодія з оточуючими об'єктами та комунікація з оператором.

Розглянемо детальніше деякі з сучасних мікроконтролерних платформ, які найчастіше застосовуються у робототехніці. До них відносяться Raspberry Pi, STM та Arduino. На їхній основі створюється дедалі більше роботів, завдяки їхній відкритості, доступності та наявності великої кількості документації.

### 2.2.1 Одноплатні мікрокомп'ютери Raspberry Pi

Raspberry Pi — це одноплатний мікрокомп'ютер, поява якого викликала значний інтерес серед користувачів комп'ютерів. Він був розроблений благодійною організацією у Великобританії з метою розвитку комп'ютерної освіти та проведення наукових експериментів. Однак його застосування поширилося не тільки в освіті, а й серед розробників. Raspberry Pi став основою для багатьох програм, що дозволяють значно економити кошти на програмному забезпеченні. Цей комп'ютер має низьке споживання енергії та є безшумним, що відрізняє його від конкурентів. Зараз понад 12,5 мільйонів Raspberry Pi вже у використанні, що зробило його третім за популярністю комп'ютером після Mac і PC [19].

Raspberry Pi доступний в кількох конфігураціях. Модель A не має Ethernet і має всього один USB-порт, тоді як модель B приваблива тим, що має більше USB-портів, Ethernet та, починаючи з версії 3B, вбудований Wi-Fi. Ціни на різні моделі варіюються від \$10 (модель A) до \$35 (модель B) [19].

Однією з переваг Raspberry Pi є успішне поєднання невеликого розміру та доступної ціни. На його основі можна створювати бездротові точки доступу, інтернет-сервери, домашні кінотеатри та використовувати для автоматизації будинку. Цей мікрокомп'ютер легко монтується, а його низьке енергоспоживання дозволяє йому працювати довгий час [19].

Raspberry Pi 3 (модель B) має процесор Broadcom BCM2837 із відеоприскорювачем VideoCore IV (з підтримкою Full HD), ARM Cortex-A53 64bit з частотою 1200 МГц та 1 ГБ оперативної пам'яті. Як накопичувач використовується карта пам'яті MicroSD, на яку встановлюється операційна система. Raspberry Pi має різні порти USB, до яких можна підключати мишу, клавіатуру, принтери, камери тощо. В моделі Raspberry Pi 3 є чотири порти



USB 2.0. Крім того, мікрокомп'ютер обладнаний інтерфейсом вводу/виводу загального призначення (GPIO), Ethernet-адаптером 10/100Mb RJ45 та Wi-Fi 802.11n. Значною перевагою є наявність Bluetooth 4.1 [19].

Наразі відомі і більш нові версії Raspberry Pi. На рис. 2.2 наведено зовнішній вигляд одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4.



Рисунок 2.2 — Одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4

Raspberry Pi став популярним серед спільноти ентузіастів, освітян та розробників завдяки своїй доступності, низькій вартості та великому спектру можливостей для творчості та експериментів.

Raspberry Pi виявляє широке застосування в робототехніці, де використовується в якості потужної електронної платформи для створення різноманітних робототехнічних систем. Він може бути використаний для керування рухом, збору та обробки даних від сенсорів, а також для взаємодії з іншими пристроями чи системами у реальному часі.

За допомогою вбудованих портів GPIO (загального призначення вводу/виведення), Raspberry Pi може контролювати рухові механізми, сервоприводи та інші актуатори. Це дозволяє створювати маніпуляційні роботи, автономні платформи та інші типи роботів.

Однією з вагомих переваг є можливість використання різноманітних сенсорів, таких як камери, відстаневі датчики, гіроскопи та акселерометри. Це

робить Raspberry Pi ідеальним для розробки систем навігації, взаємодії з оточуючим середовищем та вирішення завдань штучного зору.

Застосування Raspberry Pi у робототехніці варіюється від простих експериментів та навчання програмуванню до складних проектів, таких як автономні роботи для досліджень або використання в промислових сценаріях. Його гнучкість та можливість взаємодії з різноманітним обладнанням роблять його цікавим інструментом для інновацій у сфері робототехніки.

Для визначення доцільності застосування цієї платформи в рамках розробки автоматизованої системи управління рухомою платформою необхідно з'ясувати, які переваги та недоліки має Raspberry Pi. Від цього залежить подальший вибір апаратного забезпечення та особливості розробки програмного забезпечення. Розглянемо переваги та недоліки застосування Raspberry Pi для розробки автоматизованих систем управління.

Переваги використання Raspberry Pi [20]:

- забезпечує повний контроль, і у випадку критичного збою можна легко відключити шнур живлення;
- вибір програмного забезпечення залежить від користувача, що надає велику гнучкість;
- обсяг дискового простору визначається кількістю підключених флешок, SSD або HDD, що дозволяє отримати необхідний обсяг пам'яті;
- можливість завантажувати будь-які файли без обмежень за їхнім типом і розміром;
- резервування даних може бути здійснене шляхом використання резервної флешки, що дозволяє виконати відкат за 30 с, замінивши флешку в платі.

Недоліки використання Raspberry Pi [20]:

- загальна вартість, яка включає в себе Raspberry Pi, флешки, корпус, радіатор, блок живлення, мережевий кабель та кабель до монітора, складає приблизно 55 доларів;
- потреба в місці для постійно діючого мікрокомп'ютера;

- вимагає роботи з програмним забезпеченням на рівні досвідченого користувача;
- вимагає постійного використання захищеного програмного забезпечення для запобігання вторгненням;
- у більшості випадків потребує постійної IP-адреси.

### 2.2.2 Плати на базі мікроконтролерів STM32

STMicroelectronics (STM) — це міжнародна компанія, яка є лідером у галузі виробництва напівпровідникових пристроїв. STM спеціалізується на розробці та виробництві широкого спектру інтегральних схем, мікроконтролерів, сенсорів, аналогових та потужних напівпровідникових пристроїв. Вони виготовляють популярні мікроконтролери STM32, які широко використовуються в різних електронних пристроях і системах, забезпечуючи надійну та ефективну основу для розробки вбудованих систем. Зовнішній вигляд плати на базі контролера STM32 наведений на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 — Плата на базі контролера STM32

На базі мікроконтролерів STM32 створені різноманітні платформи та плати для розробки, які відрізняються за характеристиками та призначенням. Розглянемо декілька типових різновидів плат на базі мікроконтролерів STM32.

STM32 Discovery Boards є платами для швидкого старту в роботі з мікроконтролерами STM32. Вони зазвичай включають у себе вже встановлені

мікроконтролери та ряд вбудованих модулів, таких як сенсори, інтерфейси, реле та інше. Ці плати призначені для вивчення функціональності мікроконтролерів та розробки прототипів;

STM Nucleo Boards — це модульні плати для розробки, які дозволяють змінювати та доповнювати функціональність. Вони мають основний блок з мікроконтролером STM32 та різноманітні роз'єми для додаткових модулів, таких як розширювальні плати, датчики, комунікаційні інтерфейси тощо;

Eval Boards (Evaluation Boards) представляють собою повноцінні плати для експериментів та оцінки можливостей мікроконтролера. Вони мають розширені можливості порівняно з Discovery Boards і призначені для більш серйозних досліджень та розробок;

Наступний різновид — STM32 Mini/Microcontroller Boards. Деякі розробники створюють власні компактні плати, які надають базовий функціонал для власних проектів. Ці плати можуть бути спеціалізованими для конкретних застосувань та включати тільки необхідний набір компонентів;

Існують також плати, що називаються Custom Development Boards. Розробники можуть також створювати власні розробкові плати, використовуючи мікроконтролери STM32 та необхідні компоненти згідно зі своїми вимогами та потребами проекту.

Кожна з цих типів плат має свої особливості та призначення, що дає розробникам можливість вибрати оптимальний інструмент для своїх конкретних потреб у роботі з мікроконтролерами STM.

STM32 є одним з найбільш популярних рішень для проектування професійних автоматизованих систем, які можуть послужити в різних галузях. Дана платформа призначена для більш досвідчених користувачів, оскільки потребує глибокого занурення у різні деталі процесу створення роботизованих систем.

Ця архітектура є складовою частиною лінійки RISC-процесорів, які належать компанії ARM Holdings та були спеціально розроблені для мікроконтролерів. Ці процесори володіють 32-розрядною архітектурою, що

дозволяє їм опрацьовувати дані та інструкції в 32-розрядних словах. У них вбудований стек з покажчиком стека і апаратна підтримка обробки векторів переривань, що забезпечує швидку та ефективну обробку даних. Ця архітектура вважається однією з найпопулярніших для вбудованих систем і мікроконтролерів, які застосовуються у різних галузях, таких як автомобільна та медична. Однією з основних переваг ARM Cortex-M є його простота та ефективність, що дозволяє процесору виконувати різноманітні завдання швидко, ефективно та з високою продуктивністю при низькому рівні енергоспоживання [21].

Однією з ключових характеристик мікроконтролерів STM32 є їхні високі показники енергоефективності. Вони можуть функціонувати у режимі зниженого споживання енергії, що сприяє подовженню періоду автономної роботи пристрою. Крім того, ці мікроконтролери пропонують різноманітні варіанти управління енергоспоживанням, що дозволяє оптимізувати споживання електроенергії згідно з конкретними вимогами пристрою [21].

Рівень безпеки мікроконтролерів STM32 демонструє високий ступінь надійності завдяки різноманітним шарам захисту. Один з таких шарів — апаратний рівень безпеки, включає механізми, що ефективно запобігають втручанню та несанкціонованому доступу. Наприклад, STM32 використовує модуль шифрування AES, який дозволяє зашифровувати дані, збережені в пам'яті мікроконтролера. Ще одним рівнем є захист програмного забезпечення, що включає в себе інструменти для запобігання вторгненням, такі як механізми для уникнення переповнення буфера та виконання коду з невідомих джерел. Доступні також програмні бібліотеки для забезпечення захисту, серед яких розташована STM32 TrustZone, що гарантує високий рівень захисту на апаратному та програмному рівнях [21].

Отже, мікроконтролери цієї серії представляють собою ефективні інструменти для створення різноманітних систем і пристроїв. Вони володіють високою продуктивністю та включають в себе доступні та енергоефективні компоненти, що дозволяє їм працювати з значно меншим енергоспоживанням

порівняно з іншими мікроконтролерами. STM32 підтримує різноманітні інтерфейси та протоколи, роблячи його універсальним і застосовним у багатьох галузях, таких як промислові контролери, вбудовані системи та системи автоматизації. Крім того, підтримка відкритого програмного забезпечення та наявність відкритих платформ сприяють легкості розробки різноманітних складних проектів [21].

### 2.2.3 Мікроконтролерна платформа Arduino

Мікроконтролерна платформа Arduino є надзвичайно популярною серед ентузіастів, робототехніків та розробників усього світу. Заснована на відкритому програмному забезпеченні та апаратному забезпеченні, Arduino здобула репутацію надійного та простого у використанні інструменту для створення різноманітних проектів.

Arduino складається з двох основних компонентів: мікроконтролера та інтерфейсної плати, яка забезпечує зручний доступ до виводів мікроконтролера та дозволяє підключати різноманітні модулі та датчики. Однією з ключових переваг Arduino є його відкрита архітектура, що дозволяє користувачам створювати власне програмне забезпечення та розширювати функціональність за допомогою різноманітних додаткових модулів та бібліотек.

Arduino використовує просту мову програмування, що базується на C/C++, що робить його доступним для новачків, але в той же час потужним інструментом для досвідчених розробників. Велика спільнота користувачів та розробників регулярно ділиться своїми знаннями та проектами, що сприяє активному обміну ідеями та вдосконаленню вмінь.

Arduino використовується в найрізноманітніших сферах, включаючи робототехніку, вбудовані системи, інтернет речей (IoT), мистецтво та багато інших. Його гнучкість та доступність роблять його ідеальним інструментом для студентів, хобістів та професіоналів, що допомагає їм втілювати свої ідеї в життя та сприяє розвитку інновацій у світі технологій.

Arduino — це компактна мікроконтролерна плата із USB-роз'ємом для з'єднання з комп'ютером та низкою контактів для підключення до зовнішніх пристроїв, таких як електроприводи, реле, фотоелементи, світлодіоди, гучномовці, мікрофони та інше. Її живлення може здійснюватись від USB-роз'єму комп'ютера, 9-вольтової батареї або іншого джерела енергії. Плата може бути керована з комп'ютера або запрограмована, і після від'єднання від комп'ютера працювати автономно [22].

Arduino Uno R3 вважається фундаментальною платою в асортименті Arduino. Однак існують інші варіанти Arduino, такі як Leonardo, Zero, 101, Due і Yun, а також інші пристрої, наприклад, Photon або Intel Edison, для яких також використовується мова Arduino під час програмування [22]. Зовнішній вигляд плати Arduino Uno R3 наведено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 — Плата Arduino Uno R3

Arduino може бути використана для розробки систем, що управляють датчиками та перемикачами. Ці системи, в свою чергу, здатні керувати роботою різноманітних індикаторів, двигунів та інших пристроїв. Модулі, засновані на

Arduino, можуть працювати як автономно, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням на особистому комп'ютері. Arduino можна скласти вручну або придбати готовий модуль. Середовище розробки для програмування цієї платформи є безкоштовним та має відкритий вихідний код [22].

Arduino має високу сумісність з широким спектром датчиків та модулів, що робить цю платформу дуже популярною серед розробників, роботобудівників та ентузіастів. Спільнота Arduino активно співпрацює у розробці та підтримці багатьох бібліотек для різноманітних пристроїв, спрощуючи інтеграцію з датчиками та модулями.

Використання платформи Arduino у робототехніці надає численні переваги, що сприяють популярності цього інструмента в середовищі розробників робототехнічних систем. Розглянемо детальніше переваги застосування Arduino у робототехніці:

Arduino володіє простим інтерфейсом та легкою для вивчення мовою програмування на основі C/C++. Це робить платформу доступною для новачків, що дозволяє швидко входити в робототехніку без глибоких знань в області програмування.

Arduino користується широкою підтримкою та активною спільнотою розробників. Наявність великої кількості ресурсів, таких як форуми, блоги, публікації та уроки, робить його ідеальним вибором для тих, хто шукає допомогу та інструкції.

Arduino базується на концепції "шільдів" (shields) — допоміжних плат, які можна легко підключати до основної плати для розширення її функціональності. Це робить Arduino модульним та легко адаптовним для різних проектів робототехніки.

Arduino підтримує безліч вбудованих модулів, таких як сенсори, мотори, актуатори та інші пристрої, що спрощує процес створення роботів та дозволяє легко інтегрувати різні компоненти.



Завдяки простоті програмування та готовності використовувати готові модулі, розробка роботів на базі Arduino зазвичай займає менше часу порівняно з іншими платформами.

Arduino є досить доступною платформою, що дозволяє економити витрати на обладнання. Це особливо важливо для студентів, хобістів та молодих розробників.

Усі ці переваги дозволяють Arduino займати одне з провідних положень у світі робототехніки та вбудованих систем.

### 2.3 Методи передачі даних у автоматизованих системах управління

Передача даних в автоматизованих системах управління є ключовим аспектом для забезпечення ефективності, точності та надійності процесів у різних сферах, включаючи промисловість, енергетику, транспорт, медицину та багато інших. Цей процес включає в себе передачу інформації між різними частинами системи, а також інтерфейс зв'язку з зовнішнім середовищем.

Одним із ключових аспектів передачі даних є вибір засобів комунікації, що залежить від конкретних вимог системи. В сучасних автоматизованих системах управління дедалі частіше застосовуються бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee або LoRa, що забезпечують гнучкість та мобільність в обміні інформацією між різними вузлами системи.

Технології передачі даних в автоматизованих системах управління також включають в себе використання протоколів обміну даними, які дозволяють стандартизувати формати та правила взаємодії між різними компонентами системи. Наприклад, для промислових систем широко використовуються протоколи Profibus, Modbus, або EtherCAT. Вони дозволяють передавати дані в реальному часі, забезпечуючи високу швидкість та стійкість до перешкод.

Важливою складовою передачею даних є також забезпечення безпеки. У зв'язку зі зростанням кількості підключених пристроїв та збільшенням обсягів обміну інформацією, захист від несанкціонованого доступу та захист передаваних даних стає надзвичайно важливим завданням.

Завдяки розвитку Інтернету речей (IoT) та хмарних технологій, передача даних в автоматизованих системах управління отримує нові можливості для збору, аналізу та обробки великих обсягів інформації в реальному часі. Це робить системи управління більш гнучкими, ефективними та адаптивними до змін у виробничих та технічних середовищах.

Передача даних у автоматизованих системах управління є складним та багатограним процесом, що вимагає вдосконалених технологій, стандартів безпеки та відповідного підходу при виборі технічних засобів для забезпечення надійності та ефективності систем управління.

У робототехнічних системах, зокрема у автоматизованій комп'ютерній системі управління рухомою платформою, доцільно використовувати бездротові технології передачі даних.

Бездротова передача даних в сучасному інформаційному віці стала не лише популярною, але й необхідною складовою для безлічі технологічних застосувань. Цей метод забезпечує передачу інформації між пристроями без фізичного підключення чи проводів.

Однією з основних переваг бездротової передачі даних є мобільність і гнучкість, які вона надає. Пристрої можуть взаємодіяти між собою в реальному часі навіть на великій відстані, сприяючи створенню бездротових мереж та систем. Це особливо важливо в умовах, де дротове підключення є неефективним або неможливим.

Безпека бездротової передачі даних також стає важливою у зв'язку із зростанням обсягів інформації, що передається. Різні шифрувальні методи і протоколи забезпечують конфіденційність та захист від несанкціонованого доступу до передаваної інформації.

Бездротова передача даних використовується для реалізації безлічі інноваційних рішень, починаючи від бездротових мереж інтернету речей (IoT) та закінчуючи безпроводними технологіями зарядки пристроїв. Цей метод стає основою для подальшого розвитку технологій та покращення зручності та доступності для кінцевих користувачів.

В сучасному світі передача даних між робототехнічними системами та оператором за допомогою радіочастот стала невід'ємною складовою роботи в різних галузях, таких як промисловість, медицина, автомобільна індустрія та інші. Цей підхід надає бездротовість і гнучкість у взаємодії між роботами та людьми, покращуючи ефективність та точність операцій.

Використання радіочастот для передачі даних в робототехнічних системах дозволяє взаємодіяти на великій відстані без необхідності фізичного з'єднання. Це особливо важливо в тих сценаріях, де роботи виконуються в недоступних або небезпечних умовах. Використання радіочастот дозволяє оператору здійснювати контроль та надсилати команди робототехнічній системі з безпечної відстані.

Однією з основних технологій для передачі даних за допомогою радіочастот є технологія радіомодемів. Ці пристрої використовуються для модуляції та демодуляції сигналів для безперервної передачі даних між робототехнічними системами та оператором. Радіомодеми можуть працювати на різних частотах та забезпечувати стійку та надійну передачу інформації.

Для забезпечення безпеки та конфіденційності передачі даних, часто використовуються різні методи шифрування та автентифікації. Це особливо важливо в тих випадках, коли передаються чутливі дані або виконуються завдання, які потребують великої відповідальності.

