

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ Микола СІДЄЛЄВ

«___» _____ 2025 р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
МОБІЛЬНА РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ
ВАНТАЖІВ

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Здобувач

_____ **Олександр ВОЛЧАН**

«___» _____ 2025 р.

Керівник роботи

к.т.н, доцент

_____ **Олег ЩЕСЮК**

«___» _____ 2025 р.

Миколаїв – 2025

Завдання на виконання кваліфікаційної роботи
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступінь	Магістр
Спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ Микола СІДЄЛЄВ

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну магістерську роботу здобувача

Волчан Олександр Анатолійович

1. Тема кваліфікаційної роботи <Мобільна роботизована система для перевезення вантажів> затверджена наказом ректора ЧНУ ім. Петра Могили № 298 від «30» жовтня 2024 р.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «19» червня 2025 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Розробка мобільної роботизованої системи, здатної забезпечити безпечне та ефективно перевезення вантажів.

4. Перелік питань, що підлягають розробці

1. Дослідження сучасних рішень для транспортування вантажів у складних умовах експлуатації.
 2. Аналіз конструктивних та функціональних характеристик обладнання, необхідного для побудови автоматизованої транспортної системи у важкодоступних зонах.
 3. Вивчення принципів автоматизованого управління транспортними платформами та методів їх координації з метою забезпечення безпеки під час перевезень.
 4. Розробка рішень для контролю руху транспортних засобів і виявлення перешкод у процесі виконання транспортних завдань.
 5. Створення програмного забезпечення для управління транспортними модулями та супроводу вантажоперевезень у реальному часі.
 6. Побудова алгоритмів автоматичного вибору оптимального маршруту в умовах змінного середовища та непередбачених перешкод.
 7. Формування технічних вимог до складових частин системи — сенсорів, виконавчих механізмів, програмних компонентів тощо.
5. Перелік графічних матеріалів:
 6. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Щесюк О.В.	Автоматизація та КІТ	1 - 3 розділи

Дата видачі завдання «30» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: **Мобільна роботизована система для перевезення вантажів**

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	09.09.2024	30.10.2024	Виконано
2.	Огляд літератури за темою роботи	31.10.2024	15.11.2024	Виконано
3.	Складання календарного плану КМР	18.11.2024	20.11.2024	Виконано
4.	Аналіз предметної області	21.11.2024	20.12.2024	Виконано
5.	Розробка проєктних рішень	23.12.2024	28.02.2025	Виконано
6.	Моделювання, конструювання та програмування СА та РТС	03.03.2025	18.04.2025	Виконано
7.	Дослідження СА та РТС, аналіз результатів	21.04.2025	16.05.2025	Виконано
8.	Відгук керівника КМР	19.05.2025	23.05.2025	Виконано
9.	Оформлення КМР та презентації	26.05.2025	04.06.2025	Виконано
10.	Попередній захист	05.06.2025	06.06.2025	Виконано
11.	Рецензування	16.06.2025	17.06.2025	Виконано
12.	Завершення оформлення КМР та презентації	18.06.2025	19.06.2025	Виконано
13.	Захист кваліфікаційної роботи	26.06.2025	27.06.2025	Виконано

Здобувач

Олександр ВОЛЧАН

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

к. т. н. , доцент

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної магістерської наукової роботи

«Мобільна роботизована система для перевезення вантажів»

студента гр. 671м Волчан Олександра Анатолійовича

Керівник: канд. техн. наук, доцент Щесюк Олег Володимирович

Роботизована система для перевезення вантажів — це комплекс технічних засобів, що об'єднує гусеничну мобільну платформу та маніпулятор для захоплення і транспортування вантажів. Такі системи розробляються для забезпечення ефективного і безпечного переміщення вантажів у складних умовах, де використання традиційної техніки або людської праці є обмеженим або небезпечним.

До складу роботизованої системи входять механічні, електронні та програмні компоненти, зокрема гусенична база для пересування різними типами місцевості, маніпулятор для захвату і переміщення об'єктів, система управління, сенсори орієнтації та перешкод, а також елементи безпеки. Такі системи широко використовуються у будівництві, логістиці, рятувальних операціях, військовій сфері та інших галузях, де потрібне автономне або дистанційне транспортування вантажів.

Роботизована система працює за допомогою програмного забезпечення, що здійснює обробку даних від датчиків та керує рухом мобільної платформи і маніпулятора. Завдяки цьому забезпечується точне позиціонування, безпечне транспортування та адаптація до змінних умов навколишнього середовища.

Метою роботи створення функціональної роботизованої системи, здатної ефективно та безпечно здійснювати транспортування вантажів у складних умовах.

Об'єктом дослідження процес транспортування вантажів за допомогою мобільних роботизованих систем.

Предметом дослідження роботизована система на гусеничній платформі з маніпулятором для перевезення вантажів.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

1. Провести аналіз існуючих роботизованих транспортних систем для виявлення їхніх переваг та недоліків.

2. Дослідити конструктивні рішення мобільних платформ та маніпуляторів і сформулювати критерії до створення власної системи.

3. Розробити функціональну схему та алгоритми керування процесом транспортування вантажів з урахуванням особливостей пересування на складних поверхнях.

4. Розробити 3D-модель гусеничної платформи з маніпулятором у середовищі проектування Onshape.

Провести комп'ютерне моделювання та випробування системи з використанням різних сценаріїв роботи.

Сторінок – 111. Рисуноків – 28. Таблиць – 10. Посилань – 30. Додатків – 4

Ключові слова: маніпулятор, програмне забезпечення, гусенична платформа

ABSTRACT
to the qualifying master's thesis
"Mobile robotic system for cargo transportation"
of the student of group 671m Volchan Oleksandr

Supervisor: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of AKIT
Schesyuk Oleg Volodymyrovych

A robotic cargo handling system is a set of technical means that combines a tracked mobile platform and a manipulator for gripping and transporting cargo. Such systems are designed to ensure the efficient and safe movement of goods in difficult conditions where the use of traditional machinery or human labour is limited or dangerous.

A robotic system consists of mechanical, electronic and software components, including a tracked base for moving across different types of terrain, a manipulator for gripping and moving objects, a control system, orientation and obstacle sensors, and safety elements. Such systems are widely used in construction, logistics, rescue operations, the military and other industries that require autonomous or remote cargo transportation.

The robotic system operates using software that processes sensor data and controls the movement of the mobile platform and manipulator. This ensures accurate positioning, safe transport and adaptation to changing environmental conditions.

The aim of the study is to create a functional robotic system capable of efficient and safe transportation of goods in difficult conditions.

The object of study is the process of transporting goods using mobile robotic systems.

The subject of the study is a robotic system on a tracked platform with a manipulator for transporting goods.

To achieve this goal, the following tasks were identified:

1. To analyse existing robotic transport systems to identify their advantages and disadvantages.
2. Investigate the design solutions of mobile platforms and manipulators and formulate criteria for creating our own system.

3. To develop a functional diagram and algorithms for controlling the process of transporting goods, taking into account the peculiarities of movement on complex surfaces.

4. Develop a 3D model of a tracked platform with a manipulator in the Onshape design environment.

Conduct computer modelling and testing of the system using various operating scenarios.

Pages – 111. Figures – 28. Tables – 10. References – 30. Appendices – 4

Keywords: manipulator, software, crawler platform

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАСТОСУВАННЯ ТА РОЗВИТОК РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	7
1.1 Історія розвитку.....	7
1.2 Визначення роботизованої системи для перевезення вантажів	8
1.3 Огляд існуючих рішень та технологій	11
1.4 Огляд маніпуляторів для захвату та переміщення вантажів	25
1.5 Основні технічні вимоги до роботизованої системи.....	31
1.6 Вплив штучного інтелекту на роботизовані системи для перевезення вантажів.....	33
1.7 Роль сенсорних систем у роботизованих транспортних комплексах.....	35
1.8 Постановка задач дослідження.....	37
Висновки до першого розділу.....	37
2 РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	40
2.1 Оцінка маси та навантаження мобільної роботизованої системи.....	40
2.2 Розрахунок тягового зусилля мобільної гусеничної системи	41
2.3 Підбір електродвигунів для приводу гусеничної платформи	43
2.4 Розрахунок енергоспоживання та тривалості автономної роботи.....	45
2.5 Розрахунок та проектування маніпулятора.....	48
2.6 Кінематичний аналіз маніпулятора.....	49
2.7 Розрахунок параметрів маніпулятора	51
2.8 Розрахунок статичних навантажень на суглоби маніпулятора	53
2.10 Розрахунок тягових характеристик гусеничної платформи	56
2.11 Розрахунок продуктивності транспортування вантажів.....	57
Висновки до другого розділу	60
3 РОЗРОБКА СХЕМ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	62
3.1 Функціональна схема.....	62
3.2 Компоненти.....	64
3.3 Блок – схема алгоритму роботи.....	79
3.4 Електрична принципова схема	84
3.5 Моделювання MPC	87

Висновки до третього розділу	89
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЛЮДЕЙ	91
4.1 Розгляд потенційних загроз і ризиків	91
4.2 Правила безпечної експлуатації	93
4.3 Інструкції та алгоритми безпечної роботи	95
4.4 Методи профілактики аварій та травматизму	97
4.5 Професійна підготовка та розвиток персоналу	100
Висновки до четвертого розділу	102
ВИСНОВКИ	103
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	105
Додаток А	108
Додаток Б	109
Додаток В	110
Додаток Г	111

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС – Автоматизована система

РС – Роботизована система

ШІ – Штучний інтелект

GPS – Глобальна система позиціонування

ПЛК – Програмовані логічні контролери

ПЗ – Програмне забезпечення

МРС – Мобільна роботизована система

ВСТУП

Роботизована система для перевезення вантажів — це комплекс технічних засобів, що об'єднує гусеничну мобільну платформу та маніпулятор для захоплення і транспортування вантажів. Такі системи розробляються для забезпечення ефективного і безпечного переміщення вантажів у складних умовах, де використання традиційної техніки або людської праці є обмеженим або небезпечним.

До складу роботизованої системи входять механічні, електронні та програмні компоненти, зокрема гусенична база для пересування різними типами місцевості, маніпулятор для захвату і переміщення об'єктів, система управління, сенсори орієнтації та перешкод, а також елементи безпеки. Такі системи широко використовуються у будівництві, логістиці, рятувальних операціях, військовій сфері та інших галузях, де потрібне автономне або дистанційне транспортування вантажів.

Роботизована система працює за допомогою програмного забезпечення, що здійснює обробку даних від датчиків та керує рухом мобільної платформи і маніпулятора. Завдяки цьому забезпечується точне позиціонування, безпечне транспортування та адаптація до змінних умов навколишнього середовища.

Метою роботи є створення функціональної роботизованої системи, здатної ефективно та безпечно здійснювати транспортування вантажів у складних умовах.

Об'єктом дослідження є процес транспортування вантажів за допомогою мобільних роботизованих систем.

Предметом дослідження є роботизована система на гусеничній платформі з маніпулятором для перевезення вантажів.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

5. Провести аналіз існуючих роботизованих транспортних систем для виявлення їхніх переваг та недоліків.

6. Дослідити конструктивні рішення мобільних платформ та маніпуляторів і сформулювати критерії до створення власної системи.

7. Розробити функціональну схему та алгоритми керування процесом транспортування вантажів з урахуванням особливостей пересування на складних поверхнях.

8. Розробити 3D-модель гусеничної платформи з маніпулятором у середовищі проектування Onshape.

9. Провести комп'ютерне моделювання та випробування системи з використанням різних сценаріїв роботи.

1 ЗАСТОСУВАННЯ ТА РОЗВИТОК РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

1.1 Історія розвитку

Історія перших механічних пристроїв сягає глибини тисячоліть. Ще в античні часи винахідники створювали різноманітні автомати. Наприклад, Герон з Александрії сконструював водяний орган — музичний апарат, який працював завдяки силі води, а Архіт із Тарента змайстрував летючого голуба — ранній приклад механічної імітації польоту. Одним із перших письмових згадувань про автомати є трактат Лі Цзи, написаний у III столітті до нашої ери. Згодом, із занепадом стародавніх цивілізацій, значна частина технічних знань зникла на довгий час.

Помітний внесок у розвиток автоматики зробив у 1205 році арабський інженер Аль-Джазарі, який створив наукову працю «Книга знань про винахідливі механічні пристрої». У ній він детально описав цілу низку складних машин, включаючи людиноподібні автомати та складні програмовані конструкції, серед яких особливе місце займає «Слоновий годинник». До середини XVIII століття людство вже досягло створення самокерованої механічної качки та першого автоматизованого ткацького верстата, який використовував принцип програмування.

Після завершення Другої світової війни відбувся стрімкий стрибок у розвитку робототехніки. У 1942 році письменник Айзек Азімов сформулював три фундаментальні закони робототехніки, що стали основою для багатьох теоретичних і практичних напрацювань у цій сфері. У 1948 році Норберт Вінер розробив основи кібернетики — науки, яка лягла в основу моделювання керованих систем та обробки інформації в автоматичних пристроях.

Значущим етапом стало видання у 1973 році першої у світі «Енциклопедії кібернетики» під керівництвом українського науковця Віктора Глушкова, спочатку українською, а згодом — і російською мовами.

Повноцінні автономні роботизовані комплекси почали з'являтися лише у другій половині XX століття. Зокрема, у 1961 році на виробництві було встановлено першу програмовану машину Unimate, яка автоматично захоплювала розпечені металеві деталі з литтєвої установки та укладала їх для подальшої обробки [1].

Сьогодні, у XXI столітті, автоматизовані системи міцно закріпилися у найрізноманітніших галузях людської діяльності. Роботи виконують виробничі, збиральні, пакувальні, транспортні, дослідницькі, хірургічні, військові, лабораторні, охоронні функції, а також використовуються при масовому випуску товарів промислового й споживчого призначення. Завдяки високій точності, продуктивності та здатності працювати в умовах, небезпечних або непридатних для людини, робототехніка дозволяє значно оптимізувати виробничі процеси та розширити технічні можливості сучасної індустрії [1].

1.2 Визначення роботизованої системи для перевезення вантажів

За сучасних умов розвитку промисловості, логістики та рятувальних операцій системи автоматизованого вантажного транспорту набувають дедалі більшого значення. Одним із найперспективніших напрямків є використання роботизованих систем для вантажних перевезень.

Роботизована система перевезення вантажів — це поєднання апаратного та програмного забезпечення, яке забезпечує автономне або напіваавтономне переміщення вантажу в космосі. Спеціальні мобільні платформи та маніпулятори використовуються для підйому, транспортування та розвантаження предметів різної форми, ваги та розміру.

Така система зазвичай включає:

Мобільна основа (на рейках або колесах), яка дозволяє пересування в певному середовищі.

Маніпулятор — це механічний пристрій, який виконує функції захоплення, переміщення та розміщення вантажу.

Сенсорні системи – включають датчики для визначення положення, навігації, виявлення об'єктів, уникнення перешкод та моніторингу навколишнього середовища.

Контролери та програмне забезпечення – дозволяють обробляти дані датчиків, приймати рішення, планувати маршрути та керувати рухом та роботою маніпулятора.

Система живлення – акумулятори або інші джерела енергії, що живлять електроніку та приводи платформи та маніпулятора.

Системи такого типу можуть працювати як під безпосереднім керуванням оператора за допомогою дистанційного керування, так і повністю автономно, керуючись інтегрованими алгоритмами штучного інтелекту, комп'ютерного зору та обробки даних датчиків [3].

Основні характеристики роботизованої системи для транспортування вантажів:

Автономність на роботі: здатність самостійно планувати маршрут, приймати рішення враховуючи перешкоди або зміни навколишнього середовища.

Універсальність: здатність адаптуватися до перевезення різних типів вантажів за допомогою змінних маніпуляторів або захоплень.

Мобільність: здатність пересуватися в різних середовищах – на рівних підлогах складів, нерівній місцевості, нерівних поверхнях або в складних умовах (наприклад, після зсувів чи в зонах стихійних лих).

Точність і безпека: наявність сенсорних систем для запобігання зіткненням, моніторингу умов навколишнього середовища та захисту вантажу під час транспортування.

Галузі застосування роботизованих транспортних систем:

Промислова логістика: автоматизовані склади, сортувальні центри, фабрики.

Будівництво: перевезення будівельних матеріалів на будівельних майданчиках зі складним рельєфом.

Рятувальні операції: доставка обладнання або медичних матеріалів до небезпечних або важкодоступних районів.

Військові: Перевезення спорядження, боєприпасів або поранених у бойових умовах.

Сільське господарство: Автоматизований збір, транспортування та обробка врожаю.

Переваги використання роботизованих систем:

– Зменшення витрат на ручну працю та зменшення ризику травмування працівників.

– Підвищення ефективності логістичних процесів.

– Здатність працювати у складних або небезпечних умовах.

Гнучкість адаптації до різних завдань та умов експлуатації.

Поточний стан розвитку технологій:

Сьогодні існує широкий спектр мобільних роботів з маніпуляторами, які здатні вирішувати різні логістичні та рятувальні завдання. Відомі приклади включають роботів від Boston Dynamics (наприклад, гусеничні роботи для транспортування товарів у складних умовах), автоматизовані складські системи від Amazon Robotics та військові транспортні платформи, такі як MUTT (Multipurpose Unmanned Tactical Transport) [4].

Тенденція розвитку зосереджена на збільшенні автономності систем за рахунок використання штучного інтелекту, розширенні функціональності маніпуляторів та оптимізації енергоспоживання.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики роботизованих систем для перевезення вантажів

Характеристика	Опис	Приклади комерційних рішень	Використовувані технології
----------------	------	-----------------------------	----------------------------

Тип пересування	Гусеничний, колісний, крокуючий	Boston Dynamics "Spot", Clearpath Robotics Husky	Електроприводи, серводвигуни
Тип маніпулятора	Захватний механічний, вакуумний, магнітний	ABB YuMi, Kinova Gen3	Електромеханічні захвати, сенсорні системи дотику
Навігація	Автономна або напівавтономна за допомогою сенсорів	Amazon Robotics, Starship Technologies	LIDAR, GPS, стереокамери, ультразвук
Сенсорика	Виявлення перешкод, захоплення вантажу, стабілізація	ANYmal Robot, Ghost Robotics V60	Лазерні далекоміри, камери глибини
Контроль руху	Автоматичне планування маршруту	PAL Robotics TIAGo	Алгоритми SLAM, нейронні мережі
Джерело живлення	Батареї (літій-іонні), генератори	UGV Milrem Robotics THeMIS	Системи енергоменеджменту
Застосування	Логістика, рятувальні операції, військова справа	Boston Dynamics Stretch, MUTT	Інтеграція AI, IoT для керування системами

1.3 Огляд існуючих рішень та технологій

Види роботів та їхня класифікація: напрями використання та основні виробники інтелектуальних систем

На сьогодні робототехніка охоплює настільки різноманітний спектр технологій та застосувань, що часто буває складно зорієнтуватися у всьому розмаїтті сучасних рішень. Які технічні системи можна вважати роботами? Які завдання вони здатні виконувати? Де саме їх використовують у повсякденному житті та виробництві? Пропонується здійснити огляд існуючих класифікацій

робототехнічних систем, розглянути їх функціональні можливості, цілі створення та основних виробників, які сьогодні формують цей високотехнологічний ринок.

Роботом прийнято вважати автоматизований технічний пристрій, що керується програмою, має щонайменше дві координатні осі, здатен функціонувати частково або повністю автономно, орієнтуючись у робочому просторі та виконуючи визначені завдання (відповідно до стандарту ISO 8373:2012). Завдяки закладеним алгоритмам, такі системи здатні здійснювати не лише фізичні операції, а й виконувати частину розумових функцій, що раніше вимагали участі людини. Сучасні роботи аналізують навколишнє середовище за допомогою сенсорних елементів, приймають рішення на основі отриманої інформації та формують поведінкові моделі для досягнення поставлених цілей.

Щоб визначити, чи перед нами дійсно робот, а не просто розумний електронний пристрій, слід звернути увагу на наявність трьох ключових компонентів:

- Сприйняття (сенсорика): здатність отримувати інформацію про зовнішній світ через мікрофони, відеокамери, сенсори різних типів (електромеханічні, оптичні, електромагнітні тощо).
- Обробка (аналітика): здатність аналізувати отримані дані, будувати логічні моделі поведінки та приймати рішення для виконання заданих функцій.
- Взаємодія (активність): можливість фізично змінювати або впливати на навколишнє середовище.

Якщо хоча б одна з цих складових відсутня, пристрій не може розглядатися як повноцінний робот.

Далі розглянемо основні загальноприйняті класифікації робототехнічних систем.

Класифікація відповідно до ISO 8373:2012:

- Промислові роботи. Це здебільшого маніпулятори, призначені для автоматизації виробничих процесів. Вони функціонують у межах промислових

підприємств, здійснюючи збірку, обробку, транспортування деталей та інші завдання.

- Сервісні роботи. Їхня мета — частково або повністю замінити людину при виконанні однотипних чи монотонних функцій у сфері обслуговування. Такі системи працюють за межами промислових ліній — у побуті, медицині, логістиці, сфері обслуговування тощо.

Міжнародна федерація робототехніки (IFR), застосовуючи ширшу класифікацію, ділить сервісних роботів на окремі категорії:

- Особистого призначення (побутові та приватні): до них належать автоматичні кухонні пристрої, пилососи-роботи, доглядальні системи, роботи-компаньйони, домашні електронні вихованці та спеціалізовані пристрої, зокрема роботи-сексуальні партнери.

- Професійного застосування (комерційного та корпоративного використання): до цієї групи належать консультанти, адміністратори, екскурсоводи, кур'єри, діагностичні системи тощо.

Класифікація за рівнем програмного управління:

- Обмежено програмовані (переадаптовані). Такі роботи функціонують згідно з фіксованими алгоритмами. У разі зміни робочих умов самостійно коригувати поведінку вони не здатні. Програма залишається сталою протягом роботи, проте можлива технічна переналаштування системи з боку оператора для виконання нових завдань [2].

Класифікація робототехнічних систем за принципом програмування

Існує кілька підходів до класифікації роботів залежно від їхніх можливостей до навчання та програмного управління:

- Перепрограмувані роботи (навчання у процесі роботи). Під час першого циклу виконання завдання оператор демонструє машині необхідні дії, після чого вона запам'ятовує алгоритм та відтворює його в подальшій роботі. Надалі робот може вносити незначні корективи у свою діяльність, орієнтуючись на поточні умови та заздалегідь визначений сценарій.

