

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню Бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Графа Борислава Володимировича  
(ПІБ)

академічної групи ЕМ-15-2  
(шифр)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.050702 «Електромеханіка»  
(код і назва напрямку підготовки)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки  
(код і назва кваліфікації)

На тему Розробка автоматизованої системи керування радіокерованого бота  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	проф. Бешта О.С.			
розділів:				
1,2,3	проф. Бешта О.С.			
4	Лутс І.О.			
5	Дементьєва Н.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			
----------------	-----------------------	--	--	--

Дніпро  
2019

					Арк.
					1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
електропривода  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** Бакалавра \_\_\_\_\_  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Графа Б.В. \_\_\_\_\_ академічної групи ЕМ-15-2 \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва галузі знань)  
напрямок підготовки 6.050702 «Електромеханіка»  
(код і назва напряму підготовки)  
кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки  
(код і назва кваліфікації)

На тему Розробка автоматизованої системи керування радіокерованого бота,  
затверджену наказом ректора НТУ«Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Технологічна частина	
2	Автоматизований електропривод	
3	Дослідження динаміки електроприводу	
4	Охорона праці	
5	Техніко-економічне обґрунтування	

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

						Арк.
						2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 стор., 23 рис., 4 табл., 5 джерел, 2 листа графічної частини.

**Об'єкт детальної розробки:** розробка автоматизованої системи керування радіокерованого бота.

**Мета роботи:** надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи керування радіокерованого бота.

В проєкті спроектований всюди спрямований радіокерований робот.

Був проведений аналіз та підбір електроприводів, драйверів до них та механум коліс.

Спроектована рама робота, розроблена схема підключень.

Проведене дослідження динаміки електромеханічної системи.

Представлені рекомендації щодо програмного пакету для драйвера.

Розроблені заходи щодо охорони праці в лабораторії.

Доведена економічна ефективність впровадження технічних рішень.

						Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

Explanatory note: 47 pages, 23 figures, 4 tables, 5 sources, 2 sheets of the graphic part.

**The object of development:** development of an automated control system of radio-controlled bot.

**Purpose:** to acquire the necessary skills for technical solution of tasks when designing a radio-controlled bot control system.

The project is designed omnidirection radio-controlled robot.

An analysis and selection of electric drives, drivers for them and a mecanum wheels were conducted.

A robot frame was designed, a connection scheme was developed.

The study of the dynamics of the electromechanical system is carried out.

The recommendations for the software package for the driver are presented.

Labor protection measures developed in the laboratory.

The economic efficiency of implementation of technical solutions is proved.

						Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Загальний опис всюдиспрямованих роботів	8
1.2. Опис технічних рішень з усюдиного руху	9
1.3 Вимоги до електроприводу всюдиспрямованих роботів	11
1.4 Особливості електроприводу всюдиспрямованих роботів	11
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	12
2.1 Вибір типу електроприводу	12
2.2. Вибір електродвигуна.	15
2.3 Вибір драйвера	17
2.4 Схема підключень	20
2.5 Рекомендації щодо програмного забезпечення для драйвера	24
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	26
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	28
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників	28
4.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці	29
4.3 Розрахункова частина	30
4.4 Пожежна безпека	33
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	34
5.1 Розрахунок капітальних витрат	34
5.2 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	37
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	41
5.4. Визначення економії від впровадження розробленого робота	43
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	46

						Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

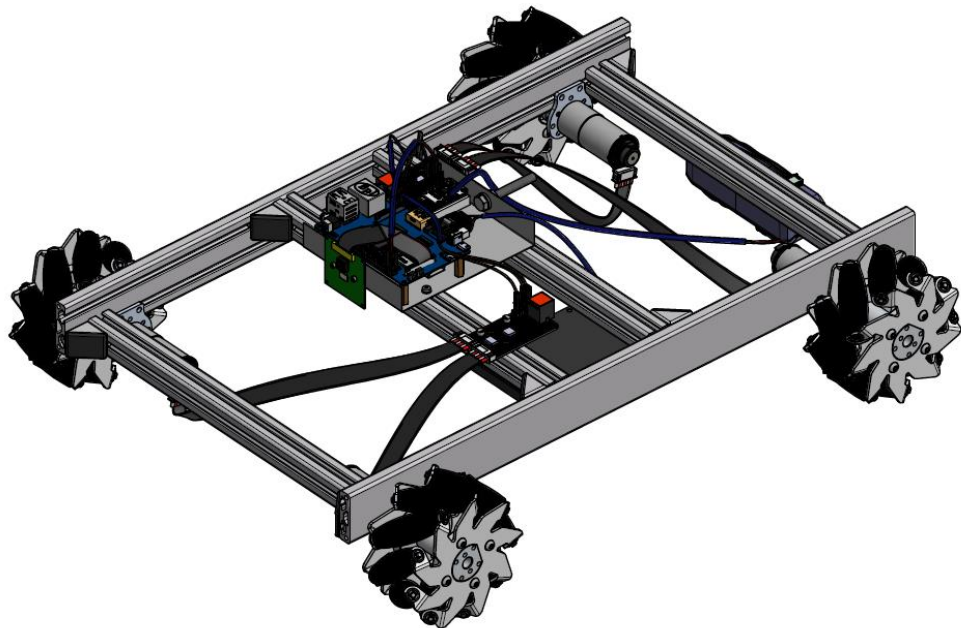
## ВСТУП

Метою дипломного проекту є надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи керування радіо-керованого бота.

Об'єктом проектування в цій роботі є саморобний всюдиспрямований радіокерований робот.

Завданнями цього проекту є:

- проектування рами всюдиспрямованого робота, вибір електродвигунів та драйверів керування, вибір механізмів колес;
- розробка системи керування;
- розробка схеми підключення елементів системи;
- створення моделі робота;
- розрахунок техніко-економічної ефективності від застосування розробленої системи.



# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Загальний опис всюдиспрямованих роботів

У сфері робототехніки важливість мобільних роботів неухильно зростає. Через їхню свободу пересування мобільні роботи є більш гнучкими і можуть виконувати більше завдань, ніж їх звичайні фіксовані аналоги.

В даний час застосування мобільних роботів обширне і включає в себе прибирання в будинках і громадських місцях, транспортування вантажів в лікарнях, на заводах, в портах і на складах, дослідження небезпечні для життя та здоров'я людини територій, такі як космос або океани, гірничодобувна промисловість, розряд вибухових речовин, розваги та проведення інспекцій і патрулі б метою підтримки безпеки.

Спеціальний клас мобільних роботів - це всюдиспрямовані роботи. Ці роботи призначені для 2D планарного руху і здатні до лінійного переміщення( $x$ ,  $y$ ) та обертання навколо їх геометричного центру( $\theta$ ), що дає три ступеня свободи (3 СС) для системи управління мобільним роботом. На відміну від звичайних транспортних засобів, всюдиспрямовані роботи можуть самостійно керувати кожним своїм СС. Для зміни напрямку руху їм не потрібно додаткового простору, вони здатні змінювати свій напрямок руху змінюючи лише напрямок руху коліс, а не усього робота.

Для ефективного функціонування мобільних роботів необхідно: відстежувати їх актуальну позицію (локалізацію), обробляти дані про їх оточення за допомогою сенсорів (сприйняття), вміти генерувати шлях до їх призначення (планування шляху) та виконувати його у ефективний спосіб. Усі ці вимоги у сукупності являються задачею навігації. Значною мірою це досягається за допомогою сенсорних та інтелектуальних алгоритмів.

						Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.1 Опис існуючих мобільних роботів

У даній дипломній роботі буде розглянуто два рішення у сфері мобільних всюдиспрямованих роботів: мобільний робот з індивідуальним приводом для кожного колеса (на прикладі Neobotix MPO-700) та роботи з всюдиспрямованими “колесами Ілона” (також відомі як шведські колеса).

Німецька компанія Neobotix пропонує використання готового рішення у вигляді серії всюдиспрямованих роботів MPO. На базі робота MPO-700 (рис. 1.1 а) встановлені Omni-Drive-модулі, кожен з них має індивідуальний поворотний привід та робот MPO-500 (рис. 1.1 б) реалізує всюдиспрямований рух робота на основі механум колес.

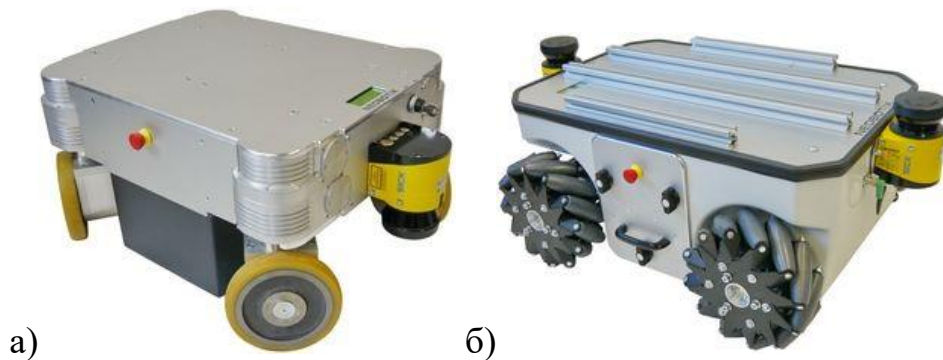


Рис. 1.1 - Мобільні роботи НЕОВОТІХ: а) MPO-700; б) MPO - 500

Всюдиспрямований MPO-700 є корисною та гнучкою базою для високотехнологічних сервісних роботів. Його чотири Omni-Drive-модулі дозволяють йому рухатися надзвичайно плавно в будь-якому напрямку. Цей робот навіть здатний вільно обертатися навколо своєї осі під час руху до місця призначення. Модулі Omni-Drive від MPO-700 відрізняються важливими перевагами:

- Повна всенаправлена маневреність
- Чіткість рухів по заданому шляху
- Висока стійкість і корисне навантаження
- Компактні, легко інтегровані приводні пристрої

					Арк.
					8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Це робить MPO-700 преміальною альтернативою для застосування у різноманітних галузях, що вимагають усюдинаправлених рухів без обмежень традиційної кінематики.

Для задачі навігації робота та побудови напрямку руху Neobotix у своїх роботах використовує ROS (Robot Operating System) - гнучкий фреймворк для написання програмного забезпечення для роботів. Це набір інструментів, бібліотек та засобів їх взаємодії, націлених на спрощення завдання створення складної та надійної поведінки роботів на різних робототехнічних платформах.

## 1.2. Опис технічних рішень з усюдинаправленого руху

На даний момент існують три технічні рішення для усюдинаправленого руху: модулі з індивідуальним приводом для кожного колеса (рис 1.2 а), механум-колеса, реалізуючі всюдинаправленість за допомогою встановлених під кутом осі обертання колеса роликам (рис. 1.2 б), та так звані omni колеса, які стали розвитком ідеї механум-колес з роликами, встановленими перпендикулярно до осі обертання колеса (рис 1.2 в).