Важливим аспектом є також врахування робочого середовища та можливостей робототехнічних систем. Наприклад, у сценаріях, де працюють багато роботів одночасно, використання різних частотних каналів або мережевих протоколів може уникнути конфліктів та перешкод у передачі даних.

Для зв'язку між автоматизованою комп'ютерною системою та оператором доцільно використовувати Bluetooth або Wi-Fi. Такі системи характеризуються кращою сумісністю з більшістю інших пристроїв та позбавлені багатьох недоліків, притаманних радіомодемам.

Недоліки радіомодемів порівняно з технологіями Bluetooth та Wi-Fi включають обмежені швидкості передачі даних та меншу ширину смуги, що може впливати на продуктивність у вимогливих застосуваннях. В порівнянні з

Wi-Fi, радіомодеми можуть мати обмежений діапазон передачі даних та меншу стійкість до перешкод. Також, в порівнянні з Bluetooth, радіомодеми можуть бути менш універсальними та не підтримувати такий широкий спектр пристроїв та додаткових можливостей. Всі ці обмеження можуть вплинути на загальну ефективність та зручність використання в конкретних сценаріях бездротового зв'язку.

Розглянемо детальніше можливості застосування технологій Wi-Fi та Bluetooth для дистанційного керування рухомою платформою.

### 2.3.1 Зв'язок через Bluetooth

Bluetooth — це бездротовий стандарт для обміну даними між електронними пристроями на коротких відстанях. Ця технологія, розроблена консорціумом Bluetooth Special Interest Group, широко використовується у різних сферах, починаючи від бездротових навушників та колонок і закінчуючи медичними пристроями та автомобільним обладнанням.

Стандарт Bluetooth працює на короткій дистанції, що дозволяє пристроям взаємодіяти на відстані до 100 метрів без прямої лінії видимості. Його популярність полягає в низькому споживанні енергії, швидкості передачі даних, та вбудованій підтримці безлічі пристроїв, від смартфонів і планшетів до домашніх гаджетів та автомобільних систем.

Bluetooth визначає різні класи пристроїв, включаючи класи для навушників, динаміків, клавіатур, мишей та інших. Він також пропонує різні версії, включаючи Bluetooth Low Energy (BLE), яка спеціально розроблена для енергоефективних пристроїв, таких як фітнес-трекери та датчики.

Парування та з'єднання пристроїв здійснюється шляхом встановлення безпечного зв'язку за допомогою унікальних адрес і ключів. Bluetooth також підтримує можливості передачі голосових даних та забезпечує високу якість аудіосприйняття в пристроях, таких як навушники та гарнітури.

Однією з ключових переваг Bluetooth є його універсальність та широкий спектр застосувань, що робить його необхідним елементом інфраструктури для

зручного та безперервного бездротового обміну даними між різними пристроями в повсякденному житті.

Взаємодія мікроконтролерів з оператором через технологію Bluetooth відкриває широкі можливості для зручного та безперервного керування та моніторингу різноманітних пристроїв. Наприклад, використання технології Bluetooth можливе у поєднанні з мікроконтролерами, такими як Arduino.

Arduino може бути обладнаний модулем Bluetooth (рис. 2.5), що дозволяє встановлювати бездротовий зв'язок з іншими пристроями, такими як смартфони чи комп'ютери, через спеціальні додатки або програми.

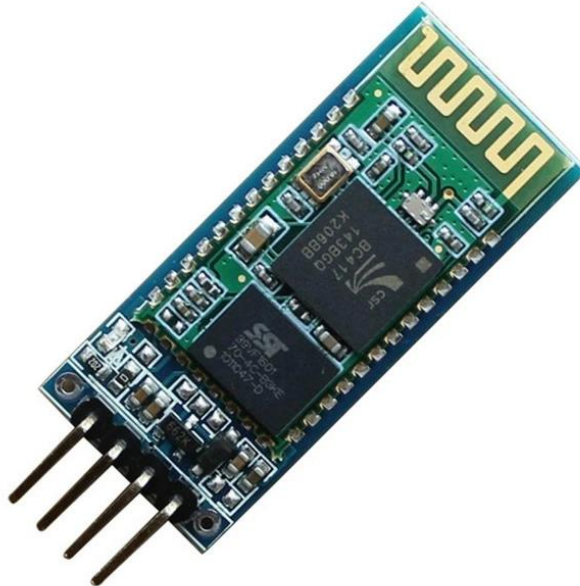


Рисунок 2.5 — Модуль Bluetooth HC-06

Однією з типових сценаріїв використання є створення пристрою, який контролює певний процес або пристрій із можливістю керування через Bluetooth. Наприклад, розроблено систему, яка використовує Arduino з модулем Bluetooth для автоматизації домашнього освітлення.

Оператор може встановити зв'язок з Arduino за допомогою мобільного додатка чи комп'ютера, який підтримує Bluetooth. Через інтерфейс додатка оператор має можливість вмикати та вимикати світло, регулювати його яскравість чи навіть встановлювати розклад роботи.

Такий зв'язок через Bluetooth забезпечує зручність та мобільність у керуванні, оскільки оператор може змінювати параметри системи з відстані, не будучи прив'язаним до фізичного з'єднання. Крім того, цей підхід дозволяє створювати різноманітні проекти в галузі автоматизації, домашньої техніки та робототехніки, забезпечуючи зручне та ефективне управління пристроями за допомогою бездротового зв'язку Bluetooth.

Головні переваги застосування технології Bluetooth: бездротовість, універсальність та енергоефективність.

Головні недоліки застосування технології Bluetooth: обмежена дальність, обмежена швидкість передачі даних, взаємовплив з іншими пристроями.

### 2.3.2 Зв'язок через Wi-Fi

Wi-Fi, або бездротовий доступ до Інтернету, став необхідною складовою сучасного життя та технологічного прогресу. Ця технологія, базовою ідеєю якої є надання можливості пристроям підключатися до локальної мережі та Інтернету без фізичного з'єднання, відкрила широкі можливості для спілкування та обміну даними.

Wi-Fi працює на основі радіохвиль, дозволяючи пристроям передавати та отримувати дані через бездротове з'єднання. Стандарт розробляється і підтримується Wi-Fi Alliance — групою компаній, що об'єднує виробників електроніки та технологічних рішень.

Однією з ключових переваг Wi-Fi є його швидкість та можливість передавати великі об'єми даних на великі відстані. Технологія пройшла кілька етапів розвитку, і сучасні стандарти, такі як Wi-Fi 6 (802.11ax), забезпечують значні покращення у швидкості, пропускій здатності та ефективності використання каналів.

Wi-Fi використовується в широкому спектрі пристроїв, від смартфонів та ноутбуків до побутової техніки, яка стала частиною концепції «Інтернету речей» (IoT). Багато домів та офісів обладнані Wi-Fi маршрутизаторами, які забезпечують доступ до мережі для всіх підключених пристроїв.

Застосування Wi-Fi включає не тільки передачу даних, але й стрімінг медіа, використання в геймерських консолях, в робототехніці та автомобільній індустрії. Технологія надає можливість віддалено керувати пристроями, обмінюватись інформацією та залишатися підключеними в будь-якому місці, де існує Wi-Fi зона покриття.

Незважаючи на всі переваги, Wi-Fi має свої виклики, такі як обмежена дальність сигналу, можливість перешкод та питання щодо безпеки мережі. Тим не менше, постійні дослідження та розвиток стандартів дозволяють Wi-Fi залишатися ключовим компонентом для бездротового з'єднання у світі сучасних технологій.

Застосування технології Wi-Fi для керування рухомими платформами та автоматизованими системами управління робототехнічними пристроями має низку значущих переваг. Перш за все, Wi-Fi забезпечує стабільне та високошвидкісне бездротове з'єднання, що є критичним для ефективного управління рухом та обміну даними між оператором та роботом. Це дозволяє операторам здійснювати віддалене керування та моніторинг, що важливо в умовах, де доступ до робочого місця обмежений або небезпечний.

Додатково, Wi-Fi забезпечує велику покриття та можливість взаємодії з декількома пристроями одночасно. Це важливо для систем, які використовують кілька робототехнічних платформ або взаємодіють з іншими автоматизованими пристроями в об'єкті.

Використання переносних Wi-Fi модемів (рис. 2.6) теоретично дозволяє здійснювати керування роботом, знаходячись на будь-якій відстані від нього. Такий модем достатньо прикріпити до робота і він постійно буде знаходитись у своїй власній мережі і мати доступ в Інтернет.



Рисунок 2.6 — Бездротовий Wi-Fi-модем

Отже, застосування Wi-Fi є оптимальним вибором для розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою через його високу продуктивність, широке розповсюдження, можливість віддаленого керування та покращені заходи безпеки, що роблять його відмінним рішенням для впровадження в робототехнічні системи.

#### 2.4 Методи передачі даних у автоматизованих системах управління

В сучасному світі, де автоматизовані системи управління рухомими платформами стають невід'ємною частиною індустріального та технічного прогресу, вибір ефективних протоколів для забезпечення зв'язку з платформою має ключове значення. Пропонується розглянути два основних протоколи — MQTT та HTTP — які можуть бути застосовані для надійного та ефективного обміну даними між рухомою платформою та оператором.

Протокол MQTT визначається своєю легкістю та високою продуктивністю, що робить його ідеальним вибором для використання в умовах Інтернету речей (IoT). Здатний працювати в режимі реального часу та забезпечувати ефективний обмін повідомленнями, MQTT здатний задовольнити вимоги сучасних систем управління.

З іншого боку, протокол HTTP, що служить основою взаємодії у світі Всесвітньої павутини, також знаходить своє застосування в системах управління.



Забезпечуючи стандартний та універсальний доступ до ресурсів через Інтернет, HTTP надає можливість ефективної комунікації між рухомою платформою та оператором.

Розглянемо детальніше особливості кожного з цих протоколів, їхні переваги та недоліки в контексті систем автоматизованого управління рухомими платформами. Розглядання протоколів MQTT та HTTP в контексті їх використання для забезпечення надійного та швидкого зв'язку із оператором допоможе визначити оптимальний вибір для конкретних вимог та потреб сучасних автоматизованих систем.

Протокол MQTT був розроблений Енді Стенфорд-Кларком з компанії IBM та Арленом Ніппером з Eurotech (тепер Cirrus Link) у 1999 році з метою моніторингу нафтопроводу, прокладеного через пустелю. Головною метою його створення було забезпечення протоколу із високою пропускнуою здатністю та низьким енергоспоживанням для пристроїв, які були підключені через супутниковий канал. Це стало особливо важливим, оскільки на той час вартість підключення по супутнику була надзвичайно високою [23].

Протокол використовує парадигму публікації/підписки, відрізняючись від HTTP, яке базується на концепції запит/відповідь. Замість цього, в системі MQTT використовується парадигма публікації/підписки, яка спрощує обмін інформацією. Цей протокол орієнтований на події і дозволяє клієнтам отримувати повідомлення через брокер MQTT [23].

У цьому взаємодії центральною точкою є брокер MQTT, який відповідає за надсилання повідомлень між відправниками та відповідними отримувачами. Кожен клієнт, який публікує повідомлення в брокері, вказує тему. Тема виступає як інформація для маршрутизації брокера. Клієнт, який бажає отримувати повідомлення, підписується на певну тему, і брокер передає всі повідомлення з відповідною темою цьому клієнту. Таким чином, клієнти взаємодіють лише за допомогою теми, не маючи необхідності взаємного визначення. Така архітектура дозволяє ефективно масштабувати рішення, уникнувши залежності між виробниками та споживачами даних [23].

Відмінність між протоколами MQTT та HTTP полягає у тому, що в протоколі MQTT клієнтам не потрібно активно запитувати необхідну інформацію; замість цього брокер автоматично передає інформацію клієнтові, якщо відбувається оновлення. Таким чином, кожен клієнт MQTT утримує постійне відкрите TCP-з'єднання із брокером. У випадку переривання цього з'єднання з будь-якої причини брокер MQTT може зберігати всі повідомлення та доставляти їх клієнту, як тільки з'єднання відновиться [23].

Протокол HTTP відзначається своєю простотою та універсальністю у передачі даних через мережу. Основна перевага HTTP полягає в тому, що це широко використовуваний протокол, який підтримується більшістю пристроїв та програмних рішень. В порівнянні з MQTT, HTTP не вимагає постійного зберігання з'єднання, що спрощує його використання в різних сценаріях. Однак важливо враховувати, що HTTP має свої обмеження, зокрема, у порівняно більшій складності зберігання з'єднань для надсилання даних в реальному часі та при високій витраті енергії на постійні запити та відповіді. Враховуючи ці обставини, протокол HTTP є оптимальним для використання у даній системі.

## 2.5 Методи та засоби комп'ютерного моделювання

Моделювання автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою є важливим етапом в розробці та вдосконаленні робототехнічних систем. Два зручних і поширених інструменти для цього — Proteus і Tinkercad.

Proteus — це програмне забезпечення для професійного моделювання електроніки та мікроконтролерних систем. Він надає можливість докладного вивчення імплементації алгоритмів управління, датчиків, рухомих частин та інших ключових елементів системи. Використання Proteus дозволяє перевірити працездатність програмного забезпечення та апаратного забезпечення системи до її фізичної реалізації. Вбудовані бібліотеки компонентів та мікроконтролерів полегшують процес проектування.

Tinkercad — це онлайн-платформа для моделювання та проектування електронних схем і макетів, яка спрощує процес створення і тестування

різноманітних систем. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та величезній бібліотеці доступних компонентів, Tinkercad відмінно підходить для введення в світ моделювання електроніки та робототехніки. Крім того, Tinkercad має можливість інтеграції з Arduino, що робить його ідеальним інструментом для розробки та тестування програмного забезпечення для систем управління.

Застосування середовища Tinkercad має ряд незначних недоліків, порівняно з Proteus: залежність від інтернет-підключення, обмежений функціонал для складних проєктів, відсутність розширених можливостей аналізу та симуляції, незручності при великих проєктах. Проте обидва інструменти дозволяють візуалізувати роботу системи, встановлювати взаємодію між елементами та проводити реалістичне моделювання. Завдяки цьому процес розробки стає більш ефективним і прозорим, а виправлення помилок на ранніх етапах дозволяє зекономити час та ресурси при фізичній реалізації системи.

Середовище Proteus є відмінним інструментом для розробки та симуляції електронних схем, включаючи проєкти на базі платформи Arduino. Proteus забезпечує широкі можливості для імітації та віртуалізації взаємодії Arduino з різноманітними електронними компонентами та датчиками.

Однією з основних переваг є наявність бібліотек, які містять моделі різних модулів та плат Arduino. Це дозволяє розробникам електроніки і програмістам використовувати реалістичні симуляції для тестування та оптимізації своїх проєктів перед фізичною реалізацією. Proteus підтримує різні моделі Arduino, включаючи популярні версії, такі як Arduino Uno, Mega, Nano та інші.

Вибір Proteus для моделювання автоматизованої комп'ютерної систем управління рухомою платформою обумовлений кількома важливими аспектами:

- Proteus надає високий рівень гнучкості та можливостей для детального моделювання електричних схем, мікроконтролерів, сенсорів, та інших компонентів, його багатофункціональні інструменти дозволяють враховувати всі аспекти роботи системи управління;

- Proteus легко інтегрується з платформою Arduino, що є важливим аспектом при моделюванні систем управління, оснащених мікроконтролерами,

це дозволяє перевірити правильність програмного забезпечення та його взаємодію з реальними компонентами до фізичної реалізації;

— Proteus має велику бібліотеку електронних компонентів, яка включає в себе різноманітні сенсори, актуатори, мікроконтролери та інші елементи, що дозволяє точно моделювати складні системи;

— у Proteus можна відстежувати реальний час роботи системи, перевіряти взаємодію компонентів, а також проводити ефективний аналіз даних, що значно спрощує процес налагодження та вдосконалення систем;

— інтерфейс Proteus є інтуїтивно зрозумілим, що полегшує роботу із системою, він спрощує розташування та налаштування компонентів, а також надає зручні інструменти для взаємодії з схемою.

Загалом, Proteus є потужним інструментом, який надає широкі можливості для моделювання та відлагодження автоматизованих систем управління, роблячи його вибором зручним та обґрунтованим для інженерів та розробників.

У вирішенні поставленої завдання щодо створення автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою виникло численне обговорення та вивчення різних аспектів. Під час аналізу різних мікроконтролерних платформ було вирішено обрати Arduino через його широкий функціонал, простоту програмування та доступність ресурсів для розробників.

Для передачі даних обрано Wi-Fi з використанням протоколу HTTP. Такий вибір зумовлений широким застосуванням Wi-Fi в сучасних технологіях, що дозволяє забезпечити стабільне та швидке підключення, а протокол HTTP є надійним та широко підтримується. Це робить можливим ефективний обмін даними між системою управління та рухомою платформою.

Однак, для забезпечення віртуального тестування та симуляції роботи системи було вирішено використовувати Proteus. Це середовище дозволяє розробникам електроніки та програмістам проводити віртуальне моделювання, що полегшує відлагодження та оптимізацію системи перед фізичною реалізацією.

Такий комплексний підхід забезпечить ефективне та надійне функціонування автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Мікроконтролерна платформа Arduino, передача даних через Wi-Fi за допомогою протоколу HTTP та використання Proteus для моделювання — це збалансований та оптимальний вибір для досягнення успішного результату в розробці та впровадженні даної системи.

### **3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ**

#### **3.1 Структура та функції автоматизованої системи управління**

Перш ніж перейти до розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, необхідно визначити її функціонал, відповідно до поставлених задач. Визначимо наступні можливості рухомої платформи:

- переміщення платформи в задану точку;
- виявлення перешкод та припинення руху при їх досягненні;
- вимірювання температури та вологості повітря;
- регулювання швидкості руху платформи;
- дистанційне керування платформою.

Вирішення поставленої задачі полягає у реалізації наведених можливостей автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Для цього необхідно визначити структуру системи, підібрати апаратне забезпечення, скласти електричну схему, розробити програмне забезпечення, виконати верифікацію та тестування моделі, після чого можна переходити до розробки реального пристрою.

Розробку автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою розпочнемо з визначення її структури. Рухома платформа, що розглядаються в даній роботі, має чотири колеса, кожне з яких приводиться до руху окремим двигуном. Двигуни підключаються до мікропроцесорного контролера через драйвери. Контролер також отримує дані від датчика температури та вологості повітря і датчика відстані. Для бездротової передачі даних на віддалений пристрій оператора використовується Wi-Fi-модуль.

Структура автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою передбачає ретельно розгорнутий підхід до впровадження різноманітних компонентів для забезпечення ефективного та надійного функціонування. Основні елементи цієї системи включають:

- чотири колеса, кожне з яких приводиться в рух окремим двигуном, що дозволяє здійснювати точне управління та маневреність;
- мікропроцесорний контролер — центральний обчислювальний модуль, який отримує та оброблює дані від різних джерел. В даному випадку, це управління двигунами через драйвери та прийом даних від датчиків;
- драйвери для двигунів, що забезпечують взаємодію між контролером та двигунами і дозволяють регулювати швидкість та напрямок руху кожного колеса незалежно;
- датчик температури та вологості надає інформацію про кліматичні умови навколишнього середовища, що може бути важливим для деяких застосувань;
- датчик відстані використовується для визначення відстані між платформою та об'єктами оточення, сприяючи уникненню перешкод;
- Wi-Fi-модуль забезпечує можливість бездротового обміну даними з віддаленим пристроєм, що використовується оператором, використання Wi-Fi забезпечить швидку та надійну передачу даних на відстань.