- Гнучкопрограмовані роботи (самонавчання). Такі системи мають змогу самостійно створювати алгоритми виконання дій, спираючись на цілі, умови навколишнього середовища та характеристики об'єктів. Завдяки розвиненій сенсорній базі, високопродуктивній обчислювальній системі, інтелектуальному програмному забезпеченню та потужним алгоритмам обробки даних, ці машини здатні до розпізнавання образів, моделювання ситуацій, планування дій і постійного вдосконалення своїх навичок у процесі роботи [2].

Класифікація робіт за фізичними характеристиками матеріалів конструкції

- Жорсткі роботи. Створені з твердих матеріалів, розраховані на виконання операцій, що потребують значної точності, сили та стабільності. Прикладами є планетарні ровери або андроїдні машини з металевими каркасами.

- М'які (гнучкі) роботи. Використовують еластичні матеріали, подібні до природних тканин. Такі роботи здатні змінювати свою форму для адаптації до оточуючих умов. Серед прикладів — м'якотілі роботи, які імітують рухи черв'яків, зокрема створені у лабораторіях Університету Глазго.

- Гібридні роботи. Поєднують тверді та м'які елементи конструкції, що дозволяє ефективно здійснювати захоплення, утримання та маніпуляції з об'єктами. Зазвичай жорсткий каркас таких пристроїв вкривають еластичними оболонками, що підвищує функціональність і безпеку.

Класифікація робіт за ступенем автономності управління

- Автономні системи. Мають здатність самостійно збирати та аналізувати інформацію з навколишнього середовища, приймати рішення та виконувати завдання без безпосередньої участі оператора, використовуючи елементи штучного інтелекту.

- Напіваавтономні системи. Виконують заздалегідь визначену програму дій, не відхиляючись від заданого алгоритму. Їхня робота не потребує постійного контролю з боку людини, проте змінити свою поведінку самостійно вони не можуть.

- Керовані системи. Потребують постійної участі оператора для управління всіма процесами. Контроль може здійснюватися як безпосередньо поруч, так і дистанційно через спеціалізовані канали зв'язку.

Класифікація роботів за типом переміщення

- Колісні платформи. Найбільш прості в реалізації системи пересування. Зі збільшенням кількості коліс зростає стійкість і маневреність таких роботів.

- Гусеничні роботи. Зазвичай використовуються для військових, рятувальних або дослідницьких місій, оскільки добре пристосовані до пересування по складних рельєфних поверхнях.

- Крокуючі роботи. Імітують ходу людини чи тварин. Часто використовуються три- або чотириногі конструкції задля забезпечення більшої стійкості під час руху, зокрема у антропоморфних роботах.

- Літаючі апарати. Включають дрони, безпілотні літаки, а також ракетні системи, які здатні виконувати польоти різної складності та дальності.

- Плавучі та підводні роботи. Забезпечують пересування на поверхні води або під її товщею за рахунок рушіїв або вітрила.

- Гексаподи. Роботи з шістьма кінцівками, що наслідують рухову модель комах. Такі системи демонструють високу адаптивність, можуть вибирати оптимальні стилі пересування, підлаштовувати рухові стратегії до конкретних завдань — наприклад, підніматися, повзати чи бігти.

Класифікація роботів: повний перелік напрямів робототехніки

Для ідентифікації типів робототехнічних систем спеціалісти зазвичай орієнтуються на стандарти класифікації, зокрема ISO 8373:2012. Однак у сучасних умовах існує значно ширший спектр машин, що відносяться до робототехніки. Нижче наведено розширений перелік основних категорій роботів [2]:

- Роботи промислового призначення
- Сервісні (побутові) роботи
- Дослідницькі системи
- Наукові автомати

- Навчальні (педагогічні) роботи
- Роботи військового призначення (бойові)
- Медичні та фармацевтичні роботи
- Системи безпеки та охорони
- Соціальні та роботи телеприсутності
- Розважальні та ігрові роботи
- Гуманоїдні (андроїдні) системи

Далі більш детально розглянемо особливості кожної категорії.

Промислові роботи

Промислові робототехнічні системи — це автоматизовані механізми, які можуть бути стаціонарними або мобільними. Їх конструкція зазвичай включає маніпулятор і програмований блок керування, який виконує рухові та контрольні операції в рамках виробничого процесу (відповідно до ГОСТ 25686-85).

Основна функція таких робіт полягає в оптимізації виробничих операцій, підвищенні ефективності, точності та якості продукції. Серед основних напрямів промислової роботизації можна виділити такі підвиди:

- Ливарні роботи: забезпечують процес лиття матеріалів у форми під дією високих температур.
- Складальні системи: виконують з'єднання деталей шляхом механічного складання, паяння чи зварювання.
- Фарбувальні роботи: автоматизують процеси нанесення покриттів та полірування поверхонь.
- Пакувально-сортувальні комплекси: здійснюють контроль якості, сортування та упаковку готової продукції.
- Транспортні роботи: виконують функції переміщення виробів у межах підприємств. Вони поділяються на підлогові (рейкові та безрейкові) й підвісні платформи.
- Будівельні системи: займаються автоматизацією видобутку ресурсів, доставкою будівельних матеріалів та виконанням будівельних робіт.

- Сільськогосподарські роботи: включають трактори, комбайни, системи поливу та обробки ґрунтів, керовані автоматично.

Сервісні побутові роботи:

Сервісні роботи створені з метою полегшення повсякденних завдань людини. Їх можна розділити на дві групи: професійні (застосовуються у бізнесі) та персональні (використовуються в приватних умовах) [2].

Персональні роботи наразі все ще перебувають на етапі активного розвитку. Вони представляють собою компактні, доступні та інтуїтивно керовані системи, призначені для домашнього застосування. Такі роботи розробляються з урахуванням можливості вести діалог з користувачем, адаптувати свою поведінку до навколишніх умов, розпізнавати жести та інтонації голосу. Крім того, вони здатні синхронізувати зібрану інформацію з хмарними базами даних, що дозволяє іншим подібним пристроям використовувати її для самонавчання.

Сучасні розумні побутові роботи:

У наш час на ринку доступна велика різноманітність інтелектуальних побутових роботів, створених для автоматизації щоденних домашніх задач. Серед них варто виокремити такі пристрої:

- Інтелектуальні системи «Розумний дім», що управляють кліматом, безпекою та іншими параметрами житла;
- Роботи-пилососи для автономного прибирання підлогових покриттів;
- Роботи для миття підлоги, які автоматизують процес вологого очищення;
- Кухонні роботи, що виконують функції нарізки, змішування та інші кулінарні операції;
- Роботи-скломийники, які автоматично чистять вікна;
- Роботи-садівники для автоматичного догляду за зеленими насадженнями, включно зі стрижкою кущів та косінням газонів;
- Роботи-дворецькі, які допомагають у виконанні домашніх справ;
- Багатофункціональні вуличні роботи, що можуть скошувати траву, прибирати сніг або листя;

- Роботи для очищення басейнів;
- Роботи-посудомийники, що автоматизують миття посуду;
- Роботи-годівниці для автомобілів;
- Пристрої для очищення повітря в приміщеннях;
- Роботи-компаньйони, що служать підтримкою людині;
- Роботи-помічники в побуті;
- Роботи-транспортувальники, призначені для перевезення пасажирів і вантажів;
- Роботи-валізи, що самостійно сліднують за власником;
- Роботи-охоронці, які можуть бути як стаціонарними, так і мобільними.

Останні оснащені інфрачервоними камерами, лазерними датчиками та системами розпізнавання облич, що дозволяє їм ефективно сканувати навколишній простір із кутом огляду 360 градусів. Завдяки цьому вони оперативно реагують на можливі загрози, у тому числі й кібернетичні атаки [2].

Роботи для наукових досліджень:

Роботи, що призначені для проведення досліджень, мають особливе значення в науці, адже здатні працювати в умовах, недоступних для людини:

- за екстремально високих або низьких температур;
- у зонах з підвищеним рівнем радіації;
- під водою;
- у підземних просторах;
- у космосі.

За середовищем експлуатації їх поділяють на:

- Космічні роботи, що виконують завдання у відкритому космосі, зокрема наукові супутники;
- Наземні роботи, призначені для роботи на поверхні Землі та інших планет;
- Морські роботи, що діють у підводних та надводних середовищах.

Роботи вчені:

Цей тип роботів досить рідкісний, але має значне наукове значення. Прикладом є проєкт Robot Scientist університету Аберіствіта, у рамках якого були створені роботи «Адам» та «Єва». Вони здійснили перше в історії наукове відкриття, здійснене машиною, у 2009 році.

Також відомі роботи, які досліджували вентиляційні шахти Великої піраміди Хеопса, виявивши такі об'єкти, як «Ніша Хеопса» та «Двері Гантенбрінка».

Роботи вчителі:

Перші роботи, здатні виконувати педагогічні функції, були розроблені у 2016 році в Томському політехнічному університеті. Ці пристрої можуть передавати учням теоретичні знання та практичні навички з кількох дисциплін одночасно, замінюючи викладачів математики, фізики, хімії та інформатики.

Військові(бойові) роботи:

Військові роботи являють собою багатофункціональні автономні або дистанційно керовані транспортні засоби, що виконують різні бойові завдання. Їх класифікують за середовищем застосування:

- Наземні: самохідні танки, бронетранспортери, інженерні роботи та універсальні бойові системи;
- Морські: підводні та надводні роботи для супроводу, патрулювання, виявлення мін;
- Повітряні: безпілотні літальні апарати, що використовуються для розвідки, спостереження та нанесення артилерійських ударів.

Більшість сучасних бойових роботів працюють як системи телеприсутності, керовані операторами дистанційно, проте деякі з них здатні до автономної діяльності.

Медичні роботи:

Роботи в медичній сфері застосовуються для:

- діагностики захворювань;
- виготовлення лікарських препаратів;
- догляду за пацієнтами;

- навчання медичних працівників.

Особливу групу становлять трансплантати та роботизовані протези, які замінюють пошкоджені тканини або органи.

Серед найпоширеніших типів:

- роботизовані хірурги, що можуть повністю або частково виконувати операції;
- роботи-фармацевти, які автоматизують приготування та видачу ліків;
- роботи-медсестри для догляду за хворими;
- діагностичні роботи, які аналізують медичні дані та допомагають ставити діагнози;
- симулятори пацієнтів для відпрацювання практичних навичок медиків [3].

У фармацевтичній галузі також широко використовуються роботизовані склади та торговельні автомати, що оптимізують процеси зберігання і розподілу медикаментів.

Роботи для забезпечення безпеки:

Ці системи є незамінними помічниками служб надзвичайних ситуацій, рятувальників, поліції та інших силових структур. Вони беруть участь у:

- порятунку людей;
- розчищенні завалів;
- розмінуванні територій;
- ліквідації пожеж.

Соціальні роботи:

Основне призначення таких роботів — безпосередня взаємодія з людиною. Наприклад, гуманоїд Вакамару від Mitsubishi допомагає літнім людям та особам з обмеженими можливостями. Існують також терапевтичні роботи у вигляді плюшевих тварин, призначені для заспокоєння пацієнтів.

Роботи телеприсутності дозволяють користувачам дистанційно взаємодіяти з людьми та об'єктами, наче фізично перебуваючи у відповідному місці. Прикладами є роботи JIBO і ConnectR.

Розважальні роботи:

Розваги забезпечують різні типи робототехнічних пристроїв:

- андроїди, що виконують роль членів сім'ї;
- домашні роботи, які імітують поведінку домашніх тварин;
- іграшки-роботи, призначені для навчання та розваг дітей.

Андроїди

Ці роботи вирізняються максимальною схожістю з людьми не тільки зовні, а й за рівнем «інтелекту». Вони навчаються мислити, сприймати й аналізувати інформацію, можуть вільно пересуватися, підтримувати бесіду та відчувати дотики завдяки сенсорам, що імітують людські органи чуття.

Інші ти роботів

Серед них особливо варто відзначити нанороботи — машини розміром менше 100 нанометрів. Вони мають функції руху, обробки інформації і програмного виконання завдань. Головне їхнє застосування — медицина, зокрема рання діагностика раку, цілеспрямована доставка ліків, хірургія та моніторинг стану хворих, наприклад, діабетиків [3].

Приклади існуючих роботів та маніпуляторів

1. Boston Dynamics "Stretch"

Опис: Boston Dynamics "Stretch" — це мобільний робот, розроблений спеціально для автоматизації процесів на складах і в логістиці, зокрема для транспортування коробок та вантажів на складах. Головною особливістю є вакуумний гріпер, який дає можливість роботам захоплювати вантажі без фізичного контакту [4].

Основні характеристики:

- Маніпулятор: Вакуумний гріпер на 4 присоски для захоплення коробок та вантажів.
- Робоче середовище: Склади, логістичні центри, стелажі.
- Мобільність: Мобільна платформа на колесах.
- Системи навігації: Лідар, камера, датчики для картографії і пошуку

шляхів.

- Максимальна вага вантажу: 23 кг.
- Швидкість переміщення: до 5 м/с.
- Технічні можливості:
- Автоматичне пошук і захоплення коробок.
- Розпізнавання об'єктів на основі штучного інтелекту.
- Можливість адаптації до змін в середовищі без допомоги людини.



Рисунок 1.1 – Boston Dynamics "Stretch"

2. ANYbotics "ANYmal"

Опис: "ANYmal" — це чотириногий робот, розроблений для роботи в складних і небезпечних умовах. Завдяки своїм ногам він може долати перешкоди та рухатися по нерівних поверхнях, що робить його ідеальним для рятувальних місій, транспортування вантажів у складних умовах, таких як будівельні майданчики або гірські території [5].

Основні характеристики:

- Маніпулятор: Різні варіанти маніпуляторів, здатних піднімати вантажі та виконувати точні маніпуляції.

- Робоче середовище: Відкриті та закриті простори, де необхідна висока маневреність і стабільність на нерівних поверхнях.
- Мобільність: Чотири ноги з високою адаптивністю до різних типів поверхонь.
- Максимальна вага вантажу: до 20 кг (залежно від комплектації).
- Швидкість переміщення: до 1.5 м/с на рівних поверхнях.
- Технічні можливості:
- Підйом і переміщення вантажів на нерівних територіях.
- Висока адаптивність до середовища завдяки сенсорам і камерам.
- Можливість самостійно обирати маршрут.



Рисунок 1.2 – ANYbotics "ANYmal"

3. Universal Robots UR5e

Опис: UR5e — це промисловий робот-маніпулятор, який забезпечує високу точність і гнучкість для виконання різноманітних завдань. Цей робот має шість ступенів свободи та може працювати на мобільних платформах для автоматизації процесів захоплення вантажів, складування та транспортування [6].

Основні характеристики:

- Маніпулятор: UR5e має 6 ступенів свободи, що дозволяє йому виконувати точні маніпуляції в обмежених просторах.
- Робоче середовище: Промислові підприємства, склади, виробничі лінії.
- Мобільність: Може бути інтегрований в різні мобільні платформи для транспортування вантажів.
- Максимальна вага вантажу: до 5 кг.
- Швидкість переміщення: до 1 м/с.
- Технічні можливості:
- Точність позиціонування: 0.03 мм.
- Підключення до різних типів захватів (включаючи вакуумні та механічні маніпулятори).

Легкість інтеграції в автоматизовані виробничі лінії.

Можливість програмування та налаштування на виконання різних завдань.

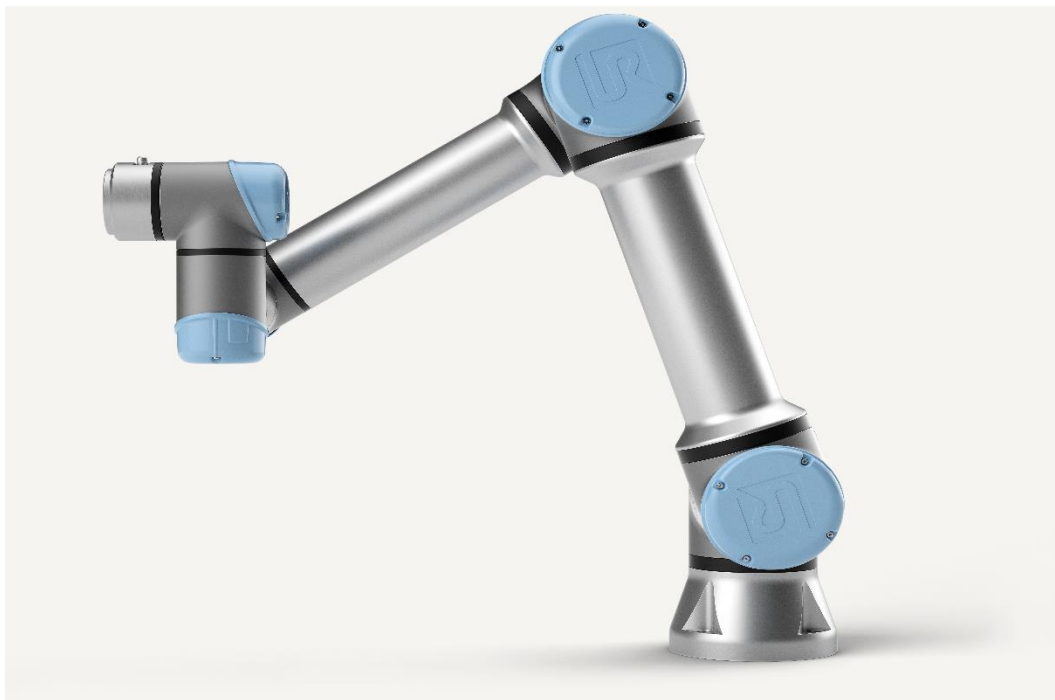


Рисунок 1.3 – Universal Robots UR5e

Таблиця 1.2 – Порівняння характеристик

Характеристика	Boston Dynamics "Stretch"	ANYbotics "ANYmal"	Universal Robots UR5e
Тип	Мобільний робот для складів	Чотириногий робот	Промисловий маніпулятор
Маніпулятор	Вакуумний гріпер	Різні маніпулятори	6 ступенів свободи
Максимальна вага вантажу	23 кг	20 кг	5 кг
Швидкість	до 5 м/с	до 1.5 м/с	до 1 м/с
Технічні можливості	Лідар, камери, штучний інтелект	Камери, датчики, маневреність	Точність до 0.03 мм
Робоче середовище	Склади, логістика	Нерівні поверхні, рятувальні роботи	Промислові підприємства
Мобільність	Колесна платформа	Чотири ноги	Інтеграція на мобільних платформах
Вартість	Висока (залежить від конфігурації)	Висока	Середня
Застосування	Склади, транспортування коробок	Рятувальні роботи, будівництво	Склади, виробничі лінії

1.4 Огляд маніпуляторів для захвату та переміщення вантажів

Роботи-маніпулятори — це роботизовані системи, призначені для виконання завдань фізичної маніпуляції, таких як підйом, переміщення та розміщення об'єктів у різних промислових середовищах без безпосереднього контакту з оператором.

Ці традиційні промислові маніпулятори зазвичай складаються з механічного шарнірного маніпулятора, який постійно встановлений у потрібному місці та може керуватися автономно або дистанційно людиною-оператором.

Залежно від застосування, маніпулятор також має кінцевий інструмент (кінцевий ефектор). Кінцеві інструменти можуть включати вакуумні захвати, грифери, роботизовані руки, викрутки або вдосконалені системи

обробки/сканування зображень.

Першими сферами застосування маніпуляторів було головним чином оброблення матеріалів у місцях, які були важкодоступними або небезпечними для людей: радіоактивними, важкими, високими температурами, високою напругою тощо.

Сьогодні ми вже не розуміємо під роботами-маніпуляторами лише статично закріплену руку-маніпулятор, а мобільна маніпуляція являє собою подальший розвиток, що є результатом інтеграції руки-маніпулятора та мобільної робототехнічної платформи.

Мобільний маніпулятор — це робот, який поєднує маніпулюючі можливості роботизованої руки з мобільністю мобільної платформи. Це означає, що мобільний маніпулятор може переміщатися з одного місця в інше, виконуючи завдання з обробки деталей, такі як підйом, транспортування або розміщення предметів. Найпоширеніші застосування мобільних маніпуляцій – у логістиці та складському господарстві для транспортування товарів між полицями або складськими приміщеннями, а також у виробництві для автономного переміщення матеріалів або маніпулювання деталями між різними робочими станціями.

Цей мобільний маніпулятор може автономно виконувати завдання, починаючи від складання електронних компонентів і закінчуючи контролем якості.

Він оснащений комбінацією датчиків та виконавчих механізмів, які дозволяють йому ефективно розуміти навколишнє середовище та реагувати на нього. До них належать датчики наближення для виявлення перешкод та запобігання зіткненням, а також системи навігації та локалізації для планування маршруту та автономного руху в динамічних, неструктурованих середовищах.

Покращене сенсорне сприйняття дозволяє мобільним маніпуляторам точніше відчувати та картографувати навколишнє середовище завдяки інтеграції передових датчиків, таких як 3D-камери, LiDAR та ультразвукові системи.

Постійний розвиток алгоритмів планування шляхів також дозволяє їм розраховувати оптимальні маршрути та уникати перешкод у режимі реального часу. Це підвищує ефективність та безпеку автономної навігації. Інтеграція систем машинного навчання також полегшує мобільним роботам навчання та адаптацію до середовища, покращуючи прийняття рішень.

ВАЖЛИВІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

Однією з ключових особливостей роботів-маніпуляторів є їхня здатність обробляти об'єкти різних форм, розмірів і ваги з винятковою точністю та повторюваністю. Це робить їх ідеальними для широкого спектру промислових застосувань, таких як: Наприклад складання продукції, транспортування матеріалів на виробничих лініях або завантаження та розвантаження товарів на складах та в розподільчих центрах.

Крім того, роботизовані маніпулятори часто оснащені різноманітними датчиками, такими як камери, датчики сили та датчики наближення, що дозволяє ефективно адаптуватися до відповідного завдання. Ці датчики можуть виявляти об'єкти та перешкоди, вимірювати сили та крутні моменти під час маніпуляцій, а також динамічно адаптувати траєкторію та швидкість робота до умов навколишнього середовища.