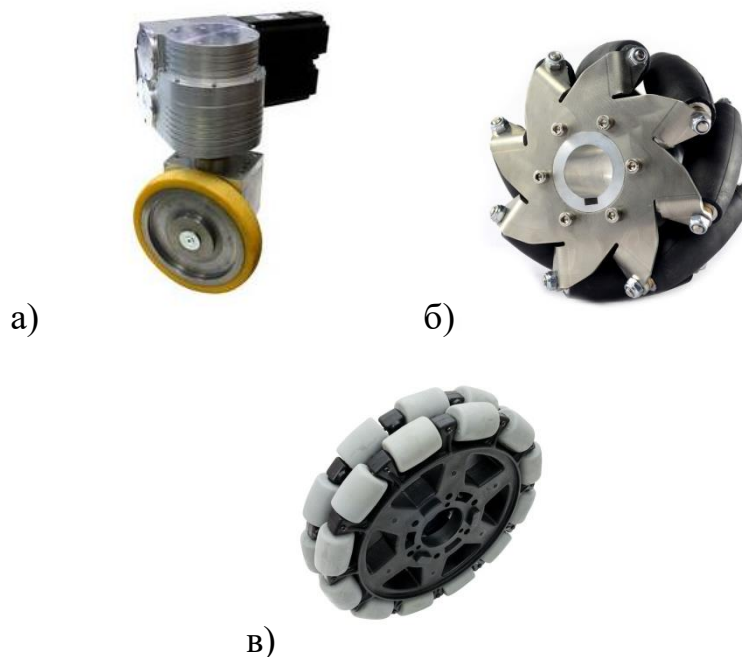


Рис. 1.2 - Приклади реалізації усюди направленого руху роботів: а) Omni-Drive-модуль; б) Меканум колесо; в) Omni колесо

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	9

Кожен Omni-Drive-модуль (рис 1.2 а) включає два незалежних сервоприводи. Колесо може обернутися в будь-якому напрямку, що дозволяє мобільному роботу рухатися всюди спрямовано. Можливо навіть змінити напрямок руху робота під час переміщення, що важливо для складних завдань з переміщення та координації.

Omni-Drive-модуль вже виявилися дуже успішними в декількох прикладах застосування використання мобільних роботів, особливо в неструктурованих та вузьких середовищах. Їх компактний дизайн дозволяє легко створювати унікальні роботи для вимогливих потреб. Завдяки високій потужності модулів на невеликому просторі можна створювати надійних та невеликих роботів з вражаючою маневреністю та високою навантаженістю.

Меканум-колеса (рис. 1.2 б) були винайдені шведським інженером Бенгтом Ерланд Ілон. Він запропонував ідею в 1973 р, коли був співробітником в шведській компанії Mecanum AB. З цієї причини ці колеса в зарубіжній літературі часто називають шведськими колесами або колесами Ілона.

Меканум-колеса є однією з можливих моделей омні-коліс (коліс всюди спрямованого руху), але мають ряд відмінностей, головним з яких є використання спеціальних роликів, встановлених на рамі під кутом (зазвичай 45 град.) до осі і до площини колеса. В результаті меканум-колесо демонструє ряд специфічних властивостей складної механічної природи, серед яких вельми цікаве і важливе - рух під кутом до площині колеса.

Типова конфігурація апарату на меканум-колесах чотирьохколісний апарат, хоча є й інші рішення. Використання меканум-коліс призводить до наступного: змінюючи швидкість і напрямок обертання кожного колеса, можна забезпечити рух корпусу апарату звичайним для чотирьох колісних транспортних засобів, таким чином, реалізувати поступальний рух корпусу або довільне його обертання і повороти. Особливості конструкції меканум-коліс забезпечує рух мобільної платформи у будь-якому напрямі, для чого необхідно розрахувати розподілення швидкості між кожним окремим колесом на основі кінематики

						Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

руху платформи. До теперішнього часу розроблено вже велике число механум-роботів і апаратів, як дослідних, так і комерційних.

Оmnі колесо (рис. 1.2 в) стало результатом розвитку ідей механум-коліс. На відміну від шведських коліс, ролики встановлені не під гострим кутом до його рами, а вздовж неї. Це забезпечує обертання колеса вздовж двох осей: перпендикулярно до осі обертання валу двигуна та паралельно йому.

Найбільш розповсюджена конфігурація апарату на omni колесах - трьох або чотирьохколісний апарат, але самі колеса встановлені під кутом до корпусу мобільного робота.

### 1.3 Вимоги до електроприводу всюдиспрямованих роботів

Основні вимоги до електроприводу всюдиспрямованих роботів:

- Необхідність синхронної роботи декількох електродвигунів
- Забезпечення необхідних динамічних характеристик
- Забезпечення необхідного моменту на валу
- Забезпечення необхідної постійної швидкості

### 1.4 Особливості електроприводу всюдиспрямованих роботів

Всюдиспрямований мобільний робот на основі колеса Mecanum використовує модель руху диференціального диску. Тому кожне робоче колесо обертається під контролем швидкості. Сигнал напруги надсилається для кожного приводу двигуна для управління колесом. Змінюючи співвідношення 4-канальних сигналів напруги, мобільний робот може переміщатися в різних режимах руху, включаючи поздовжній, бічний, діагональний і обертальні рухи. Сигнал кожного кодера, встановленого в задній частині сервомотора, надсилається на драйвер двигуна і на ПЛК одночасно. Таким чином, ПЛК може обчислити рух мобільного шасі на основі одометрії.

						Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Вибір типу електроприводу

У цю епоху промислової автоматизації роботи використовуються для обробки різних процесів для точної і кращої якості виробництва. Вибір ідеального двигуна для ідеального робота завжди є важким завданням при розробці робота, особливо для промисловості. Правильний вибір електродвигунів у промислових роботах вимагає декількох параметрів для врахування ручного управління, положення, кутових і лінійних рухів.

Концепція вибору двигуна включає визначення швидкості, прискорення, вимог до крутного моменту робота на основі ваги робота, розміру колеса і області застосування, в якій він повинен бути реалізований. Існує багато типів двигунів, доступні на сьогоднішньому ринку, але в основному промислові роботи використовують: двигуни змінного струму, двигуни постійного струму, серводвигуни і шагові двигуни в залежності від області їх застосування.

1. Двигуни змінного струму можуть бути далі поділені на асинхронні і синхронні типи. Наприклад, асинхронний електродвигун змінного струму являє собою блок асинхронного типу, який по суті складається з дротяного статора і ротора. Харчування підключено до проводу, і змінний струм, що протікає через нього, індукуює електромагнітне (ЕМ) поле в спіральному дроті, причому досить сильне поле забезпечує силу для руху ротора. Синхронні двигуни - це двигуни з постійною швидкістю, які працюють синхронно з частотою мережі змінного струму і зазвичай використовуються там, де потрібна точна постійна швидкість.

2. Промислова робототехніка часто використовує двигуни постійного струму через простоту управління швидкістю і напрямом. Вони здатні до нескінченного діапазону швидкостей, від повної швидкості до нуля, з широким діапазоном навантажень.

						Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки двигуни постійного струму характеризуються високим відношенням крутного моменту до інерції, вони можуть швидко реагувати на зміни сигналів управління. Двигун постійного струму може плавно регулюватися до нуля і миттєво прискорюватися в протилежному напрямку без необхідності складної схеми перемикання потужності. Безщіткові двигуни постійного струму з постійними магнітами зазвичай дорожче, ніж щіткові, хоча вони можуть забезпечити переваги в енергоспоживанні і надійності.

Без комутатора безщіткові двигуни можуть працювати більш ефективно і на більш високих швидкостях, ніж звичайні двигуни постійного струму. Більшість безщіткових двигунів постійного струму працюють на трапецієподібній формі хвилі змінного струму, але деякі з двигунів працюють з синусоїдальними хвилями. Безщіткові двигуни з синусоїдальними хвилями можуть забезпечити плавну роботу і більш низькі швидкості з низькою пульсацією крутного моменту, що робить їх ідеальними для шліфування, нанесення покриттів і інших застосувань, таких як обробка поверхні.

У разі щіткових двигунів постійного струму, якщо ви хочете, щоб ваш двигун обертався повільніше без втрати потужності, ви можете використовувати широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Таким чином, двигун обертається з меншою швидкістю, як якби було застосовано більш низьку напругу, не піклуючись про потужність.

По суті, крутний момент, створюваний щітковим двигуном постійного струму, занадто малий, а швидкість занадто велика, щоб бути корисною. Таким чином, зазвичай використовуються редуктори для зниження швидкості і збільшення крутного моменту.

						Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Серводвигуни використовуються в замкнених системах з цифровим контролером. Контролер посилає команди швидкості на підсилювач драйвера, який, в свою чергу, живить серводвигун. Влаштувана деяка форма зворотнього зв'язку, такого як резольвер або енкодер, надає інформацію про положення і швидкість серводвигуна. Резольвер або енкодер можуть бути інтегровані з двигуном або розташовані дистанційно. Завдяки замкнутій системі серводвигун може працювати з певним профілем руху, який запрограмований в контролері.

4. Крокові двигуни можуть працювати зі зворотним зв'язком або без нього, при цьому оберти двигуна розбиваються на невеликі кутові кроки. Він управляється імпульсними командними сигналами і може точно зупинитися в заданій точці без необхідності використання гальм або зчеплення, але має відносно малий момент на валу. Коли живлення вимикається, кроковий двигун з постійними магнітами зазвичай залишається в своєму останньому положенні. Кілька крокових двигунів можна підтримувати синхронно, приводячи їх у дію від загального джерела.

Отже, в нашому випадку найкраще підходять двигуни постійного струму. Легкі в управлінні та регулюванні, відносно дешеві і мають малий розмір та вагу. Для забезпечення необхідного моменту на валу, повинен бути присутній редуктор. А для контролю швидкості і позиції, вбудований енкодер.

						Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2. Вибір електродвигуна.

Для забезпечення особливостей вказаних у пункті 1.2, було вирішено обрати електропривод постійного струму з редуктором, для забезпечення необхідного моменту на валу, та з фотоелектричним енкодером для забезпечення зворотного зв'язку та ПД регулювання.