Ця структура розглядається як оптимальний вибір для автоматизованої системи управління рухомою платформою, забезпечуючи високу точність управління, надійність та можливість віддаленого моніторингу та керування. Вона може бути представлена у вигляді структурної схеми.

Структурні схеми — це важливий інструмент в області інженерії та проектування, що дозволяють візуально представити взаємодію компонентів системи або пристрою. Ці схеми надають абстрактний та лаконічний зображення всієї системи або окремої її частини, розкриваючи її структуру та функціональні зв'язки.

На структурних схемах використовуються різні символи та блоки, кожен з яких представляє конкретний елемент або функцію системи. Ці блоки з'єднуються стрілками або лініями для відображення потоку даних чи керування між компонентами.

Структурні схеми використовуються в різних галузях, таких як електроніка, програмування, інформаційні технології, механіка та інші, для розробки, аналізу та документування різноманітних систем і процесів. Вони є важливим інструментом для розуміння та оптимізації роботи складних технічних утворень.

Структурна схема автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою наведена на рис. 3.1.

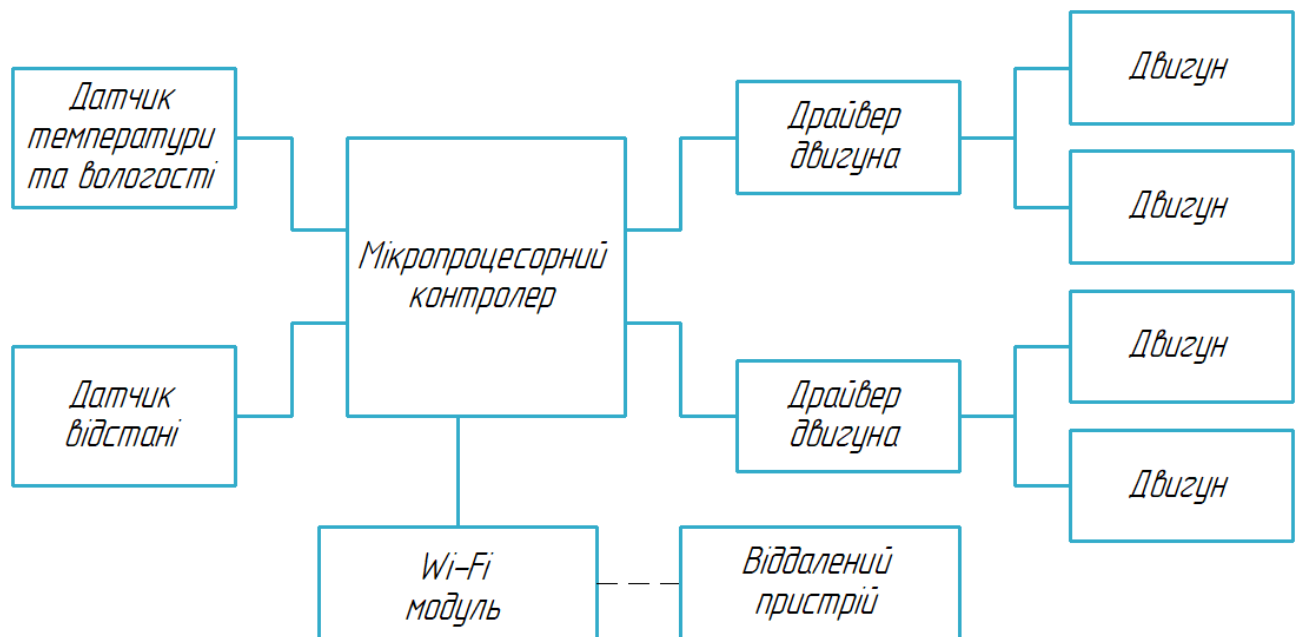


Рисунок 3.1 — Структурна схема

Акумулятор на структурній схемі не зображено, оскільки при проектуванні автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, на схемі наведені тільки основні компоненти та їх взаємозв'язки. Акумулятор є ключовим елементом живлення системи, але його можна розглядати як частину енергетичної інфраструктури, що підтримує роботу всієї системи. Зазвичай він підключається до мікроконтролера та інших елементів системи через відповідні лінії живлення і забезпечує необхідну напругу та потужність для нормальної роботи всієї системи.



Розглянута структура автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою втілює закладений в неї функціонал та виконує поставлену задачу. Наступний етап розробки — вибір апаратного забезпечення.

### 3.2 Вибір апаратного забезпечення

Наступним етапом розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою є вибір апаратного забезпечення, який визначається рядом факторів, що включають в себе вимоги до продуктивності, надійності, енергоефективності та можливостей зв'язку.

Апаратне забезпечення автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою — це сукупність фізичних електронних та механічних компонентів, що входять до складу системи. Ці компоненти включають мікроконтролерну платформу, датчики, двигуни, драйвери, акумулятор, колеса та корпус. Апаратне забезпечення визначає функціональність та можливості системи, забезпечуючи обробку даних, управління рухом та взаємодію з оточуючим середовищем. Вибір оптимального апаратного забезпечення впливає на продуктивність, надійність та ефективність системи.

Однією з ключових складових такої системи є мікропроцесорний контролер, який відповідає за керування рухом платформи та обробку даних від датчиків. До інших ключових компонентів апаратного забезпечення можуть входити драйвери для двигунів, датчики температури, вологості, та відстані. Важливим є також вибір Wi-Fi-модуля для забезпечення бездротового зв'язку, і тут можна використовувати модулі, які підтримують протокол HTTP для ефективної передачі даних.

Всі ці компоненти обираються з урахуванням конкретних вимог та обмежень системи, забезпечуючи оптимальний баланс продуктивності, функціональності та вартості.

Вибір апаратного забезпечення для автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою є ключовим етапом у розробці. Цей процес можна розділити на кілька послідовних кроків:

— вибір мікроконтролерної платформи включає вибір мікроконтролера, який буде відповідати вимогам системи, при цьому важливо враховувати такі параметри як продуктивність, кількість входів/виходів, можливості комунікації, енергоефективність та підтримка необхідних протоколів;

— на другому етапі необхідно визначити, які параметри системи треба вимірювати — необхідно обрати датчики температури, вологості, відстані тощо, які будуть інтегровані в систему для збору та обробки потрібних даних;

— вибір модуля для зв'язку з інтерфейсом оператора;

— вибір двигунів, при чому важливо враховувати вагу та розміри платформи, швидкості, які потрібно реалізувати, вибір може включати широкий спектр від звичайних DC-моторів до крокових та інших типів;

— необхідно обрати драйвери для керування двигунами, які забезпечать потрібну потужність і можливості, при цьому важливо враховувати сумісність з обраною мікроконтролерною платформою та типом двигунів;

— при виборі акумулятора необхідно визначити тип акумулятора, його напругу та ємність, враховуючи вимоги системи до живлення. Розгляньте можливості зарядки та довготривалість роботи;

— на останньому етапі необхідно обрати колеса, які відповідають умовам руху платформи, і корпус, який забезпечить необхідний захист та стійкість до зовнішніх впливів.

Кожен етап вибору важливий для успішного функціонування системи, і правильно підібране апаратне забезпечення сприятиме ефективності та надійності розробленої платформи.

Правильний вибір апаратних компонентів є важливим етапом у розробці автоматизованої системи управління. Враховуючи особливості кожного компонента і їх взаємодію, можна створити ефективну та надійну платформу. Кожен компонент повинен бути відповідно підібраний для забезпечення оптимальної працездатності та досягнення поставлених завдань системи управління.

На початковому етапі розробки, вибір мікроконтролерної платформи — ключовий крок. Потрібно ретельно враховувати параметри, такі як продуктивність, комунікаційні можливості, та енергоефективність. Визначення цілей дозволяє обрати оптимальний мікроконтролер.

Вибір апаратного забезпечення автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою розпочнемо з вибору мікропроцесорного контролера або мікроконтролерної платформи. Серед доступних рішень найбільш простим варіантом є використання мікроконтролерних плат, зокрема, мікроконтролерної платформи Arduino. Ці плати можна розглядати як прості аналоги промислових програмованих логічних контролерів, що широко використовуються в автоматизації технологічних процесів. Суттєвою перевагою є простота використання та доступність в порівнянні з промисловими аналогами.

Мікроконтролер — це спеціалізована мікросхема, що містить мікропроцесор, блоки пам'яті для коду та даних, порти вводу-виводу і функціональні блоки. Ця однокристальна система здатна виконувати прості завдання, а використання однієї мікросхеми спрощує конструкцію пристроїв, зменшуючи їхні розміри, вартість та енергоспоживання.

Аналізуючи можливості розвитку автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, було визначено, що мікроконтролерна платформа Arduino є оптимальним вибором для програмованого логічного контролера. Arduino використовується як апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, і його компоненти, такі як мікроконтролер Atmel AVR та інші, гарантують надійну роботу системи.

Мікроконтролерна платформа Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR та компонентів для програмування та інтеграції з іншими пристроями. На багатьох моделях встановлено лінійний стабілізатор напруги +5 В або +3,3 В, а тактування, зазвичай, здійснюється на частотах 8 МГц або 16 МГц за допомогою кварцевого резонатора. Додатково, в мікроконтролер вже записаний завантажувач, що знімає необхідність у зовнішньому програматорі.

Існує велике різноманіття версій плат Arduino, і серед найпопулярніших можна виділити Arduino Uno та Arduino Nano. Обидві плати базуються на одному контролері, проте мають різні розміри. Наприклад, Arduino Nano, більш компактна версія, вигідно використовується для спрощення схеми, забезпечуючи економію місця та зниження вартості. З урахуванням цих факторів для розробки автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою було вирішено використовувати плату Arduino Nano 3.0, яка базується на мікроконтролері ATmega328. Загальний вигляд та схема розташування виводів плати Arduino Nano представлені на рис. 3.2 [25].

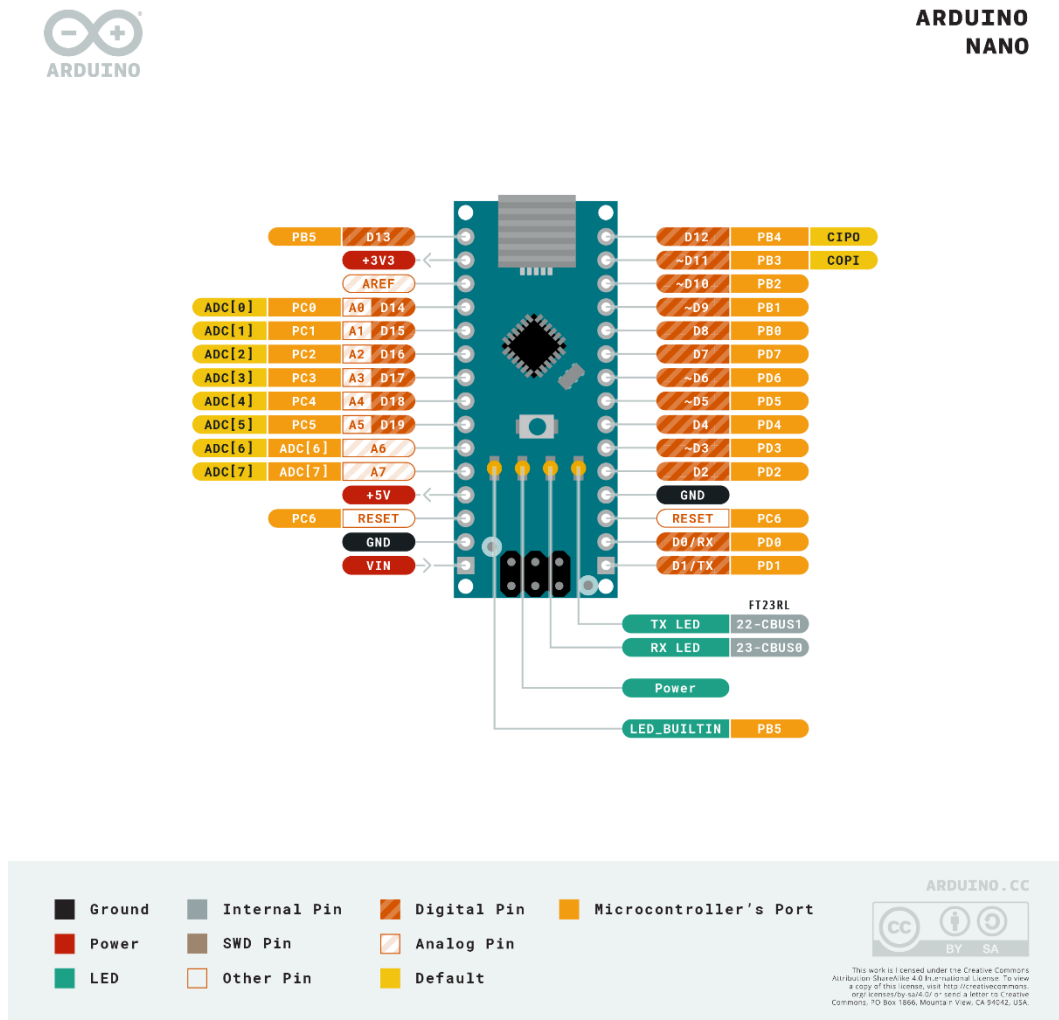


Рисунок 3.2 — Розташування виводів плати Arduino Nano 3.0

На зображенні виводи контролера позначено чорним для «землі», червоним — для живлення, зеленим — для світлодіодів, а рештою виводів —

відповідно до їхнього призначення. За вказаною схемою видно, що контролер має достатню кількість виводів для виконання всіх необхідних операцій, пов'язаних з управлінням рухомою платформою. Аналогові виводи дозволяють з'єднувати аналогові датчики, а велика кількість цифрових виводів — цифрові датчики. За такою схемою можливе подальше розширення функціоналу розроблюваної робототехнічної системи, дозволяючи легко додавати нові елементи до вихідної схеми за потреби.

Технічні характеристики плати Arduino Nano наведені у таблиці 3.1 [25].

Таблиця 3.1 — Технічні характеристики плати Arduino Nano [25]

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень)	5В
Напруга живлення (рекомендована)	від 7 до 12 В
Напруга живлення (гранична)	від 6 до 20 В
Цифрові входи / виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	32 КБ з яких 2 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1.85 см × 4.3 см

Наступним етапом вибору апаратного забезпечення є вибір датчиків. Розгляд датчиків пропонується розпочати з вибору датчика температури. Після цього перейти до вибору датчика відстані. При цьому система не буде використовувати жодних датчиків для визначення пройденого шляху. Пропонується розраховувати пройдений шлях автоматично, використовуючи виключно програмні засоби та можливості підбраного апаратного забезпечення.

Для вимірювання температури оточуючого середовища існує різноманіття датчиків та модулів. До найбільш доступних рішень відноситься використання термометрів опору в поєднанні з мостовою схемою вимірювання. З іншого боку, готові датчики температури, такі як DS18B20, надають більш простий варіант,

оскільки вони автоматично видають цифровий сигнал. Зокрема, DS18B20 доступний у вологозахищеному корпусі, що дозволяє безпечно використовувати його у різних умовах, не викладаючи його ризику пошкодження.

Вимірювання вологості повітря представляє собою більш складний процес у порівнянні з вимірюванням температури. На ринку існує значно менше датчиків вологості повітря порівняно із датчиками температури. Однією з можливих опцій є використання датчика роси HDS10, однак він спрацьовує тільки на значних рівнях вологості, що робить його використання для точних вимірювань у реальному часі значно ускладненим.

Цю проблему можна вирішити за допомогою використання датчиків, які об'єднують в собі і датчик температури, і датчик вологості. Серед таких датчиків найбільш поширеними і відомими є датчики DHT. Їх виробляють у кількох різних версіях, проте найбільш широкого застосування отримали датчики DHT11 та DHT22. Датчик температури та вологості DHT22 є більш точним аналогом DHT11, що має заводське калібрування та низьке споживання енергії, проте цим обумовлена його вища вартість. Також датчик DHT22 має незначно більший розмір, ніж його простіший аналог DHT11. Оскільки похибка датчика DHT11 порівняно невелика, а його роль в автоматизованій комп'ютерній системі управління рухомою платформою другорядна, допустимо застосування більш дешевого DHT11. Таке рішення дозволить зменшити собівартість робота. Отже, далі розглянемо детальні технічні характеристики датчика температури та вологості DHT11.

Датчик DHT11 (рис. 3.3) для вимірювання температури та вологості є цифровим пристроєм, який забезпечує можливість калібрування вихідного сигналу. Його конструкція включає термістор для вимірювання температури оточуючого середовища та ємнісний датчик вологості повітря. Крім того, датчик оснащений аналого-цифровим перетворювачем, який здатний конвертувати аналоговий вихідний сигнал в цифровий формат. Загалом, датчик має чотири виводи:

— VCC — для підключення до джерела живлення;

- Data Out — для передачі даних;
- NC — не використовується;
- GND — для підключення до землі.

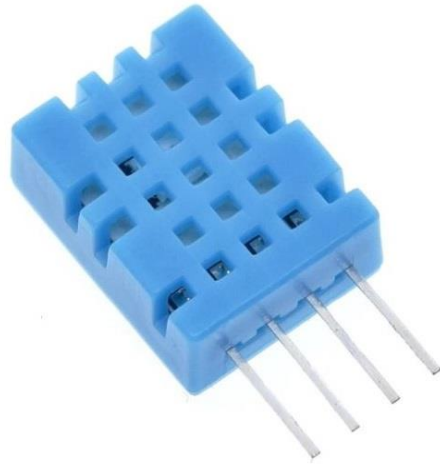


Рисунок 3.3 — Датчик температури та вологості DHT11

При з'єднанні датчика з контролером рекомендується вставити резистор номіналом 10 кОм між виводами VCC та Data Out для підвищення точності вимірювань. Хоча, в поєднанні з платами Arduino це може бути зайвим завдяки вбудованим підтягуючим резисторам, зазначимо, що через їхній відносно низький опір, рекомендується додатково встановлювати резистор.

Технічні характеристики датчика DHT11 наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Технічні характеристики датчика DHT11 [26]

Характеристика	Значення
Модель виробника	ASAIR DHT11
Напруга живлення	від 3,5 до 5,5 В
Діапазон вимірювання температури	від мінус 20 до 60 °C ± 2%
Діапазон вимірювання вологості	від 5 до 95% RH ± 5%
Частота опитування (не більше)	1 Гц
Габарити	15,5×12×5,5 мм

Для виявлення перешкод та визначення відстані до них в автоматизованій системі управління рухомою платформою пропонується використовувати ультразвуковий датчик відстані.

Ультразвуковий датчик відстані є ефективним засобом для детекції об'єктів та перешкод на шляху руху платформи. Його принцип роботи базується на відправленні ультразвукових хвиль і вимірюванні часу, що пройшов відбитий сигнал. За допомогою цих вимірів можна точно визначити відстань до об'єкта.

Цей тип датчика дозволяє системі управління отримувати надійні дані про відстань у реальному часі. Він ідеально підходить для уникнення зіткнень, автоматичного паркування або інших завдань, пов'язаних з рухом та навігацією платформи в різних умовах.