Ще однією важливою особливістю роботів-маніпуляторів є їхня здатність працювати в суворих та небезпечних умовах. Наприклад, роботизовані маніпулятори часто використовуються у зварюванні, фарбуванні та виведенні з експлуатації атомних електростанцій, де вони можуть безпечно працювати в середовищах з високими температурами, радіацією або токсичними хімічними речовинами, оптимізуючи свою продуктивність для різних завдань та умов.

КОЛАБОРАТИВНА РОБОТОТЕХНІКА: ПОКРАЩЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ ТА РОБОТА

Спільні завдання в робототехніці стосуються діяльності, в якій роботи тісно співпрацюють з людьми або іншими роботами для досягнення спільної мети. Ці завдання вимагають активної, скоординованої та безпечної взаємодії між

залученими сторонами, чи то шляхом обміну інформацією, ресурсами чи фізичним простором, для ефективного виконання завдання.

Співпраця роботів-маніпуляторів може відбуватися різними способами:

Співпраця людини та робота: мобільні маніпулятори працюють разом з людьми для виконання певного завдання. Це може включати спільне виконання завдань з фізичної маніпуляції або виконання завдань незалежно, але разом в одній робочій зоні.

Співпраця між роботами: Роботи-маніпулятори також можуть співпрацювати з іншими роботами для виконання складних завдань, що вимагають поєднання різних навичок. Наприклад, кілька роботів можуть досліджувати та складати карту невідомого середовища або координувати різні фази доставки продукції на автоматизованому складі.

Таким чином, колаборативна робототехніка підвищує ефективність, точність та безпеку в широкому спектрі промислових та сервісних застосувань. Це відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації процесів у різних галузях, одночасно забезпечуючи безпечне та спільне робоче середовище для співробітників.

РІЗНІ ВИДИ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Спільна мобільна маніпуляція зазнала значного розвитку за останні роки, покращивши ключові аспекти, такі як сенсорне сприйняття, локалізація, точність та дальність. Однак у галузі робототехніки все ще існують проблеми та великий потенціал для вдосконалення.

Як можна оптимізувати роботизовані маніпулятори для співпраці з людьми?

Для досягнення ефективної та безпечної співпраці потрібен цілісний підхід, який враховує дизайн, конфігурацію та безпеку:

Робоча вантажопідйомність: Мобільні маніпулятори, доступні на ринку, мають обмежену вантажопідйомність на маніпуляторі. Робот RB-ROBOUT+ від Robotnik з найбільшою доступною на даний момент вантажопідйомністю – це інтегрована рука UR20, яка може обробляти деталі вагою до 20 кг.

Інтуїтивно зрозумілі інтерфейси: Для полегшення взаємодії людини та робота важливо розробити інтуїтивно зрозумілі та зручні для користувача інтерфейси. До них належать сенсорні екрани, спрощені панелі керування або навіть системи керування на основі жестів чи голосу, які дозволяють операторам-людям спілкуватися з роботом природним чином і без тривалого навчання.

Розширені датчики: Оснащення роботів розширеними датчиками, такими як камери та системи зору, є важливим для того, щоб вони могли точно сприймати та розуміти своє оточення. Ці датчики дозволяють роботу виявляти перешкоди та відповідно адаптувати свою поведінку, що важливо в динамічних середовищах.

Безпечне планування шляху: Алгоритми планування шляху є ключем до співпраці людини та робота. Ці алгоритми повинні враховувати присутність людей у середовищі та оптимізувати траєкторію руху робота, щоб уникнути зіткнень та мінімізувати ризик травмування.

Мобільні маніпуляційні роботи надзвичайно універсальні та, завдяки технологічному прогресу, можуть виконувати ширший спектр завдань у різних середовищах. Ось деякі завдання, які можуть виконувати ці роботи:

Логістика та обробка матеріалів: Роботи-маніпулятори можуть транспортувати матеріали та товари з одного місця в інше в різних місцях на складах, у розподільчих центрах та на заводах. Наприклад, забір деталей зі складу та їх транспортування до певної точки ланцюга поставок.

Автоматизоване комплектування та пакування: Завдяки правильній конфігурації та датчикам ці роботи комплектують товари на складах для подальшого пакування. Наприклад, мобільний робот може переміщатися по складу, ідентифікувати товари на полицях та збирати їх для розміщення в транспортних контейнерах на основі замовлень клієнтів.

Контроль якості: Автоматизація інспекції та контролю якості звільняє людські команди від значного, повторюваного та механічного робочого навантаження. Повторюваність роботи маніпулятора робота-маніпулятора забезпечує точність і надійність виявлення помилок або дефектних деталей.

Оснастивши мобільного робота-маніпулятора кінцевим ефектором, таким як відеокамера, ви можете дозволити йому виконувати перевірки безпеки та якості в промисловому середовищі.

МАЙБУТНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

Технологічні інновації розширюють спектр застосування маніпуляцій з роботами. Це також означає, що маніпулятор автоматизує завдання зі зростаючою точністю, узгодженістю та складністю.

Ще одним важливим розвитком є розширення асортименту компонентів та кінцевих ефektorів, які можна інтегрувати в маніпулятор робота залежно від завдання, яке потрібно автоматизувати. Ось деякі з варіантів, доступних на ринку.

Галузева тенденція вказує на стабільне зростання колаборативного мобільного керування, яке стає дедалі актуальнішим завдяки своїй універсальності, гнучкості та безпеці.

Підсумовуючи, мобільні маніпулюючі роботи пропонують низку відчутних переваг з точки зору операційної ефективності, якості продукції та безпеки праці. Їхня здатність виконувати повторювані завдання з найвищою точністю робить їх цінними помічниками у складних виробничих умовах. Крім того, інтеграція передових датчиків та систем обробки зображень дозволяє виявляти та виправляти помилки в режимі реального часу, що призводить до значного зменшення кількості браку та пов'язаних з ним витрат. Роботи-маніпулятори можуть виконувати небезпечні або виснажливі завдання, захищати працівників від травм та покращувати якість роботи. З появою Індустрії 4.0 очікується, що попит на роботів-маніпуляторів продовжуватиме зростати, особливо в таких галузях, як автомобілебудування, електроніка та логістика. Завдяки постійним інноваціям у матеріалах, механічній конструкції та системному управлінні, роботизовані маніпулятори відіграватимуть ще важливішу роль в оптимізації промислових процесів та створенні безпечніших та ефективніших умов праці.

1.5 Основні технічні вимоги до роботизованої системи

Модуль «Загальна архітектура робототехнічних систем» розглядає загальну функціональну схему цього класу пристроїв та фізичні функціональні характеристики компонентів системи, в першу чергу на основі платформ Arduino [14]. Це призводить до необхідності ознайомлення студентів з основами схемотехніки та проведення експериментів з базовими елементами, ознайомлення з існуючими типами контролерів, різними типами датчиків та драйверами керування. Наступним логічним кроком у навчанні є вивчення типів приводів та фізичних принципів їх керування.

Навчальний процес модуля «Функції програмування роботів» охоплює такі теми: основні підходи та методи програмування роботів та компонентів системи, а модуль «Основи розробки проектів» розглядає методи та підходи до організації проектної діяльності, а також взаємозв'язки між робототехнікою та іншими видами діяльності.

На основі аналізу було зроблено припущення, що для кожного тематичного модуля доцільно використовувати різні технічні рішення для якісного та детальнішого викладу теми. Однією з основних причин необхідності створення класифікації є забезпечення практичного інструменту для вибору навчальних матеріалів для розкриття відповідної теми.

Аналіз технічних засобів, що використовуються для навчання навчальній робототехніці.

Аналіз конструкторів та комплектів компонентів, що використовуються в навчальному процесі

Основи робототехніки для школярів, різні відповідні освітні пропозиції
технічні рішення для вивчення основних принципів
роботи робототехнічних систем.

У дослідженні було визначено такі критерії для розробки класифікації цих освітніх рішень:

- Рекомендований виробником вік для використання учнями;
- Мова програмування (якщо підтримується);
- Операційна система для керування та програмування;
- Можливість програмування через смартфон.

Крім того, було проаналізовано такі характеристики:

- Країна виробника;
- Компанія-виробник;
- Основний контролер, що використовується в основному блоці;
- Рік випуску;
- Перелік датчиків, що входять до комплекту;

Враховуючи, що в Україні існує велика та різноманітна кількість готових рішень та розробників, які їх впроваджують, це є актуальною проблемою.

Сьогодні розробляється кілька критеріїв класифікації, залежно від вибору різних критеріїв та навчальних засобів. Для створення класифікації було визначено 84 різні технічні рішення, які можна використовувати в навчанні робототехніки, а також визначено спільні та характерні риси.

Більшість аналізованих комплектів роботів можна програмувати за допомогою мов програмування (Scratch, Blockly, C++, C, Java, JS, .NET тощо).

Таким чином, залежно від мови програмування, комплекти роботів можна класифікувати наступним чином:

1. Підтримка візуального програмування (найчастіше це Scratch від Массачусетського технологічного інституту та Blockly від Google).
2. Підтримка мов програмування високого рівня (найчастіше C++ тощо).
3. Без підтримки програмування.

Таблиця 1.3 – Найпоширеніші технічні рішення

Назва	Виробник	Рекомендований виробником вік	Можливість програмування
-------	----------	-------------------------------	--------------------------

LEGO «Робототехніка. WeDo 2.0»	LEGO	6	Scratch
LEGO Mindstorms EVE3	LEGO	10	Scratch, C/C++
Ubtech Jimu Robot Inventor level	Ubtech Robotics	8	Blockly
Ryze Tello	DJI	10	Scratch
КІБЕР КОДЕР BitKit	КІБЕР КОДЕР	12	C++, Scratch
MOSS	Modular Robotics	8	Scratch
Brainpad Arcade	Brainpad	7	C#, Python, Scratch
Fermi	Impro	10	C++, Scratch

1.6 Вплив штучного інтелекту на роботизовані системи для перевезення вантажів

Штучний інтелект (ШІ) суттєво змінює підходи до проектування та експлуатації роботизованих систем вантажного транспорту. Завдяки розвитку машинного навчання, комп'ютерного зору та алгоритмів планування руху, системи стають більш інтелектуальними, адаптивними та ефективними. Найважливіші сфери впливу ШІ:

1. Автономна навігація:

Системам надається здатність самостійно орієнтуватися в складних та невідомих середовищах без втручання оператора. Використовуючи глибоке навчання, роботи здатні виявляти перешкоди, створювати карту місцевості (SLAM – одночасна локалізація та картографування) та планувати безпечні маршрути.

2. Оптимізація маршруту та завдання:

Штучний інтелект допомагає визначати найкоротші та найбезпечніші

маршрути для вантажних перевезень. Роботизовані системи можуть адаптувати свій маршрут у режимі реального часу до змін навколишнього середовища або умов завдання.

3. Виявлення об'єктів та взаємодія зарядів:

Завдяки комп'ютерному зору та алгоритмам розпізнавання образів, дрони, мобільні платформи та маніпулятори можуть точно ідентифікувати тип вантажу, визначати його розміри, вагу та форму, а також приймати рішення щодо оптимального способу захоплення та транспортування.

4. Прогнозування ризиків та безпека:

Інтелектуальні системи аналізують дані датчиків, щоб прогнозувати потенційні небезпеки, такі як нестабільність вантажу, зміни погоди або зіткнення з перешкодами. Це дозволяє своєчасно реагувати на небезпечні ситуації.

5. Співпраця кількох роботів (багатоагентні системи):

Штучний інтелект координує роботу групи роботів для виконання великих або складних завдань. Роботи можуть обмінюватися даними один з одним та адаптувати свої дії для досягнення спільної мети, підвищуючи ефективність та гнучкість системи.

6. Адаптація до змін навколишнього середовища:

Роботизовані системи зі штучним інтелектом можуть навчатися на новому досвіді. Наприклад, якщо маршрут раніше був закритий, робот може запам'ятати цю інформацію та врахувати її в майбутніх операціях.

7. Енергоефективність:

Інтелектуальні алгоритми оптимізують споживання енергії, наприклад, оптимізуючи швидкість, маневри або маршрути, що особливо важливо для безпілотних літальних апаратів та мобільних платформ.

Таблиця 1.4 – Узагальнення впливу штучного інтелекту на роботизовані системи для перевезення вантажів

Напрямок	Приклад впливу ШІ
----------	-------------------

Автономна навігація	Побудова карт місцевості, уникнення перешкод
Оптимізація маршрутів	Пошук найкоротшого шляху, адаптація маршруту в реальному часі
Розпізнавання об'єктів	Визначення типу вантажу та його оптимального захоплення
Прогнозування ризиків	Виявлення небезпеки падіння вантажу або зіткнення
Спільна робота декількох роботів	Координація дій групи роботизованих систем
Адаптація до змін середовища	Навчання на основі нових даних для покращення майбутніх місій
Енергоефективність	Оптимізація споживання енергії під час руху та маневрування

1.7 Роль сенсорних систем у роботизованих транспортних комплексах

Сенсорні системи є центральним елементом роботизованих платформ для вантажних перевезень. Вони дозволяють збирати дані про навколишнє середовище, положення об'єкта, стан вантажу та самого робота. Датчики забезпечують безпечну навігацію, уникнення перешкод, точне позиціонування та адаптивне керування транспортним процесом.

Основні типи датчиків, що використовуються в таких системах:

Опис основних датчиків:

GPS (глобальна система позиціонування)

Дозволяє визначити точне місцезнаходження дрона або мобільної платформи на відкритій місцевості.

Дозволяє створювати маршрути, контролювати переміщення та автоматизувати доставку вантажів на далекі відстані.

LiDAR (виявлення та визначення відстані до світла)

Використовує лазерні промені для створення тривимірної карти навколишньої місцевості.

Особливо корисний у складних умовах (наприклад, на складах, у місцях з перешкодами).

Дозволяє точно виявляти перешкоди та створювати маршрути об'їзду в режимі реального часу.

Камери (відеокамери, стереокамери)

Використовується для візуальної навігації, розпізнавання об'єктів та аналізу просторового положення.

Може бути інтегрований з алгоритмами машинного навчання для виявлення типів вантажів або небезпек.

Ультразвукові датчики

Його принцип заснований на вимірюванні часу відбиття ультразвукової хвилі.

Використовується для вимірювання відстані до об'єктів, що знаходяться поблизу, щоб уникнути зіткнень.

Тензодатчики (прилади для вимірювання сили)

Виміряйте силу або вагу, що діє на маніпулятор або платформу.

Вони дозволяють контролювати вантажі, виявляти перевантаження та забезпечувати стабільність вантажних перевезень.

Інерціальні сенсорні системи (IMU – інерціальний вимірювальний блок)

Вимірюються прискорення, нахил та обертання платформи.

Підвищує стійкість руху на нерівних поверхнях або під час руху вгору.

Датчики температури та вологості

Вони дозволяють контролювати умови перевезення вантажів, особливо коли йдеться про екологічно чутливі вантажі (наприклад, продукти харчування, ліки).

Таблиця 1.5 – Опис сенсорів

Тип сенсора	Функція	Приклад використання
GPS-приймач	Визначення координат, навігація	Автоматична доставка вантажів між складами

Лідар	Створення карти середовища, виявлення перешкод	Навігація у складських приміщеннях
Камери	Розпізнавання об'єктів, візуальний контроль	Розпізнавання місця для посадки або завантаження
Ультразвукові датчики	Виявлення близьких об'єктів	Захист від зіткнень під час маневрування
Датчики навантаження	Контроль маси вантажу, перевірка рівномірності навантаження	Моніторинг ваги вантажу, запобігання перевантаженню
Інерціальні сенсори (IMU)	Вимірювання орієнтації та прискорення	Стабілізація руху на нерівній місцевості
Датчики температури і вологості	Контроль середовища перевезення	Перевезення продуктів або медичних матеріалів

1.8 Постановка задач дослідження

Провести аналіз існуючих роботизованих транспортних систем для виявлення їхніх переваг та недоліків. Дослідити конструктивні рішення мобільних платформ та маніпуляторів і сформулювати критерії до створення власної системи. Розробити функціональну схему та алгоритми керування процесом транспортування вантажів з урахуванням особливостей пересування на складних поверхнях. Розробити 3D-модель гусеничної платформи з маніпулятором у середовищі проектування Onshape. Провести комп'ютерне моделювання та випробування системи з використанням різних сценаріїв роботи.

Висновки до першого розділу

1. Роботизовані системи для вантажних перевезень пройшли багатоетапну історію розвитку, починаючи від простих механічних візків і закінчуючи сучасними інтелектуальними комплексами з високим ступенем

автономності. Спочатку транспортні системи мали обмежену маневреність і вимагали постійного втручання оператора. Однак, з розвитком комп'ютерних технологій та сенсорних систем, стало можливим створення автономних мобільних платформ. Визначення таких систем включає комплекси, що поєднують апаратне забезпечення (механіку) з програмним забезпеченням для автономного або напівавтономного виконання завдань переміщення вантажів за різних умов експлуатації.

2. На сучасному етапі розвитку для транспортування вантажів активно використовуються різні типи мобільних роботів, включаючи колісні, гусеничні та комбіновані. Особлива увага приділяється розробці маніпуляторів – спеціальних механізмів для захоплення вантажів різних форм і розмірів. Існуючі рішення часто включають модульні системи захоплення, адаптивну кінематику та інтеграцію датчиків для контролю тиску та ваги навантаження. Це забезпечує гнучкість системи та високу точність у виконанні завдань.

3. Роботизовані системи для транспортування вантажів ставлять складні технічні вимоги. Найважливішими з них є: висока несуча здатність при компактних розмірах, стійкість до зовнішніх механічних впливів, енергоефективність, експлуатаційні можливості в складних погодних та рельєфних умовах, а також точність навігації на основі даних датчиків. Крім того, важливі вимоги безпеки – як для самого вантажу, так і для навколишнього середовища.

4. Інтеграція штучного інтелекту в транспортні системи значно підвищила їхню автономність та ефективність. Завдяки алгоритмам машинного навчання, комп'ютерному зору та обробці великих даних, роботи здатні самостійно аналізувати навколишнє середовище, приймати рішення щодо маршруту, уникати перешкод та адаптувати свою поведінку до змін умов експлуатації. Це розширює можливості застосування робототехнічних систем у складних, динамічних середовищах.

5. Сенсорні системи є ключовими елементами сучасних транспортних систем. GPS-приймачі дозволяють точно позиціонувати в просторі, лідарні системи та камери допомагають створювати 3D-карти навколишнього середовища, ультразвукові датчики виявляють перешкоди поблизу, а датчики навантаження контролюють стан рухомих об'єктів. Використання датчиків забезпечує повноцінне середовище для автономної навігації, оптимізації маршруту та підвищення безпеки експлуатації.

2 РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

2.1 Оцінка маси та навантаження мобільної роботизованої системи

Для забезпечення стабільності та ефективної роботи мобільного гусеничного дрона з маніпулятором необхідно визначити масу основних компонентів та оцінити загальне навантаження на систему. Цей розрахунок дозволяє підібрати двигуни, акумулятори та гусеничну платформу з урахуванням експлуатаційних параметрів.

Основні складові системи

Таблиця 2.1 – Основні характеристики роботизованих систем для перевезення вантажів.

Компонент	Орієнтовна маса, кг
Корпус гусеничного дрона	3.5
Акумулятор (Li-ion 12 В, 10 А·год)	1.2
Маніпулятор (4–5 ступенів)	2.0–2.5
Приводи гусениць	1.5
Приводи маніпулятора	1.5
Електроніка, плати керування	0.8
Запас на кріплення, обшивку	1.0

Загальна маса дрона без вантажу:

$$M_{\text{повна}} \approx 11 \text{ кг}$$

З вантажем(макс. 5 кг):

$$M_{\text{повна}} \approx 11 + 5 = 16 \text{ кг}$$

Розрахунок навантаження на гусениці

При рівномірному розподілі маси:

$$N = M_{\text{повна}} \cdot g = 16 \cdot 9.81 \approx 157 \text{ Н}$$

При двох гусеницях: кожна несе $\approx 78 \text{ Н}$

```
Command Window
>> % Маса компонентів
m_body = 3.5;
m_battery = 1.2;
m_arm = 2.5;
m_tracks = 1.5;
m_arm_motors = 1.5;
m_electronics = 0.8;
m_frame = 1.0;
m_payload = 5.0;

% Загальна маса
m_total = m_body + m_battery + m_arm + m_tracks + m_arm_motors + m_electronics + m_frame + m_payload;

% Вага
g = 9.81;
N_total = m_total * g;

% Центр мас умовно – передній край (0), задній край (1), довжина бази = 1м
% Визначення розташування мас по довжині
positions = [0.4, 0.5, 0.2, 0.5, 0.2, 0.5, 0.5, 0.2]; % умовні координати

masses = [m_body, m_battery, m_arm, m_tracks, m_arm_motors, m_electronics, m_frame, m_payload];
total_moment = sum(masses .* positions);
center_of_mass = total_moment / m_total;

fprintf('Загальна маса: %.2f кг\n', m_total);
fprintf('Загальне навантаження: %.2f Н\n', N_total);
fprintf('Центр мас (в долях довжини бази): %.2f\n', center_of_mass);
Загальна маса: 17.00 кг
Загальне навантаження: 166.77 Н
Центр мас (в долях довжини бази): 0.32
>> |
```

Рисунок 2.1 – Розрахунок центра мас системи

2.2 Розрахунок тягового зусилля мобільної гусеничної системи

Одним із критичних параметрів для мобільної роботизованої системи є здатність переміщуватись по різних типах поверхні з урахуванням маси конструкції, вантажу, ухилів місцевості та сили опору кочення. У цьому підрозділі виконаємо розрахунок необхідного тягового зусилля для стабільного руху.