Тому була обрана модель - **Makeblock Optical Encoder Motor-25**



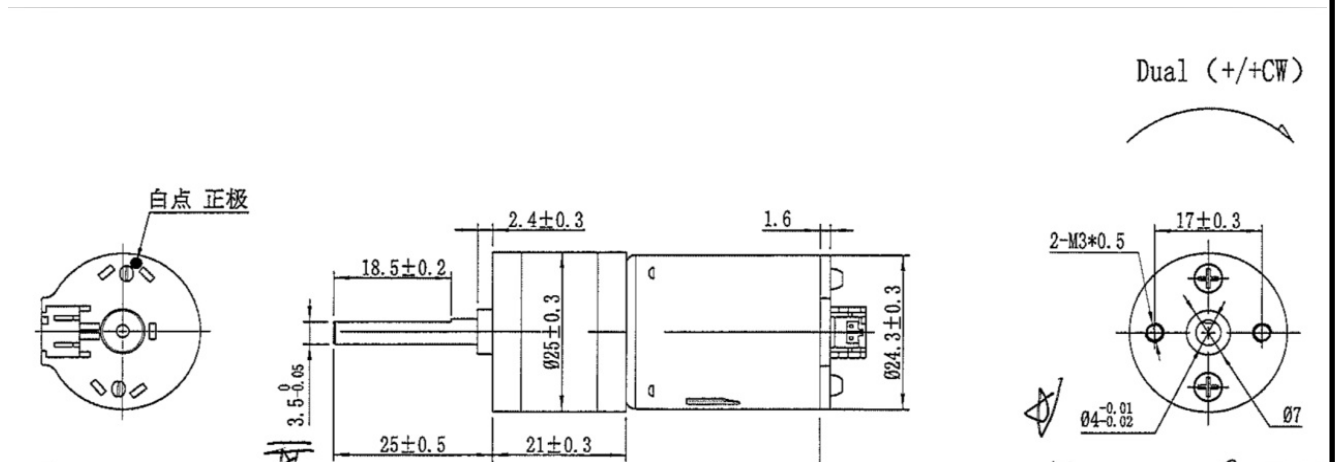
Характеристики даної моделі:

Номінальна напруга	9.0V (DC)
Температурний діапазон	-20°C~+60°C
Діапазон вологості	0%-90%
Струм холостого ходу	200 mA
Швидкість без навантаження	185±10% вб\хв
Номінальне навантаження	0.9 Kgf.cm
Номінальний струм	550mA
Номінальна швидкість	135±10% об\хв
Стартовий момент	4.5kgf.cm
Струм короткого замикання	≥ 2.0 A
Відношення редуктора	1:46

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	15

## Принцип роботи енкодера:

В даний час існує 2 типи кодера: магнітний кодер і оптичний кодер. Закріплені на валу двигуна, магнітне кільце або диск кодування буде обертатися разом з двигуном. Між тим, пристрій виявлення виявляє зміни, що відбуваються з магнітним полюсом або оптичною решіткою, перетворює зміни в імпульсний сигнал і в кінцевому рахунку доставляє сигнал до драйвера двигуна. Кількість обертів двигуна може бути отримана шляхом підрахунку кількості пульсацій сигналу та обчислення швидкості електродвигуна за кількістю імпульсів сигналу в одиницю часу.



## Встановлення та кріплення даного електроприводу на раму робота



					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	16



### 2.3 Вибір драйвера електропривода

На даний момент, для обраного мною привода, на ринку доступні два відповідні драйвери: Megapi Encoder/DC Motor Driver та Me Encoder Motor Driver



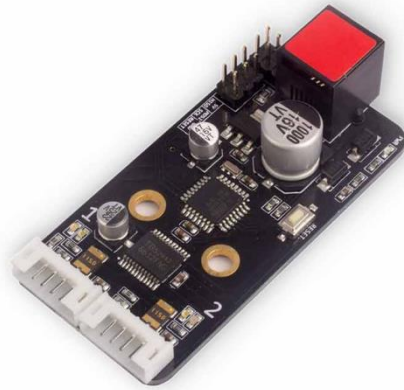
**Megapi Encoder/DC Motor Driver** має компактні розміри, лише один канал управління, і багату кількість цифрових входів для організації цього управління. Цей драйвер призначений для підключення до відносно простих ПЛК по типу Megapi та Arduino.

**Me Encoder Motor Driver** має одразу два канали управління, що дозволяє, в нашому випадку, використовувати 2 драйвери, замість чотирьох, та протокол зв'язку I2C, що дозволить підключити його до більш складного та потужного ПЛК ( в нашому випадку Vanana Pi M3 ) лише за допомогою двох проводів.

Отже, було вирішено організувати управління приводами, за допомогою драйвера **Me Encoder Motor Driver**. Цей варіант зменшує кількість підключень до мінімуму і являється економічно більш вигідним.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

## Me Encoder Motor Driver



### Технічні характеристики:

Канали управління: 2

Вхідна напруга: 6V-12V DC

Максимальний постійний струм одного каналу: 1.2A

Пікове значення струму одного каналу: 3.2A

Робоча напруга MCU: 5V DC

Порт зв'язку: I2C

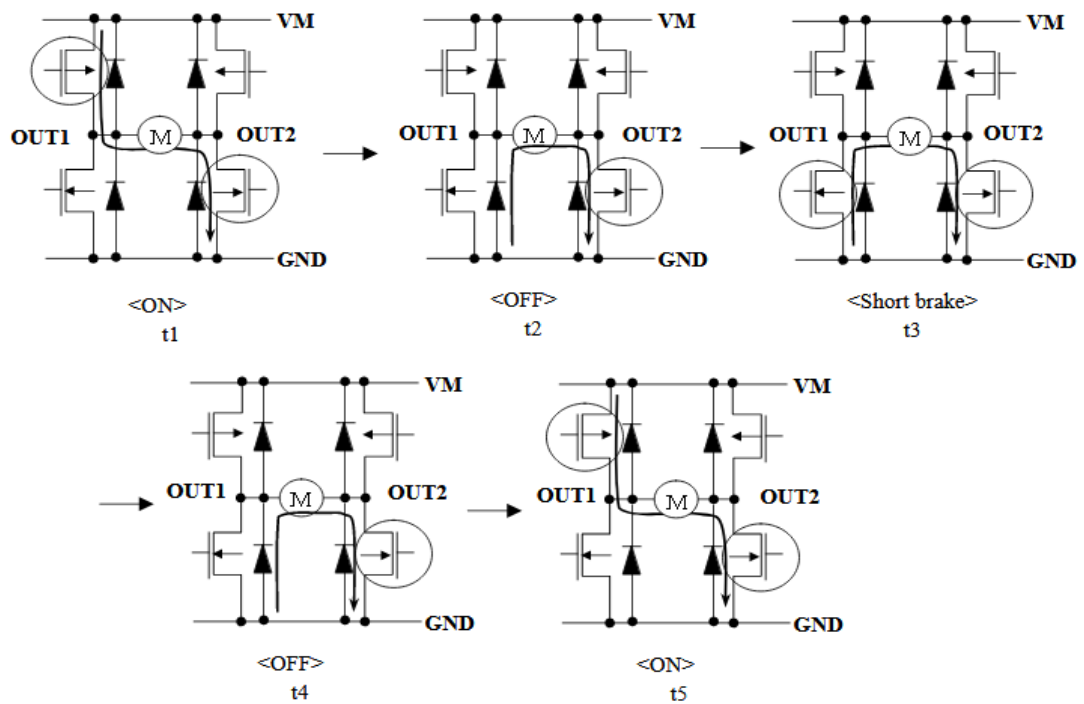
Вихідний порт: SPI - послідовний порт

Порти двигунів: M +, M-, GND, 5V, ENC1, ENC2

Робоча температура: -40 ~ 85 °C

Розмір модуля: 67,5 x 32 x 18 мм

Драйвер оснований на мікросхемі TB6612FNG



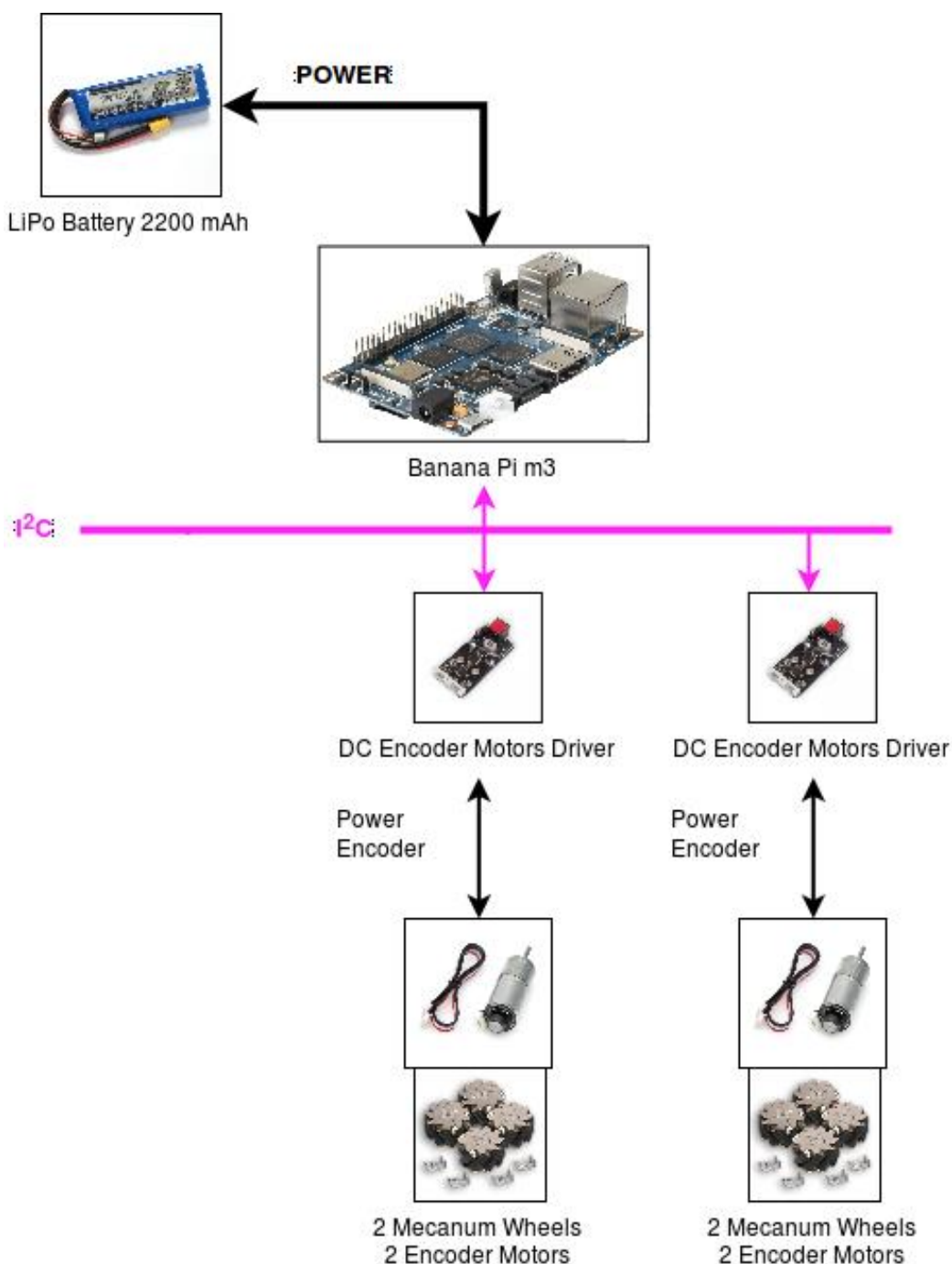
Зображення керуючих мостів мікросхеми TB6612FNG

### Функціональні характеристики:

- Точне керування положенням, швидкістю і напрямком двигуна
- Забезпечення зворотнього зв'язку в режимі реального часу по позиції та швидкості
- Обладнаний ефективним модулем ІС-модуля драйвера двигуна MOSFET H-bridge
- Захист від перенапруги та захист від зворотного ходу