Використання ультразвукового датчика відстані в комплексі з іншими датчиками та системами контролю дозволяє створити ефективну та надійну систему управління, яка може адаптуватися до змін у навколишньому середовищі та ефективно керувати рухом платформи.

Для цього пропонується застосувати ультразвуковий датчик відстані GUR03. Використання ультразвукового датчика відстані GUR03 в автоматизованій системі управління рухомою платформою є відмінним вибором. Модель GUR03 відзначається високою точністю вимірювань та стійкістю до різних умов експлуатації. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 — Ультразвуковий датчик відстані GUR03

Цей датчик володіє високою чутливістю, що дозволяє ефективно виявляти перешкоди та точно вимірювати відстань до них. Його компактний розмір та невелика вага полегшують інтеграцію в систему управління без значного впливу на вагу та габарити платформи.



З врахуванням високої якості вимірювань, надійності та стійкості до зовнішніх факторів, ультразвуковий датчик відстані GUR03 допоможе вашій системі управління реалізувати точну та надійну навігацію платформи, забезпечуючи високий рівень безпеки та ефективності.

Технічні характеристики датчика GUR03 наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Технічні характеристики датчика GUR03 [27]

Характеристика	Значення
Напруга живлення	від 3,3 до 5,0 В
Сила струму	15 мА
Діапазон вимірювання відстані	від 0 до 400 см
Частота ультразвуку	42 кГц

Для бездротового керування автоматизованою комп'ютерною системою управління рухомою платформою вирішено використовувати Wi-Fi-модуль, який є сумісним з Arduino — ESP-01. Цей модуль має на своєму засновку контролер ESP8266 і забезпечує можливість взаємодії з Wi-Fi, використовуючи AT-команди.

ESP8266 — це мікропроцесорний контролер, вироблений компанією Espressif Systems з Китаю, який володіє вбудованим Wi-Fi інтерфейсом. Однак слід відзначити, що цей мікроконтролер не має внутрішньої флеш-пам'яті у SoC (системі на кристалі), тому використовує зовнішню флеш-пам'ять із з'єднанням через інтерфейс SPI для виконання програм.

Загальний вигляд модуля ESP-01 на базі контролера ESP8266 та схему розташування його виводів наведено на рис. 3.5.

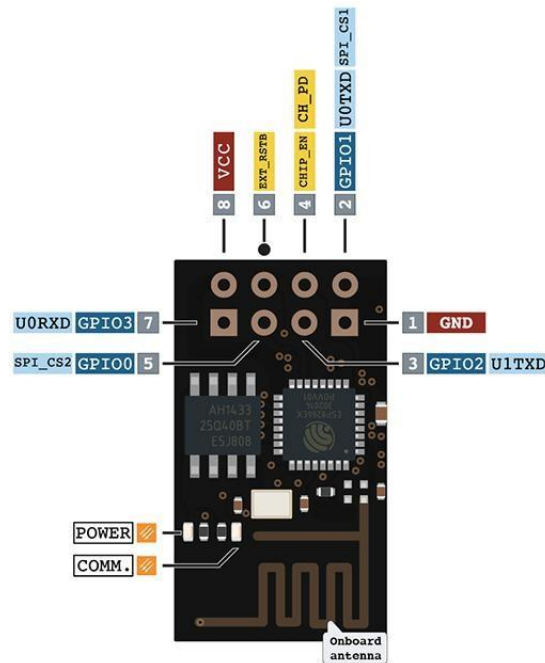


Рисунок 3.5 — Розташування виводів модуля ESP-01

ESP8266 володіє набором AT-команд, які представляють собою спеціальний набір інструкцій. Цей набір дозволяє виконувати певні дії при їх отриманні та повертати результати виконання через послідовний порт. Вбудована програма, відома як процесор AT-команд, вже присутня в модулі ESP8266 і готова приймати команди через послідовний порт. Такі команди зазвичай починаються із символів «AT».

Оскільки ESP8266 працює при меншій напрузі живлення порівняно з платою Arduino, рекомендується використовувати перетворювач логічних рівнів або дільник напруги для безпечної взаємодії між цими двома платами.

Для переміщення платформи прийнято рішення застосувати крокові двигуни. В цьому випадку можна виключити зі структури системи зворотний зв'язок в контурі переміщення, оскільки для визначення пройденої відстані достатньо буде розраховувати кількість кроків для кожного з двигунів, замість визначення фактично пройденої відстані з використанням енкодера.

Крокові двигуни Nema 17 є популярним вибором у багатьох автоматизованих системах, включаючи системи управління рухомою платформою. Технічні характеристики цих двигунів роблять їх відмінними для

застосувань, де потрібен високий ступінь точності та контролю руху. Всього пропонується встановити чотири таких двигуна. Зовнішній вигляд двигуна наведений на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 — Кроковий двигун Nema 17

Кроковий двигун Nema 17 відзначається 1,8 градусами кутового кроку на крок, що означає, що для виконання повного обертання він рухається на 200 кроків. Це забезпечує високу роздільну здатність і точність при керуванні рухом.

Зазвичай, ці двигуни мають дві фази і чотири проводи, що спрощує їхнє підключення до контролера. Додаткова можливість мікрокрокового керування дозволяє покращити рівень точності та зменшити вібрації під час роботи. У комплекті з високою ефективністю та невеликими габаритами ці двигуни забезпечують оптимальний баланс між продуктивністю та розмірами.

Для підключення крокових двигунів Nema 17 до плати Arduino необхідно використовувати спеціальні драйвери двигунів. Вони необхідні для забезпечення керування та подачі потужності електричним двигунам, забезпечуючи ефективну та точну роботу систем управління рухомою платформою.

Пропонується встановити драйвери двигунів L293D (рис. 3.7). Всього необхідно щонайменше два таких драйвери: по одному на кожну сторону. До кожного з драйверів буде паралельно підключено по два крокових двигуна

Нема 17, завдяки чому можливо буде керувати рухом кожної сторони платформи окремо.

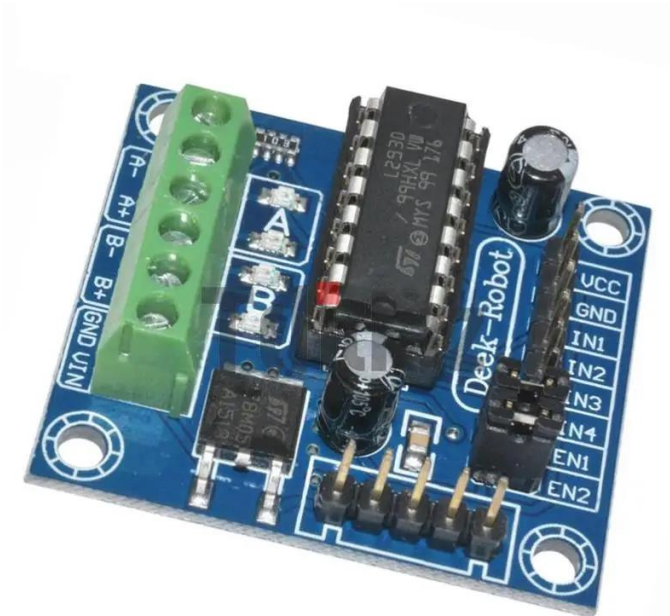


Рисунок 3.7 — Драйвер двигуна L293D

Використання драйвера L293D у поєднанні з кроковими двигунами Nema 17 в автоматизованій комп'ютерній системі управління рухомою платформою обґрунтоване кількома важливими факторами:

- драйвер L293D є двоканальним понижуючим Н-мостом, призначеним для керування напругою та потужністю: крокові двигуни Nema 17 зазвичай потребують більш високої напруги та струму для оптимальної роботи, а драйвер L293D здатний подавати достатню потужність для живлення цих двигунів та забезпечує ефективне керування;

- крокові двигуни вимагають дискретного керування для точного переміщення: драйвер L293D може використовуватися для встановлення конкретних станів (вперед, назад, стоп, тощо) та контролю кількості кроків, що забезпечує точність управління рухом платформи;

- драйвер L293D має простий інтерфейс, що робить його легким у використанні та інтеграції з мікроконтролерами, такими як Arduino, це дозволяє

зручно керувати кроковими двигунами через цей драйвер, використовуючи високорівневі мови програмування та стандартні бібліотеки;

— драйвер L293D є економічним та широко доступним компонентом, це важливо для проектів, де важливий фактор — обмежений бюджет або потреба у великій кількості драйверів;

— в L293D вбудовано засоби захисту від перевантаження, які захищають як мікроконтролер, так і крокові двигуни від можливих пошкоджень під час роботи.

Загалом, застосування драйвера L293D у поєднанні з кроковими двигунами Nema 17 дозволяє ефективно та надійно керувати рухомою платформою у автоматизованій системі.

Завершуючи вибір апаратного забезпечення варто відзначити необхідність застосування додаткового джерела живлення великої ємності з напругою 12 В для крокових електродвигунів. При виборі корпусу та коліс важливо враховувати габарити всіх складових платформи.

### 3.3 Вибір засобів розробки програмного забезпечення

Для розробки програмного забезпечення автоматизованої системи управління рухомою платформою пропонується використовувати інтегроване середовище розробки Arduino IDE, що є ключовим інструментом у світі розробки програмного забезпечення для плат Arduino. Це спеціалізоване середовище розробки, призначене для простого і зручного програмування Arduino.

Однією з ключових особливостей Arduino IDE є його простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Він спроектований так, щоб знизити поріг входження для новачків у світ мікроконтролерної розробки. Інтерфейс включає текстовий редактор, куди розробники можуть вводити свій код, та панелі для контролю інших аспектів розробки, таких як обрана плата Arduino, порти зв'язку та стан виконання програми.

Однією з головних переваг Arduino IDE є його підтримка мови програмування, що базується на Wiring, спеціально створеній для легкості використання для аматорів та професіоналів. Ця мова дозволяє швидко вивчати основні концепції програмування та використовувати їх для створення різноманітних проектів.

Arduino IDE надає доступ до обширної бібліотеки, яка включає в себе готові функції та кодові зразки для різноманітних пристроїв та сенсорів. Це спрощує взаємодію з різними компонентами та дозволяє розробникам швидше створювати робочі прототипи. Окрім того, Arduino IDE підтримує велику кількість моделей плат Arduino, що розширює можливості розробників у виборі апаратної платформи для своїх проектів.

Ще однією перевагою є можливість завантаження програмного коду безпосередньо на плату Arduino через USB-порт, що дозволяє швидко тестувати та впроваджувати програми без додаткових пристроїв.

Узагальнюючи, Arduino IDE є потужним інструментом для розробників будь-якого рівня, поєднуючи простоту використання з великою функціональністю для створення різноманітних електронних проектів.

### 3.4 Розробка електричної схеми

Розробку безпосередньо автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, що розглядається в даній роботі, розпочнемо зі складання електричної схеми. Для цього розглянемо підключення кожного елемента схеми до плати Arduino, після чого об'єднаємо все в одну електричну схему.

Для вирішення завдань, сформульованих у магістерській кваліфікаційній роботі, було вирішено використовувати спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє розробляти апаратну частину проекту без необхідності фізичного збирання апаратної версії пристрою. Для досягнення цієї мети використано програмне забезпечення, яке може емулювати роботу електричних схем. Одним

із варіантів такого рішення є використання середовища комп'ютерного моделювання Proteus.

Створення апаратної частини автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою починається з створення нового проекту в середовищі Proteus. Для цього обирається стандартний порожній проект, і під час початкового налаштування не вибираються додаткові опції. Після створення проекту перевіряється наявність необхідних модулів. Це виконується через відкриття стандартної бібліотеки і застосування пошуку для знаходження необхідних модулів.

Під час перевірки було виявлено, що в Proteus не включено за замовчуванням плати Arduino та модулі на базі ESP8266. Отже, перед тим як розпочати створення моделі, необхідно встановити всі необхідні компоненти, які повинні коректно працювати в Proteus.

Для встановлення додаткових модулів в Proteus слід знайти їх на рекомендованих або сторонніх веб-сайтах. Плату Arduino Nano та модуль ESP-01 вдалося отримати на неофіційних ресурсах, присвячених моделюванню електронних пристроїв в Proteus. Для встановлення їх слід перейти в меню «Libraries» та обрати опцію «Import Parts». У відкритому вікні, скориставшись елементами графічного інтерфейсу, обирається архів із стороннім компонентом, завантажений з неофіційного сайту, та встановлюється. Після встановлення всі компоненти повинні бути доступні у стандартній бібліотеці компонентів Proteus. Варто зазначити, що використання нестандартних компонентів може призвести до некоректної роботи моделі або навіть її непрацездатності в деяких випадках.

Після успішного встановлення всіх необхідних компонентів можна переходити до складання електричної схеми пристрою. Для правильного збору пристрою необхідно визначити коректне його підключення до конкретної плати Arduino. Цю інформацію можна знайти в офіційній документації на веб-сайті Arduino або на різноманітних сторонніх ресурсах в Інтернеті. Після визначення всіх деталей щодо підключення можна повернутися до вікна Proteus і продовжити процес моделювання. Почнемо створення моделі з додавання плати

Arduino Nano, до якої будуть підключатися всі інші компоненти автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою.

Збирання електричної схеми почнемо з підключення датчиків. Розглянемо підключення ультразвукового відстані GUR03 до Arduino.

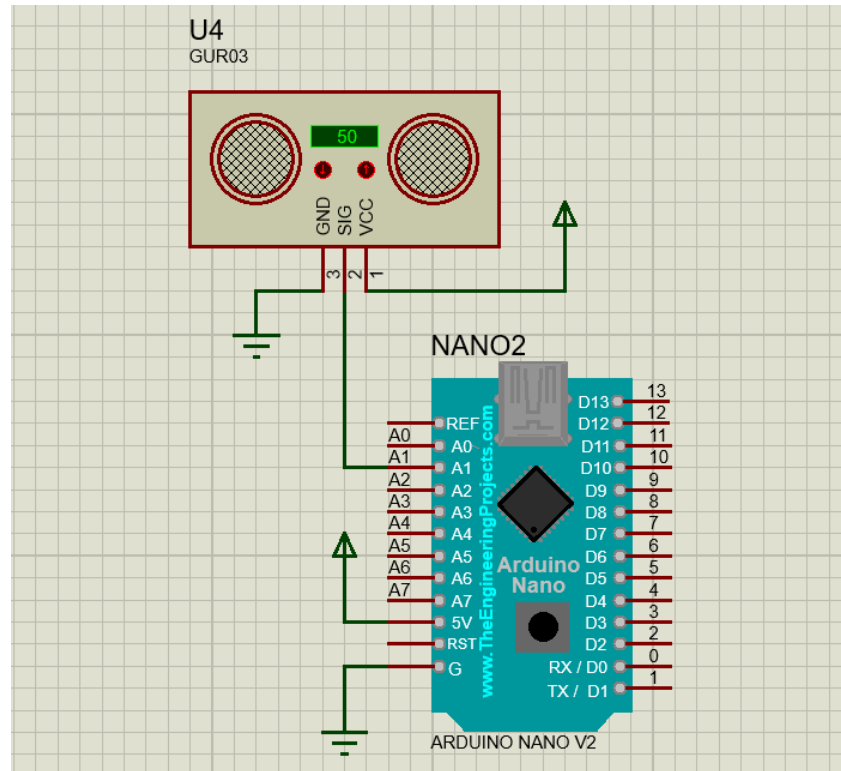


Рисунок 3.8 — Підключення датчика GUR03

Наступним можна підключити до плати Arduino датчик DHT11. Він доступний в стандартній бібліотеці Proteus і може бути використаний з будь-якими іншими компонентами. Для підключення DHT11 у вигляді моделі використовується всього три виводи. Схема підключення наведена на рисунку 3.9.



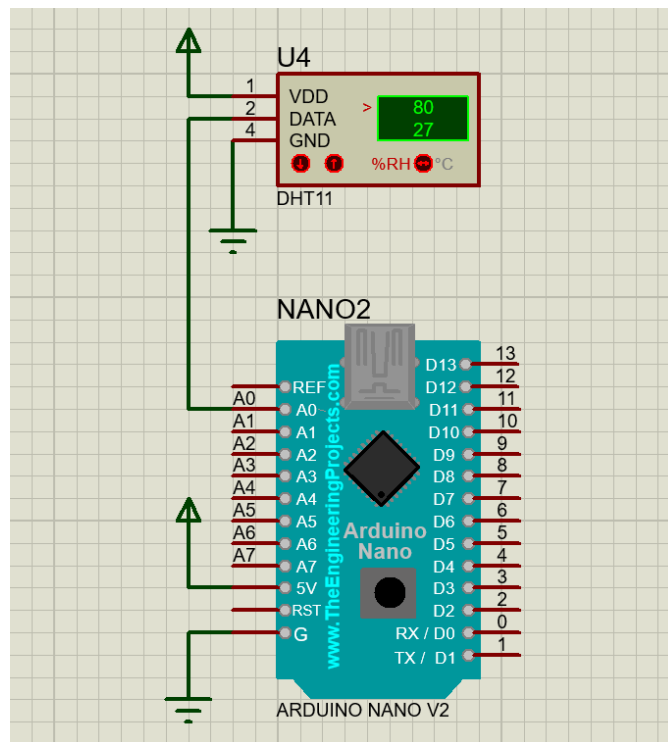


Рисунок 3.9 — Схема підключення DHT11 до Arduino Nano

В реальному пристрої було б бажано додати резистор з опором близько 10 кОм між VDD і DATA модуля DHT11, проте це не обов'язково у комп'ютерній моделі, оскільки в ній відсутні електромагнітні перешкоди, які могли б завадити одержанню коректних значень температури та вологості повітря. Підключення кожного окремого компоненту має здійснюватися до свого виводу. Для коректної роботи модуль DHT11 має бути підключений до дискретного виводу плати Arduino.

Підключення модуля ESP-01 до Arduino є більш складним завданням. Для забезпечення живлення модуля необхідно використовувати меншу напругу — 3,3 В. Оскільки Arduino Nano оперує напругою 5 В, потрібно здійснити взаємодію логічних рівнів. У реальних умовах для цього використовують спеціальні перетворювачі логічних рівнів або звичайні дільники напруги, які побудовані на резисторах. Проте в моделі Proteus можна підключати такий модуль напряму до Arduino.

У середовищі Proteus модуль ESP-01 існує у декількох різних варіантах, але всі вони функціонують аналогічно та мають однакову схему підключення до

плати Arduino Nano. Схема з'єднання моделі ESP-01 з моделлю Arduino Nano в Proteus подана на рис. 3.10.

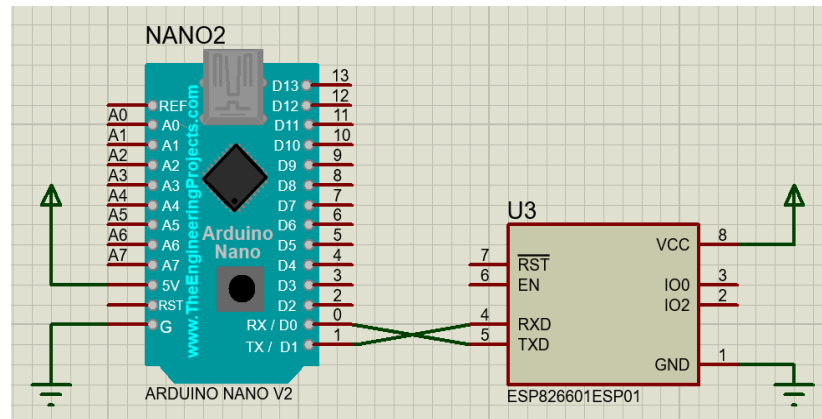


Рисунок 3.10 — Підключення модуля ESP-01

Наступним розглянемо підключення двигунів до Arduino Nano. Для цього необхідно використовувати драйвери двигунів. Схема підключення драйверів та крокових двигунів наведена на рис. 3.11.