Основні вхідні дані:

- Загальна маса дрона з вантажем: $m = 16 \text{ кг}$
- Прискорення вільного падіння: $g = 9.81 \text{ м/с}^2$
- Поверхня: утрамбований ґрунт (коефіцієнт опору кочення $f = 0.04$)
- Ухил місцевості: до 10° (макс)
- Кількість гусениць: 2
- Радіус ведучого колеса гусениці: $r = 0.05 \text{ м}$ (для розрахунку моменту)

- ККД приводу: $\eta = 0.85$

Розрахунок сили опору кочення

Сила опору кочення:

$$F_k = f \cdot m \cdot g = 0.04 \cdot 16 \cdot 9.81 \approx 6.28 \text{ Н}$$

Розрахунок сили тяжіння на підйомі

Сила, необхідна для подолання нахилу (ухил 10°):

$$F_{\text{ухил}} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) = 16 \cdot 9.81 \cdot \sin(10^\circ) \approx 27.3 \text{ Н}$$

Загальне необхідне тягове зусилля

$$F_{\text{тяга}} = F_k + F_{\text{ухил}} = 6.28 + 27.3 \approx 33.58 \text{ Н}$$

Розрахунок моменту, необхідного на на ведучому валі

$$M = \frac{F_{\text{тяга}} \cdot r}{\eta} = \frac{33.58 \cdot 0.05}{0.85} \approx 1.975 \text{ Нм}$$

```
Command Window
>> % Вхідні дані
m = 16; % кг
g = 9.81; % м/с^2
f = 0.04; % коеф. опору кочення
theta = deg2rad(10); % кут ухилу в радіанах
r = 0.05; % радіус ведучого колеса, м
eta = 0.85; % ККД

% Сили
F_roll = f * m * g;
F_slope = m * g * sin(theta);
F_total = F_roll + F_slope;

% Момент
M = F_total * r / eta;

% Вивід
fprintf('Сила опору кочення: %.2f Н\n', F_roll);
fprintf('Сила для подолання ухилу: %.2f Н\n', F_slope);
fprintf('Загальне тягове зусилля: %.2f Н\n', F_total);
fprintf('Необхідний момент на приводі: %.2f Н·м\n', M);
Сила опору кочення: 6.28 Н
Сила для подолання ухилу: 27.26 Н
Загальне тягове зусилля: 33.53 Н
Необхідний момент на приводі: 1.97 Н·м
>> |
```

Рисунок 2.2 – Розрахунок тягового зусилля

2.3 Підбір електродвигунів для приводу гусеничної платформи

Електродвигуни є ключовими виконавчими елементами мобільної системи, що забезпечують переміщення гусеничної бази. На основі розрахованого раніше моменту та необхідної швидкості руху проводимо підбір відповідного двигуна.

Вихідні умови

- Необхідний обертовий момент на приводі: 1.975 Н·м
- Швидкість руху платформи: 0.5 – 1 м/с
- Радіус ведучого колеса: $r = 0.05$ м
- ККД приводу: $\eta = 0.85$
- Живлення: 12 В постійного струму

- Планується 2 двигуни — по одному на кожну гусеницю

Розрахунок кутової швидкості

Максимальна швидкість руху $v = 1$ м/с Кутова швидкість:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1}{0.05} \approx 20 \text{ рад/с}$$

Переводимо у об/хв:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi} = \frac{20 \cdot 60}{6.28} \approx 191 \text{ об/хв}$$

Вибір двигуна

На основі отриманих значень, підходять двигуни з такими параметрами:

- Номінальний обертовий момент: 2–2.5 Н·м
- Номінальні оберти: 180–200 об/хв
- Напруга живлення: 12 В
- Тип: редукторний двигун постійного струму (DC Gear Motor)

Наприклад:

- Двигун 37GB-555 з редуктором 1:30
- Напруга: 12 В
- Швидкість: ~200 об/хв
- Момент: до 2.5 Н·м
- Споживаний струм: 1–3 А (залежно від навантаження)

```

Command Window
>> % Двигунні параметри
n_motor = 191; % об/хв
M_required = 1.975; % Нм

% Потужність на виході (Вт)
P_out = (M_required * 2 * pi * n_motor) / 60;

% Потужність на вході з урахуванням ККД
eta = 0.85;
P_in = P_out / eta;

% Струм при 12 В
U = 12; % В
I = P_in / U;

fprintf('Необхідна потужність на валу: %.2f Вт\n', P_out);
fprintf('Споживана потужність з урахуванням ККД: %.2f Вт\n', P_in);
fprintf('Очікуваний струм споживання: %.2f А\n', I);
Необхідна потужність на валу: 39.50 Вт
Споживана потужність з урахуванням ККД: 46.47 Вт
Очікуваний струм споживання: 3.87 А

```

Рисунок 2.3 – Перевірка характеристик у MATLAB

2.4 Розрахунок енергоспоживання та тривалості автономної роботи

Автономність мобільної роботизованої системи визначається ефективністю споживання енергії всіма її компонентами. У цьому підрозділі буде розраховано загальне енергоспоживання системи та оцінено тривалість її роботи від батареї на основі реальних характеристик.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку енергоспоживання та тривалості автономної роботи

Компонент	Кількість	Напруга (В)	Струм (А)	Потужність (Вт)	Робочий режим
Привідні двигуни	2	12	2	24 (2×12 В × 1 А)	Постійно
Маніпулятор (серви)	3	5	1	15	Періодично

Блок керування (MCU)	1	5	0.1	0.5	Постійно
Wi-Fi модуль	1	3.3	0.15	0.5	Постійно
Датчики (ультразвук, IMU, тощо)	~5	5	0.05	0.25	Постійно
Камера або відеомодуль	1	5	0.3	1.5	Постійно

Розрахунок загального енергоспоживання

Потужність у середньому режимі:

- Приводи (2 шт): $2 \times 12 \text{ В} \times 1.5 \text{ А} = 36 \text{ Вт}$
- Маніпулятор (3 серво): $3 \times 5 \text{ В} \times 0.5 \text{ А} = 7.5 \text{ Вт}$
- Електроніка (Wi-Fi, датчики, контролер): $\sim 3 \text{ Вт}$

$$P_{\text{загал}} \approx 36 + 7.5 + 3 = 46.5 \text{ Вт}$$

Оцінка часу автономної роботи

$$t = \frac{E_{\text{аккумулятор}}}{P_{\text{загал}}} = \frac{120}{46.5} \approx 2.58 \text{ години}$$

Однак з урахуванням пікових навантажень, втрат на перетворення енергії та реального ККД:

$$t_{\text{реальний}} \approx 1.5 - 2 \text{ години}$$

```

Command Window
>> % Вихідні дані
E_battery = 120; % Wh
P_total = 46.5; % W
eta = 0.85;      % ККД усього ланцюга живлення

% Теоретичний час
t_theoretical = E_battery / P_total;

% Реальний час з урахуванням ККД
t_real = eta * t_theoretical;

fprintf('Теоретичний час автономної роботи: %.2f год\n', t_theoretical);
fprintf('Реальний час автономної роботи (з урахуванням ККД): %.2f год\n', t_real);
Теоретичний час автономної роботи: 2.58 год
Реальний час автономної роботи (з урахуванням ККД): 2.19 год
>> |
    
```

Рисунок 2.4 – Розрахунок тривалості автономної роботи

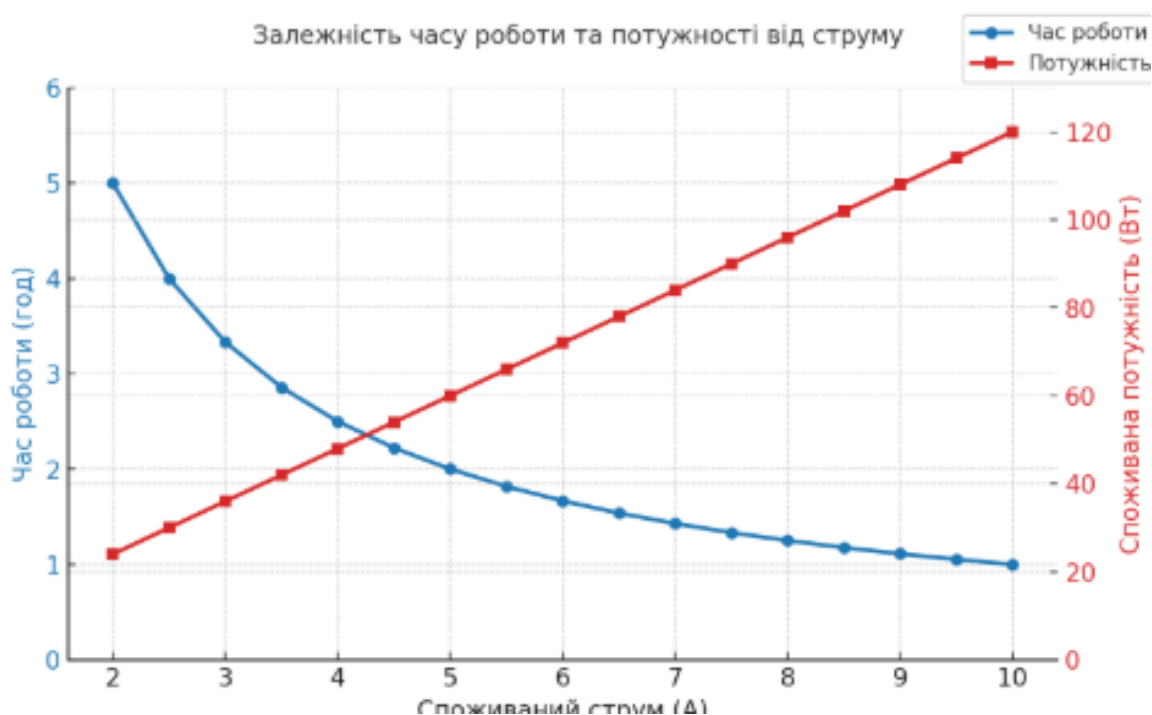


Рисунок 2.5 – Залежність часу роботи та потужності від струму

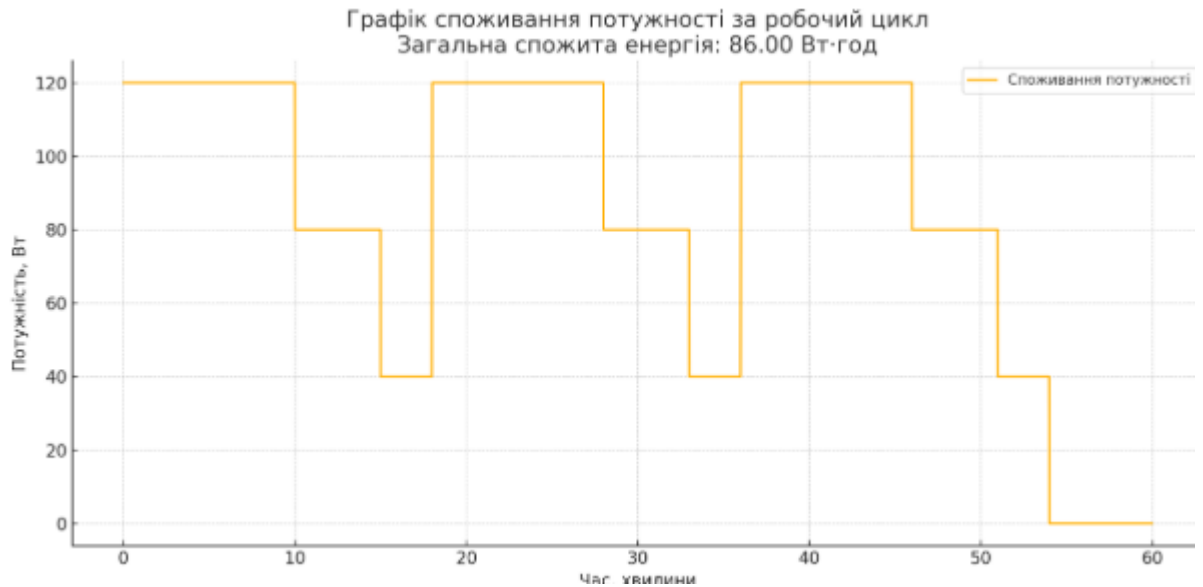


Рисунок 2.6 – Графік споживання за робочий цикл(1 годину)

2.5 Розрахунок та проєктування маніпулятора

Маніпулятор є ключовим елементом мобільної роботизованої системи, що забезпечує захоплення та переміщення вантажів. Його розробка повинна враховувати геометричні, силові та кінематичні параметри для забезпечення точності та надійності роботи.

Вихідні технічні дані

- Вантажопідйомність маніпулятора: до 3–5 кг
- Робочий радіус (дальність): 40–50 см
- Кількість ступенів свободи: 3–4
- Привід: сервомотори
- Матеріал: алюмінієві або композитні профілі
- Монтаж: на платформі дрона, з урахуванням центру ваги

Розрахунок навантаження ланки на маніпулятор

- $L1 = 0.25$ м — довжина першої ланки
- $L2 = 0.25$ м — довжина другої ланки
- $m = 3$ кг — максимальна маса вантажу
- $g = 9.81$ м/с² — прискорення вільного падіння

Розрахунок моменту сили для другого суглоба:

$$M_2 = m \cdot g \cdot L_2 = 3 \cdot 9.81 \cdot 0.25 = 7.36 \text{ Нм}$$

Розрахунок моменту сили для першого суглоба (враховує вагу вантажу + другу ланку):

$$M_1 = m \cdot g \cdot (L_1 + L_2) = 3 \cdot 9.81 \cdot (0.25 + 0.25) = 14.72 \text{ Нм}$$

Вибір сервоприводів

Для забезпечення надійної роботи обираємо серводвигуни з запасом по моменту:

- Потрібний момент: 15 Н·м
- Вибраний серво: наприклад, Dynamixel Pro або Savox SV-1270TG (або інші висококрутильні серво з моментом $\geq 20 \text{ Н·м}$)

```
Command Window
>> % Параметри
m = 3;           % кг
g = 9.81;        % м/с^2
L1 = 0.25;       % м
L2 = 0.25;       % м

% Розрахунок моментів
M2 = m * g * L2;
M1 = m * g * (L1 + L2);

fprintf('Момент на другому суглобі: %.2f Н·м\n', M2);
fprintf('Момент на першому суглобі: %.2f Н·м\n', M1);
Момент на другому суглобі: 7.36 Н·м
Момент на першому суглобі: 14.71 Н·м
```

Рисунок 2.7 – MATLAB-модель навантаження на маніпулятор

Геометрична модель

Маніпулятор будується за принципом планарного дволанкового робота. Система координат: циліндрична або декартова, залежно від типу обчислень.

2.6 Кінематичний аналіз маніпулятора

Кінематичний аналіз дозволяє встановити взаємозв'язок між положенням ланок маніпулятора та координатами кінцевого ефектора. У цьому підрозділі розглядаються пряме та зворотне кінематичне перетворення для планарного дволанкового маніпулятора, що встановлений на мобільному дроні.

Структура маніпулятора

- Тип: 2DOF планарний маніпулятор
- Ланки: $L_1 = 0.25$ м, $L_2 = 0.25$ м
- Суглоби: Обертові (револьвентні)
- Координати кінцевого ефектора: (x,y)
- Кути суглобів: θ_1, θ_2

Пряме кінематичне перетворення

Визначає положення кінцевого ефектора (x,y) за відомими кутами θ_1 та θ_2 :

$$x = L_1 \cdot \cos(\theta_1) + L_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y = L_1 \cdot \sin(\theta_1) + L_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Зворотне кінематичне перетворення

Визначає кути суглобів θ_1, θ_2 за відомими координатами кінцевого ефектора (x,y):

Визначаємо θ_2 :

$$\cos(\theta_2) = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}$$

Визначаємо θ_1 (з урахуванням двозначності):

$$\theta_1 = \arctan2(x, y) - \arctan2(L_2 \cdot \sin(2), L_1 + L_2 \cdot \cos(\theta_2))$$

```
Command Window
>> % Параметри
L1 = 0.25; % м
L2 = 0.25; % м
theta1 = deg2rad(30); % кут в радіанах
theta2 = deg2rad(45);

% Пряме кінематичне перетворення
x = L1 * cos(theta1) + L2 * cos(theta1 + theta2);
y = L1 * sin(theta1) + L2 * sin(theta1 + theta2);

fprintf('Кінцева точка маніпулятора: (%.3f, %.3f) м\n', x, y);
Кінцева точка маніпулятора: (0.281, 0.366) м
```

Рисунок 2.8 – MATLAB-код прямої кінематики

```
Command Window
>> % Параметри
x = 0.35; % м
y = 0.2; % м

% Розрахунок theta2
cos_theta2 = (x^2 + y^2 - L1^2 - L2^2) / (2 * L1 * L2);
theta2 = acos(cos_theta2);

% Розрахунок theta1
k1 = L1 + L2 * cos(theta2);
k2 = L2 * sin(theta2);
theta1 = atan2(y, x) - atan2(k2, k1);

fprintf('Кути суглобів: theta1 = %.2f°, theta2 = %.2f°\n', rad2deg(theta1), rad2deg(theta2));
Кути суглобів: theta1 = -6.53°, theta2 = 72.54°
>> |
```

Рисунок 2.9 – MATLAB-код зворотної кінематики

2.7 Розрахунок параметрів маніпулятора

Для мобільної роботизованої системи було обрано дволанковий маніпулятор з двома ступенями свободи (2DOF), який має достатню компактність, просту конструкцію та відповідає вимогам досягнення робочої зони до 50 см. Така конфігурація забезпечує необхідну гнучкість при маніпулюванні вантажами в умовах обмеженого простору.

Схема маніпулятора передбачає:

Першу ланку (L_1) — основу, що обертається навколо вертикальної осі (ось Z), довжиною 25 см;

Другу ланку (L_2) — рухому секцію, що здійснює обертання у вертикальній площині, довжиною 20 см;

Робочий інструмент (захват) — встановлений на кінці другої ланки та здатний взаємодіяти з об'єктами масою до 5 кг.

Геометрична модель маніпулятора

Геометрія дволанкового маніпулятора визначається як система, в якій кожна ланка приєднана за допомогою обертового з'єднання. Для моделювання положення кінцевого виконавчого органа використовується пряма кінематика, яка дозволяє обчислити координати кінця маніпулятора у просторі при заданих кутах повороту суглобів.

Координати точки захвату:

$$\begin{cases} x = L_1 \cdot \cos(\theta_1) + L_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y = L_1 \cdot \sin(\theta_1) + L_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases}$$

де:

$L_1 = 0.25\text{м}$ — довжина першої ланки;

$L_2 = 0.20\text{м}$ — довжина другої ланки;

θ_1 — кут повороту першого з'єднання;

θ_2 — кут повороту другого з'єднання.

Робоча зона маніпулятора

Максимальний радіус досяжності:

$$R_{max} = L_1 + L_2 = 0.45 \text{ м}$$

Мінімальний радіус (при згині ланок до себе):

$$R_{min} = [L_1 - L_2] = 0.05 \text{ м}$$

Таким чином, маніпулятор має робочу зону у вигляді кільця радіусом від 5 до 45 см. Всі точки в цій зоні можуть бути досягнуті за допомогою відповідних комбінацій кутів θ_1 та θ_2

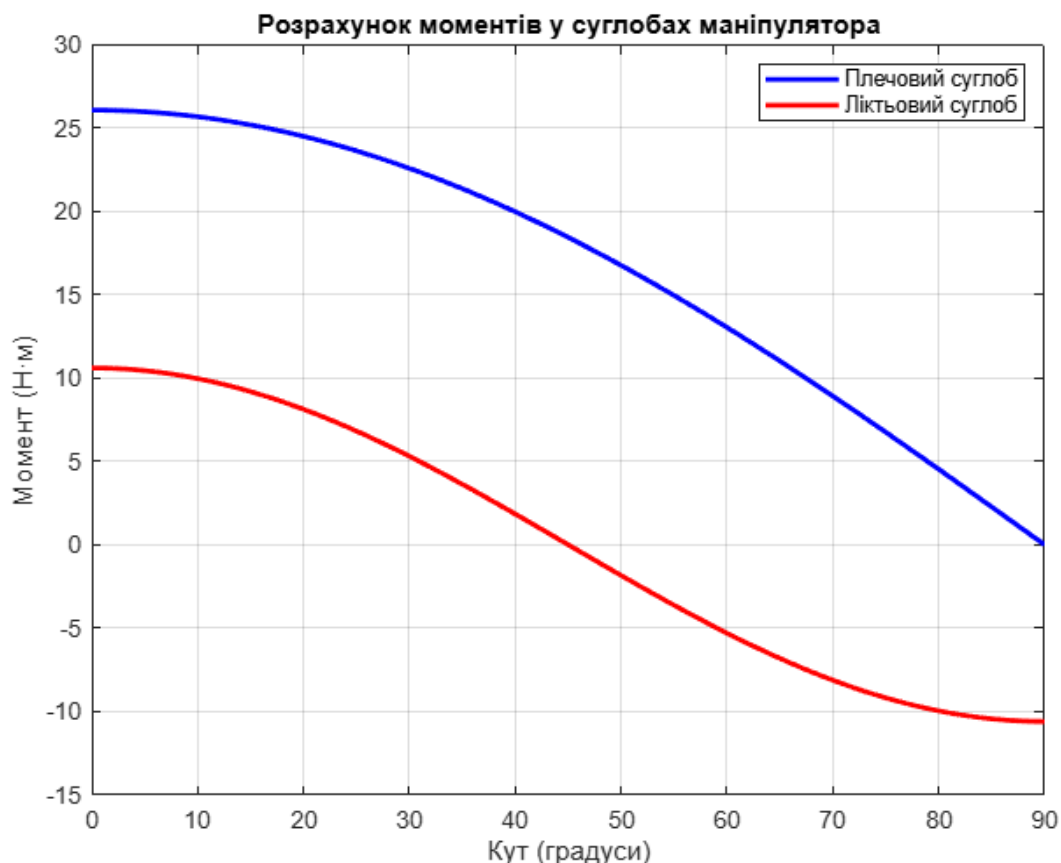


Рисунок 2.10 – Розрахунок моментів у суглобах маніпулятора

2.8 Розрахунок статичних навантажень на суглоби маніпулятора

При розрахунку навантажень на суглоби враховуємо вагу вантажу, масу ланок маніпулятора та їхні геометричні параметри.

Таблиця 2.3 – Початкові дані для розрахунку статичних навантажень на суглоби маніпулятора

Параметр	Позначення	Значення
Маса вантажу	m_{rp}	5 кг
Довжина першої ланки	L_1	0.25 м
Довжина другої ланки	L_2	0.20 м
Маса першої ланки	m_1	1 кг
Маса другої ланки	m_2	0.8 кг
Прискорення вільного падіння	g	9.81 м/с ²

Статистичні моменти в основних положеннях

Для спрощення припустимо, що маніпулятор повністю витягнутий горизонтально (найгірший варіант з точки зору навантажень).

Розрахунок моменту в плечовому суглобі (суглоб 1):

Момент складається з:

- Моменти від власної ваги першої ланки;
- Моменти від власної ваги другої ланки;
- Момент від ваги вантажу.