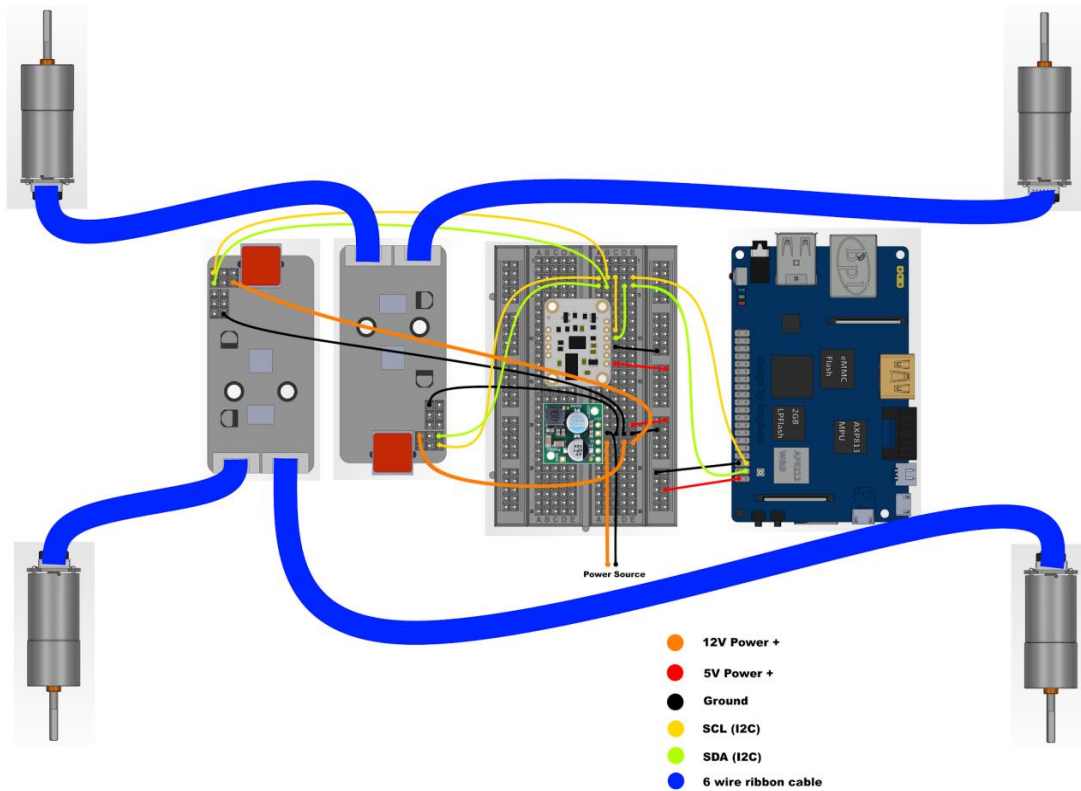
## 2.4 Схема підключень

Для забезпечення повної мобільності платформи було вирішено, у якості джерела електроенергії, використати літій-полімерний акумулятор на 12В з ємністю 2200 мАг. Управляти усіма процесами та обробляти команди буде ПЛК Banana Pi m3. Через протокол зв'язку I2C, ПЛК буде надсилати команди на драйвери двигунів, та отримувати від них данні про швидкість обертання коліс. Драйвери, в свою чергу, управлятимуть електроприводами, на валу яких встановлені механум колеса.

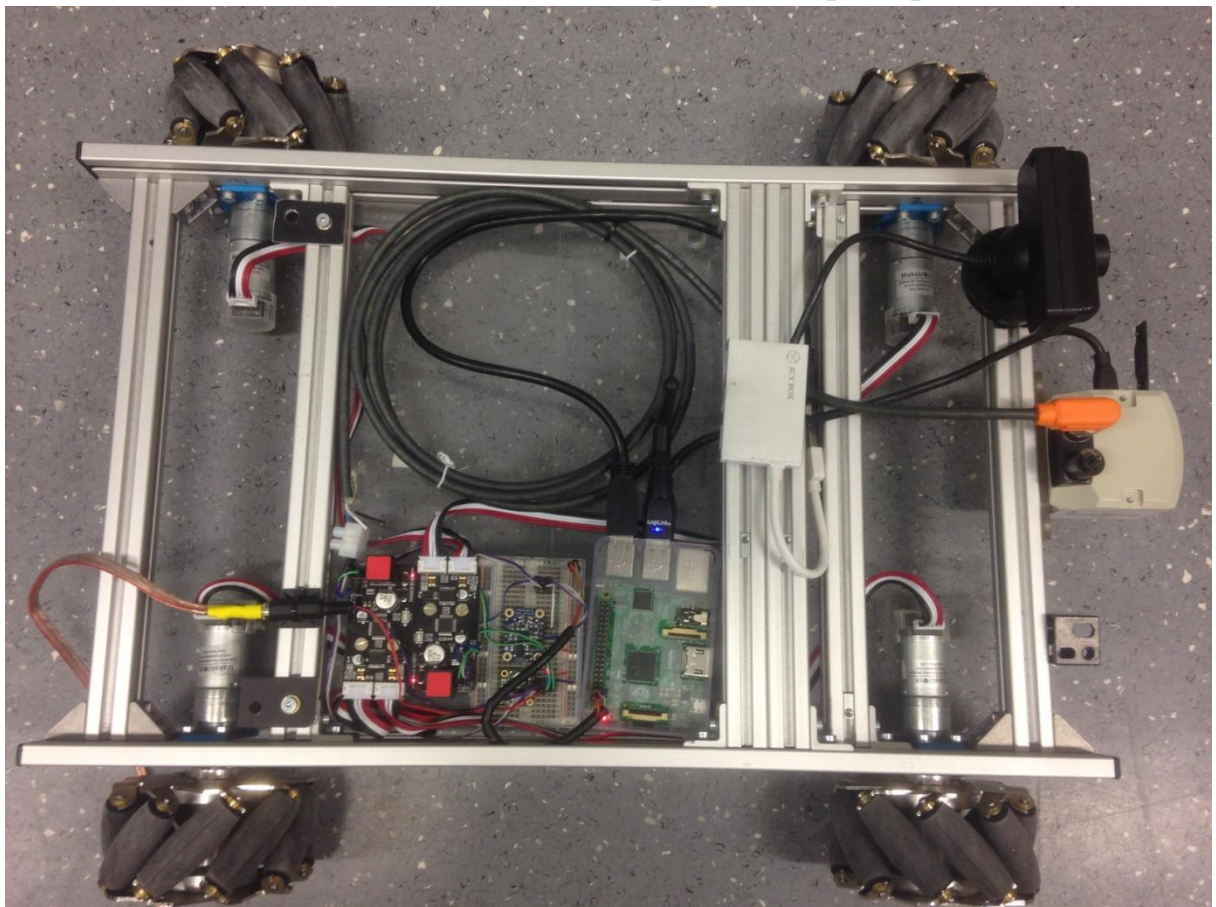


						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## Схема провідних підключень та розподілу електроживлення