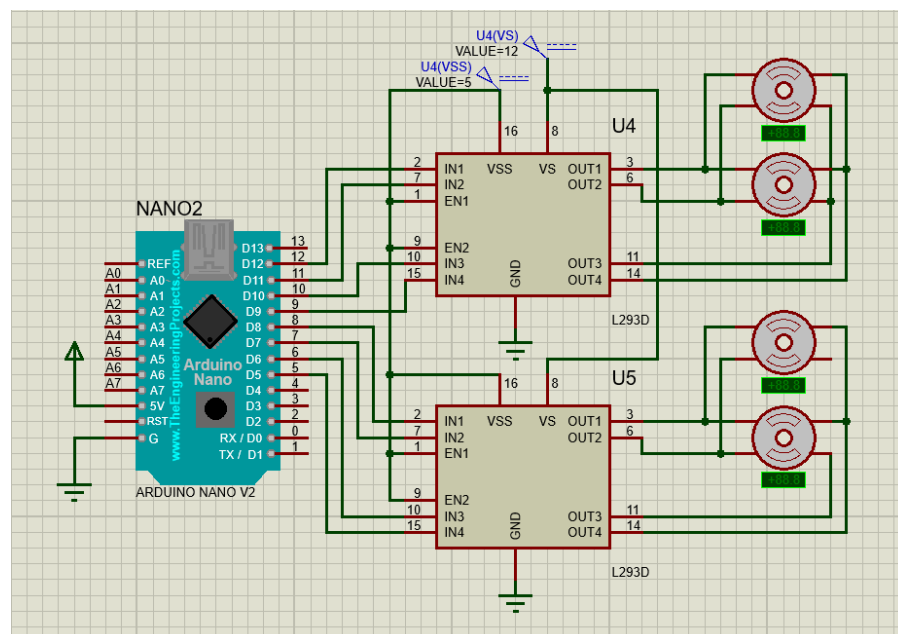


Рисунок 3.11 — Підключення двигунів

Розробка електричної схеми автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою здійснюється шляхом з'єднання всіх компонентів з платою Arduino Nano. Підключення здійснюється за схемами,

наведеними на рисунках 3.8—3.11. Схема пристрою в Proteus наведена на рис. 3.12. Принципова електрична схема готового пристрою наведена на рис. 3.13.

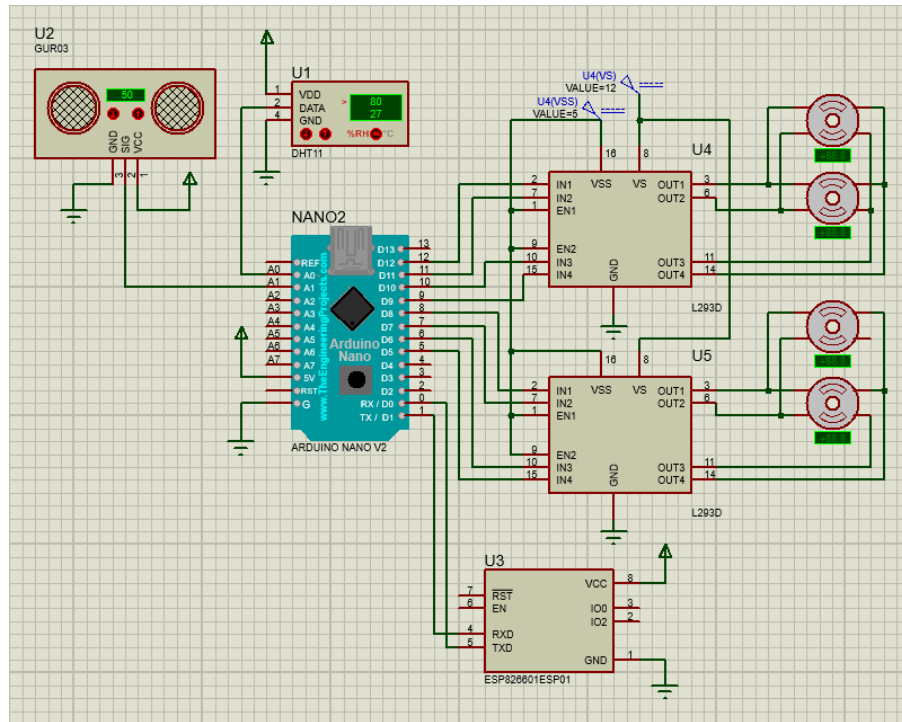


Рисунок 3.12 — Схема пристрою в Proteus

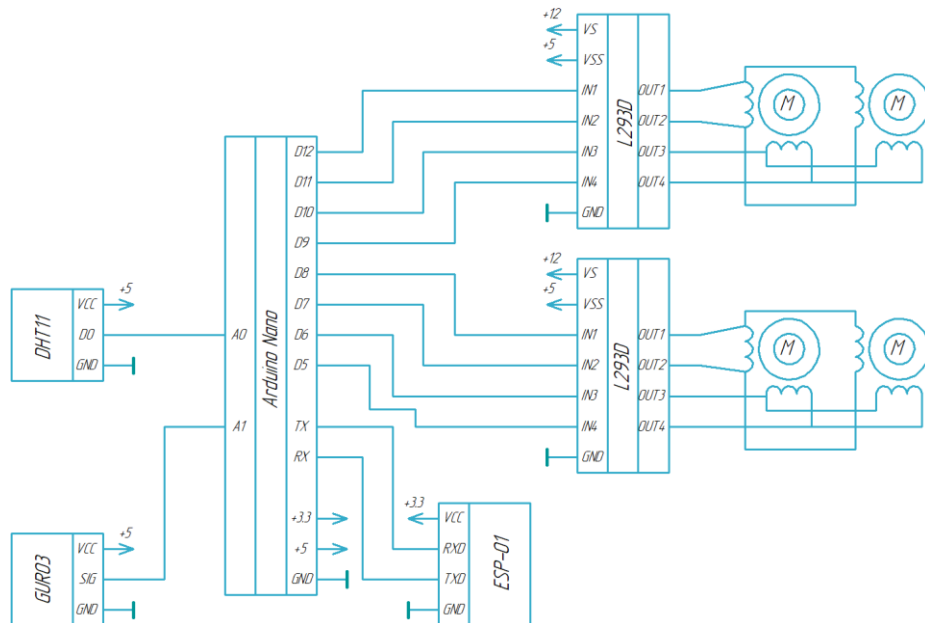


Рисунок 3.13 — Схема електрична принципова

### 3.5 Розробка програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення для автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою представляє собою важливий етап в створенні та оптимізації робототехнічних систем. Цей процес включає в себе створення програмних алгоритмів, які забезпечують ефективно та точно керування рухом платформи, виконання різноманітних завдань та взаємодію з датчиками та іншими компонентами апаратного забезпечення. У даному контексті, програмне забезпечення виступає ключовим елементом, який дозволяє системі взаємодіяти з оточуючим середовищем, реалізовувати задачі автоматизації та забезпечувати стабільну та ефективну роботу усієї системи управління. В цьому контексті, важливо враховувати особливості апаратного забезпечення, вибір програмних платформ та інші технічні аспекти для досягнення оптимального функціоналу та продуктивності системи.

Програмне забезпечення автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою складається з трьох основних частин:

- програма для мікроконтролерної платформи Arduino, що виконується всередині платформи, обробляє дані від датчиків, здійснює керування двигунами та відповідає за взаємодію платформи та оператора;
- інтерфейс оператора, призначений для дистанційного керування платформою через Wi-Fi;
- сервер, необхідний для взаємодії інтерфейсу оператора та програми мікроконтролерної платформи.

Початковий етап розробки програмного забезпечення для автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою передбачає ретельний аналіз та опис алгоритму, а також складання блок-схем, що детально відображають взаємодію різних частин системи.

Алгоритм визначає послідовність операцій та логіку роботи системи в різних сценаріях. Кожна операція та умова повинні бути чітко визначені для забезпечення ефективного та безперебійного функціонування. Складання блок-

схем допомагає візуалізувати структуру алгоритму, виділити основні етапи та взаємозв'язки між ними.

Крім того, у процесі розробки алгоритму та блок-схем можна визначити необхідні функції, модулі та підсистеми програмного забезпечення, які будуть відповідати за конкретні завдання системи управління. Це сприяє модульності та структурованості програмного коду, що полегшує його розробку, розуміння та підтримку в подальшому.

Розглянемо детальніше спрощений алгоритм роботи кожної з перелічених вище складових. Розпочати розгляд пропонується з програми для Arduino, що працює на найнижчому рівні і відповідає за рух платформи, опитування датчиків та комунікацію. Програма для мікроконтролерної платформи Arduino працює за наступним алгоритмом:

- 1) під час запуску відбувається ініціалізація підключених датчиків та інтерфейсу послідовного порту;
- 2) виконується підключення до Wi-Fi, при цьому назва мережі та пароль за замовчуванням задаються програмно, цей варіант найкраще застосовувати у поєднанні з переносним Wi-Fi-модемом, прикріпленим до робота;
- 3) координати початкової точки, в якій знаходиться платформа, приймаються рівними нулю ( $x=0$ ;  $y=0$ ), розраховуються параметри, необхідні для подальшої орієнтації у просторі;
- 4) вимірюються значення температури та вологості, визначається відстань до перешкод попереду платформи;
- 5) за допомогою AT-команд на веб-сервер за протоколом HTTP відправляються виміряні параметри, наступним запитом отримуються команди від оператора;
- б) якщо задані координати були змінені оператором, виконується розрахунок необхідного кута повороту та довжини вектору (застосування полярних координат дозволяє обрати найкоротший шлях, швидше дістатися заданої точки і зменшити витрати енергії, необхідної для переміщення);

- 7) виконується поворот на заданий кут;
- 8) вимірюється відстань до перешкоди, дані відправляються оператору, порівнюються з довжиною вектору, якщо задана відстань перевищує відстань до перешкоди, то задана відстань приймається меншою;
- 9) із заданою швидкістю здійснюється рух платформи в задану точку;
- 10) виконується поворот у початковий стан (кут  $0^\circ$ ).

Як видно з наведеного алгоритму, автоматизована рухома платформа переміщується, використовуючи систему полярних координат. Для орієнтації у просторі при цьому не використовується зворотний зв'язок, замість цього робот заздалегідь розраховує кількість кроків, яку необхідно зробити двигунам, щоб виконати переміщення у задану точку. Для розрахунку важливо знати розміри робота та діаметр його коліс. Тому ці характеристики задаються програмно у вигляді констант.

Вважається, що точка, в якій зупинився робот, завжди дорівнює нулю. Таким чином значно спрощується процес керування і виключаються можливі помилки, пов'язані з неточними визначеннями точок відліку.

Для розрахунків використовуються прості математичні формули, засновані на тригонометричних перетвореннях для конвертації декартових координат у полярні. Розрахунок довжини вектору та кута повороту здійснюється за формулами 3.1 та 3.2 відповідно.

$$l = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.1)$$

$$\alpha = \frac{\cos\left(\frac{x}{l}\right) \cdot 180^\circ}{\pi} \quad (3.2)$$

Після цього знаходиться довжина дуги, яку мають проїхати колеса для повороту. Для цього знаходиться радіус повороту платформи, за умови, що праві колеса крутяться в один бік, а ліві в інший. В такому випадку для знаходження радіусу повороту довжина платформи ділиться на 2. Довжина дуги знаходиться за формулою 3.3.

$$L = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \quad (3.3)$$

де  $L$  — довжина дуги,  $R$  — радіус повороту.

Складемо блок-схему синтезованого алгоритму для більш наочної демонстрації його роботи і подальшої розробки програмного забезпечення. Блок-схема програми керуючого мікроконтролера наведена на рис. 3.14.

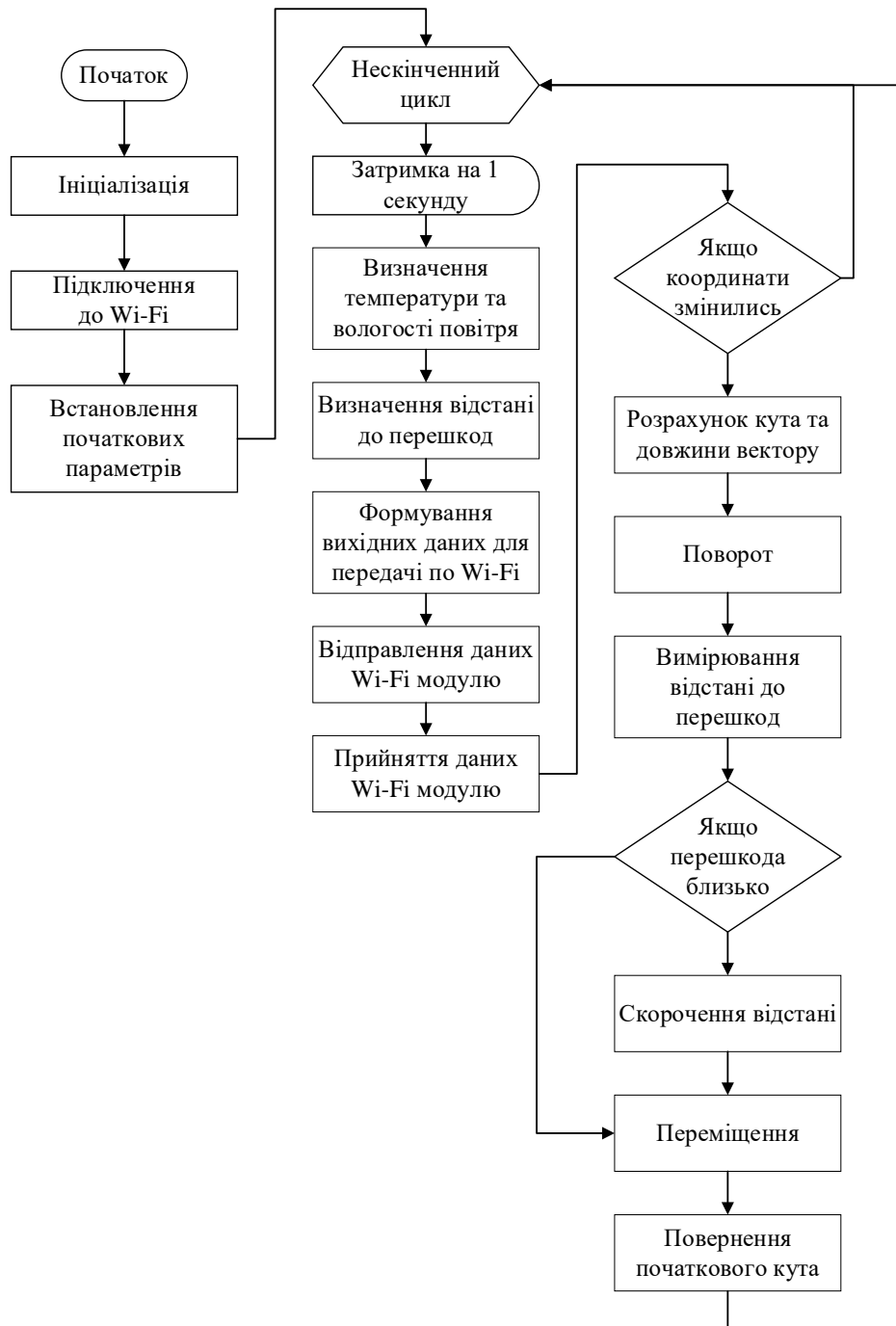


Рисунок 3.14 — Блок-схема програми керуючого мікроконтролера

Програму для Arduino розроблено у відповідності до наведеної блок-схеми. Особливість програми полягає в тому, що для взаємодії Arduino та ESP-01 не використовуються сторонні бібліотеки. Вся виконується виключно з використанням AT-команд, стандартних для контролера ESP8266.

Вихідний код розробленої програми для Arduino Nano наведено у додатку Д.

Наступний етап розробки програмного забезпечення — розробка інтерфейсу оператора. Було прийнято рішення розробити веб-інтерфейс.

Веб-інтерфейси в автоматизованому керуванні мають ряд переваг, серед яких варто виокремити кросплатформеність та інші аспекти:

- кросплатформеність — веб-інтерфейс може бути використаний з будь-якого пристрою, що має браузер, незалежно від операційної системи (Windows, macOS, Linux) чи пристрою (комп'ютер, смартфон, планшет), користувач може отримати доступ до системи керування;

- зручність у використанні — веб-інтерфейси часто мають інтуїтивний дизайн, що полегшує користувачам взаємодію з системою навіть без спеціальної підготовки;

- оновлення без перевстановлення — веб-інтерфейси можуть бути оновлюваними без необхідності перевстановлення програм на кінцевих пристроях, користувачі отримують доступ до оновлених функцій без додаткових зусиль;

- дистанційний доступ — користувачі можуть керувати системою з будь-якого місця з доступом до Інтернету, це особливо корисно для систем віддаленого моніторингу та управління;

- легка інтеграція з іншими системами — веб-інтерфейси зазвичай легше інтегрувати з іншими веб-сервісами і системами, що дозволяє створювати складні та гнучкі рішення;

- можливості віддаленого моніторингу — кросплатформенний веб-інтерфейс дозволяє власникам системи відстежувати та керувати нею за



допомогою мобільних пристроїв, навіть коли вони знаходяться далеко від основної інфраструктури.

В цілому, веб-інтерфейси стають потужним інструментом для автоматизованого керування завдяки своїй універсальності та зручності взаємодії.

Для створення веб-інтерфейсу скористаємось мовою розмітки HTML та мовою програмування JavaScript. На екрані користувача відобразатиметься проста форма, що матиме текстові поля, поля введення тексту, регулятор швидкості платформи та кнопку «Відправити».