Розрахунок:

$$M_1 = m_1 \cdot g \cdot \frac{L_1}{2} + m_2 \cdot g \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right) + m_{rp} \cdot g \cdot (L_1 + L_2)$$

Підставимо значення:

$$M_1 = 1 \cdot 9.81 \cdot \frac{0.25}{2} + 0.8 \cdot 9.81 \cdot \left(0.25 + \frac{0.20}{2} \right) + 5 \cdot 9.81 \cdot (0.25 + 0.20)$$

Обчислюємо:

- $1 \cdot 9.81 \cdot 0.125 = 1.226 \text{ Н/м}$
- $0.8 \cdot 9.81 \cdot (0.25 + 0.1) = 0.8 \cdot 9.81 \cdot 0.35 = 2.747 \text{ Н/м}$
- $5 \cdot 9.81 \cdot 0.45 = 22.072 \text{ Н/м}$

Підсумовуємо:

$$M_1 = 1.226 + 2.747 + 22.072 = 26.045 \text{ Н/м}$$

Розрахунок моменту в ліктьовому суглобі (суглоб 2):

Тут враховується тільки друга ланка та вантаж:

$$M_2 = m_2 \cdot g \cdot \frac{L_2}{2} + m_{rp} \cdot g \cdot L_2$$

Підставимо значення:

$$M_2 = 0.8 \cdot 9.81 \cdot \frac{0.20}{2} + 5 \cdot 9.81 \cdot 0.20$$

Обчислюємо:

- $0.8 \cdot 9.81 \cdot 0.1 = 0.785 \text{ Н/м}$
- $5 \cdot 9.81 \cdot 0.20 = 9.81 \cdot 1 = 9.81 \text{ Н/м}$

Підсумовуємо:

$$M_2 = 0.785 + 9.81 = 10.595 \text{ Н/м}$$

2.9 Розрахунок характеристик моторів для маніпулятора

Вхідні дані:

- Найбільший момент для плечового суглоба: припустимо, за результатами графіка в MATLAB це $\sim 15 \text{ Н}\cdot\text{м}$.
- Найбільший момент для ліктьового суглоба: $\sim 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.
- Запас міцності (коефіцієнт безпеки): 1.5–2.

Розрахунок для плечового суглоба

Максимальний момент з запасом:

$$M_{\text{плече}} = 15 \cdot 2 = 30 \text{ Н/м}$$

Для ліктьового суглоба

$$M_{\text{плече}} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ Н/м}$$

Вибір двигуна

Тепер потрібно підібрати двигуни або серводвигуни з урахуванням:

- Максимального моменту
- Швидкості обертання
- Передаточного числа редуктора
- Для плеча: двигун з номінальним моментом $\sim 3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ + редуктор

з передаточним числом 1:10 $\rightarrow$ дасть $30 \text{ Н}\cdot\text{м}$ на валу.

- Для ліктя: двигун з номінальним моментом $\sim 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ + редуктор 1:10 $\rightarrow$ дасть $10 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Розрахунок потужності двигунів

Для плечового суглоба (прикладна оцінка):

Припустимо робочу кутову швидкість:

$$\omega = 30 \frac{\text{об}}{\text{хм}} = \frac{30 \cdot 2\pi}{60} \approx 3.14 \text{ рад/с}$$

Потужність:

$$P = M \cdot \omega = 30 \cdot 3.14 \approx 94.2 \text{ Вт}$$

2.10 Розрахунок тягових характеристик гусеничної платформи

Вхідні дані:

- Загальна маса дрона з вантажем: $m = 12 \text{ кг} + 5 \text{ кг} = 17 \text{ кг}$
- Швидкість: $v = 1 \text{ м/с}$ (максимальна швидкість руху)
- Коефіцієнт опору руху (з урахуванням ґрунту, нерівностей і втрат у гусеницях): $f = 0.05$ (типово для гусеничних платформ на рівній поверхні)
- Коефіцієнт запасу на ухил, нерівності тощо: $k_{\text{зап}} = 1.5$
- Прискорення не враховуємо (рух рівномірний).

Розрахунок сили тяги:

Сила опору:

$$F_{\text{опір}} = m \cdot g \cdot f = 17 \cdot 9.81 \cdot 0.05 \approx 8.34 \text{ Н}$$

З урахуванням запасу:

$$F_{\text{тяга}} = F_{\text{опір}} \cdot k_{\text{зап}} = 8.34 \cdot 1.5 \approx 12.5 \text{ Н}$$

Розрахунок потужності приводу:

Потужність:

$$P = F_{\text{тяга}} \cdot v = 12.5 \cdot 1 = 12.5 \text{ Н}$$

З урахуванням КПД редуктора (припустимо, КПД ~80%):

$$P_{\text{двигуна}} = \frac{P}{0.8} \approx 15.6 \text{ Вт}$$

Розрахунок крутного моменту двигуна

Припустимо діаметр ведучої зірочки гусениці: $d = 0.1 \text{ м}$

Тоді момент:

$$M = \frac{F_{\text{тяга}} \cdot d}{2} = \frac{12.5 \cdot 0.1}{2} = 0.625 \text{ Н/м}$$

З урахуванням запасу: $M_{\text{двигуна}} \approx 1 \text{ Н/м}$

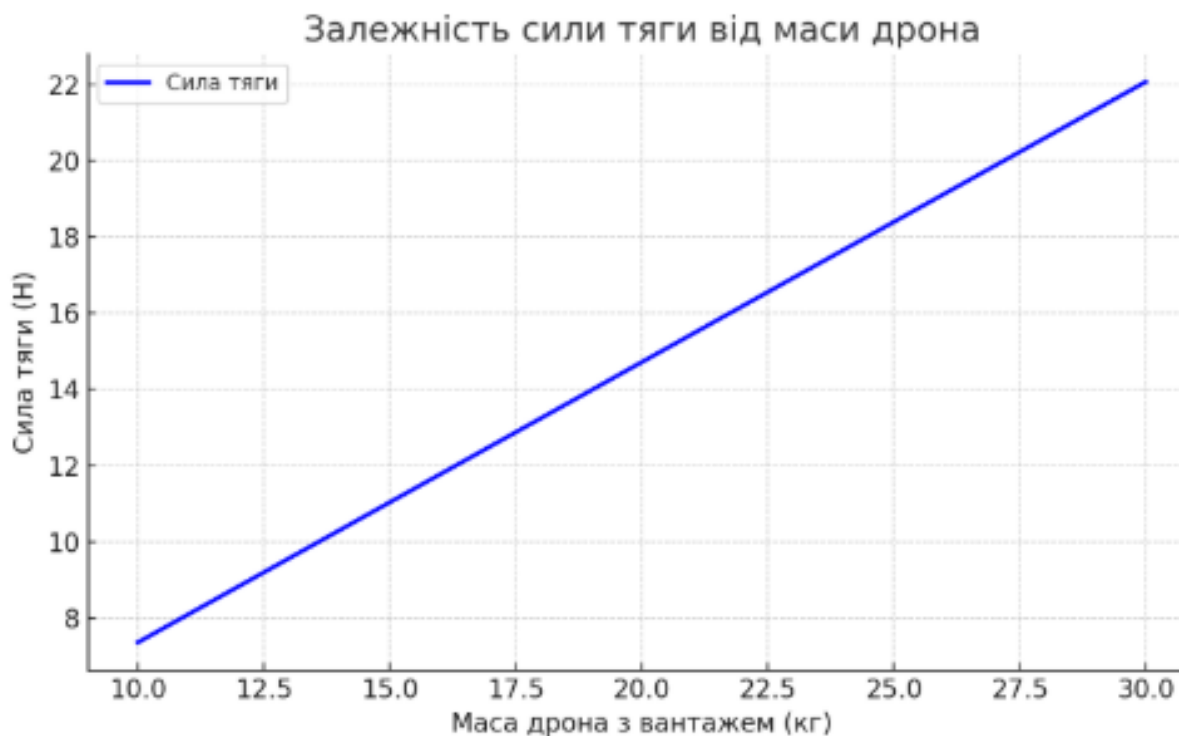


Рисунок 2.11 – Залежність сили тяги від маси дрона

2.11 Розрахунок продуктивності транспортування вантажів

Продуктивність транспортування — це кількість вантажу, яку система може перевезти за певний період часу. Зазвичай вона вимірюється у кг/год або т/зміну.

Загальна формула продуктивності:

$$Q = \frac{W \cdot t}{T_c}$$

де:

- Q — продуктивність (кг/год),
- W — маса вантажу за один рейс (кг),
- t — загальний робочий час (год),
- T_c — тривалість одного транспортного циклу (год).

Розрахунок тривалості циклу:

Один транспортний цикл включає:

- час на поїздку до місця доставки,
- час на зворотню поїздку,
- час на завантаження,
- час на розвантаження.

Тривалість циклу обчислюється за формулою:

$$T_c = \frac{L}{V} + \frac{L}{V} + t_3 + t_p$$

або спрощено:

$$T_c = \frac{2L}{V} + t_3 + t_p$$

де:

- L — довжина маршруту (м),
- V — швидкість руху дрона (м/с),
- t_3 — час завантаження (год),
- t_p — час розвантаження (год).

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку продуктивності транспортування вантажів

Параметр	Значення
----------	----------

Маса вантажу WW	4 кг
Довжина маршруту LL	50 м
Швидкість VV	0.8 м/с
Час завантаження t_{zt_z}	1 хв (0.0167 год)
Час розвантаження t_{rt_p}	1 хв (0.0167 год)
Робочий час tt	1 година

Час руху в одну сторону:

$$t_{\text{рух}} = \frac{L}{V} = \frac{50}{0.8} = 62.5 \text{ секунд} = \frac{65}{3600} \approx 0.01736 \text{ годин}$$

Повний час руху(туди і назад):

$$t_{\text{рух}} = 2 \cdot 0.01736 \approx 0.03472 \text{ годин}$$

Повна тривалість циклу за годину:

$$t_c = t_{\text{рух заг}} + t_z + t_p = 0.03472 + 0.0167 + 0.0167 \approx 0.06812 \text{ годин}$$

Кількість циклів за одну годину:

$$N = \frac{t}{T_c} = \frac{1}{0.06812} \approx 14.68 \text{ циклів}$$

Продуктивність:

$$Q = N \cdot W = 14.68 \cdot 4 \approx 58.7 \text{ кг/год}$$

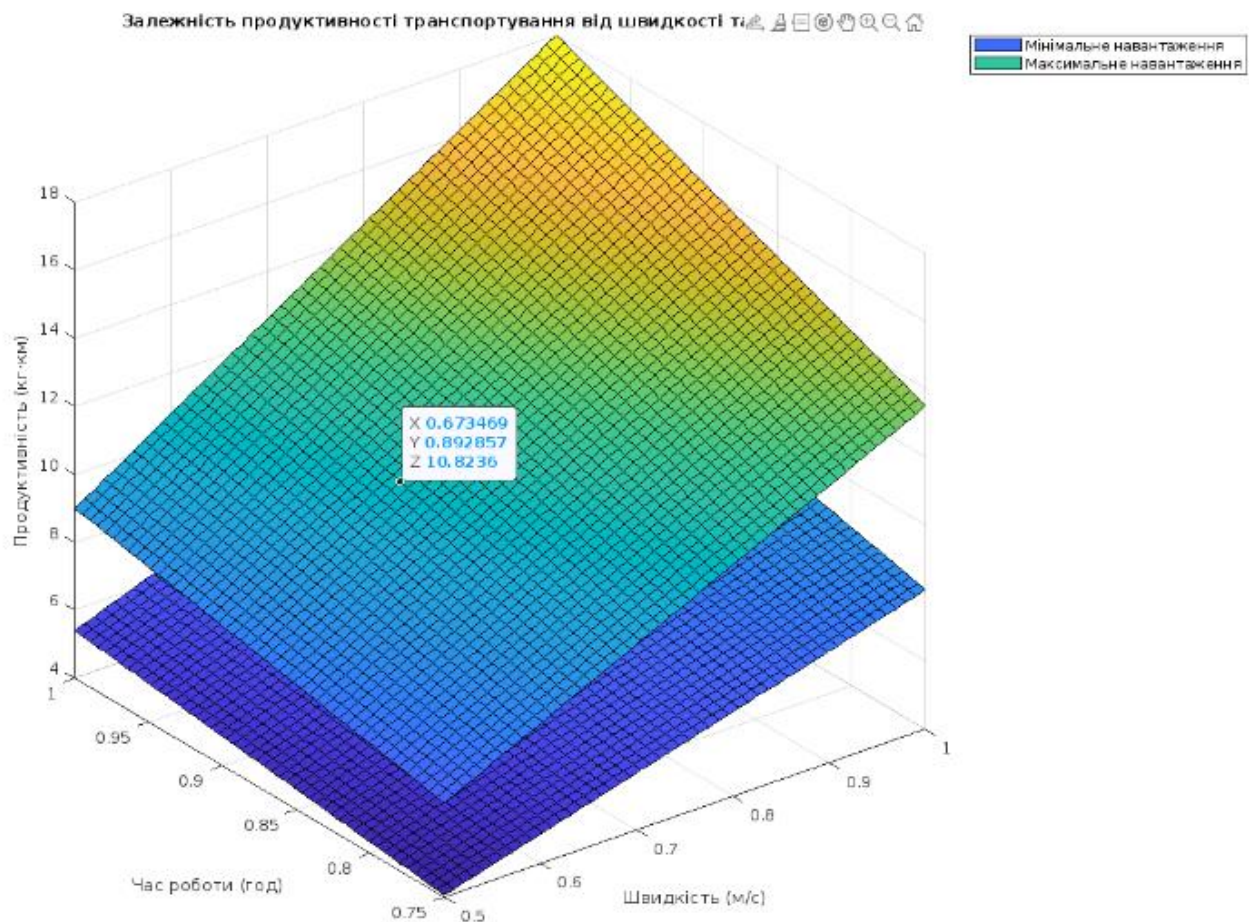


Рисунок 2.12 – Залежність продуктивності транспортування вантажу від ваги вантажу

Висновки до другого розділу

1. У ході роботи було проведено точний розрахунок маси мобільної роботизованої платформи з урахуванням маси конструктивних елементів та вантажу. Це дозволило визначити базові параметри для вибору приводів та енергетичних систем, що є критичними для забезпечення ефективної роботи системи та збереження її маневреності.

2. Розрахунок тягового зусилля гусеничної платформи показав необхідний запас потужності для подолання різних типів покриття та нахилів місцевості. Враховуючи ці параметри, було обрано електродвигуни, які

забезпечують оптимальний баланс між потужністю, енергоефективністю та тривалістю роботи автономної системи.

3. Проведений розрахунок енергоспоживання підтвердив відповідність обраної енергетичної системи вимогам автономності мобільної платформи. Визначено час роботи без підзарядки, що відповідає технічним завданням, а також враховано резерви енергії для маневрування і роботи маніпулятора.

4. Розроблено конструктивну схему маніпулятора, проведено його кінематичний аналіз та розрахунок робочих параметрів, що забезпечують необхідну гнучкість і точність позиціонування вантажів. Крім того, розрахунки статичних навантажень на суглоби маніпулятора дозволили визначити критичні точки навантаження для підвищення надійності та довговічності.

5. Розрахунок тягових характеристик гусеничної платформи та продуктивності транспортування вантажів підтвердив, що система здатна ефективно виконувати завдання в заданих експлуатаційних умовах. Забезпечено оптимальний баланс між швидкістю пересування, вантажопідйомністю та стабільністю платформи.

3 РОЗРОБКА СХЕМ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

3.1 Функціональна схема

Функціональна схема — це вид технічної схеми, що відображає принцип роботи системи, її основні функціональні блоки та взаємозв'язки між ними. Вона не показує конкретного розташування елементів, деталей або точних електричних з'єднань (як принципова схема), а лише відображає логіку роботи, призначення кожного блока і порядок проходження сигналів або енергії.

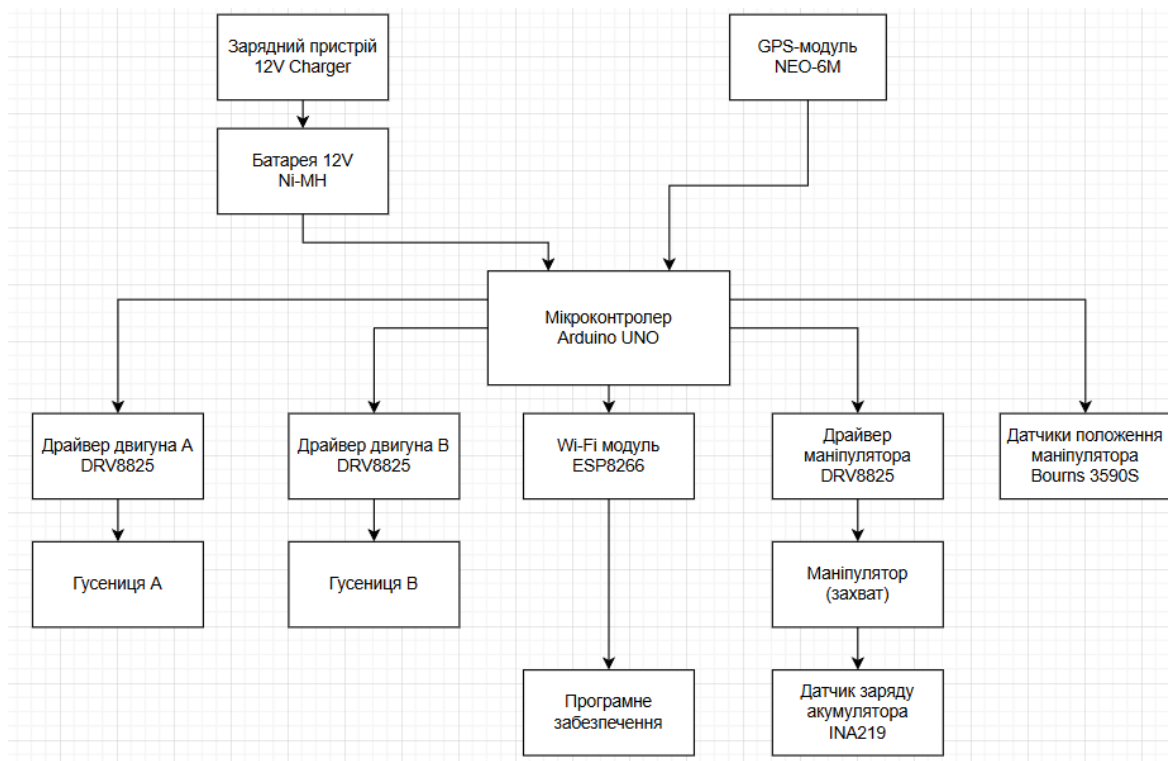


Рисунок 3.1 – Функціональна схема МРС

МРС живиться від акумулятора типу Ni-MH напругою 12 В, який у свою чергу заряджається через спеціальний зарядний пристрій на 12 В. Цей акумулятор забезпечує постійне та стабільне електроживлення для всіх складових системи, що дає змогу працювати автономно без постійного підключення до зовнішніх джерел живлення.

Центральним елементом системи є мікроконтролер Arduino Uno. Він виконує роль «мозку» дрона, керуючи усіма його компонентами. Arduino приймає

сигнали від різноманітних датчиків та модулів, обробляє їх та формує відповідні команди для виконавчих механізмів, тим самим координуючи роботу всієї системи.

Для навігації використовується GPS-модуль NEO-6M, який постачає координатні дані та допомагає дрону орієнтуватися у просторі. Це особливо важливо для автономного пересування по заданому маршруту без втручання оператора.

Рух гусеничного шасі забезпечують електродвигуни, керування якими здійснюється через драйвери двигунів DRV8825. Ці драйвери дозволяють точно регулювати швидкість і напрямок руху кожної гусениці, що забезпечує маневреність і стабільність пересування дрона по різних типах поверхонь.

Самі гусениці (позначені як А та В) відповідають за переміщення мобільної платформи. Вони розроблені таким чином, щоб максимально адаптуватися до умов місцевості і забезпечувати стабільний рух навіть по нерівній поверхні.

Для організації бездротового зв'язку в системі застосовується Wi-Fi модуль ESP8266. Він дозволяє передавати дані з дрона до зовнішнього програмного забезпечення, а також отримувати від нього команди в режимі реального часу, що дає змогу дистанційно керувати системою.

Маніпулятор, який виконує захват та переміщення вантажів, управляється окремим драйвером DRV8825, що забезпечує точність і плавність рухів. Для контролю положення маніпулятора використовуються потенціометричні датчики Bourns 3590S, які дозволяють визначати точне положення його суглобів, що критично для точного керування та виконання складних операцій.

Сам маніпулятор є основним виконавчим механізмом для роботи з вантажами, він здатен захоплювати, піднімати і переміщувати об'єкти, що необхідно для завдань мобільної роботизованої системи.

Щоб забезпечити стабільність роботи системи та своєчасне поповнення енергії, використовується датчик заряду акумулятора INA219. Цей датчик

моніторить рівень напруги і струму в батареї, даючи змогу оцінити стан заряду і, при необхідності, ініціювати процес підзарядки.

Таким чином, всі компоненти системи взаємодіють між собою, формуючи комплексну мобільну роботизовану систему, здатну автономно пересуватися, виконувати маніпуляції з вантажами, контролювати енергоспоживання і підтримувати зв'язок з оператором.

3.2 Компоненти

Arduino Uno

Arduino Uno — це одна з найпопулярніших і найпоширеніших мікроконтролерних платформ у світі. Вона була створена в рамках проекту Arduino, що має відкритий код та апаратну частину з відкритою архітектурою. Завдяки цьому Arduino Uno став доступним для широкого кола розробників, студентів, викладачів і навіть школярів, що тільки починають знайомство з електронікою, автоматикою та програмуванням. Плата відрізняється простотою використання, великою спільнотою користувачів та величезною кількістю готових прикладів і бібліотек.



Рисунок 3.2 – Плата Arduino Uno

В основі плати Arduino Uno лежить мікроконтролер ATmega328P, який працює з тактовою частотою 16 МГц. Обсяг флеш-пам'яті складає 32 кілобайти, з яких 0,5 кілобайти зайнято завантажувачем, що дозволяє зручно перепрошивати плату через стандартний USB-роз'єм. Для зберігання даних передбачено 2 кілобайти оперативної пам'яті SRAM та 1 кілобайт енергонезалежної пам'яті EEPROM, в якій можна зберігати дані навіть після відключення живлення.