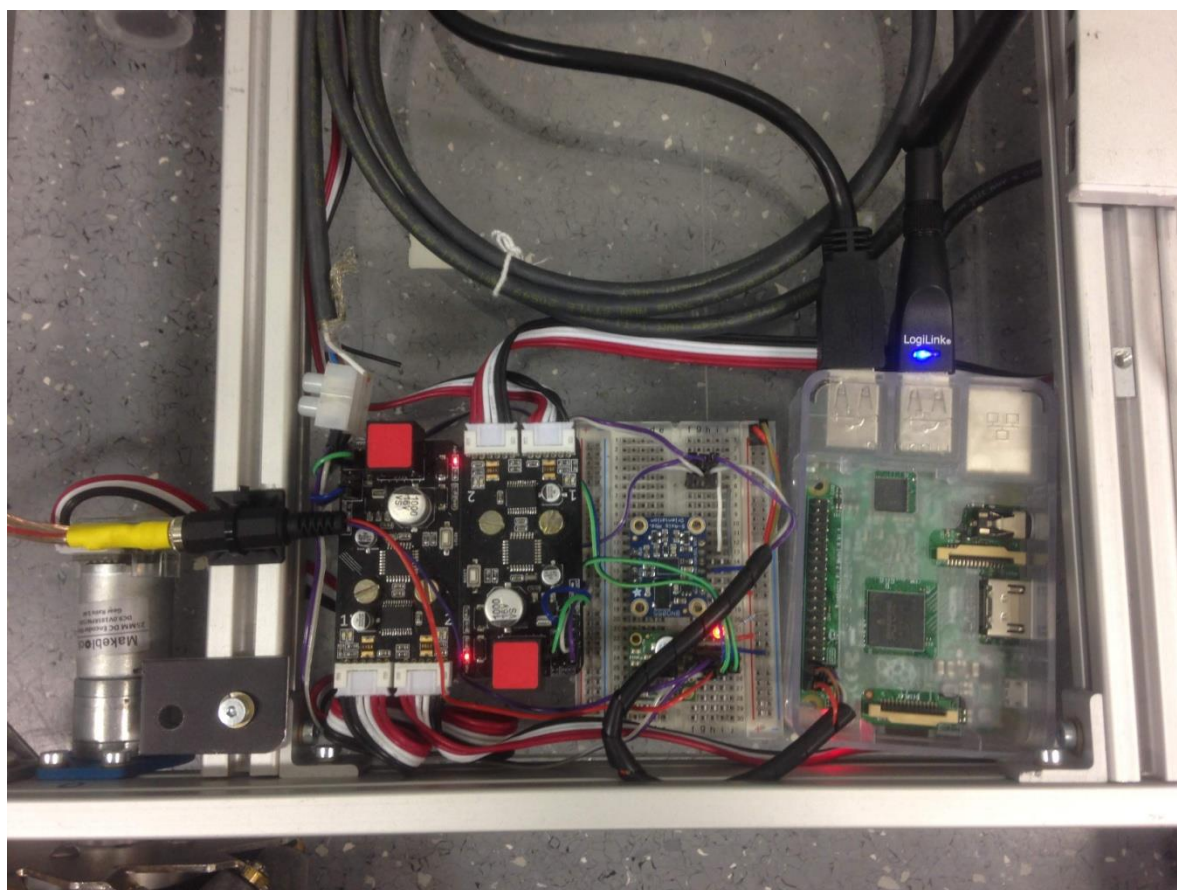


## Вигляд даної схеми безпосередньо на рамі робота



					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	21



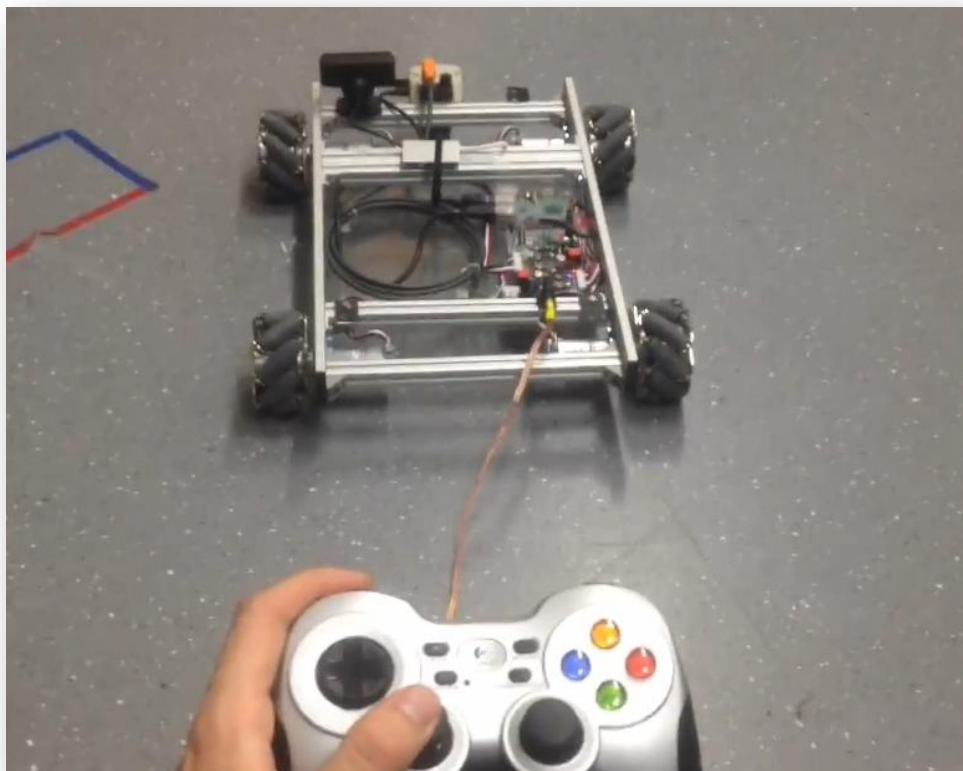


На борту робота присутнє електроживлення 12 В, яке необхідне для живлення драйверів та двигунів, але ПЛК для нормального функціонування потребує 5В. Тому було вирішено організувати розподіл живлення з одного джерела струму одразу на всі пристрої, за допомогою понижуючого DC-DC перетворювача з 12В до 5В.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Для ручного управління роботом, було вирішено використовувати бездротовий геймпад Logitech F710, радіоприймач якого, підключений до ПЛК.

Аналогові джойстики геймпада дозволяють вручну задавати та змінювати швидкість пересування робота у всіх напрямках.



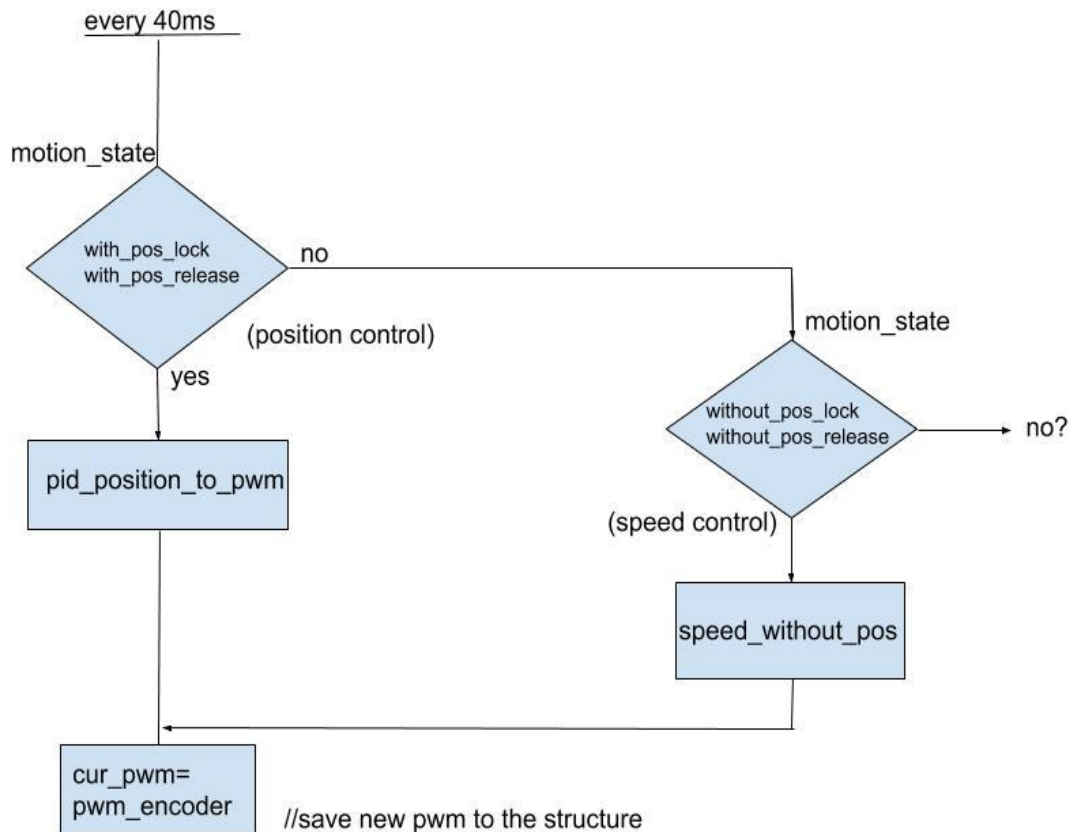
									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					23

## 2.5 Рекомендації щодо програмного забезпечення

Програмне забезпечення драйвера:

Для налагодження ПД регулятора та управління двигунами виробник рекомендує використовувати фірмове програмне забезпечення Makeblock Encoder Motor Tool

Блок-схема прошивки драйвера має вигляд:

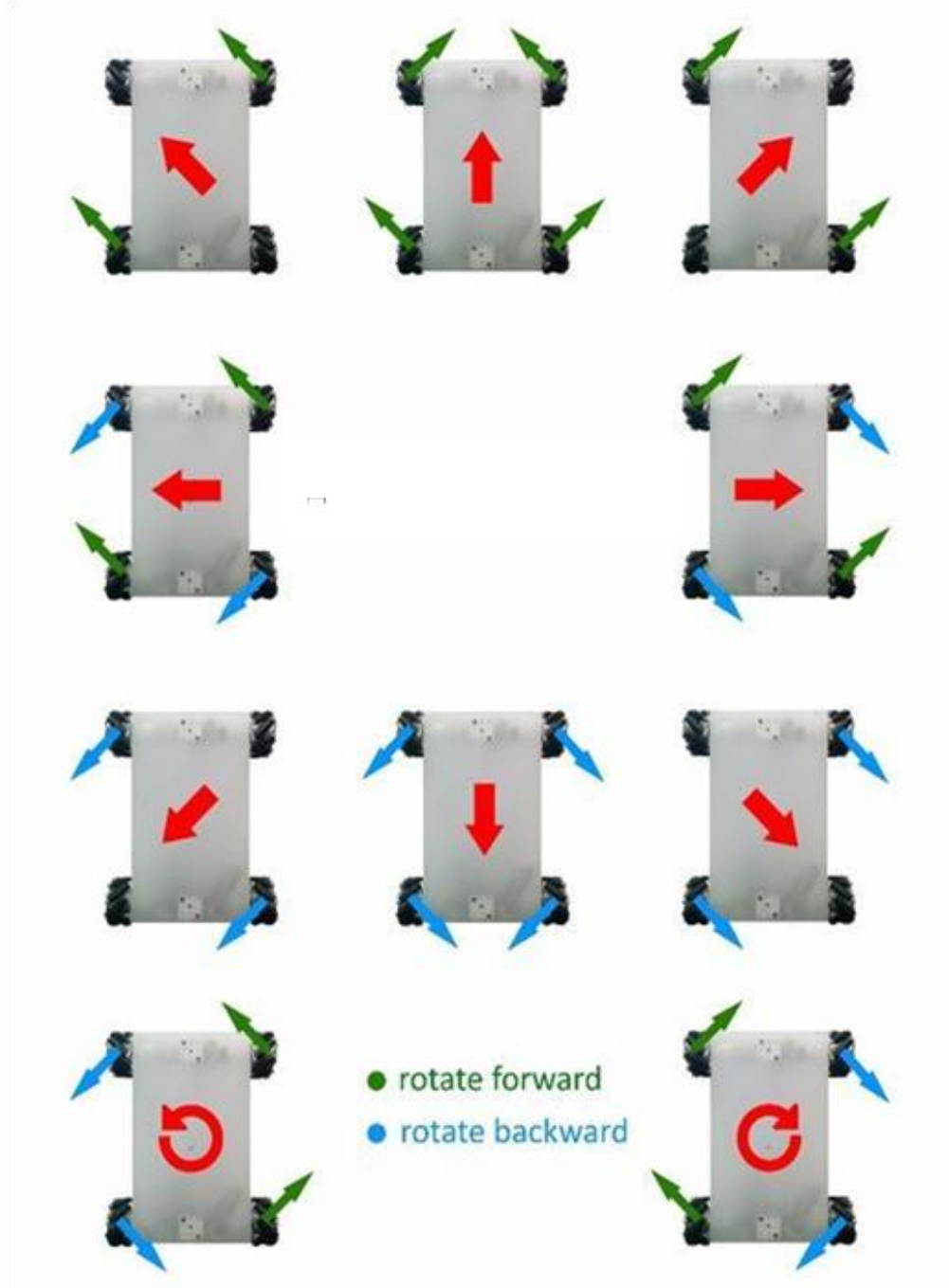




Програмне забезпечення та прошивка для ПЛК:

Програмне забезпечення та прошивка для ПЛК було взято з відкритого джерела для розробників механум ботів.