Вихідний код веб сторінки наведено нижче:

```
<!DOCTYPE HTML>
<html>
<head>
<title>Панель управління</title>
<style>
table, th, td {
border:none;
text-align:center;
}
</style>
</head>
<body>
<p id="t">Температура: </p>
<p id="h">Вологість: </p>
<p id="s">Швидкість руху:</p>
<form id="myForm">
<input type="range" id="speed", name="s", min="0", max="100">
<p>X: <input name="x" type="number" /></p>
<p>Y: <input name="y" type="number" /></p>
```

```

        <button
                                                    type="button"
onclick="submitForm();">Відправити</button></p></th>
</form>
<script>
function submitForm() {
var formData = new FormData(document.getElementById('myForm'));
fetch('http://www.domain.com/submit', {
method: 'POST',
body: formData
})
.then(response => response.json())
.then(data => {
console.log('Отримано відповідь від сервера:', data);
})
.catch(error => {
console.error('Помилка:', error);
});
}
function fetchDataFromServer() {
var xhr = new XMLHttpRequest();
xhr.open('GET', 'http://www.domain.com/o_data', true);
xhr.onload = function () {
if (xhr.status === 200) {
var responseData = JSON.parse(xhr.responseText);
console.log('Отримані дані:', responseData);
var paragraph = document.getElementById('t');
paragraph.textContent = responseData;
var paragraph = document.getElementById('h');
paragraph.textContent = responseData;
var paragraph = document.getElementById('s');

```

```

paragraph.textContent = responseData;
} else {
console.error('Помилка при отриманні даних:', xhr.statusText);
}
};
xhr.send();
}
setInterval(fetchDataFromServer, 3000);
</script>
</body>
</html>

```

Для отримання даних про температуру та вологість повітря від автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою клієнтська веб-сторінка кожні 3 секунди відправляє запит на сервер і оновлює дані про ці показники на сторінці. При натисканні на кнопку, на сервер відправляються дані форми, де вони обробляються і передаються рухомій платформі. Дані, отримані від оператора обробляються сервером. Отже, наступним етапом розробки буде створення серверної частини автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою.

Серверну частину пропонується розробляти з використанням мови програмування PHP. Для цього необхідно використовувати веб-сервер з підтримкою виконання коду на PHP.

Використання мови програмування PHP для розробки серверної частини має кілька обґрунтованих переваг, особливо в контексті веб-розробки:

- PHP є однією з найпопулярніших мов для веб-розробки, і у нього велика та активна спільнота, це забезпечує широкий спектр ресурсів, таких як документація, форуми, бібліотеки та фреймворки;

- PHP оптимізований для використання на стороні сервера та забезпечує високу швидкодію для обробки запитів та генерації веб-сторінок, це особливо важливо для веб-проектів, де відповідь сервера має бути швидкою;

— синтаксис PHP легкий для вивчення, що робить його привабливим для новачків, також багато розробників вже мають досвід роботи з PHP, оскільки ця мова використовується на багатьох веб-проектах;

— мова PHP ідеально підходить для створення динамічних веб-сайтів та взаємодії з базами даних, вона є невід'ємною частиною таких веб-технологій, як WordPress, Joomla, Drupal та інших;

— PHP має вбудовану підтримку для багатьох систем управління базами даних (СУБД), таких як MySQL, PostgreSQL, SQLite та інші, що робить його потужним інструментом для роботи з даними;

— PHP пропонує величезну кількість вбудованих функцій та розширень, які значно полегшують розробку, з цим іде також широка підтримка різноманітних протоколів, таких як HTTP, FTP, LDAP, і багато інших;

— застосування PHP дозволяє легко масштабувати веб-проекти, існує багато фреймворків, таких як Laravel, Symfony, CodeIgniter, які сприяють побудові структурованих та масштабованих додатків.

Загалом, PHP залишається однією з популярних мов для розробки веб-серверних додатків, завдяки своїм перевагам у вивченні, швидкодії та великій спільноті розробників.

Основну частину вихідного коду, що відповідає за обмін даними між оператором та платформою, представлено нижче:

```
<?php
header('Content-type: text/html; charset=utf-8');
date_default_timezone_set('Europe/Riga');
$x = $_POST['x'];
$y = $_POST['y'];
$s = $_POST['s'];
$t = $_REQUEST['t'];
$h = $_REQUEST['h'];
$r = $_REQUEST['r'];
$text = "$x\\$y\\$s\r\n";
```

```
$file = fopen("file.txt", "a");  
$write = fwrite($file, $text);  
fclose($file);  
if(r > 0)  
{  
echo file_get_contents("file.txt");  
unlink("file.txt");  
}  
else  
echo "<p id=\"t\">Температура: $t</p><p id=\"h\">Вологість: $h</p>";  
?>
```

Таким чином здійснюється взаємодія оператора та рухомої платформи через веб-інтерфейс. Зовнішній вигляд розробленого веб-інтерфейсу оператора наведено на рис. 3.15.

Температура: 25

Вологість: 0

Швидкість руху:



X:

Y:

Рисунок 3.15 — веб-інтерфейс оператора

Розробка апаратного та програмного забезпечення для автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою представляє собою важливий етап в створенні та оптимізації робототехнічних систем. Цей процес включає в себе вибір та поєднання електронних компонентів, а також створення програмних алгоритмів, які забезпечують ефективне та точне керування рухом платформи, виконання різноманітних завдань та взаємодію з датчиками та іншими компонентами апаратного забезпечення. У даному контексті, програмне забезпечення виступає ключовим елементом, який дозволяє системі взаємодіяти з оточуючим середовищем, реалізовувати задачі автоматизації та забезпечувати стабільну та ефективну роботу усієї системи управління. В цьому контексті, важливо враховувати особливості апаратного забезпечення, вибір програмних платформ та інші технічні аспекти для досягнення оптимального функціоналу та продуктивності системи.

В результаті виконання розділу було визначено функціонал та структуру автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. На основі розглянутої структури побудовано структурну схему системи. Виконано вибір апаратного забезпечення. Обґрунтовано вибір середовища розробки програмного забезпечення. Після цього було запропоновано алгоритми роботи автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. На основі розроблених алгоритмів було побудовано блок-схему та створено програмне забезпечення для переміщення платформи у просторі. Програмне забезпечення дозволяє в режимі реального часу збирати дані з датчиків та передавати їх на сервер, отримувати з сервера команди від оператора і виконувати переміщення платформи в задану точку.

Платформа рухається по поверхні, використовуючи полярну систему координат. Для цього здійснюється конвертація отриманих від оператора декартових координат та розраховуються кут повороту і довжина вектора. Робот виконує рівно стільки обертів коліс, скільки потрібно для подолання заданої відстані.

## **4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ**

### **4.1 Вибір засобів моделювання**

Комп'ютерне моделювання — це потужний інструмент, що використовується для створення віртуальних аналогів реальних систем та явищ. Воно дозволяє науковцям, інженерам та розробникам творити і тестувати різноманітні сценарії без прямого втручання в реальний світ. Моделювання застосовується в різних галузях, від науки та техніки до медицини та розваг.

Моделювання є важливим етапом у процесі розробки та вдосконалення таких систем. Важливість цього процесу визначається кількома ключовими аспектами:

— моделювання дозволяє розробникам аналізувати та вдосконалювати функціональні можливості системи без прямого втручання в реальний об'єкт, це сприяє ефективному виявленню та виправленню недоліків ще на етапі проектування;

— за допомогою моделювання можна провести численні експерименти та тести, щоб оцінити ефективність та продуктивність системи в різних умовах, це дозволяє визначити оптимальні налаштування та ресурси;

— моделювання дозволяє виконувати тестування системи в умовах, що важко або неможливо створити в реальному середовищі, це допомагає валідувати роботу системи та виявляти можливі проблеми;

— використання моделей дозволяє зменшити фінансові витрати та ресурси, які б витратилися на створення фізичного прототипу;

— аналіз результатів моделювання дозволяє прогнозувати поведінку системи в різних сценаріях та планувати вдосконалення чи розширення функціоналу в майбутньому;

— моделювання дозволяє виявити можливі ризики та врахувати аспекти безпеки на ранніх етапах розробки. Це робить систему більш надійною та безпечною для використання;

— в процесі моделювання можна легко змінювати параметри системи та тестувати різні сценарії, що дозволяє швидко адаптувати систему до нових вимог або змін.

Отже, моделювання роботи автоматизованої системи управління рухомою платформою є ключовим етапом у вдосконаленні та оптимізації її функціональності, надійності та продуктивності.

Пропозиція виконати моделювання роботи автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою у середовищі моделювання Proteus має кілька ключових обґрунтувань:

— Proteus є потужним інструментом для моделювання, який надає широкі можливості для віртуального відтворення роботи електронних систем, він дозволяє докладно моделювати та аналізувати всі аспекти системи, включаючи апаратні та програмні компоненти;

— Proteus надає можливість тестувати розроблене програмне забезпечення та апаратну частину без фізичного з'єднання з реальним обладнанням, це зменшує ризик можливих пошкоджень та дозволяє виявити та усунути помилки на ранніх етапах розробки;

— Proteus підтримує інтеграцію з платами Arduino, що дозволяє точно моделювати їхню взаємодію з іншим обладнанням та програмним забезпеченням;

— у віртуальному середовищі Proteus можна легко змінювати параметри системи, вносити зміни у схему та тестувати різні конфігурації швидко та ефективно.

Отже, використання Proteus для моделювання автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою є логічним та ефективним вибором, сприяючи точному аналізу та оптимізації системи на ранніх етапах її розробки.



## 4.2 Розробка та тестування моделі в середовищі Proteus

Розробку моделі для тестування будемо виконувати у середовищі Proteus. Для цього необхідно скласти схему, аналогічну до розглянутої у попередньому розділі, дотримуючись тих самих принципів та враховуючи особливості даного середовища комп'ютерного моделювання.

Весь процес моделювання в Proteus можна розділити на кілька кроків:

- створення нового проекту;
- додавання компонентів;
- підключення компонентів;
- налаштування компонентів;
- визначення параметрів моделі;
- запуск симуляції;
- аналіз результатів;
- внесення змін та оптимізація;
- збереження проекту.

Цей процес дозволяє інженерам та розробникам віртуально тестувати та оптимізувати свої проекти, зменшуючи витрати та ризики на ранніх етапах розробки.

Створення моделі, аналогічно до проектування електричної схеми, розпочнемо з вибору електронних компонентів та встановлення додаткових бібліотек (за необхідності).

Відомо, що для моделювання роботи модулів на базі ESP8266 в середовищі Proteus існують спеціальні сторонні бібліотеки, проте вони, на жаль, часто працюють некоректно. Це обумовлено тим, що бібліотеки створені ентузіастами і можуть містити помилки у виконанні, які призводять до некоректної взаємодії у кінцевій версії моделі. У зв'язку з цією проблемою, виконання моделювання систем, що містять у своєму складі модулі на базі ESP8266, значно ускладнюється. Тому пропонується змінити схему моделі і позбутися некоректно працюючого модуля. Але це призводить до виникнення наступної проблеми — відсутності виведення даних для оператора. На жаль, навіть з ідеально

працюючою мікросхемою ESP8266 модель була б неповноцінною. Справа в тому, що моделі, розроблені у середовищі Proteus, не мають доступу до реального Wi-Fi. Тому підключитись до сервера на цьому етапі віртуальна версія автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою, на жаль, не зможе. Також через це відсутня можливість керування платформою, оскільки іншого інтерфейсу для цього не існує. Але ця проблема може бути вирішена шляхом зміни схеми та редагування програмного забезпечення.

В рамках тестування пропонується спростити модель, видаливши з неї модуль ESP-01. Замість нього буде встановлено віртуальний монітор послідовного порту. Саме через цей інтерфейс автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою і буде здійснювати вивід даних. При цьому введення даних через цей інтерфейс неможливе, тому замість обробки введених даних їх пропонується задати жорстко в коді програми. З цією метою було видалено весь код, що відповідає за обмін даними з сервером, а також виключено інші зайві рядки коду, роботу яких у цій моделі перевірити неможливо або ця перевірка є недоцільною. У зв'язку з цим запропоновано запрограмувати рух коліс з однаковою швидкістю в одному напрямку з перервами у 2 с. Створена модель в процесі тестування наведена на рис. 4.1.

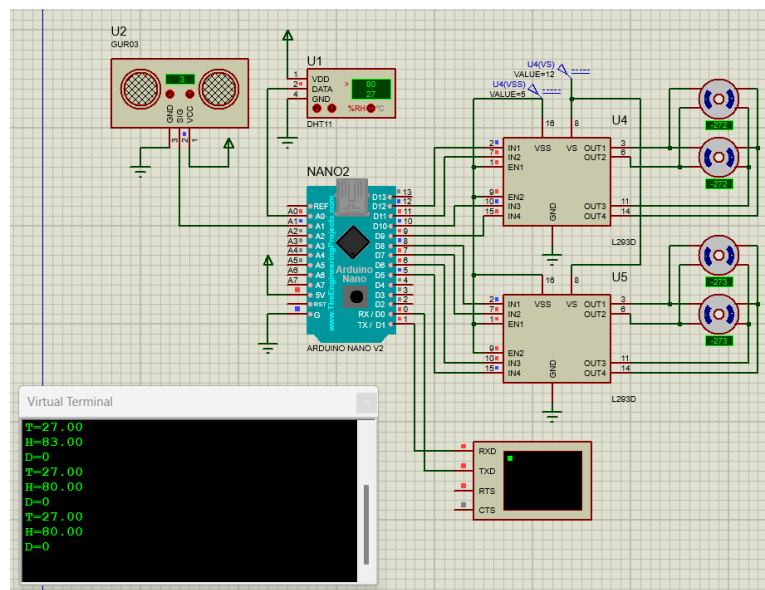


Рисунок 4.1 — Моделювання автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою

### 4.3 Інструкція оператора

Оператор автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки роботи системи. Нижче наведено інструкції, які допоможуть операторові в правильному та безпечному використанні системи:

Перед запуском необхідно переконатися у правильності підключення всіх компонентів, доступності простору для руху платформи та у наявності підключення до Інтернету як зі сторони оператора, так і зі сторони автоматизованої системи. Після цього необхідно програмно вказати назву та пароль мережі Wi-Fi для забезпечення можливості підключення рухомої платформи до сервера. Рекомендується використовувати бездротовий Wi-Fi-модем, прикріплений до платформи. Після цього прошивка встановлюється до Arduino і систему можна запускати. Включена рухома платформа автоматично підключиться до Wi-Fi. За замовчуванням після запуску вона має стояти нерухомо.

Для дистанційного керування оператору необхідно на будь-якому пристрої з доступом в Інтернет відкрити браузер і в ньому перейти на веб-сторінку оператора. На цій сторінці можна вказувати необхідну швидкість у відсотках (в межах 100). Нижче розташовані поля вводу для координат X та Y. Вводити можливо лише числа. Після введення координат необхідно натиснути на кнопку «Відправити» і платформа почне виконання переміщення у задану точку.

Для завершення роботи з автоматизованою комп'ютерною системою управління рухомою платформою оператору необхідно виконати наступні дії: закрити вкладку або вікно браузера з веб-інтерфейсом оператора, дочекатися завершення переміщення платформи, вимкнути її. У випадку використання бездротового Wi-Fi-модему рекомендується вимкнути модем.

Ці інструкції допомагають забезпечити ефективну та безпечну експлуатацію, знижуючи ризики та забезпечуючи надійну роботу системи.

#### 4.4 Системні вимоги програмного забезпечення

Врахування системних вимог програмного забезпечення є критичним етапом в процесі розробки та використання програмних продуктів. Системні вимоги визначають характеристики апаратної та програмної інфраструктури, необхідні для нормального функціонування програми чи системи.

Програмне забезпечення рухомої платформи сумісне з платами Arduino Nano та Arduino Uno. Отже, вимоги до систем відповідають технічним характеристикам цих плат, які були розглянуто раніше.

Програмне забезпечення оператора є кросплатформеним. Кросплатформенне програмне забезпечення (Cross-Platform Software) — це програми або додатки, які можуть працювати на різних операційних системах чи платформах без необхідності зміни або перекомпіляції вихідного коду. Основна мета кросплатформенності полягає в тому, щоб забезпечити користувачам можливість використовувати програмне забезпечення на різних пристроях та операційних системах без втрати функціональності.

В даному випадку кросплатформеність забезпечується за рахунок використання веб-технологій. Інтерфейс оператора доступний у браузерній версії і може бути відкритий з будь-якого пристрою, що має встановлений браузер і стабільний доступ в Інтернет.

Тому системні вимоги програмного забезпечення оператора обмежені виключно наявністю браузера та його системними вимогами. Розглянемо в якості прикладу системні вимоги браузеру Google Chrome для операційної системи Windows. До них відносяться: операційна система Windows 7 або новіше, процесор Intel Pentium 4 або новіше з підтримкою SSE3, мінімум 4 ГБ ОЗП, мінімум 350 МБ вільного місця, інтернет-з'єднання, роздільна здатність екрану 1024x768 або вище.

Врахування системних вимог є ключовим аспектом для створення функціонального, продуктивного та стабільного програмного забезпечення, яке задовольнить вимоги користувачів та забезпечить йому оптимальну роботу в конкретному середовищі.

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено моделювання та тестування розробленої автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Наведено системні вимоги та інструкції користувача.

Обґрунтовано вибір середовища для моделювання. Розглянуто деякі його недоліки, пов'язані зі створенням даної моделі. Створено модель у середовищі Proteus, внесено зміни, необхідні для тестування автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. Таким чином з моделі було виключено Wi-Fi-модуль ESP-01, а програма була змінена для самостійного виконання обертання коліс. При цьому всі вимірювані параметри можна спостерігати у віртуальному послідовному порті.

За результатами моделювання, автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою виконує всі поставлені задачі, відповідно до розроблених схем та програмного забезпечення.

Також було розроблено інструкцію оператора, в якій наведено орієнтовний порядок проведення робіт з розробленою системою. Інструкція передбачає використання веб-інтерфейсу, тому не має прив'язки до конкретних пристроїв та додаткових наборів програмного забезпечення.

За системними вимогами розроблена система є кросплатформеною і для її використання достатньо мати будь-який пристрій з доступом в Інтернет та встановленим браузером. Такий підхід є надзвичайно зручним. Завдяки кросплатформеності, оператор може використовувати для керування як настільний комп'ютер, так і смартфон з будь-якою операційною системою.

## 5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Результатом магістерської кваліфікаційної роботи за темою «Автоматизована система управління рухомою платформою» є розробка та впровадження комплексу технічних рішень, які забезпечують ефективно та точно управління рухом платформи. Цей комплекс включає в себе апаратну базу, зокрема, крокові двигуни, датчики, мікроконтролери та інші елементи, а також програмне забезпечення, що виконує функції керування та обробки отриманих даних.

Розроблене програмне забезпечення може включати в себе алгоритми керування, інтерфейс для оператора, а також функціонал для збору та аналізу даних про рух платформи. Крім того, використання веб-інтерфейсу може робити систему більш зручною та доступною для користувачів.

Загальний результат полягає в створенні функціональної та ефективної системи управління, яка може бути використана для різноманітних завдань, таких як автоматизовані виробничі процеси, системи моніторингу або дослідницькі проекти. Така система може забезпечити покращення ефективності та автоматизації різних сценаріїв використання.

Автоматизована система управління рухомою платформою може бути застосована в різних галузях та сферах, де важлива автоматизація рухомих процесів і контроль за рухом об'єкта. Ось деякі можливі області застосування:

- у промисловості на виробничих лініях та заводах для автоматизації транспортування матеріалів, вантажів чи виробничих пристроїв;
- у сільському господарстві для автоматизованого переміщення агротехніки, наприклад, роботів для поливу чи збору врожаю;
- у медицині в галузі реабілітації та допоміжних технологій для створення рухливих пристроїв для людей з обмеженими можливостями;
- у дослідницьких проектах для створення рухливих платформ у лабораторних дослідженнях чи дослідженнях в галузі робототехніки;
- у транспортних системах, в розробці електричних транспортних засобів та автономних рухомих систем;

— для автоматизованого ведення моніторингу та збору даних у важкодоступних чи віддалених місцях;

— у навчальних закладах для вивчення принципів програмування, робототехніки та інженерії.