Arduino Uno має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть працювати у режимі широтно-імпульсної модуляції (PWM). Крім того, є 6 аналогових входів для зчитування аналогових сигналів з різних датчиків, наприклад, температури, освітленості, вологості тощо. Кожен вхід/вихід розрахований на максимальний струм до 40 мА, що дозволяє безпосередньо підключати світлодіоди, кнопки та інші прості елементи.

З точки зору живлення Arduino Uno досить гнучкий. Він може отримувати живлення як через USB-кабель від комп'ютера (5 В), так і через спеціальний роз'єм живлення (DC power jack), розрахований на напругу від 7 до 12 В.

Вбудований стабілізатор напруги дозволяє подавати на плату навіть до 20 В, однак рекомендовано дотримуватися меж у 7–12 В для запобігання перегріванню стабілізатора.

Для підключення до комп'ютера та завантаження програм (скетчів) Arduino Uno оснащено стандартним USB-B портом. Саме через нього відбувається комунікація з середовищем розробки Arduino IDE. Завдяки вбудованому завантажувачу прошивку можна змінювати дуже просто, без необхідності додаткових програматорів. Для низькорівневого програмування або перепрошивки також передбачений роз'єм ISP.

Arduino Uno підтримує кілька основних протоколів обміну даними: UART (послідовний порт), SPI (послідовний периферійний інтерфейс) та I2C (інтерфейс двох дротів). Це дозволяє підключати до плати різноманітні периферійні пристрої: модулі пам'яті, датчики, дисплеї, двигуни, модулі зв'язку та інші.

Arduino Uno є ідеальною платформою для реалізації різноманітних проектів. Її широко застосовують у навчальних цілях для вивчення основ мікроконтролерної техніки, у хобі-проектах, а також у промислових прототипах. За допомогою цієї плати можна створювати системи автоматичного освітлення, клімат-контролю, системи моніторингу, робототехнічні платформи, системи керування двигунами, розумні будинки та багато інших корисних пристроїв.

Однією з головних переваг Arduino Uno є велика спільнота користувачів, які створили величезну кількість готових бібліотек, прикладів коду та технічної документації. Це значно полегшує процес розробки навіть для новачків. Відкрита апаратна архітектура дозволяє кожному бажаючому виготовити власну версію плати або адаптувати її під конкретні задачі.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики Arduino Uno

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Робоча напруга	5 В
Живлення (через	7–12 В (допустимо 6–20 В)

роз'єм)	
Тактова частота	16 МГц
Пам'ять Flash	32 КБ (з них 0.5 КБ використано завантажувачем)
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Кількість цифрових входів/виходів	14 (з них 6 підтримують PWM)
Кількість аналогових входів	6
Струм I/O піну	40 мА (максимум)
Порти зв'язку	UART, SPI, I2C
USB	USB-B (для підключення до комп'ютера)

Попри всі переваги, Arduino Uno має й деякі обмеження. Зокрема, обсяг пам'яті та обчислювальна потужність не дозволяють реалізовувати складні алгоритми обробки великих обсягів даних або складну графіку. Для більш потужних завдань існують інші плати Arduino, наприклад, Arduino Mega або Arduino Due.

Таким чином, Arduino Uno є універсальним і зручним інструментом як для навчання, так і для розробки простих і середньої складності електронних проектів. Його простота, доступність та гнучкість роблять його незамінним пристроєм для багатьох категорій користувачів: від школярів до професійних інженерів.

Драйвери двигунів(DRV8825)

DRV8825 — це інтегральна мікросхема, що використовується для керування біполярними кроковими двигунами. Вона була розроблена компанією Texas Instruments і на сьогоднішній день є однією з найпопулярніших у сфері робототехніки, 3D-друку, ЧПК-обладнання та автоматизованих систем. Її головною перевагою є можливість точного керування положенням двигуна завдяки мікрокроковому режиму.

Цей драйвер дозволяє працювати з широким діапазоном робочих напруг, які можуть коливатися від 8,2 до 45 В. При цьому струм на фазу може досягати 2,5 А

за умови додаткового охолодження, проте для більшості побутових чи лабораторних завдань зазвичай використовується струм у межах 1,2–1,7 А. Це дозволяє ефективно підключати двигуни різних типів, зокрема й досить потужні моделі.

Однією з ключових функцій DRV8825 є підтримка мікрошагового керування з роздільною здатністю до $1/32$ частини повного кроку. Це означає, що кожен крок двигуна можна розділити на 32 дрібніші частини, що забезпечує дуже плавний і точний рух. Така властивість особливо цінна у системах, де потрібна висока точність позиціонування, наприклад, у маніпуляторах, гусеничних платформах чи автоматизованих транспортних засобах.

Підключення DRV8825 до мікроконтролера, наприклад Arduino Uno, є відносно простим. Для керування необхідно лише два основні сигнали: STEP (для подачі імпульсів кроків) та DIR (для зміни напрямку обертання двигуна). Це значно спрощує програмування й дозволяє зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера. Логічна напруга керування підтримується в діапазоні 3,3–5 В, що робить драйвер сумісним із більшістю популярних контролерів.

Окрім основних функцій, драйвер DRV8825 має вбудовані системи захисту. Зокрема, він автоматично відключається у разі перегріву, перевищення струму, короткого замикання або стрибків напруги. Це підвищує надійність системи та зменшує ризик виходу обладнання з ладу при помилках у схемі чи несприятливих умовах експлуатації.

Драйвер оснащений можливістю регулювання струму обмоток за допомогою вбудованого потенціометра. Така функція дозволяє налаштовувати оптимальний струм для конкретного двигуна, уникаючи перегріву та перевантаження обмоток. Це особливо важливо при роботі в мобільних системах з обмеженими ресурсами енергоживлення.

Для підключення живлення DRV8825 потребує окремої гілки для логічного живлення (зазвичай 5 В) та для живлення двигуна (VMOT). Також обов'язковим

є встановлення конденсатора між VMOT та GND потужності (приблизно 100 мкФ), який захищає систему від стрибків напруги під час роботи двигуна.

DRV8825 знайшов широке застосування у проєктуванні мобільних роботизованих систем. Зокрема, у мобільних гусеничних платформах він дозволяє плавно регулювати швидкість обертання гусениць, а в маніпуляторах забезпечує точне позиціонування важелів. Завдяки високій точності мікрокроків зменшуються вібрації, шум та забезпечується більш м'яка робота механізмів, що особливо актуально в робототехніці.

Драйвер DRV8825 має також певні недоліки. Він досить чутливий до переполюсовки живлення, а при перевищенні рекомендованого струму обов'язково потребує додаткового охолодження (наприклад, у вигляді алюмінієвих радіаторів). Крім того, при нестабільному живленні можливе виникнення електромагнітних перешкод, що впливають на точність роботи.

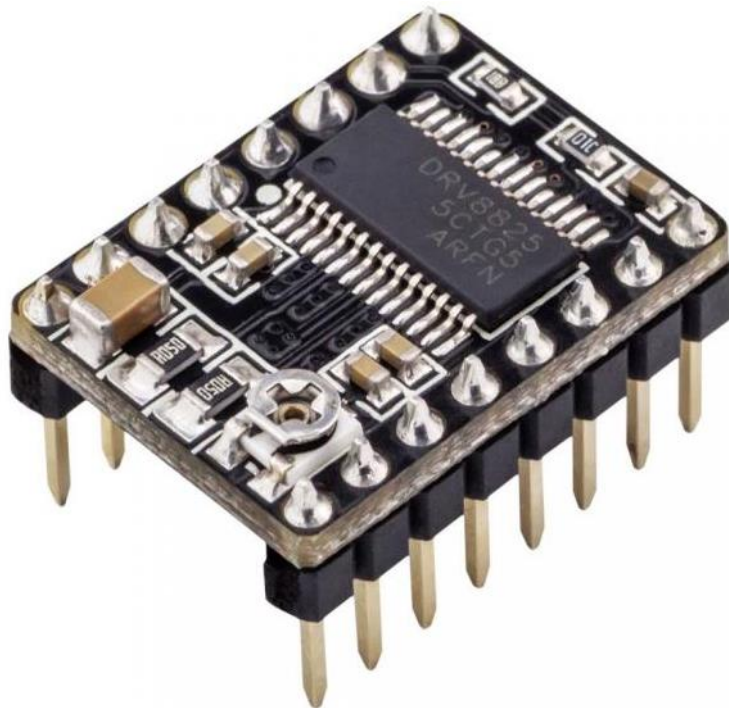


Рисунок 3.3 – Драйвер DRV8825

У цілому, DRV8825 є простим у використанні, доступним і дуже функціональним драйвером для побудови точних і надійних систем керування кроковими двигунами. Саме тому він часто використовується в системах

автономного транспортування вантажів, роботизованих маніпуляторах, системах позиціонування й багатьох інших робототехнічних пристроях.

GPS-модуль NEO-6M

GPS-модуль NEO-6M є одним із найпопулярніших та широко застосовуваних модулів для визначення глобальних координат об'єкта в реальному часі. Він належить до серії навігаційних модулів, розроблених компанією u-blox (Швейцарія), і відзначається високою точністю, стабільністю роботи, компактними розмірами та доступною вартістю. Саме завдяки цим характеристикам NEO-6M часто використовується в мобільній робототехніці, безпілотних літальних апаратах, транспортних системах і персональних навігаційних пристроях.

Основною функцією GPS-модуля є отримання сигналів від супутників глобальної системи позиціонування (GPS) та обчислення поточних географічних координат: широти, довготи, висоти, швидкості руху, напрямку, а також точного часу (UTC). Для цього модуль одночасно приймає сигнали з декількох супутників (до 22 одночасно), що дозволяє досягати високої точності визначення положення — до 2,5 метрів за ідеальних умов прийому сигналу.

NEO-6M працює у частотному діапазоні L1 (1575.42 МГц) — це основний стандартний частотний діапазон для системи GPS. Час холодного старту (при першому запуску) складає близько 27 секунд, а при гарячому старті (повторному включенні за наявності збережених даних) — всього 1 секунду. Завдяки вбудованій енергонезалежній пам'яті EEPROM модуль може зберігати останні отримані координати, що значно скорочує час визначення положення при повторних запусках.

Для забезпечення стабільного прийому сигналів у NEO-6M використовується зовнішня активна антена, яка підключається до відповідного SMA або u.FL роз'єму. Завдяки активній антені модуль може працювати навіть за не надто сприятливих умов: у міській забудові, між деревами, поблизу будівель, у легких пересічених місцевостях.

Підключення модуля до мікроконтролера (наприклад, Arduino Uno) здійснюється через інтерфейс UART (послідовний порт). Стандартна швидкість передачі даних складає 9600 бод, хоча її можна змінити для оптимізації роботи системи. Дані передаються у форматі NMEA — це стандартний протокол, що містить інформацію про положення, швидкість, напрямок руху, точність сигналу тощо. Для обробки цих даних на Arduino використовуються спеціальні бібліотеки, наприклад, TinyGPS++.

Живлення модуля здійснюється напругою 3,3 В або 5 В (через вбудований стабілізатор). Споживання струму є невеликим — зазвичай у межах 45–50 мА, що дозволяє ефективно використовувати модуль у системах з автономним живленням, наприклад, на мобільних гусеничних платформах для перевезення вантажів.

У мобільних роботизованих системах GPS-модуль NEO-6M дозволяє реалізувати функції автономної навігації та слідкування за маршрутом. Наприклад, під час транспортування вантажів дрон або платформа можуть самостійно пересуватись по заданим маршрутам з урахуванням координатних точок. Також GPS дозволяє визначати реальну швидкість руху системи, що може враховуватись у системах стабілізації та оптимізації енергоспоживання.

Окрім звичайних задач позиціонування, GPS-модуль може бути використаний для побудови геозон (обмежених областей переміщення), формування карт маршруту, зберігання та аналізу даних переміщення. Це особливо корисно при організації роботи мобільних роботизованих систем у великих логістичних центрах, складах, агропромислових підприємствах тощо.

Ще однією корисною властивістю NEO-6M є наявність додаткових виходів PPS (Pulse Per Second), які дозволяють синхронізувати системи реального часу з високою точністю. Це важливо для деяких високоточних промислових чи наукових застосувань, а також для оптимізації взаємодії декількох роботизованих платформ між собою.

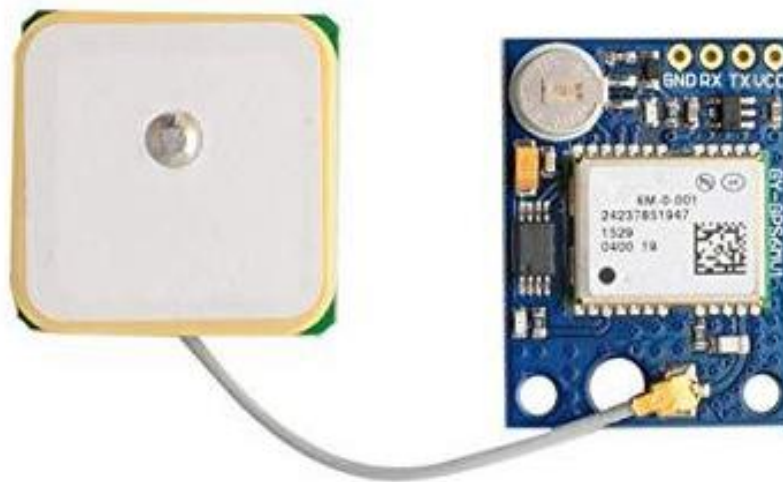


Рисунок 3.4 – GPS-модуль NEO-6M

Таким чином, GPS-модуль NEO-6M є універсальним, доступним і надійним рішенням для організації точного позиціонування в мобільних автономних роботизованих системах. Його застосування суттєво розширює функціональні можливості автоматизованих платформ, підвищує ефективність їх роботи та дозволяє реалізувати складні алгоритми автономного руху.

Wi-Fi модуль ESP8266

Wi-Fi модуль ESP8266 є одним з найбільш популярних і широко застосовуваних модулів для бездротової передачі даних у мікроконтролерних системах та робототехніці. Його створила китайська компанія Espressif Systems, і з моменту появи модуль став стандартом для багатьох IoT-проектів, автономних роботизованих платформ та розумних пристроїв. Основною перевагою ESP8266 є його універсальність, компактність, низька вартість та широкі можливості для інтеграції в різноманітні системи.

Основною функцією ESP8266 є забезпечення бездротового зв'язку пристрою з локальною мережею (Wi-Fi), Інтернетом або з іншими пристроями через безпосереднє створення точки доступу (Access Point). Він підтримує стандарт бездротової передачі IEEE 802.11 b/g/n, працює на частоті 2,4 ГГц і забезпечує швидкість передачі даних до 72,2 Мбіт/с у режимі 802.11n.

Важливою перевагою ESP8266 є його вбудований процесор Tensilica L106 (32-біт, архітектура RISC), що працює на частоті до 80 або 160 МГц. Завдяки наявності власного обчислювального ядра модуль може працювати як окремий автономний контролер без необхідності підключення до додаткового мікроконтролера (наприклад, Arduino). Проте в проектах мобільної роботизованої платформи ESP8266 часто працює як комунікаційний модуль у парі з основним контролером (Arduino Uno), який відповідає за управління виконавчими механізмами.

Об'єм оперативної пам'яті (SRAM) у ESP8266 складає приблизно 64 КБ, а флеш-пам'яті — від 512 КБ до 4 МБ, в залежності від конкретної версії модуля. Це дозволяє розміщувати на модулі досить складне програмне забезпечення, у тому числі — міні-сервери для обслуговування клієнтських запитів через інтернет або локальну мережу.

Для підключення до основної системи ESP8266 використовує інтерфейс UART (послідовний порт), що дозволяє легко з'єднувати його з Arduino Uno, Raspberry Pi або іншими контролерами. Живлення модуля здійснюється від напруги 3,3 В, і під час активної передачі даних струм споживання може досягати 200–300 мА, що важливо враховувати при розробці джерела живлення автономної роботизованої системи.

У мобільних роботизованих системах ESP8266 відкриває широкі можливості для організації дистанційного управління, моніторингу та збору телеметрії. Наприклад, з його допомогою можна віддалено контролювати пересування платформи, змінювати маршрути доставки вантажів, спостерігати за станом акумуляторних батарей, температурою двигунів, завантаженістю платформи тощо. Також ESP8266 дозволяє надсилати дані GPS-модуля у реальному часі на сервер чи мобільний додаток оператора.

Крім звичайного режиму клієнта Wi-Fi (STA), ESP8266 може працювати у режимі точки доступу (AP), дозволяючи створювати власну мережу безпосередньо на полігоні чи виробничому майданчику. Це особливо корисно для

локальних систем управління, де немає постійного підключення до Інтернету, але потрібен стабільний бездротовий зв'язок між кількома пристроями.

Завдяки підтримці багатьох мережевих протоколів (TCP/IP, UDP, HTTP, MQTT тощо), ESP8266 можна інтегрувати у складні розподілені системи автоматизації та моніторингу. Наприклад, платформа може відправляти телеметрію на хмарний сервер для зберігання даних і аналітики, а також приймати команди для зміни траєкторії або налаштувань роботи.

Ще однією корисною функцією ESP8266 є можливість оновлення програмного забезпечення (прошивки) "по повітрю" (OTA — Over The Air). Це дозволяє змінювати функціонал мобільної роботизованої системи без необхідності фізичного доступу до пристрою, що значно спрощує технічне обслуговування великих парків роботизованих платформ.

У підсумку, Wi-Fi модуль ESP8266 є одним із ключових елементів сучасних мобільних роботизованих систем для перевезення вантажів. Його використання забезпечує широкі комунікаційні можливості, високу гнучкість, надійність та масштабованість системи, дозволяючи реалізовувати як локальне, так і віддалене керування роботизованими платформами.

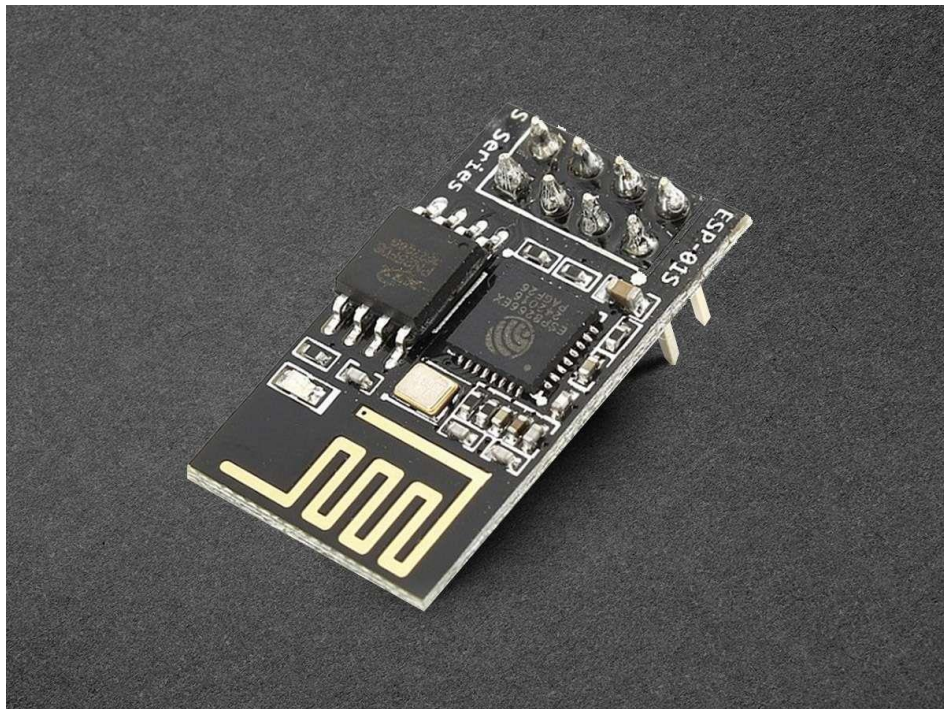


Рисунок 3.5 – Wi-Fi модуль ESP8266

Датчики положення маніпулятора (Bourns 3590S)

Для точного визначення положення ланок маніпулятора в роботизованих системах використовуються різні типи датчиків кута повороту. Одним із найбільш надійних та точних рішень для вимірювання кутового положення є високоточний багатообертовий потенціометр **Bourns 3590S**. Його характеристики дозволяють забезпечити стабільний та точний контроль положення суглобів маніпулятора навіть у важких умовах експлуатації.

Модель Bourns 3590S є прецизійним провідниковим потенціометром багатообертового типу (multi-turn), що дозволяє здійснювати до 10 повних обертів в одному циклі вимірювання. Завдяки цьому забезпечується висока роздільна здатність при визначенні кута, що особливо важливо для маніпуляторів з плавною та точною кінематикою. Чим більше обертів допускає потенціометр, тим точніше можна відслідковувати кутові зміщення в межах великого діапазону.

Принцип роботи Bourns 3590S базується на зміні електричного опору при обертанні його вала. Потенціометр має три виводи: один підключається до джерела живлення, інший — до землі, а третій (сигнальний вихід) видає напругу, пропорційну положенню обертання валу. Цю напругу можна легко зчитувати за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), вбудованого в контролер Arduino Uno. Завдяки цьому забезпечується безпосередня інтеграція датчика положення в систему керування без потреби складної обробки сигналу.

Однією з ключових переваг потенціометра Bourns 3590S є його висока точність, стабільність параметрів та низький рівень шумів при зчитуванні даних. Точність приладу досягає 0,1% від повного діапазону, що забезпечує мінімальну похибку в роботі маніпулятора. Це дозволяє системі точно позиціонувати кожен суглоб маніпулятора, що є критично важливим для точного переміщення вантажів у мобільних роботизованих платформах.

Корпус потенціометра виготовлений з металу, що гарантує його довговічність, стійкість до вібрацій, механічних пошкоджень та зовнішніх впливів. Робочий температурний діапазон складає від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати його в широкому спектрі кліматичних умов, включно з експлуатацією на відкритому повітрі.

Крім того, Bourns 3590S характеризується досить простим механічним кріпленням. Його вал діаметром 6,35 мм (1/4 дюйма) зручно поєднувати з передавальними механізмами маніпулятора через муфти або шестерні. Це дає можливість без складних конструктивних рішень інтегрувати потенціометр у механічну схему маніпулятора, забезпечуючи безпосереднє відстеження положення кожної ланки.