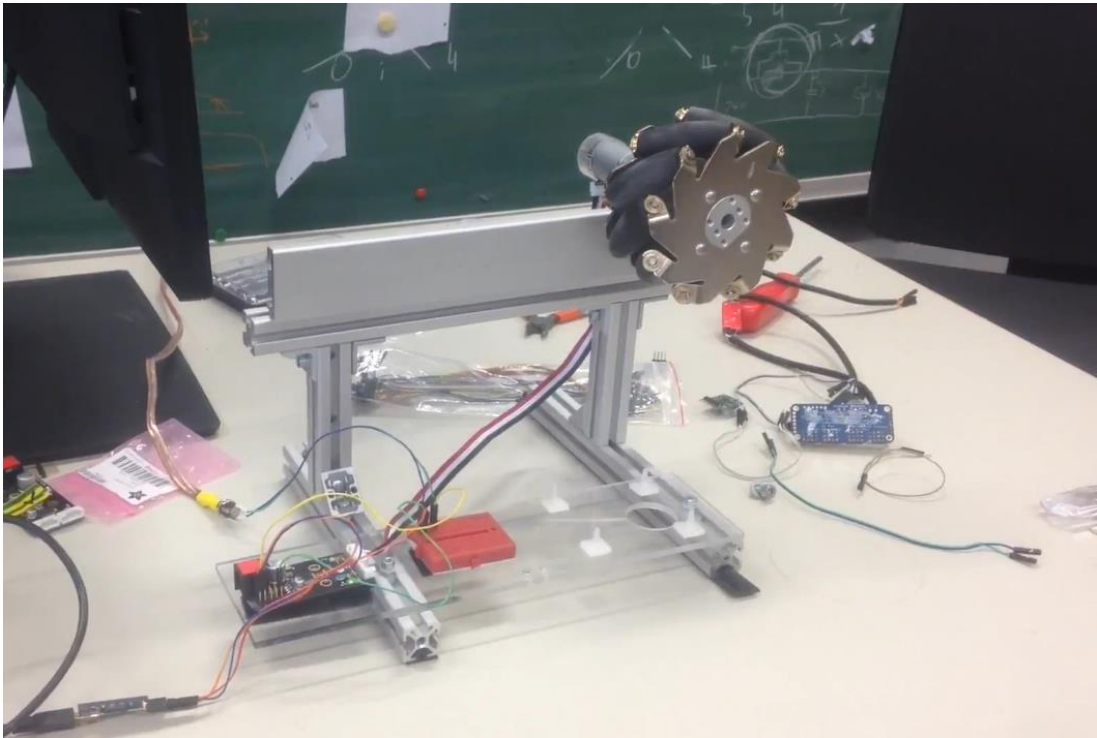
**Схема розподілу швидкості кожного колеса для усіх напрямків руху**



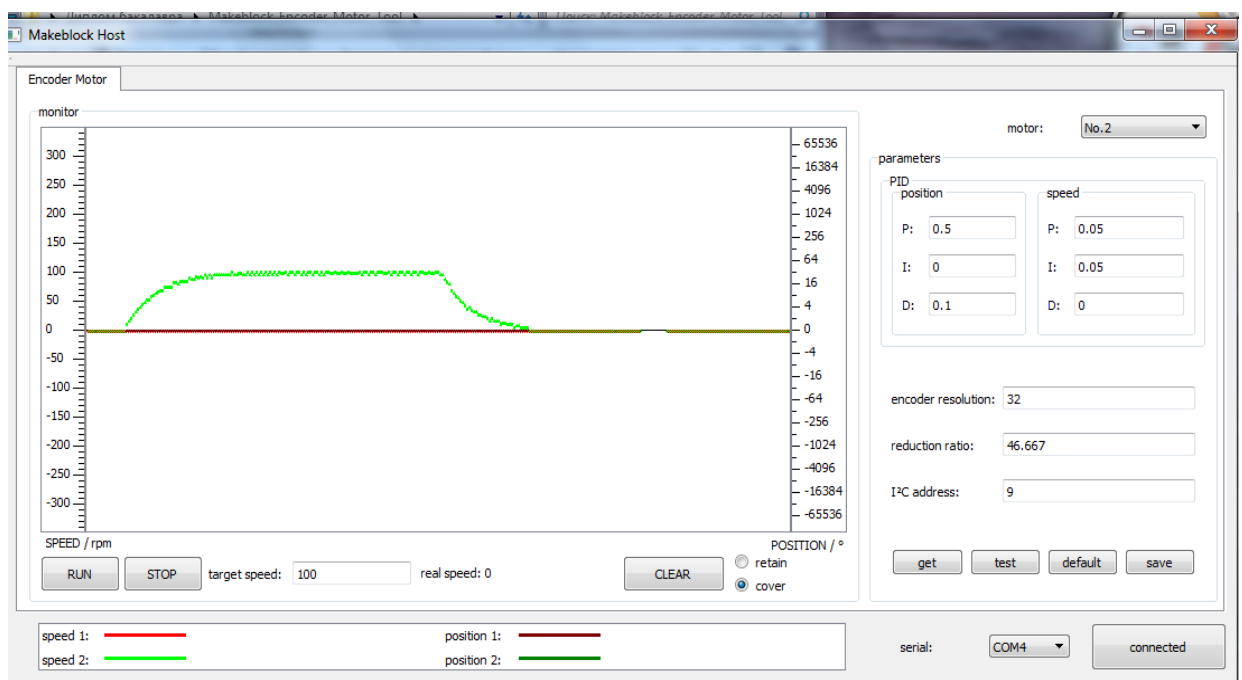
### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Дослідження динаміки електроприводу було проведене за допомогою фірмового програмного забезпечення Makeblock Encoder Motor Tool.

Був збудований спеціальний стенд для дослідження динаміки в реальному часі.



Змінюючи параметри PID регулятора, ми отримували графіки швидкості в реальному часі. Також можна задати бажану швидкість.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Encoder Motor

monitor

SPEED / rpm

POSITION / °

target speed: 150 real speed: 0

parameters

motor: No.1

PID position speed

P: 0.05 P: 0.05

I: 0 I: 0.02

D: 0.2 D: 0

encoder resolution: 32

reduction ratio: 46.667

I<sup>2</sup>C address: 9

get test default save

serial: COM4 connected

Encoder Motor

monitor

SPEED / rpm

POSITION / °

target speed: 150 real speed: 0

parameters

motor: No.1

PID position speed

P: 0.5 P: 0.05

I: 0 I: 0.02

D: 0.1 D: 0

encoder resolution: 32

reduction ratio: 46.667

I<sup>2</sup>C address: 9

get test default save

serial: COM4 connected

Encoder Motor

monitor

SPEED / rpm

POSITION / °

target speed: 170 real speed: 0

parameters

motor: No.1

PID position speed

P: 0.5 P: 0.5

I: 0.2 I: 0.2

D: 0 D: 0

encoder resolution: 45

reduction ratio: 48

I<sup>2</sup>C address: 9

get test default save

serial: COM4 connected

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників

Об'єктом дослідження є мобільний саморобний робот, який набув найбільшого використання на автоматизованих складських приміщеннях.

На території складського приміщення можуть працювати декілька мобільних роботів, отже є небезпека аварійної ситуації.

Переміщення мобільного роботу є близьким до повністю автоматизованого, але на шляху робота можуть знаходитися перешкоди та люди.

Приміщення складів відноситься до класу приміщень з особливою небезпекою, так як воно має ряд характерних ознак: струмопровідні підлоги (металеві, земляні, залізобетонні), можливість дотику людини до металевих конструкцій, з'єднаних з землею або з металевим корпусом електрообладнання, постійний рух мобільних роботів по складському приміщенню.

Таким чином, на даному об'єкті можна виділити ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- можливість ураження електричним струмом;
- підвищений шум;
- підвищений рух повітря;
- запиленість приміщення;
- можливість зіткнення при знаходженні людини на шляху переміщення мобільного робота.

						Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

### **4.2.1 Заходи по забезпеченню**

Основними заходами щодо забезпечення електробезпеки є:

- захист від випадкового дотику;
- контроль і профілактика пошкодженої ізоляції;
- занулення всіх неструмоведучих частин;
- застосування електрозахисних засобів.

Обслуговуючий електротехнічний персонал повинен вивчати діючі правила улаштування електроустановок (ПУЕ), правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ і ПТБ), а також знати прийоми звільнення потерпілого від дії електричного струму і надання долікарської допомоги.

### **4.2.2 Загальні вимоги з техніки безпеки**

На об'єкті необхідно виконувати наступні інженерно-технічні заходи з охорони праці:

- не захарашувати робочі проходи сторонніми предметами, запчастинами;
- стежити за тим, щоб встановлені огорожі, плакати, попереджувальні знаки і написи, вивішені в цеху, не руйнувалися і не зривалися;
- експлуатацію обладнання вести з дотриманням технічних режимів, встановлених паспортами, технологічними картами або спеціальними інструкціями;
- струмоведучі частини не повинні бути доступні для випадкового дотику, а доступні дотику відкриті і сторонні провідні частини, не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом як у нормальному режимі роботи, так і при пошкодженні ізоляції.

### 4.2.3 Заходи щодо забезпечення безпеки роботи мобільних роботів

Оскільки більшість всюди спрямованих мобільних ботів є промисловими, вони відповідають більшості промислових стандартів безпеки, їх корпус має ступінь безпеки IP64, на ньому встановленні аварійні лазерні сенсори, які повністю блокують переміщення роботу при небезпечній близькості до перешкоди. Стандартна максимальна швидкість руху мобільного робота обмежена швидкістю повільного руху людини.

### 4.3 Розрахункова частина

Розрахунок системи освітлення, вибір джерела освітлення, і світильника, виконаємо для кабіни управління оператора [6].

Загальний світловий потік світильника визначається за формулою:

$$\Phi = (E_n * S * k * z) / N * \eta, \text{ лм} \quad (6.1)$$

де  $E_n$  – необхідна освітленість робочого місця по нормі ( $E_n = 300 \text{ лк}$ );

$S$  – площа приміщення,  $\text{м}^2$  ;

$k$  – коефіцієнт запасу, який враховує зношення і забруднення світильників ( $k = 1.5$ );

$z$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення (діапазон 1.1 ... 1.5, при оптимальних відношеннях відстані між світильниками до розрахункової висоти для люмінесцентних ламп  $z=1.1$ );

– коефіцієнт використання світлового потоку вибирається з таблиць в залежності від типу світильника, розмірів приміщення, коефіцієнтів відбиття стін і стелі приміщення;  $N$  – кількість світильників в приміщенні.

Визначимо розміри приміщення, якщо його довжина складає  $L_d=8 \text{ м}$ , ширина  $L_{ш}=5 \text{ м}$ , а висота  $H = 3 \text{ м}$  :

$$S = L_d * L_{ш} = 8 * 5 = 48 \text{ м}^2$$

Визначаємо розрахункову висоту підвісу:

$$h = H - h_{св} - h_{рп}, \text{ м} \quad (6.2)$$

						Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_{\text{св}}$  – висота підвісу світильника від перекриття, м;

$h_{\text{рп}}$  – висота робочої поверхні над підлогою, м.

Прийmemo:

$$h_{\text{св}} = 0.15 \text{ м}, h_{\text{рп}} = 0.8 \text{ м}$$

Звідси,

$$h = 3 - 0.15 - 0.8 = 2.05 \text{ м}$$

Найбільш прийнятними для нашого приміщення є люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) або ЛТБ (Тепло-білого світла), потужністю 20, 40 або 80 Вт.