Залежно від конкретних завдань та вимог, автоматизована система може бути пристосована до різних областей застосування.

Суб'єктами виконання наукових досліджень і розробок є наукові установи, дослідницькі центри при вищих навчальних закладах, проектно-дослідні підрозділи, проектно-конструкторські організації, експериментальні підприємства і науково-виробничі об'єднання. Основною метою фундаментальних та, частково, пошукових досліджень є не отримання конкретного продукту, товару або послуги, які можуть мати комерційне використання або стати об'єктом інвестиційного проекту. Проте ці дослідження відіграють важливу роль у породженні ідей, які потенційно можуть еволюціонувати у проекти науково-дослідницької і конструкторської діяльності. В такий спосіб, пошукові роботи можуть мати певну комерційну цінність. Основними ознаками наукового ефекту у науково-дослідній роботі є інноваційність, рівень теоретичного осмислення, перспективність, розповсюдження результатів та можливість реалізації. Науковий внесок у науково-дослідній роботі можна виміряти за двома критеріями: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного обґрунтування.

### **5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки**

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності, тобто під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів, якими можуть бути провідні викладачі

випускаючої або спорідненої кафедри чи інші відомі фахівці. Не рекомендується залучати експертами керівника магістерської кваліфікаційної роботи та завідувача відповідної випускової кафедри.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів



Продовження таблиці 5.1

Кри- терій	0	1	2	3	4
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 5.1

Кри- терій	0	1	2	3	4
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки потрібно звести в таблицю. Таким чином можна буде розрахувати середньоарифметичну суму

балів і в подальшому оцінити науково-технічний рівень та науково-технічний потенціал запропонованої розробки.

Автоматизована система управління рухомою платформою, що розглядається в даній роботі, може отримати широке застосування в робототехніці, оскільки рухомі платформи дуже часто використовуються в якості основ для роботів.

Робота була запропонована для ознайомлення трьом експертам. Вони виконали експертну оцінку розробки за 12 шкалами. В якості експертів було обрано науковців з ВНТУ. Згідно з рекомендацією, серед експертів не було завідувача випускової кафедри та наукового керівника роботи. Роботу переглянули і оцінили наступні експерти: Богомолів Сергій Віталійович, к.т.н., ст.викл., Дудник Олександр Вікторович, к.т.н., ас., Кадук Олександр Володимирович, к.т.н., доц. Результати оцінювання внесені у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Богомолів С.В.	Дудник О.В.	Кадук О.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	3
2	1	3	2
3	3	2	4
4	2	3	2
5	2	3	2
6	4	4	3
7	2	2	3
8	2	3	3
9	3	3	3
10	3	4	4
11	4	3	3
12	4	4	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =32	СБ <sub>2</sub> =34	СБ <sub>3</sub> =36
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{32 + 34 + 36}{3} = 34$		

За результатами розрахунків можна зробити висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. Згідно з

рекомендаціями, для середньоарифметичної суми балів, рівної 34, науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки можна оцінити на рівні «Вище середнього».

Такий рівень було досягнуто за рахунок покращення та розширення функціональних можливостей нової науково-технічної розробки порівняно з аналогічними розробками, існуючими на ринку. Крім цього, позитивно вплинуло на результат значне зменшення витрат ресурсів і часу на виконання поставлених завдань, а саме розробки автоматизованої системи управління рухомою платформою, за рахунок відмови від використання енкодерів для визначення пройденого шляху, використанню більш дешевих компонентів, розробці кросплатформеного програмного забезпечення. Відсутність необхідності підтримки декількох операційних систем також створює передумови для залучення меншої кількості розробників до роботи над програмним забезпеченням, в тому числі, для його підтримки. Таким чином, представлена розробка має рівень вище середнього.

Аналогів запропонованої розробки на ринку представлено не багато, тому вибір буде зроблено за принципом пошуку найбільш наближеного пристрою до запропонованої в рамках магістерської кваліфікаційної роботи автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. В якості аналога для розробки було обрано роботизовану колісну платформу Leo 6. Ця платформа оснащена маніпулятором, виконана з відносно недорогих матеріалів та підтримує дистанційне керування оператором.

Основними недоліками аналога є необхідність використання спеціалізованого програмного забезпечення для керування, методи відстеження пройденого шляху невідомі, замість крокових двигунів використовуються звичайні, що не дозволяє програмно пересувати платформу на точну відстань без участі оператора. Також до недоліків цієї роботизованої платформи можна віднести відсутність вимірювальних приладів таких як датчик температури та вологості повітря, а також датчик відстані, необхідний для виявлення перешкод на шляху платформи.

У розробці дані проблеми вирішується за рахунок розробки кросплатформеного програмного забезпечення для керування та оснащення платформи додатковими датчиками, які визначають відстань до перешкод, температуру та вологість повітря.

До існуючих методів вирішення цієї задачі можна віднести застосування окремих вимірювальних систем, змонтованих на борту робота, проте такий спосіб лише ускладнює його експлуатацію і перевантажує конструкцію.

Також система випереджає існуючі аналоги завдяки використанню чотирьох крокових двигунів, що переміщують платформу у просторі. Застосування окремого двигуна для кожного колеса підвищує прохідність та вантажопідйомність, а їхня властивість обертатись на визначену кількість кроків дозволяє більш чітко регулювати переміщення платформи на визначену відстань.

У таблиці 5.3 наведені основні техніко-економічні показники аналога у порівнянні з новою розробкою.

Таблиця 5.3 — Основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
<i>1. Нормативно-технічні показники</i>				
Механічна стійкість, Н	50	100	2	10%
Функціонал, бар	50	50	1	25%
Похибка, %	5	1	5	40%
Напрацювання на відмову, год	3000	10000	3,33	15%
Масо-габарити, кг	0,2	1,0	5	10%
<i>2. Економічні показники</i>				
Ціна придбання, грн	1500	1400		

З таблиці видно, що майже за всіма критеріями інноваційне рішення краще за товар-конкурент. Новий товар має більшу стійкість, меншу похибку, більше напрацювання на відмову, нижчу ціну. При цьому функціонал оцінений однаково, оскільки нова платформа маніпулятором не оснащена, хоча це і можливо виправити шляхом модернізації.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{базі}}} . \quad (5.1)$$

де  $q_i$  – одиничний параметричний індекс, розрахований за  $i$ -м параметром;

$P_i$  – значення  $i$ -го параметра виробу;

$P_{\text{базі}}$  – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$I_{\text{ГП}} = \prod_{i=1}^n q_i , \quad (5.2)$$

де  $I_{\text{ГП}}$  – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

$q_i$  – одиничний (частинний) показник за  $i$ -м нормативним параметром;

$n$  – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому  $I_{\text{ГП}} = 1$ .

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного :

$$I_{\text{ТП}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i , \quad (5.3)$$

де  $I_{\text{ТП}}$  – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

$q_i$  – одиничний параметричний показник  $i$ -го параметра;

$\alpha_i$  – вагомість  $i$ -го параметричного показника,  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$n$  – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.4.

$$I_{mn} = 2 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,4 + 3,33 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 = 3,45.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою:

$$I_{EP} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.4)$$

де  $I_{EP}$  – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

$q_i$  – економічний параметр  $i$ -го виду;

$\beta_i$  – частка  $i$ -го економічного параметра,  $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$ ;

$m$  – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{EP} = 0,75 \cdot 0,5 + 0,86 \cdot 0,5 = 0,80.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою:

$$K_{\text{ИТ}} = I_{\text{ИП}} \cdot \frac{I_{\text{ТП}}}{I_{\text{EP}}}, \quad (5.5)$$

$$K_{\text{ИТ}} = 1 \cdot 3,45 / 0,80 = 4,3.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності  $K_{\text{ІНТ}} > 1$ , отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

Соціальний вплив розробки полягає в тому, що її застосування у різних сферах може значно підвищити якість життя, знизити ризики його втрати. Під останнім мається на увазі можливість застосування колісних платформ в умовах, небезпечних для життя та здоров'я людей.

Екологічний вплив розробки обумовлений її екологічністю, оскільки рухома платформа використовує електроприводи, а не паливо і не викидає в навколишнє середовище шкідливі речовини. Виключенням може бути лише використання акумулятора, проте на сьогодні широко розповсюджені технології їх переробки.

## **5.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи**

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи, під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

### **5.2.1 Витрати на оплату праці**

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_0$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою:



$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.6)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 21230 \cdot 5 / 21 = 4825 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	21230	965,0	5	4825
Інженер-програміст 1-ї категорії	12000	545,5	42	22909
Інженер	10000	454,5	30	13636
Всього				41370

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.7)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.8)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=6700$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 65,8 \text{ грн.}$$

$$З_{р1} = 65,8 \cdot 10 = 658 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1.Підготовчі	10	1	65,8	658,0
2.Монтажні	16	3	88,8	1421,4
3.Складальні	16	2	72,4	1158,1
4.Налагоджувальні	40	5	111,9	4474,6
5.Випробувальні	16	4	59,8	957,1
Всього				8669,3

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$З_{дод} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{дод}}{100\%}, \quad (5.9)$$

де  $H_{дод}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Приймемо 11%.

$$З_{дод} = (41370 + 8669,3) \cdot 11 / 100\% = 5504,38 \text{ грн.}$$

### 5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{од}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.10)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (41370 + 8669,3 + 5504,38) \cdot 22 / 100\% = 12219,71 \text{ грн.}$$

### 5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень.

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.11)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Arduino Nano	200	1	200
ESP-01	150	1	150
L293D	80	2	160
Nema 17	300	4	1200
GUR03	50	1	50
DHT11	40	1	40
Колеса	35	4	140
Плата	20	1	20
Корпус	100	1	100
Витратні матеріали	60	1	60
Всього			2120
З врахуванням коефіцієнта транспортування			2332

#### 5.2.4 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$  – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 3000 \cdot 1 \cdot 1,11 = 3300 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Паяльна станція	1	3000	3300
Ноутбук	1	30000	33000
Програматор	1	200	220
Всього			36520

### 5.2.5 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.13)$$

де  $C_{\text{инрг}}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.і}}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 7900 \cdot 1 \cdot 1,11 = 8690 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.7 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Windows 11	1	7900	8690
Всього			8690

### 5.2.6 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.14)$$

де  $Ц_{б}$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{е}$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (22000 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 1833,33 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.8 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
1. Ноутбук	22 000	2	2	1833,33
2. Принтер із сканером	5 000	2	2	208,33
3. Приміщення	195000	20	1	1625,00
Всього				3666,67

### 5.2.7 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot Ц_e \cdot K_{ени}}{\eta_i}, \quad (5.15)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 7,5$  грн;

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$V_e = 0,25 \cdot 325 \cdot 7,5 \cdot 0,5 / 0,8 = 380,86$  грн.

### 5.2.8 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де  $H_{cb}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo  $H_{cb} = 20\%$ .

$V_{cb} = (41370 + 8669,3) \cdot 20 / 100\% = 10007,96$  грн.

### 5.2.9 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де  $H_{ib}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{ib} = 50\%$ .

$$I_b = (41370 + 8669,3) \cdot 50 / 100\% = 25019,89 \text{ грн.}$$

### 5.2.10 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 100\%$ .

$$B_{нзв} = (41370 + 8669,3) \cdot 100 / 100\% = 50039,78 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Інформаційна технологія моніторингу безпеки даних програмного забезпечення» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{од} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.14)$$

$$B_{заг} = 41370 + 8669,3 + 5504,38 + 12219,71 + 2332 + 36520 + 8690 + 3666,67 + 380,86 + 10007,96 + 25019,89 + 50039,78 = 204421,01 \text{ грн.}$$

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:



$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.19)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta=0,7$ .

$$ЗВ = 204421,01 / 0,7 = 292030,014 \text{ грн.}$$

### **5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором**

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати проведених досліджень передбачають комерціалізацію протягом 3-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку основу майбутнього економічного ефекту будуть формувати:

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів яким надається відповідна інформаційна послуга у періоди часу, що аналізуються;

$N$  – кількість споживачів яким надавалась відповідна інформаційна послуга у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1 особа

$C_o$  – вартість послуги у році до впровадження інформаційної системи, прийmemo 1400,00 грн;

$\pm \Delta C_o$  – зміна вартості послуги від впровадження результатів, прийmemo зростання на 100,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta \Pi_i$  для кожного із 3-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів

від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (5.20)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo  $\rho = 40\%$ ;

$\mathcal{G}$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році  $\mathcal{G} = 18\%$ ;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (1 \cdot 100 + 1400 \cdot 1300) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 333128,76 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (1 \cdot 100 + 1400 \cdot (1300 + 900)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 563827,45 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1 \cdot 100 + 1400 \cdot (1300 + 900 + 800)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 768819,25$$

грн.

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi\Pi$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.21)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 18\%$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 333128,76 / (1+0,18)^1 + 563827,45 / (1+0,18)^2 + 768819,25 / (1+0,18)^3 = \\ &= 1116142,07 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.22)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо  $k_{инв} = 2$ ;

$3B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 292030,014 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 292030,014 = 584060,03 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$  для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.23)$$

де  $III$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1116142,07 грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, 584060,03 грн.

$$E_{абс} = III - PV = 1116142,07 - 584060,03 = 532082,05 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (5.24)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн;

$T_{ж}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 3 роки.

$$E_g = \sqrt[3]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 532082,05 / 584060,03)^{1/3} - 1 = 0,41.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{мін}$ :

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.25)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні  $d = 0,1$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,25.

$\tau_{мін} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 0,41$  свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційна технологія онтологічного моделювання бази знань з організації бібліотеки» доцільно.

Період окупності інвестицій  $T_{ок}$  які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_6}, \quad (5.26)$$

де  $E_6$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,41 = 2,4 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

### **Висновки до розділу**

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 34 бали, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень оскільки рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього.

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 4,3 рази.

Також термін окупності становить 2,4 роки, що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено автоматизовану комп'ютерну систему управління рухомою платформою. Таким чином, були виконані поставлені завдання, до яких входив аналіз сучасного стану робототехніки, зокрема в галузі рухомих платформ, визначення методів та засобів вирішення поставленої задачі, розробка системи, моделювання та перевірка розробленої автоматизованої системи управління рухомою платформою, виконання економічних розрахунків.

У першому розділі роботи було розглянуто історію розвитку робототехніки, поняття мехатроніки та його роль в сучасному світі, існуючі системи автоматизованого управління рухомими платформами. В результаті були сформульовані задачі, необхідні для розробки системи.

Другий розділ присвячений огляду методів та засобів розробки подібних систем автоматизованого управління. Було визначено узагальнену структуру сучасних систем автоматизації в цілому, розглянуто мікроконтролерні платформи, методи та способи передачі даних, засоби комп'ютерного моделювання.

Третій розділ присвячений розробці автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою. В ньому було визначено функціонал та структуру системи, підібрано апаратне забезпечення, розроблено програмне забезпечення.

В четвертому розділі роботи було виконано моделювання спрощеної системи автоматизованого управління рухомою платформою, з урахуванням деяких недоліків та особливостей середовища моделювання Proteus. Наведено інструкцію оператора та системні вимоги для коректної роботи програмного забезпечення.

П'ятий розділ роботи присвячено економічній оцінці запропонованого рішення. Розрахунки визначають можливості реалізації автоматизованої системи управління рухомою платформою, перспективи розвитку проекту та його економічну ефективність.

В результаті виконання всіх цих розділів було отримано автоматизовану комп'ютерну систему управління рухомою платформою, яка могла б бути застосована у багатьох сферах діяльності людини.

Новизна даної розробки полягає в оптимізації віддаленого керування рухомою платформою за рахунок кросплатформеності інтерфейсу оператора, оптимізації планування маршруту переміщення, застосування чотирьох крокових двигунів для пресування, а також розширення функціоналу платформи за рахунок вимірювання відстані до перешкод, температури та вологості повітря.

Практичне значення обумовлено широкою сферою застосування роботів, в тому числі, на базі колісних платформ. Розроблені апаратне та програмне забезпечення можуть бути застосовані у подальших дослідженнях. Розвиток автоматизованої системи управління рухомою платформою можливий у багатьох напрямках, включаючи подальше розширення функціоналу та оптимізацію алгоритмів керування.

Моделювання роботи системи у Proteus дозволило визначити ефективність апаратного та програмного забезпечення, а також виявити можливі проблеми та вдосконалення. Це сприяло створенню оптимізованої системи управління, яка може бути використана в різних областях, включаючи промисловість, транспорт, агротехніку та інші.

Загальний висновок полягає в тому, що розроблена автоматизована система управління рухомою платформою є ефективним та перспективним рішенням для впровадження в різноманітних сферах діяльності, сприяючи автоматизації та підвищенню продуктивності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Робототехніка. Штучний інтелект. Чернігівський обласний центр зацнятості. URL: <https://chg.dcz.gov.ua/publikaciya/robototehnika-shtuchnyu-intelekt>.
2. Робот. Електронна версія «Великої української енциклопедії». URL: <https://vue.gov.ua/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82>
3. Мокренко П.В., Ядловська В.В. Огляд розвитку робототехніки. Частина 1. (Робототехніка до ХХ століття). Автоматика, вимірювання та керування. 2020. Т. 2. № 1(2). С. 67–77. URL: <https://doi.org/10.23939/amm2020.01.067>.
4. Леськів І. Робототехніка: від глини до нано-матеріалів. Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/naukovo-populiarni-publikatsii/2130-robototekhnika-vid-hlyny-do-nano-materialiv.html>
5. Члек Д.М., Гутник М.В. Історія робототехніки від стародавнього світу до сучасності. Україна і світ: гуманітарно-технічна еліта та соціальний прогрес: Матеріали міжнар. Наук.-теор. Конференції студ. Та аспір. 14—15 квітня 2021 року. Харків: НТУ «ХП», 2021. С. 719–720.
6. Що таке мехатроніка. Національний ТУ «Дніпровська політехніка». URL: [https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/What\\_is\\_mehatronics.php](https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/What_is_mehatronics.php).
7. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. Київ, 2012. 357 с.
8. Артюх О.М., Дударенко О.В., Кузьмін В.В., Сосик А.Ю., Щербина А.В. Основи мехатроніки : навч. Посіб. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. 372 с.
9. Цвіркун Л.І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка: навч. Посіб. / під заг. Ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. Гірн. Ун-т. 3-те вид., переробл. і доповн. Дніпро: НГУ, 2017. 224 с.
10. Солоня О.В. Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України. Всеукраїнський науково-технічний



журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та ін. Вінниця, 2020. № 3(110). С. 71–76.

11. Андрієць Є.М., Коваль А.В. Автоматизована мехатронна система робот-гексапод. Розпізнавання об'єктів в реальному часі. Промислова та мобільна робототехніка. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. С. 174. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/05/6.-promyslova-ta-mobilna-robototehnika.pdf>.

12. Ткачук А.Г., Добржанський О.О., Кравчук А.Р. Мобільний робот для вимірювання теплових показників об'єктів. Тенденції розвитку технологій в автоматизації, приладобудуванні та робототехніці. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. С. 113. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/3-tendentsiyi-rozvytku-tekhnohohiy-v-avtomatyzatsiyi.pdf>.