Рисунок 3.6 – Датчики положення маніпулятора Bourns 3590S

Завдяки використанню таких датчиків, система керування отримує оперативну інформацію про фактичне положення маніпулятора в реальному часі.

Це дає змогу формувати зворотний зв'язок у системі автоматичного управління, коригувати помилки позиціювання та реалізувати високоточні профілі руху. Наприклад, під час переміщення вантажу в нестабільних умовах платформа може коригувати положення кінцевого ефектора, підтримуючи задану орієнтацію об'єкта.

Датчик заряду акумулятора (INA219)

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи мобільної роботизованої системи надзвичайно важливо здійснювати постійний контроль за рівнем заряду акумуляторної батареї. Це дозволяє уникнути повного розрядження джерела живлення, запобігти аварійному відключенню системи, а також забезпечує оптимальне планування циклів роботи. Одним із ефективних засобів для моніторингу параметрів живлення є високоточний цифровий монітор струму та напруги INA219.

INA219 — це інтегральний мікросхемний модуль виробництва компанії Texas Instruments, який дозволяє з високою точністю вимірювати напругу на шунті, струм споживання, а також напругу живлення. Датчик підтримує інтерфейс передачі даних I²C, що значно спрощує його підключення до основного контролера системи — в даному випадку до Arduino Uno.

Принцип роботи INA219 полягає у вимірюванні падіння напруги на шунтовому резисторі, через який протікає струм до споживача (тобто до всіх модулів системи, включно з маніпулятором, приводами гусениць, електронікою керування тощо). Далі внутрішні аналого-цифрові перетворювачі (ADC) датчика обчислюють силу струму та напругу, після чого ці дані оцифровуються і передаються мікроконтролеру.

Однією з важливих переваг INA219 є висока точність вимірювань — похибка становить близько $\pm 1\%$. При цьому допустиме значення робочої напруги досягає 26 В, а максимальний струм — до 3,2 А (залежно від шунта). Це робить даний датчик придатним для більшості типових систем, які працюють з

аккумуляторами на 12 або 24 В — саме такі часто використовуються у мобільній робототехніці.

Додатково варто відзначити, що INA219 дозволяє розраховувати не лише миттєві значення струму та напруги, але й потужність споживання. Ця інформація є особливо корисною для подальшого розрахунку залишкового ресурсу аккумулятора, а також для діагностики роботи окремих вузлів системи у реальному часі. Наприклад, під час переміщення вантажу збільшення споживаної потужності може вказувати на зростання навантаження на приводи або виникнення механічних проблем.

Конструктивно INA219 поставляється у вигляді компактної друкованої плати з уже встановленими шунтовим резистором, контактними роз'ємами та необхідною обв'язкою. Завдяки малим розмірам модуль легко інтегрується у відсік живлення мобільної роботизованої платформи, не вимагаючи суттєвого збільшення масо-габаритних характеристик.



Рисунок 3.7 – Датчик заряду аккумулятора INA219

Підключення INA219 до Arduino Uno реалізується через стандартну шину I²C, що дозволяє не лише зменшити кількість необхідних проводів, але й

спростити програмну реалізацію зчитування параметрів. Програмне забезпечення легко налаштовується завдяки широкій підтримці даного модуля у популярних бібліотеках Arduino, зокрема Adafruit INA219.

3.3 Блок – схема алгоритму роботи

Блок-схема алгоритму роботи — це графічне зображення послідовності кроків або дій, які виконує система, пристрій або програма для досягнення певної мети. Вона використовується для візуалізації логіки роботи системи, спрощуючи розуміння процесу та його структури.

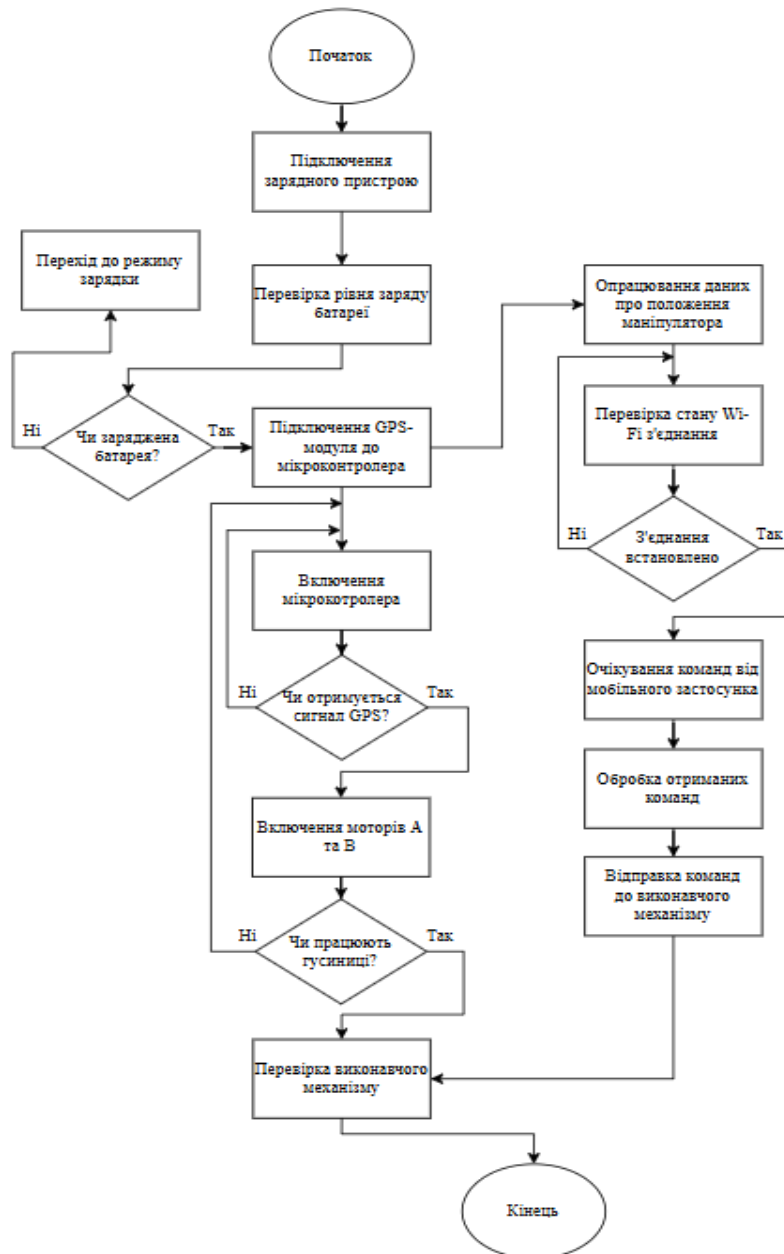


Рисунок 3.8 – Блок – схема алгоритму роботи MPC

Основний алгоритм роботи мобільної роботизованої системи для перевезення вантажів починається з етапу ініціалізації. На цьому кроці відбувається підключення всіх ключових компонентів системи, що забезпечують її функціонування. Зокрема, два двигуни постійного струму, які керують гусеничними платформами А та В, під'єднуються через драйвери DRV8825, що підтримують керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції (PWM). Одночасно до послідовного порту Arduino Uno підключається GPS-модуль NEO-

6М для отримання точних координат. Для забезпечення бездротового зв'язку з мобільним додатком використовується Wi-Fi модуль ESP8266, а для управління маніпулятором підключаються крокові двигуни через відповідний драйвер DRV8825. Положення захвату маніпулятора контролюється за допомогою датчиків Bourns 3590S, а рівень заряду акумулятора — датчиком струму INA219. Крім того, відбувається ініціалізація необхідних змінних, налаштування таймерів, інтерфейсів UART, I2C та PWM, а також конфігурація входів та виходів Arduino Uno.

Після успішної ініціалізації алгоритм переходить до перевірки живлення системи. Тут визначається наявність підключеного зарядного пристрою, а також за допомогою датчика INA219 вимірюється рівень заряду акумулятора. Якщо заряд недостатній, система автоматично переходить у режим зарядки, аби запобігти аварійному відключенню або пошкодженню акумулятора. В іншому випадку робота продовжується за планом.

Наступним кроком є очікування стабільного сигналу GPS. Arduino Uno активує модуль NEO-6М та очікує отримання геолокаційних координат, які необхідні для автономної навігації дрона. У разі відсутності сигналу система залишається у режимі очікування, поки сигнал не стане доступним.

Далі здійснюється перевірка працездатності гусеничних двигунів. Кожен мотор послідовно вмикається, і система контролює їх функціонування. У разі виявлення несправності будь-якого двигуна, система генерує повідомлення про помилку, яке відображається або надсилається користувачу через мобільний додаток. Це дозволяє оперативно реагувати на неполадки і уникнути подальших проблем під час руху.

Після цього ініціалізується Wi-Fi модуль ESP8266, який підключається до заданої мережі. Якщо з'єднання встановлено успішно, система готова приймати команди від користувача через мобільний застосунок. Це дає змогу дистанційно керувати роботом у режимі реального часу.

Обробка команд з мобільного застосунку охоплює управління рухом гусеничної платформи — вперед, назад, поворот. Команди реалізуються шляхом керування двигунами А і В через PWM-сигнали, що забезпечує плавне регулювання швидкості та напрямку руху.

Управління маніпулятором відбувається на основі даних, які зчитуються з датчиків положення Bourns 3590S. Якщо рівень заряду акумулятора достатній, система виконує команди відкривання, закривання захвату або повороту маніпулятора через драйвер DRV8825. Положення маніпулятора при цьому оновлюється і відображається у мобільному застосунку, що дозволяє користувачу контролювати точність дій.

Для забезпечення безперервного моніторингу система постійно зчитує ключові параметри: положення маніпулятора, координати GPS, заряд акумулятора, стан Wi-Fi-з'єднання. Ця інформація передається на мобільний додаток для інформування користувача про поточний стан пристрою. При зниженні заряду батареї система переходить у енергозберігаючий режим або режим зарядки, щоб продовжити роботу та уникнути аварійного вимкнення.

Завершення роботи системи може відбуватися за командою користувача або при досягненні критично низького рівня заряду акумулятора. У цей момент двигуни зупиняються, маніпулятор деактивується, і система переходить у режим очікування або повністю вимикається.

Таким чином, запропонований алгоритм забезпечує послідовну, надійну та інтерактивну роботу автономної мобільної платформи з маніпулятором. Він дозволяє системі ефективно навігувати, виконувати складні маніпуляції, а також підтримувати дистанційне керування і моніторинг стану в реальному часі.

Розшифровка блоків алгоритму:

1. Старт

Початок роботи системи. Запускається загальний процес виконання алгоритму.

2. Ініціалізація системи

Запускаються всі основні модулі: мікроконтролер Arduino Uno, GPS-модуль NEO-6M, Wi-Fi модуль ESP8266, двигуни з драйверами DRV8825, а також всі підключені сенсори. Перевіряється готовність кожного компонента до роботи.

3. Перевірка живлення

Зчитується рівень заряду акумуляторної батареї за допомогою датчика INA219. Якщо рівень заряду виявляється нижчим за мінімально допустимий, система переходить у режим зарядки для забезпечення безперебійної роботи.

4. Зарядка батареї?

Визначається, чи потрібно заряджати батарею: Якщо так — система переходить у блок очікування завершення зарядки, де контролюється процес підзарядки. Якщо ні — алгоритм переходить до наступного кроку.

5. Отримання координат GPS

Зчитуються поточні координати місцезнаходження з GPS-модуля NEO-6M. Ці дані використовуються для навігації та планування маршруту руху.

6. Очікування сигналу GPS

Якщо координати не отримано, система продовжує опитування GPS-модуля, доки не буде отримано коректну позицію.

7. Підключення до Wi-Fi

Модуль ESP8266 встановлює зв'язок з локальною мережею Wi-Fi. Забезпечується можливість обміну даними з користувачем або сервером.

8. Очікування команд

Система перебуває в режимі очікування команд від користувача через мобільний додаток або інший інтерфейс управління.

9. Команда: Рух дрона

Обробляються команди на переміщення дрона: рух вперед, назад, повороти. Відповідно до команд, подаються сигнали до драйверів двигунів, які керують гусеницями платформи.

10. Команда: Керування маніпулятором

Обробляються команди для руху маніпулятора або захоплення вантажу.

Сигнали надсилаються драйверам DRV8825 для керування кроковими двигунами маніпулятора.

11. Читання даних з сенсорів

Система отримує інформацію з датчиків:

Положення маніпулятора за допомогою Bourns 3590S для точного контролю рухів. Рівень заряду акумулятора через INA219 для моніторингу енергетичного стану системи.

3.4 Електрична принципова схема

Електрична принципова схема — це графічне зображення електричних або електронних компонентів та їхніх з'єднань у вигляді умовних позначень і ліній, які показують, як елементи системи взаємодіють один з одним.

Головна мета такої схеми — чітко і зрозуміло показати структуру електричного кола, розташування елементів, їхні функції та послідовність підключення. Вона допомагає інженерам і технікам зрозуміти, як працює система, спростити пошук несправностей, а також полегшує процес проєктування, монтажу та тестування пристрою.

На електричній принциповій схемі зазвичай зображують джерела живлення, мікроконтролери, сенсори, виконавчі пристрої (наприклад, двигуни), а також елементи управління (кнопки, перемикачі) та захисту (запобіжники, стабілізатори напруги). Кожен елемент позначається унікальним символом згідно з міжнародними стандартами, а лінії вказують на провідники або шини, що з'єднують ці компоненти.

Електрична принципова схема зарядного пристрою

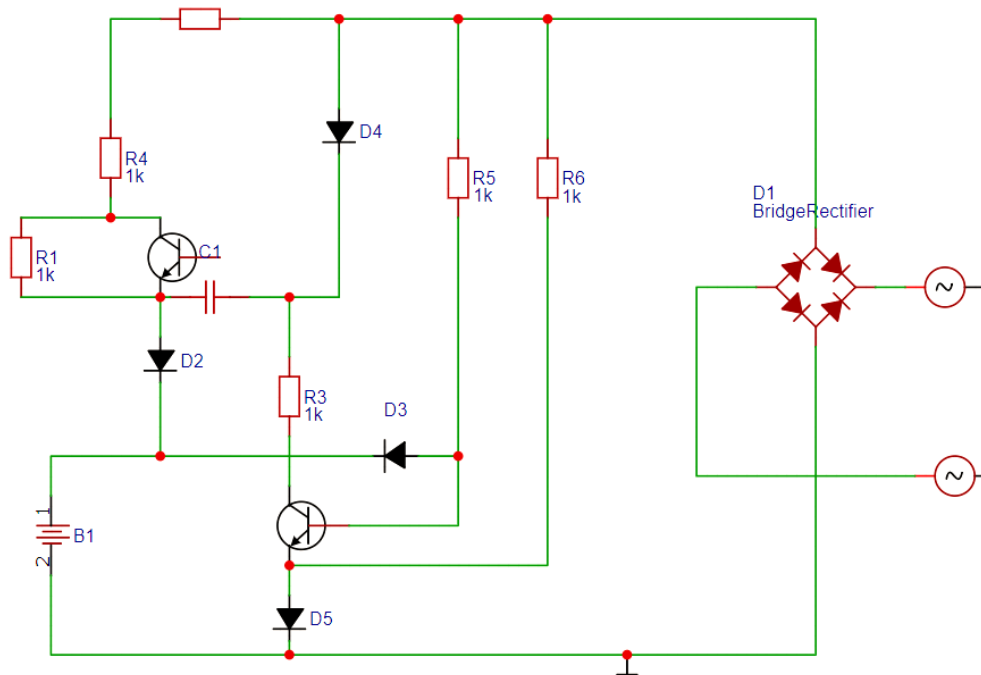


Рисунок 3.9 – Електрична принципова схема зарядного пристрою

На рисунку 3.9 показано схему зарядного пристрою, який призначений для підзарядження однієї або кількох батарей з сумарною номінальною напругою 12 В. Це можуть бути, наприклад, десять NiCd елементів або шість свинцево-кислотних акумуляторів по 2 В кожен. Пристрій має компактні розміри та інтегрований у мережевий адаптер живлення. Проте ця схема вважається досить небезпечною в експлуатації через те, що помилкове підключення акумуляторів із неправильною полярністю, коротке замикання вихідних клем або раптова втрата живлення можуть призвести до пошкодження зарядного пристрою або батарей.

Основними елементами схеми є трансформатор з вторинною обмоткою на 18 В, діодний міст, що перетворює змінний струм у випрямлений постійний, конденсатор C1, який формує стабільне напруження близько 22 В, а також резистори R2, R4, R5 і R6, діод D1 і транзистор T1, що відповідають за регулювання процесу заряджання. Світлодіод D4 виконує роль індикатора зарядки.

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що при повному розряді батарей зарядний струм становить близько 6 мА, який проходить через резистори та діод

D1. Як тільки напруга на батареї піднімається до 0,3–0,5 В, напруга між базою і емітером транзистора T1 зростає до рівня, що переводить його в режим провідності. У цей момент загоряється зелений світлодіод D4, який сигналізує про активну зарядку. Через резистори R5 і R6 проходить струм близько 60 мА, що дозволяє зарядити NiCd акумулятор ємністю 500 мА·год приблизно за 12 годин.

Електрична принципова схема GPS модуля

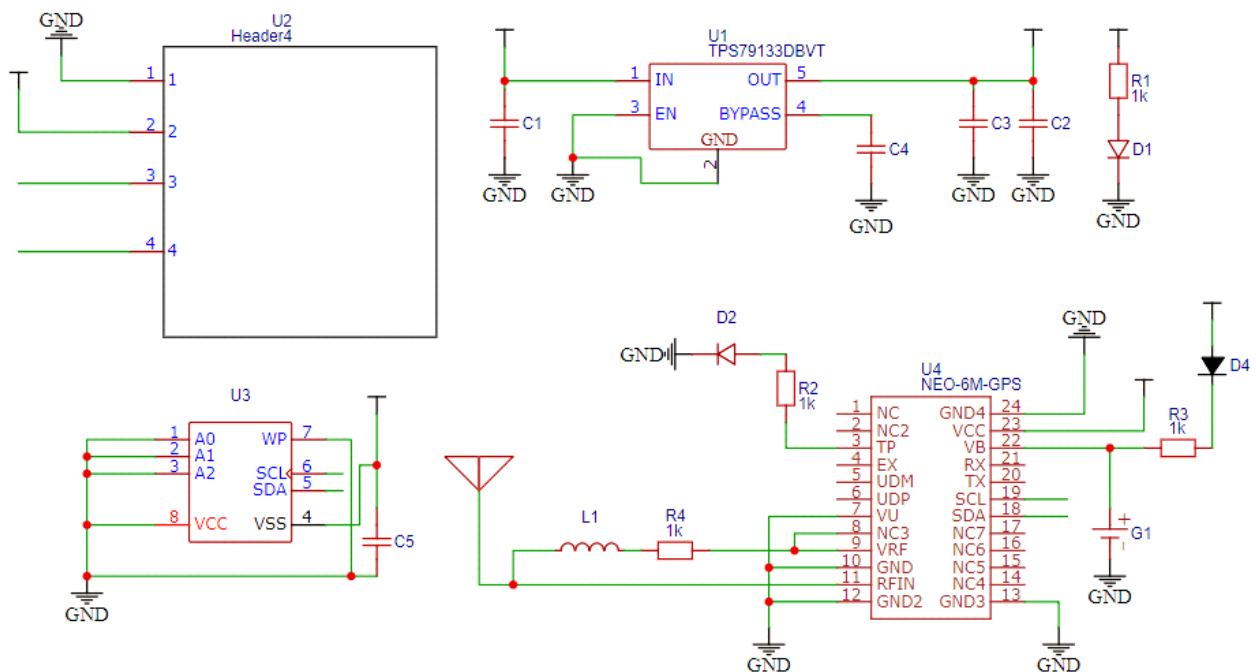


Рисунок 3.10 – Електрична принципова схема GPS модуля

Рисунок 3.10 демонструє електричну схему GPS-модуля NEO-6М. Цей модуль містить GPS-приймач, який приймає супутникові сигнали і обробляє їх для визначення місцезнаходження. На основі отриманих даних пристрій обчислює географічні координати (широту, довготу, висоту), швидкість руху, точний час і інші важливі параметри.

Основні елементи електричної схеми модуля NEO-6М включають:

- GPS-приймач — ключовий блок, що отримує та декодує супутникові сигнали для визначення позиції.
- Антена — може бути вбудованою або зовнішньою, забезпечує прийом сигналів від супутників.

- Мікроконтролер — відповідає за керування модулем, обробку даних і взаємодію з іншими пристроями.
- Інтерфейси зв'язку — модуль оснащений різними інтерфейсами, такими як UART або I2C, які дозволяють передавати інформацію на зовнішні контролери або комп'ютери.
- Живлення — для роботи NEO-6M потрібне стабільне джерело напруги, зазвичай 3,3 або 5 В.

3.5 Моделювання MPC

У процесі розробки мобільної роботизованої системи для перевезення вантажів було виконано повне моделювання конструкції у хмарному середовищі комп'ютерного проєктування Onshape. Розроблювана система являє собою гусеничний дрон з маніпулятором, який призначений для виконання транспортних та вантажно-розвантажувальних операцій. Моделювання дозволило детально опрацювати конструктивні рішення та перевірити їх працездатність ще до виготовлення фізичного зразка.

Гусенична база забезпечує стабільний рух дрона по різних типах поверхонь, включаючи ґрунтові, піщані та кам'яністі покриття, а також дозволяє долати дрібні перешкоди завдяки високій прохідності гусеничних рушіїв.



Рисунок 3.11 – Зображення змодельованої гусеничної платформи

На платформі розташований маніпулятор, який складається з декількох шарнірно-зчленованих ланок та захватного пристрою. За допомогою маніпулятора система може захоплювати, підіймати, переміщувати та

розвантажувати різні вантажі з високою точністю. Крім цього, у конструкції передбачено розміщення джерела живлення, системи керування, електронних модулів, датчиків, а також каналів зв'язку для дистанційного або автономного управління роботою пристрою.