Визначимо відстань між рядами світильників:

$$L = \lambda * h, \text{ м} \tag{6.3}$$

де

$\lambda$  – найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти (для люмінесцентних ламп при косинусоїдальній типової кривої  $\lambda = 1.4$ ).

$$L = 1.4 * 2.05 = 3 \text{ м}$$

Число рядів світильників у приміщенні  $N_p = 2$  ряди. Визначимо кількість світильників у ряду:

$$N_{\text{св}} = (L_d - L_{\text{св}}) / L_{\text{св}}, \text{ шт} \tag{6.4}$$

де  $L_{\text{св}}$  – довжина світильника (виходячи з розмірів лампи  $L_{\text{св}} = 1325 \text{ мм}$ ).

$$N_{\text{св}} = (8 - 1.325) / 1.325 = 5.03 \approx 5 \text{ шт.}$$

Кількість світильників:

$$N = N_p * N_{\text{св}}, \text{ м} \tag{6.5}$$

$$N = 2 * 5 = 10 \text{ шт}$$

Розташування світильників у приміщенні приведено на малюнку 6.1

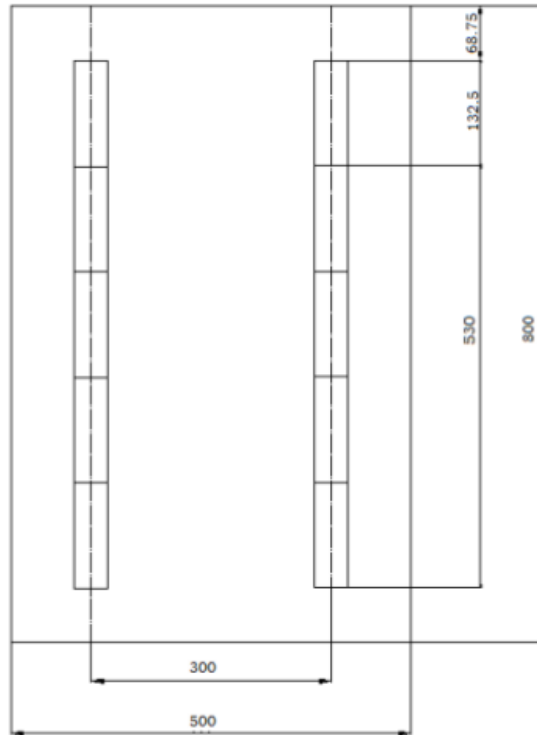


Рисунок 6.1 – Розташування світильників.

Визначимо коефіцієнт використання світлового потоку.

Для цього розрахуємо індекс приміщення  $i$ :

$$i = (L_d * L_{ш}) / h * (L_d + L_{ш}), \quad (6.6)$$

$$i = (5 * 8) / 2.05 * (5 + 8) = 1,5$$

Таким чином,  $i = 1,5$ .

Визначаємо коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення – стелі, стін та робочої поверхні:  $\rho$  Стелі = 70 %,  $\rho$  Стін = 50 %,  $\rho$  Рп = 30 %

За отриманими значеннями  $i$  та  $\rho$  визначаємо величину коефіцієнта використання світлового потоку для обраного  $\eta = 0.48$

Визначаємо загальний світловий потік:

$$\Phi = (300 * 40 * 1.5 * 1.1) / 10 * 0.48 \approx 4125 \text{ лм}$$

Виходячи з того, що загальний світловий потік складає  $\Phi=4125$  лм, обираємо лампу ЛТБ40, світловий потік якої складає  $\Phi_1=2100$  лм, таким чином треба встановити 2 лампи ЛТБ40 у світильник. Відхилення фактичної освітленості від розрахункової складе:

						Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\Delta=(\Phi-\Phi_1)/\Phi=(4125-2*2100)/4125=-0,018 \quad (6.7)$$

$$\Delta=-1,8\%$$

При розрахунках освітленості допустима величина відхилень від нормованої становить -10% ... + 20%, отже, штучного освітлення достатньо. В результаті правильного розрахунку освітлення, у робочого персоналу зменшується ризик професійних захворювань (в основному втрата зору), стомленість і як наслідок – підвищується продуктивність праці.

#### 4.4 Пожежна безпека

Складське приміщення за пожежною небезпекою відноситься до категорії В. Виробництва даної категорії, характеризуються наявністю горючих та важкогорючих рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, речовини та матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним лише горіти за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, або використовуються, не відносяться до категорій А та Б.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються наступні заходи:

- забезпечення вибухозахищеності обладнання та заземлення;
- постійний контроль і перевірка стану обладнання, шляхом проведення планових ремонтів;
- наявність аварійної та загальнообмінної вентиляції;
- наявність сигналізації, в разі виникнення аварійної ситуації;
- забезпечення системи пожежогасіння, і наявність первинних засобів пожежогасіння.

Засоби пожежогасіння:

- вуглекислотні ручні вогнегасники типу ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 - 2 штуки;
- вуглекислотні пересувні вогнегасники типу ОУ-25, ОУ-80, ОУ-400 - 2 штуки;
- пінні вогнегасники - 4 штуки;
- ящики з сухим піском, лопати.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

У даному дипломному проекті розглянуто ефективність та доцільність впровадження усюдинаправлених роботів, та систем управління ними, в якості платформ для лабораторних робіт, та досліджень у сфері навігації. Комп'ютеризована система управління мобільним роботом дозволяє:

- поліпшити навігацію та локалізацію мобільного роботу;
- зменшити час простою та робочого процесу за допомогою поліпшення виконання поставленої задачі;

Для того, щоб визначити економічну складову впровадження даної моделі робота, проведемо розрахунки витрат.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням радіокерованого робота та впровадженням комп'ютеризованої системи управління.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} + K_{\text{пз}} \quad (5.1)$$

де  $C_{\text{об}}$  – витрати на комплектуючі вироби;

$D_{\text{тр}}$  – транспортно-заготівельні витрати;

$M_{\text{мн}}$  – витрати на монтаж і налагодження системи;

$K_{\text{пз}}$  – витрати на програмне забезпечення.

Вартість комплектуючих деталей наведена в таблиці 5.1.

						Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 - Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Одиниць виміру	Кількість	Оптова ціна за од., євро.	Сума, грн.
1.	Двигун Makeblock Optical Encoder Motor-25 9V 185RPM	Од.	4	20	2360
2	Колеса Makeblock 100mm Aluminum Mecanum Wheel Set with 4mm Shaft Connector	Од.	1	162	4779
3	Драйвер Makeblock Me Encoder Motor Driver	Од.	2	30	1770
4	Джойстик Logitech F710 PC-Gamepad	Од.	1	28.9	852.55
5	Контроллер Banana Pi BPI-M3	Од.	1	86.49	2551.45
6	Акумуляторна батарея Lipo RC-Batterie 11.1V 3000mAh	Од.	1	17.98	530.41
7	Алюмінієвий профіль Aluprofil 20x20 I-Typ Nut 5	м	3	3.68	325.68
Разом					13169.09

Курс НБУ станом на 01.04.2019: 1 євро = 29.5 грн.

Посилання на сайти, де замовлялися комплектуючі:

Двигун - <https://eckstein-shop.de/Makeblock-Optical-Encoder-Motor-25-9V-185RPM-Photoelectric-Speed-Detection>

Колеса - <https://eckstein-shop.de/Makeblock-100mm-Aluminum-Mecanum-Wheel-Set-with-4mm-Shaft-Connector-SPCC>

						Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Драйвер - <https://eckstein-shop.de/Makeblock-Me-Encoder-Motor-Driver-V1>

Джойстик - <https://www.amazon.de/Logitech-F710-Wireless-Gamepad-Zertifiziertufgearbeitet>

Контролер - <https://www.amazon.de/Banana-Pi-BPI-M3-Computer-Octa-Core-Prozessor/dp/B07BZ1WRZW>

Акумуляторна батарея - <https://www.amazon.com/FLOUREON-3000mAh-Battery-Airplane-Helicopter/dp/B06Y1ZBZ7K>

Алюмінієвий профіль - <https://www.motedis.com/shop/Aluprofile/20-I-Typ-Nut-5/Aluprofil-20x20-I-Typ-Nut-5::1076.html>

Витрати на транспортно-заготівельні і складські витрати вказані на сайтах, на яких були заказані комплектуючі.

Двигун – 15.19 євро

Колеса – 30.77 євро

Драйвер – 11.39 євро

Джойстик – 13.78

Контролер – 17.95 євро

Акумуляторна батарея – 7.99 євро

Алюмінієвий профіль – 3.68 євро

Таким чином витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають

$$D_{\text{гр}} = 100.76 \text{ євро} = 2972.42 \text{ грн}$$

Вартість монтажних робіт розраховується через затрачений час на монтаж, та тарифну ставку електромонтера.

В нашому випадку електромонтеру знадобилося 5 годин,  $t_{\text{мт}} = 5 \text{ год.}$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Бухгалтерія університету надає інформацію, що тарифна ставка електромонтера дорівнює 10.01 євро

$$M_{\text{МН}} = t_{\text{МТ}} \times 10.01 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи будуть складати

$$M_{\text{МН}} = 5 \times 10.01 = 50.05 \text{ євро} = 1476.47 \text{ грн.}$$

## 5.2 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

### 5.2.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується за формулою:

$$t = t_0 + t_u + t_a + t_n + t_{\text{от}} + t_g \quad (5.4)$$

де  $t_0$  - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_u$  - витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;

$t_a$  - витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;

$t_n$  - витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

$t_{\text{от}}$  - витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

$t_g$  - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні.

Умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = q \times c(1 + p), \quad (5.5)$$

де  $q$  – кількість операторів, які у програмі, приймаємо  $q = 42$  (виходячи з ПЗ на мові Matlab);

$c$  – коефіцієнт складності програми;

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Коефіцієнт складності  $s$  програми визначає відносну складність програми по відношенню до типового завданням, складність якого відповідає 1. Приймається  $s=1,25$

Коефіцієнт коригування програми  $p$  визначає збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін в алгоритм або програму в результаті уточнення постановки завдання. Величина  $p$  приймається рівною 0,1.

Таким чином, кількість операторів для програми, описаної в дипломному проекті:

$$Q = 42 * 1.25(1 + 0.1) = 58$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в даному дипломному проекті складають 30 люд.-годин.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{Q * B}{(75..85) * k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.6)$$

де  $B$  - коефіцієнт збільшення витрат праці приймаємо  $B = 1,5$ ;

$k$  - коефіцієнт кваліфікації програміста, які визначається залежно від стажу роботи за спеціальністю.

У нашому випадку коефіцієнт кваліфікації програміста становить  $k=1,2$ .

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_u = \frac{57.75 * 1.5}{75 * 1.2} = 0.96 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на розробку алгоритму рішення завдання визначаються за формулою:

$$t_a = \frac{Q}{(20..25) * k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.7)$$

Для розроблювального програмного забезпечення:

$$t_a = \frac{57.75}{20 * 1.2} = 2 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі алгоритму

визначаються за формулою:

						Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_n = \frac{Q}{(20..25)*k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.8)$$

Для розроблювального програмного продукту:

$$t_n = \frac{57.75}{20*1.2} = 2 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ розраховуються за формулою:

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4..5)*k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.9)$$

Для конкретного програмного продукту:

$$t_{\text{нал}} = \frac{57.75}{5*1.2} = 10 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються за формулою:

$$t_d = t_{\text{др}} + t_{\text{до}}, \text{ люд.-годин} \quad (5.10)$$

де  $t_{\text{др}}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{\text{до}}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

$$t_{\text{др}} = \frac{Q}{(15..20)*k}, \text{ люд.-годин}$$

(5.11)

$$t_{\text{др}} = \frac{57.75}{18*1.2} = 3 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 * t_{\text{др}}, \text{ люд.-год} \quad (5.12)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 * 2,67 = 2 \text{ люд.-год}$$

Для програмного забезпечення, що розроблено в дипломному проєкті:

$$t_d = 3 + 2 = 5 \text{ люд.-год}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення становитиме:

$$t = 30 + 1 + 2 + 2 + 10 + 5 = 50 \text{ людино-годин.}$$

						Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного продукту включають витрати на заробітну плату розробника програми  $Z_{зп}$  і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ  $Z_{мі}$

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мі}, \text{ грн} \quad (5.13)$$

Заробітна плата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{зп} = t * C_{пр}, \text{ грн} \quad (5.14)$$

де  $t$  - загальна трудомісткість обробки програмного забезпечення;

Бухгалтерія університету надає інформацію, що  $C_{пр}$ - середня годинна тарифна ставка програміста становить:

$$C_{пр} = 11,5 \text{ євро/год} = 339,25 \text{ грн/год.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{зп} = 50 * 339,25 = 16\,962,5 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{мч} = t_{нал} * C_{мч}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

де  $t_{нал}$  – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ, людино-годин;

$C_{мч}$  - вартість машино-години ЕОМ, грн. / год.  $C_{мч} = 0.5 \text{ євро/год} = 14.75 \text{ грн/год.}$

$$Z_{мч} = 10 * 14.75 = 147.5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи управління становитимуть:

$$K_{пз} = 16\,962.5 + 147.5 = 17\,110 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{V_k * F_p}, \text{ міс.} \quad (5.16)$$

де  $V_k$  - кількість розробників, так як програма в дипломному проекті розроблялася однією людиною, то  $V_k = 1$ ;

$F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  годин).

						Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Визначаємо тривалість розробки ПЗ:

$$T = \frac{50 \cdot 31}{1 \cdot 176} = 9 \text{ днів}$$

Розрахувавши всі показники, використовуємо формулу 5.1 і розраховуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{пр}} = 13169.09 + 2972.42 + 1476.47 + 17110 = 34727.98 \text{ грн.}$$

### 5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні витрати на експлуатацію та обслуговування робота розраховуються:

$$C = C_a + C_{\text{пр}} + C_e, \text{ тис. грн.}$$

Де:

$C_a$  - Амортизаційні відрахування.

$C_{\text{пр}}$  - Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт.

$C_e$  - Вартість втрат електроенергії.

#### 5.3.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Професор лабораторії, враховуючи всі фактори морального і фізичного зносу, вирішив що термін корисного використання даного робота буде 5 років. Цей термін підходить до мінімально допустимого терміну корисного використання для 4 групи.

$$\Phi_a = \Phi_{\text{п}} - Л, \quad (4.7)$$

де  $\Phi_{\text{п}}$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю, тому

$$\Phi_a = 13169.09 \text{ грн,}$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$N_a = \frac{\Phi_{\text{п}} - Л}{\Phi_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}} \cdot 100, \% , \quad (4.8)$$

					Арк.
					41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де  $T_n$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

$$Na = \frac{13169 - 0}{13169 \cdot 5} \cdot 100 = 20\% ,$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n \cdot Na}{100} \quad (4.9)$$

Комплектуючі  $AO = \frac{13169 \cdot 20}{100} = 2633,8$  грн.

Транспортні витрати  $AO = \frac{2972.42 \cdot 20}{100} = 594,48$  грн.

Монтажні роботи  $AO = \frac{1476.47 \cdot 20}{100} = 295,29$  грн.

№ п/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
	2	4	5	6
	<i>Проектний варіант</i>			
1	Комплектуючі	13 169	20	2633,8
2	Транспортні витрати	2972.42	20	594,48
3	Монтажні роботи	1476.47	20	295,29
	УСЬОГО:	34727.98		3 523,57

### 5.3.2. Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт

В якості обслуговування даного робота, лаборант повинен раз у два дні підзаряджати акумуляторну батарею робота. На це йому потрібно 30 хвилин робочого часу. Згідно з даними бухгалтерії університету, тарифна ставка лаборанта дорівнює 80 грн, тому

$$C_{np} = t_p * C_{лб}$$

Де  $t_p$  – затрачений лаборантом час за рік

$$C_{np} = 62 * 300 = 4960 \text{ грн.}$$

					Арк.
					42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

### 5.3.3. Розрахунок вартості втрат електроенергії

Вартість втрат електроенергії об'єктом проектування протягом року визначається за формулою:

$$C_3 = W_p \cdot C_e, \text{ грн.}, \quad (4.9)$$

де  $W_p$  – річні втрати електроенергії, кВт·годин;

$C_e$  – тариф на електроенергію, грн./кВт·годин.

$$W_p = 4,45 \text{ кВт·годин}$$

$$C_e = 8,85 \text{ грн./кВт·годин}$$

$$C_3 = 4,45 \cdot 8,85 = 39,38, \text{ грн.}$$

Отже, річні витрати на експлуатацію та обслуговування робота дорівнюють:

$$C = 3\,523,57 + 4960 + 39,38 = 8522,95 \text{ грн.}$$

### 5.4. Визначення економії від впровадження розробленого робота

Для виконання поставлених задач та досліджень у сфері навігації роботів у лабораторії робототехніки, університету знадобився ще один усюди направлений робот. Задля економії виділених на дослідження коштів, було вирішено спроектувати та зібрати саморобного робота, замість того щоб купувати готове рішення.

Для підрахунку зекономлених коштів порівняємо ціну готового робота від компанії Neobotix MPO-500 з капітальними витратами спроектованого робота.

На момент розрахунків 01.04.2019 ціна роботу MPO-500, на офіційному сайті компанії Neobotix, становить 2000 Євро, що дорівнює 59000 грн

Посилання - <https://www.neobotix-robots.com/mecanum-robot-mpo-500.html>

Для визначення економії, скористаємось формулою:

$$E = C_{gr} - C_{sp}, \text{ грн.}$$

Де  $C_{gr}$  - ціна готового роботу

$C_{sp}$  - ціна спроектованого роботу

$$E = 59000 - 34728 = 24272, \text{ грн.}$$

						Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Висновок.**

При розробці фізичної моделі усюдинаправленого робота, та системи управління ним, в якості платформи для лабораторних робіт, та досліджень у сфері навігації, стали капітальні витрати 34727.98 грн, у тому числі капітальні витрати на збірку робота та обладнання системи управління 17617.98 грн та капітальні витрати на розробку моделі системи управління 17110 грн.

Розроблена мобільна платформа задовольняє усім потребам для проведення дослідів, експериментів та лабораторних робіт, а система управління забезпечує підвищення якості управління. Доведена економічна доцільність використання спроектованого роботу в умовах лабораторії університету.

						Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розраховано автоматизований електропривод, а саме: обрано відповідний вимогам двигун та драйвер до нього.

У проекті була розроблена система автоматичного керування. На базі цих розрахунків створена модель робота, з якої зняті характеристики перехідних процесів.

У відповідному розділі розглянуті питання щодо охорони праці, прийняті рішення щодо усунення небезпечних факторів.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність обраної техніки.

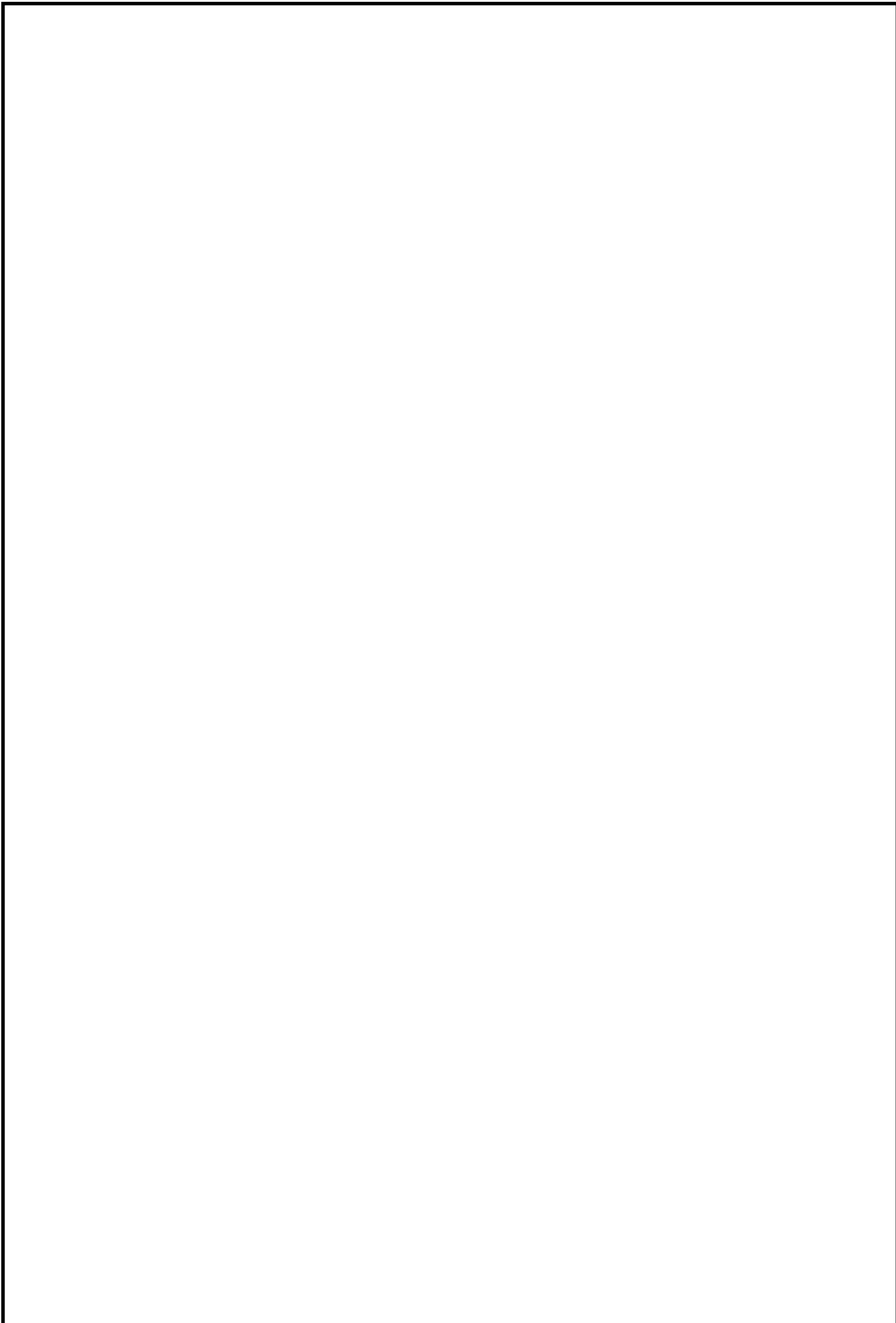
Аналізуючи все вищезазначене можна сказати, що в дипломі була доведена доцільність використання розглянутої моделі радіокерованого робота.

						Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Richard Crowder, Electric Drives and Electromechanical Systems, 2005.
2. Liuping Wang, PID and Predictive Control of Electrical Drives, 2007.
3. Jorge Angeles, Fundamentals of Robotic Mechanical Systems - robots robotics, 2005.
4. Kálmán Viktor, On modeling and control of omnidirectional wheels, 2013.
5. Aaron Martinez, Enrique Fernandez, Learning ROS for Robotics Programming, 2013.

						Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



						<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47