13. Довжик М.Я., Сіренко Ю.В., Калнагуз О.М. Аналіз кінематики руху польових агрегатів зі всіма керованими колесами. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2022. №2(48). С. 14–20.

14. Попко О.С., Лосіхін Д.А. Розробка автоматизованої мікропроцесорної системи регулювання і управління станом рухомої платформи. Четвертий том збірника тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро, 2019. Т. IV. С. 35–36.

15. Шульгін О.Л., Лосіхін Д.А. Моделювання системи управління балансуною платформою. Wissenschaftliche Ergebnisse und Errungenschaften: 2020: der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΟΓΟΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz. Мюнхен, 2020. Т. 1. С. 132–134. ISBN 978-3-471-37237-1.

16. Шульгін О.Л., Ляшенко О.А. Розробка моделі балансуноюї платформи в середовищі візуального моделювання. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем». Дніпро, 2020. С. 67–68.

17. Курасов Д.Г., Михайлюк Я.В., Богданоський М.В. Автоматизована система управління рухом колісної платформи із стабілізацією горизонталі за двома координатами. Житомирський державний технологічний університет. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/142.pdf>.
18. Алешко К.А. Проблема автоматизованого визначення механічної взаємодії колісної робототехнічної платформи із зовнішнім середовищем. «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES». Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2021. № 2, С. 14–18. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/bbf82b13-41c1-442e-a4ea-81dbf980fa5e/content>.
19. Бабич О., Бойко Я., Галін В., Чупринський О. Проектування інтелектуальних інформаційних систем на базі МК Raspberry Pi. Електроніка та інформаційні технології. 2019. Вип. 11. С. 61–72.
20. Веселовський М.В. Побудова смарт-систем за допомогою Raspberry Pi. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 3(43). С. 69–72.
21. Романчук Р.О. Особливості та загальні характеристики мікроконтролерів STM32. Матеріали VI Міжнародної студентської науково — технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023. С. 167–168.
22. Кривонос О.М., Кузьменко Є.В., Кузьменко С.В. Огляд та перспективи використання платформи Arduino Nano 3.0 у вищій школі. Інформаційні технології і засоби навчання. 2016. Т. 56. № 6. С. 77–87.
23. Звенігородський О.С., Кутовий С.О., Прокопов С.В., Рижаків М.М. Якість обслуговування інтернет речей в протоколі MQTT, основні особливості і процедури. Наукові записки УНДІЗ. 2019. № 4(56). С. 80–85.
24. Малохвій Е.Е., Молчанов Г.І., Паржин Ю.В. Дослідження протоколів передачі даних в умовах інтернету речей. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Вип. 1(67). С. 71–74.

25. Nano | Arduino Documentation. Arduino Docs. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.

26. Датчик вологості та температури DHT11 (V2). Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11>.

27. Grove – Ultrasonic Ranger. Seeed. URL: [https://www.mouser.com/datasheet/2/744/Seeed\\_101020010-1217449.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/744/Seeed_101020010-1217449.pdf).

28. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами технічних спеціальностей економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В. Кавецький. Вінниця: ВНТУ, 2021. 42 с.



## 1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Актуальність магістерської кваліфікаційної роботи «Автоматизована система управління рухомою платформою» обумовлена поєднанням зростаючого інтересу до робототехніки та автоматизації процесів з практичною необхідністю у вдосконаленні систем контролю за рухом об'єктів. З урахуванням сучасних тенденцій у розробці програмного та апаратного забезпечення, така система може знайти широке застосування в різноманітних галузях, включаючи виробництво, логістику, агротехнології та дослідження. Автоматизована платформа може стати основою для реалізації інтелектуальних систем, що полегшать і покращать процеси в різних сферах життя. Такий підхід відкриває перспективи для досліджень і впровадження інноваційних технологій у сучасне суспільство;

1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

## 2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку зарубіжних і вітчизняних розробок у сфері робототехніки та розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою;

2.2 Призначення розробки — автоматизована комп'ютерна система управління рухомою платформою призначена для здійснення оптимізації віддаленого керування рухомими платформами.

## 3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Проведення аналізу існуючих принципів та технологій інформаційного та технічного моніторингу радіомовлення.

3.2 Розробка структури та функціональної схеми автоматизованої системи управління рухомою платформою.

3.3 На основі структурних та функціональних схем здійснено моделювання системи, а також написання мікропрограми керуючого мікроконтролера.

3.4 Виконання розрахунків для доведення доцільності нової розробки з економічної точки зору.

3.5 Розгляд державних санітарних правил і норм яких мають дотримуватись на підприємстві при проектуванні мережі та роботі з нею. Надання рекомендації по захисту мережі та обладнання від дії надзвичайних ситуацій та електромагнітних імпульсів.

#### 4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — розробка автоматизованої комп'ютерної системи управління рухомою платформою.

#### 8 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Огляд і аналіз існуючих методів та рішень в області робототехніки	20.11.2023	22.09.2023	Аналітичний огляд джерел, задачі досліджень, розділ 1
2	Дослідження методів та засобів розробки	22.09.2023	05.10.2023	Розділ 2
3	Розробка структурної та функціональної схем комплексу	05.10.2023	15.11.2023	Розділ 3
4	Моделювання та перевірка роботи системи	16.11.2023	20.11.2023	Розділ 4
5	Підготовка економічної частини	20.11.2023	24.11.2023	Розділ 5
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	24.11.2023	10.12.2023	ПЗ, графічний матеріал і презентація
8	Підготовка і підпис супроводжуючих документів, нормоконтроль та тест на плагіат	11.12.2023	14.12.2023	Оформлені документи

## 8 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

## 8 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

## 8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

### 8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»;

— документи на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

## ДОДАТОК Б

Структурна схема автоматизованої системи управління рухомою платформою

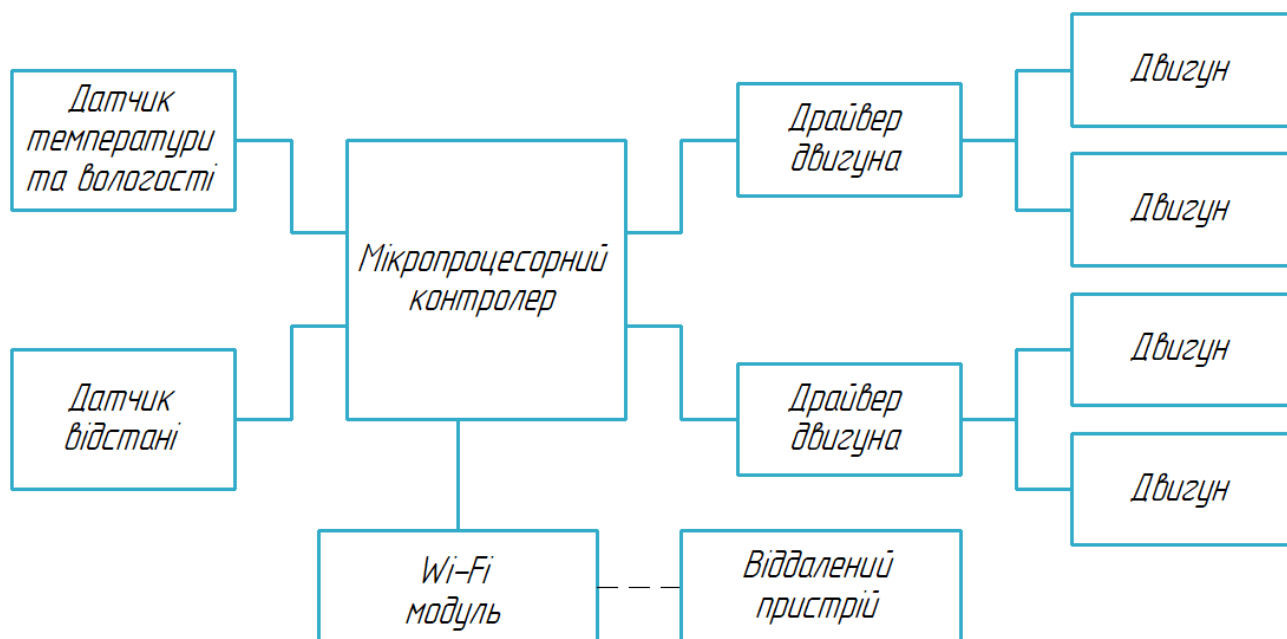


Рисунок Б.1 — Структурна схема автоматизованої системи управління рухомою платформою



## ДОДАТОК В

## Схема електрична принципова

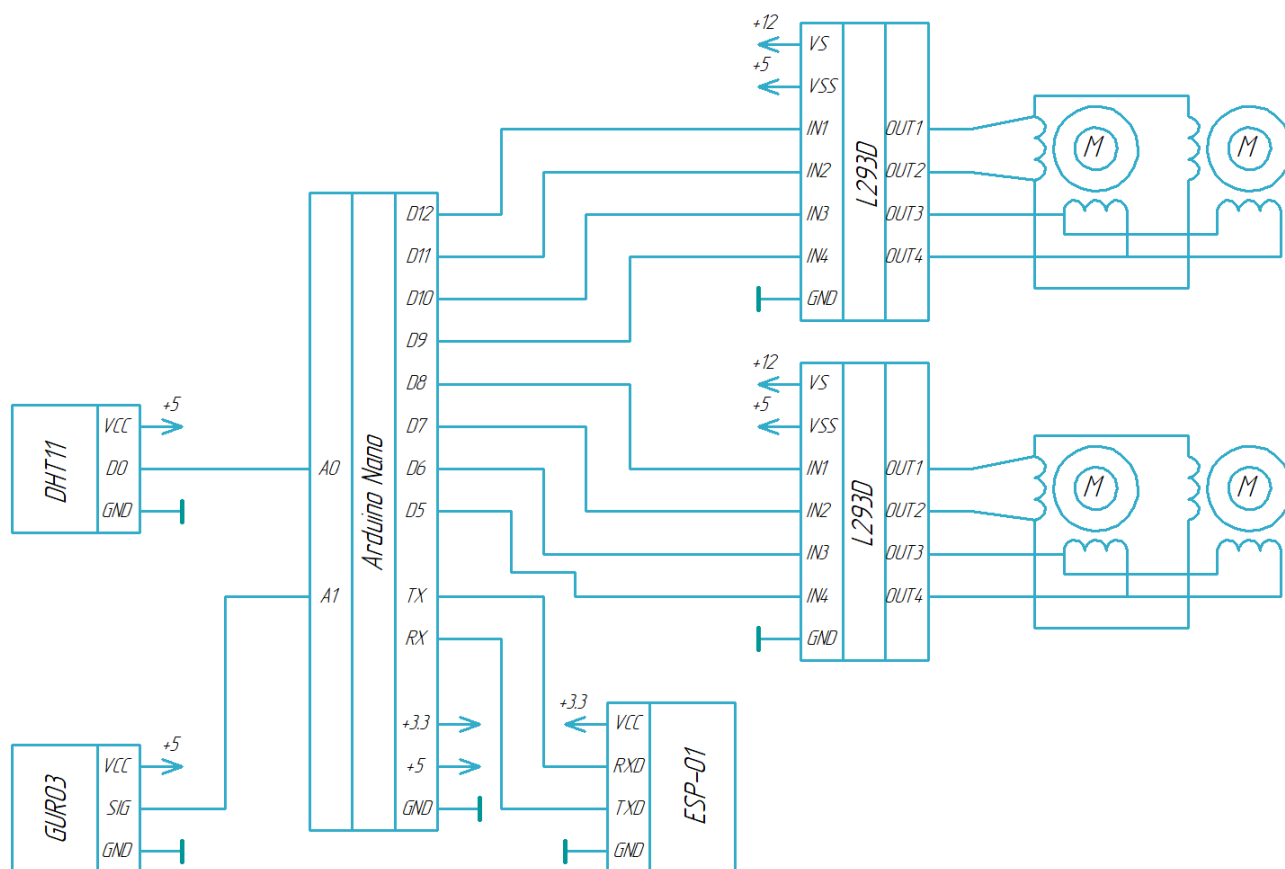


Рисунок В.1 — Схема електрична принципова

## ДОДАТОК Г

## Блок-схема алгоритму керування

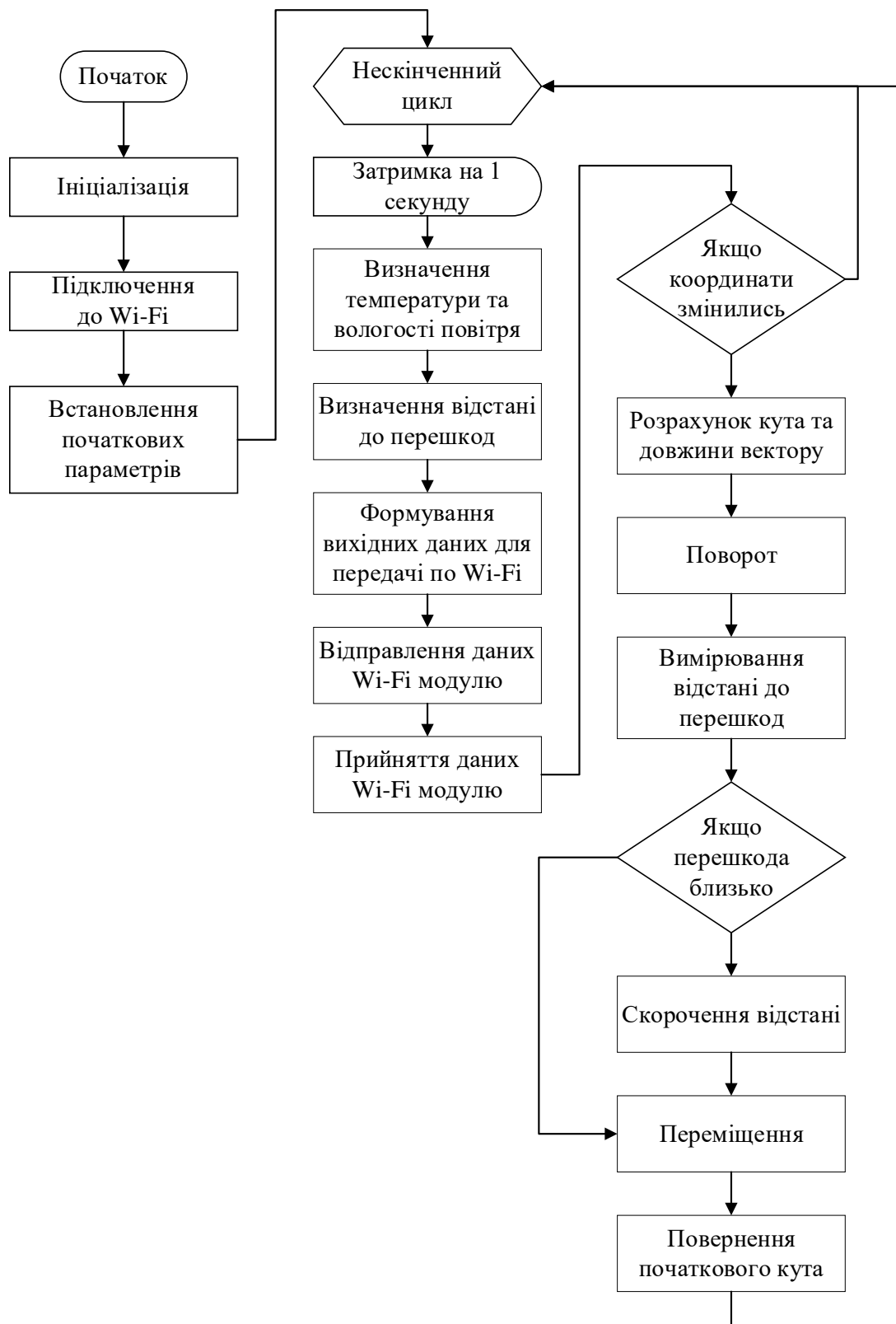


Рисунок Г.1 — Блок-схема алгоритму керування

## ДОДАТОК Д

## Лістинг програми керуючого контролера

```
#include «DHT.h»
#include «Ultrasonic.h»
#include <Stepper.h>
#define DHTTYPE DHT11
#define DHTPIN A0
#define USPIN A1
#define IN11 12
#define IN21 11
#define IN31 10
#define IN41 9
#define IN12 8
#define IN22 7
#define IN32 6
#define IN42 7
#define STEPS 200
#define Rr 20
#define Dw 5
#define st 1.8
#define Pi 3.14
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Ultrasonic ultrasonic(USPIN);
Stepper stepperL1(STEPS, IN11, IN21, IN31, IN41);
Stepper stepperR1(STEPS, IN12, IN22, IN32, IN42);
Stepper stepperL2(STEPS, IN21, IN11, IN41, IN31);
Stepper stepperR2(STEPS, IN22, IN12, IN42, IN32);
float Lw1 = ((Pi*Dw)/360)*st;
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(«AT+RST»);
  dht.begin();
  delay(5000);
  Serial.print(«AT+CWJAP_CUR=\»wifi\»,\»password\»»);
}

void loop() {
  delay(1000);
  float t = dht.readTemperature();
  float h = dht.readHumidity();
  long d = ultrasonic.MeasureInCentimeters();
  int v = 0;
  int x = 0;
  int y = 0;
  String request = «»;
  Serial.print(«AT+CIPSTART=\»TCP\»,\»www.domain.com\»,80»);
  request = «POST /p_data.php HTTP/1.1/r/nHost: www.domain.com/r/nContent-
Type: application/json /r/nContent-Length: 122/r/n/r/n{\»t\»:}\»» + String(t) + «\», \»»
+ String(h) + «\»:true}»;
  Serial.print(«AT+CIPSEND=» + request.length());
  Serial.print(request);
  request = «GET / HTTP/1.0\r\nHost: www.domain.com/p_data.php\r\n\r\n»;
  Serial.print(«AT+CIPSEND=» + request.length());
  Serial.print(request);
  int i = 0;
  String inString = «»;
  if (Serial.available() > 0) {
    int inChar = Serial.read();

```

```
if (isDigit(inChar)) {
    inString += (char)inChar;
}
if (inChar == '\n') {
    switch(i)
    {
        case 0:
            x = inString.toInt();
            break;
        case 1:
            y = inString.toInt();
            break;
        case 2:
            v = inString.toInt();
            break;
        default: break;
    }
    inString = «»;
    i++;
}
}
int l = sqrt(x^2+y^2);
int a = (cos(x/l)*180)*Pi;
int L = (Pi*Rr*a)/180;
if(l > d)
    l = d - 1;
stepperL1.setSpeed(v);
stepperR1.setSpeed(v);
stepperL2.setSpeed(v);
```

```
stepperR2.setSpeed(v);
for(int i = 0; i < L/Lw1; i++)
{
    stepperL1.step(1);
    stepperR2.step(1);
}
delay(2000);
for(int i = 0; i < l/Lw1; i++)
{
    stepperL1.step(1);
    stepperR2.step(1);
}
delay(2000);
for(int i = 0; i < L/Lw1; i++)
{
    stepperL2.step(L/Lw1);
    stepperR1.step(L/Lw1);
}
}
```

## ДОДАТОК Е

### ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР,МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки  
(кафедра, факультет)

#### Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 97,1% Схожість 2,9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_  
(підпис)

Захарченко С.М.  
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ярцун В.В.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Обертюх М. Р.  
(прізвище, ініціали)