Рисунок 3.12 – Зображення змодельованого маніпулятора

Моделювання у програмі Onshape дало змогу створити повноцінну тривимірну модель всієї системи. Було змодельовано всі основні вузли та компоненти, зокрема корпус гусеничного шасі, елементи маніпулятора, захоплюючий механізм, привідні системи та місця для монтажу електронних компонентів. За допомогою інструментів кінематичного аналізу перевірено рух маніпулятора, визначено допустимі кути повороту ланок і виключено можливість їх взаємного зіткнення. Виконано аналіз розташування центра мас, що є важливим

для забезпечення стійкості дрона під час виконання вантажних операцій. Також було оцінено масово-інерційні характеристики конструкції, що дозволило оптимізувати масу системи та забезпечити баланс між вантажопідйомністю і стабільністю.



Рисунок 3.13 – Загальний розробленої моделі MPC для перевезення вантажу

Висновки до третього розділу

1. У ході розробки мобільної роботизованої системи для перевезення вантажів було визначено склад основних апаратних компонентів, які забезпечують її функціонування. До складу системи увійшли: контролер Arduino Uno, драйвери крокових двигунів DRV8825, GPS-модуль NEO-6M для визначення координат, Wi-Fi модуль ESP8266 для організації бездротового зв'язку, датчики

положення маніпулятора Bourns 3590S для точного керування захопленням вантажів та датчик контролю заряду акумулятора INA219 для моніторингу енергоспоживання системи.

2. Побудована функціональна схема дозволила чітко описати взаємодію всіх апаратних та програмних модулів, що забезпечують керування рухом, позиціонування маніпулятора, зчитування даних з датчиків, передавання інформації та контроль енергоспоживання мобільної системи.

3. Розроблена блок-схема алгоритму роботи відобразила послідовність дій системи при виконанні основних завдань: запуску, ініціалізації компонентів, виконання навігації, захоплення вантажів, контролю роботи маніпулятора та передачі даних через бездротовий канал зв'язку.

4. У рамках розробки створено електричні принципові схеми окремих вузлів системи, зокрема зарядного пристрою, що забезпечує стабільну роботу акумуляторних батарей, а також схеми GPS-модуля, що дозволяє системі визначати своє місцезнаходження з високою точністю.

5. Проведено повноцінне моделювання конструкції мобільної роботизованої системи у програмному середовищі Onshape. Створено тривимірну модель усіх механічних вузлів: гусеничного шасі, маніпулятора, корпусу та розміщення апаратних модулів. Завдяки цьому забезпечено оптимізацію масово-інерційних характеристик, стійкість системи при переміщенні вантажів та зручність обслуговування електронних компонентів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЛЮДЕЙ

ВСТУП

У контексті теми «Мобільна роботизована система для перевезення вантажів», яка призначена для роботи в умовах ускладненого проходження (наприклад, пересічена місцевість, обмежений простір або небезпечне середовище), особливу увагу необхідно приділити питанням охорони праці та безпеки людей.

Основні аспекти охорони праці стосуються аналізу потенційних ризиків, пов'язаних з експлуатацією роботизованого комплексу, включаючи можливість ураження рухомими частинами, електробезпеку, ризики при технічному обслуговуванні, а також безпечну взаємодію персоналу з мобільною платформою та маніпулятором.

У цьому розділі розглядаються вимоги до безпечної експлуатації мобільної системи, у тому числі умови роботи операторів, персоналу технічної підтримки, заходи щодо запобігання нещасним випадкам, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), вимоги до організації робочого середовища та планування дій у надзвичайних ситуаціях.

Також детально аналізуються питання навчання персоналу, інструктажів з техніки безпеки, регламенти технічного обслуговування, маркування небезпечних зон та забезпечення відповідності вимогам чинного законодавства України у сфері охорони праці.

Метою цього розділу є визначення комплексу заходів, які дозволяють забезпечити безпеку, здоров'я та добробут працівників, що взаємодіють із мобільною роботизованою системою для перевезення вантажів. Розробка та впровадження таких заходів є критично важливими для надійної, ефективної та безпечної роботи системи в реальних умовах експлуатації.

4.1 Розгляд потенційних загроз і ризиків

Аналіз потенційних небезпек і ризиків є критично важливою складовою процесу забезпечення охорони праці при експлуатації мобільної роботизованої системи для перевезення вантажів, особливо в умовах ускладненого проходження. Визначення ймовірних загроз на етапі проєктування дозволяє запобігти аваріям, нещасним випадкам, а також зменшити негативний вплив на здоров'я працівників. Гусеничний дрон з маніпулятором, який призначений для роботи в складному середовищі, включає в себе цілий ряд потенційно небезпечних елементів та ситуацій.

Серед головних небезпек, пов'язаних з експлуатацією такої системи, варто виокремити механічні, електричні та техногенні ризики. Механічна небезпека полягає у можливості травмування персоналу внаслідок руху гусениць, обертання маніпулятора, або під час підйому і транспортування вантажів. Особливо небезпечними є ситуації, коли оператор наближається до робочої зони під час руху дрона або при маніпулюванні вантажем. Також існує ризик втрати стійкості конструкції на нерівній поверхні, що може призвести до перекидання дрона або падіння вантажу.

Електричні небезпеки пов'язані з можливістю ураження електричним струмом при обслуговуванні силової або акумуляторної частини системи. Пошкодження ізоляції, потрапляння вологи до електронних вузлів, або коротке замикання в системах керування можуть спричинити як травми, так і займання або вибух елементів живлення. Це особливо важливо враховувати у вологому середовищі або при роботі на відкритому повітрі в несприятливих погодних умовах.

До техногенних загроз належать збої у роботі програмного забезпечення, несправності сенсорних або навігаційних систем, а також збої у системах дистанційного керування. Втрата зв'язку між дроном і оператором або помилки в програмних алгоритмах можуть спричинити втрату контролю над рухом пристрою, що створює небезпеку як для працівників, так і для навколишнього середовища.

Крім технічних чинників, не варто ігнорувати вплив людського фактору. Недостатня кваліфікація персоналу, ігнорування інструкцій з техніки безпеки, або недбале виконання обов'язків можуть підвищити ризик виникнення аварійних ситуацій. Тому важливими є не лише технічні заходи захисту, а й організаційні – проведення інструктажів, навчання, перевірка знань, а також впровадження суворих регламентів експлуатації.

Оцінка ризиків полягає у визначенні ймовірності виникнення кожної з небезпек і ступеня їх можливих наслідків. На основі отриманих результатів визначається рівень ризику та пріоритетність заходів, що необхідно впровадити. Наприклад, ризик перегріву акумуляторів може бути оцінений як середній, але його наслідки можуть бути критичними, тому передбачається встановлення систем охолодження або автоматичного відключення.

Загалом, систематичний аналіз небезпек та оцінка ризиків дозволяють не лише підвищити рівень безпеки працівників, а й забезпечити надійну та стабільну роботу мобільної роботизованої системи. Реалізація комплексу заходів – як технічних, так і організаційних – створює умови для безпечної експлуатації гусеничного дрона в зонах ускладненого проходження, знижуючи ймовірність виникнення аварійних ситуацій та забезпечуючи дотримання норм охорони праці.

4.2 Правила безпечної експлуатації

Забезпечення безпечної експлуатації гусеничного дрона з маніпулятором є ключовим аспектом для зниження виробничих ризиків і запобігання нещасним випадкам. Цей підрозділ присвячений розгляду основних вимог, які повинні виконуватись при використанні мобільної роботизованої системи, а також методів усунення та зниження виявлених ризиків.

Однією з головних умов безпечної експлуатації є правильне використання обладнання. Це передбачає правильний монтаж дрона, точне налаштування його вузлів і систем, а також підтримання технічного стану на відповідному рівні. Перед кожним запуском необхідно проводити перевірку всіх функціональних

модулів, включаючи маніпулятор, гусеничний привід, енергетичні системи, датчики, засоби зв'язку та елементи безпеки. Особливу увагу слід приділяти виявленню зношених або несправних компонентів, які можуть спричинити відмову в роботі дрона під час виконання завдань.

Другим важливим аспектом є професійна підготовка обслуговуючого персоналу. Оператори та технічні працівники повинні пройти відповідне навчання та мати чітке уявлення про принципи роботи дрона, особливості його конструкції, можливі ризики та засоби їх уникнення. Працівники мають володіти практичними навичками з управління дроном, знати правила техніки безпеки, а також мати алгоритми дій у разі виникнення позаштатних або аварійних ситуацій. Підтвердження кваліфікації та періодичне підвищення рівня підготовки персоналу є обов'язковим заходом з боку адміністрації підприємства.

Не менш важливим є дотримання затверджених процедур безпеки. Йдеться про чітке оформлення експлуатаційної документації, розробку та впровадження інструкцій, визначення небезпечних зон для навколишнього персоналу, а також застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники повинні бути забезпечені касками, захисними окулярами, рукавицями, одягом зі світловідбивними елементами, а при потребі — респіраторами чи протигазами. Також важливо передбачити наявність інструкцій для дій у надзвичайних ситуаціях, зокрема при пожежі, втраті керування дроном або виявленні витоку небезпечних речовин.

Серед додаткових вимог — заборона експлуатації дрона в несприятливих погодних умовах (інтенсивні опади, сильний вітер, туман), а також забезпечення безпечної дистанції від перешкод, людей, будівель і рухомих механізмів. У системі повинні бути впроваджені автоматизовані засоби контролю та моніторингу, які забезпечують зворотний зв'язок з оператором, автоматичне виявлення несправностей і попередження про критичні ситуації.

Одним з ефективних методів зниження ризиків є впровадження системного технічного обслуговування. Регулярні перевірки та планові ремонти дозволяють

виявляти приховані дефекти, попереджати зношування та уникати раптових відмов техніки. Це включає діагностику акумуляторів, тестування привідних механізмів, перевірку систем керування, датчиків і програмного забезпечення. Дотримання графіку ТО знижує ймовірність аварій та збільшує загальний ресурс дрона.

Окрему увагу варто приділити впровадженню систем контролю та моніторингу, які дозволяють відстежувати реальний стан дрона у режимі реального часу. До таких систем можуть входити сенсори температури, вологості, навантаження, вібрацій, а також засоби діагностики програмних модулів. За допомогою цих систем оператор має можливість оперативно реагувати на відхилення в роботі та вчасно вживати відповідних заходів.

Загалом, забезпечення безпечної експлуатації гусеничного дрона потребує комплексного підходу, що включає технічні, організаційні та навчальні заходи. Чітке виконання визначених вимог, системна робота з персоналом та технічне супроводження дрона дозволяють значною мірою мінімізувати ризики, пов'язані з його використанням, та створити безпечне виробниче середовище для всіх учасників технологічного процесу.

4.3 Інструкції та алгоритми безпечної роботи

Для безпечної експлуатації гусеничного дрона з маніпулятором необхідно впровадити чіткі інструкції та процедури, які регламентують дії персоналу на всіх етапах роботи з обладнанням. Дотримання цих процедур дозволяє мінімізувати ризики виникнення небезпечних ситуацій та гарантує належний рівень безпеки як для операторів, так і для навколишнього середовища.

Однією з ключових інструкцій є правильне використання обладнання. Всі процеси, пов'язані з монтажем, налаштуванням, запуском та демонтажем дрона, мають бути описані в доступній формі для кожного працівника. Інструкції повинні містити чіткі послідовності дій щодо підключення та кріплення елементів дрона, перевірки стану батареї, ініціалізації систем управління та безпечного

завершення роботи. Особлива увага приділяється правильному з'єднанню кабелів живлення, фіксації маніпулятора та дотриманню процедур включення/вимкнення обладнання [1].

Не менш важливою є процедура попередньої перевірки перед запуском. До неї входить візуальний огляд корпусу та компонентів дрона, перевірка заряду акумуляторів, справності сенсорів, камер і контролерів, а також оцінка навколишнього середовища на наявність перешкод, потенційних загроз або сторонніх осіб у зоні роботи [1, 2]. Дотримання цієї процедури значно знижує ймовірність технічних збоїв і травмування персоналу.

У разі використання небезпечних матеріалів або енергоносіїв, таких як пальне, акумуляторні батареї великої потужності або хімічні реагенти, необхідно дотримуватись спеціальних інструкцій щодо їх зберігання, транспортування та використання. Працівники мають бути ознайомлені з правилами поводження з такими речовинами, включаючи обов'язкове використання засобів індивідуального захисту, заходи при розливі або витоку, а також процедури утилізації залишків матеріалів.

Інструкції також мають охоплювати правила поведінки в умовах підвищеної небезпеки. Це можуть бути інструкції щодо роботи під час сильного вітру, підвищеної вологості, низьких температур, роботи поблизу вибухонебезпечних об'єктів тощо. Крім того, важливо регламентувати дії персоналу в аварійних ситуаціях, встановити правила комунікації в команді, визначити зони відповідальності та алгоритми взаємодії між операторами, спостерігачами та інженерним персоналом.

Усі інструкції мають бути адаптовані до конкретної моделі гусеничного дрона та умов його експлуатації. Вони повинні зберігатись у доступному місці, бути затвердженими відповідальною особою та періодично оновлюватися відповідно до нових технічних або організаційних вимог. Працівники зобов'язані проходити регулярне навчання, інструктажі з техніки безпеки, а також брати участь у перевітках знань і практичних тренуваннях.

Ефективне реагування на надзвичайні ситуації є ключовим елементом загальної системи безпеки при роботі з мобільною роботизованою платформою. План дій у надзвичайних ситуаціях повинен охоплювати всі потенційні ризики, які можуть виникнути під час експлуатації дрона, та містити чіткий алгоритм реагування персоналу на кожен з них.

До типових надзвичайних ситуацій відносяться: втрата керування дроном, займання батарей або електроніки, перевантаження маніпулятора, відмова приводів або сенсорів, а також аварійне приземлення платформи. У таких випадках оператор повинен знати порядок дій: негайне припинення роботи, ініціалізація аварійного гальмування або автозупинки, сповіщення відповідальних осіб та органів безпеки [1].

У плані також мають бути передбачені заходи щодо евакуації персоналу із зони небезпеки, правила збирання інформації для розслідування причин інциденту, а також порядок надання першої медичної допомоги. Для кожного сценарію необхідно вказати відповідальних осіб, визначити канали комунікації та встановити контакти з аварійно-рятувальними службами, поліцією та медичними установами [3].

Особливу роль відіграє практична підготовка персоналу. Проведення тренувань і моделювання надзвичайних ситуацій дозволяє відпрацювати алгоритми дій, перевірити ефективність інструкцій та виявити слабкі місця в системі безпеки. Працівники повинні вміти користуватися вогнегасниками, діяти в умовах обмеженої видимості, знати розташування аварійних виходів та аптечок.

План дій у надзвичайних ситуаціях повинен бути інтегрованим у загальну систему управління безпекою підприємства. Його необхідно регулярно переглядати та оновлювати відповідно до змін у конструкції дрона, специфіки завдань або умов експлуатації. Такий підхід гарантує не лише технічну, але й організаційну готовність до будь-яких непередбачуваних подій.

4.4 Методи профілактики аварій та травматизму

Заходи з попередження нещасних випадків та аварій є критично важливою складовою безпечної експлуатації гусеничного дрона. Їх реалізація дозволяє мінімізувати ризики, підвищити надійність системи та забезпечити безпечні умови для персоналу. До основних заходів належать:

Технічна безпека. Необхідно забезпечити постійний контроль за технічним станом дрона, своєчасно проводити регламентне технічне обслуговування, діагностику, виявлення й усунення несправностей та дефектів. Регулярні перевірки допомагають запобігти аваріям, спричиненим зносом або пошкодженням компонентів.

Захисні пристрої. Важливо оснащувати дрон необхідними захисними елементами, зокрема:

- обмежувачами швидкості руху;
- захисними кожухами на обертових або рухомих частинах;
- датчиками уникнення перешкод;
- аварійними вимикачами живлення [2].

Ці пристрої сприяють зниженню ймовірності аварійних ситуацій і травмування персоналу.

Організація робочого простору. Для безпечної експлуатації дрона необхідно:

- визначити межі безпечного пересування дрона;
- позначити небезпечні зони;
- розділити зони роботи дрона та присутності персоналу;
- забезпечити впорядковане зберігання матеріалів і обладнання.

Навчання та інструктаж. Працівники повинні проходити регулярне навчання з правил безпеки, користування дроном, дій у разі аварійних ситуацій, а також ознайомлюватися з актуальними інструкціями та стандартами [3, 4]. Навчання має включати теоретичну частину та практичні тренування.

Система контролю та звітності. Впроваджується система моніторингу дотримання правил безпеки, яка включає:

- проведення внутрішніх аудитів і перевірок;
- складання звітів про інциденти, тренування та виявлені порушення;
- аналіз причин подій для запобігання їх повторенню.

Постійне вдосконалення. На основі аналізу інцидентів, аварій або потенційно небезпечних ситуацій впроваджуються коригувальні заходи, оновлюються інструкції, вдосконалюються технологічні процеси з урахуванням нових ризиків.

Управління екстремими ситуаціями. Передбачає розробку й реалізацію плану дій у надзвичайних ситуаціях. Працівники повинні бути навчені:

- процедурам евакуації;
- діям у разі пожежі, вибуху або втрати керування дроном;
- наданню першої допомоги;
- взаємодії з аварійними службами.

Система моніторингу та попередження. Застосування сенсорних систем і програмного забезпечення для моніторингу параметрів роботи дрона, виявлення аномалій, автоматичного сповіщення про загрозу, а також переходу в безпечний режим при виявленні критичних відхилень.

Співпраця та комунікація. Встановлення ефективної комунікації між усіма учасниками експлуатації дрона. Визначаються чіткі ролі, обов'язки, засоби зв'язку та канали передачі інформації для оперативного реагування.

Інформування та навчання персоналу. Оператори та інший персонал повинні мати доступ до актуальної документації, інструкцій і матеріалів з безпеки. Регулярне оновлення знань — запорука свідомого та обґрунтованого прийняття рішень у критичних ситуаціях.

Внутрішній аудит та оцінка безпеки. Планові аудити дозволяють оцінити ефективність реалізованих заходів, виявити слабкі місця та сформулювати нові рекомендації щодо безпеки [1].

Взаємодія зі сторонніми організаціями. Налагодження контактів із профільними органами, що відповідають за регулювання безпеки, дозволяє

враховувати актуальні вимоги, отримувати експертні рекомендації та забезпечувати відповідність національним та міжнародним стандартам.

4.5 Професійна підготовка та розвиток персоналу

Навчання та підготовка персоналу є ключовим елементом забезпечення безпеки та ефективної експлуатації гусеничного дрона. Високий рівень кваліфікації операторів, технічного персоналу та обслуговуючого штату дозволяє знизити ймовірність нещасних випадків, підвищити продуктивність і забезпечити відповідність нормативним вимогам.

Визначення основних навичок. Перед початком навчання встановлюється перелік обов'язкових знань і практичних навичок, необхідних для безпечної роботи з дронами. Серед них:

- навички керування гусеничним дроном та його маніпулятором;
- знання технічного устрою;
- дотримання процедур безпеки;
- реагування в аварійних ситуаціях;
- комунікація та взаємодія з командою.

Розробка навчальних програм. Створюються комплексні навчальні курси, які охоплюють як теоретичні основи, так і практичну підготовку. Навчання включає:

- лекції з техніки безпеки;
- демонстраційні заняття;
- симуляційні тренування;
- практичні вправи з керування дроном у реальних умовах [5].

Організація тренувань. Практичні заняття проводяться під наглядом досвідчених інструкторів і дозволяють персоналу набути реального досвіду роботи з дронами та маніпуляторами. Під час тренувань моделюються типові сценарії використання дрона в умовах експлуатації.

Оцінка компетентності. Після проходження навчання персонал проходить

оцінювання, яке може включати:

- письмові тести на знання теоретичної частини;
- практичні іспити з керування дроном;
- спостереження за дотриманням процедур під час виконання завдань [5].

Постійне навчання. Забезпечується безперервне підвищення кваліфікації персоналу. Передбачено оновлення навчальних програм у зв'язку з технологічними змінами, новими ризиками або зміненою нормативною базою. Працівники регулярно проходять курси підвищення кваліфікації та перевірку знань з охорони праці.

Організація курсів та семінарів. З метою поглибленого вивчення питань безпеки проводяться спеціалізовані курси та семінари. Вони включають:

- інтерактивні заняття;
- кейс-стаді з реальних подій;
- обговорення критичних ситуацій;
- виступи експертів галузі [2].

Документування навчання. Кожен працівник проходить реєстрацію результатів навчання у відповідній документації. Ведуться особисті навчальні картки з відмітками про проходження курсів, тренувань та отриманих сертифікатів. Це дозволяє контролювати рівень підготовки та відповідність працівника до виконуваних завдань.

Система постійного вдосконалення. На основі результатів аудитів безпеки, відгуків працівників та аналізу інцидентів удосконалюється програма навчання. Залучення новітніх технологій, таких як віртуальна реальність або симулятори, сприяє ефективнішому засвоєнню матеріалу та покращенню практичних навичок.

Заходи з мотивації. Для підвищення зацікавленості працівників у дотриманні правил безпеки можуть застосовуватись мотиваційні програми:

- преміювання за відсутність порушень;
- проведення конкурсів з техніки безпеки;
- вручення сертифікатів і нагород за активну участь у програмах безпеки [5].

Загальною метою навчання та підготовки персоналу є підвищення рівня безпеки, зменшення виробничих ризиків і забезпечення ефективного управління гусеничним дроном. Комплексний підхід до навчального процесу, включаючи оцінку, підтримку та мотивацію, дозволяє формувати високопрофесійний колектив, здатний працювати у складних умовах експлуатації автоматизованих транспортних систем [1, 3].

Висновки до четвертого розділу

1. Було розглянуто основні аспекти безпеки під час експлуатації гусеничного дрона в умовах складного рельєфу. Проведений аналіз загроз, оцінка ризиків і визначення небезпечних чинників дали змогу виявити ключові проблеми та сформувані ефективні заходи для їх усунення.

2. Було визначено вимоги до безпечної експлуатації дрона, що включають правильне користування обладнанням, належну підготовку персоналу та дотримання встановлених процедур. Розроблені інструкції і регламенти спрямовані на запобігання аваріям і нещасним випадкам, а також на забезпечення безпечних умов праці.

3. Особлива увага приділялася питанням професійної підготовки працівників, включаючи проведення тренувань, курсів і семінарів. Впровадження системи постійного вдосконалення знань сприяє формуванню стійкої культури безпеки та застосуванню ефективних практик.

4. Загалом, дотримання заходів безпеки, організація якісного навчання та чітке виконання інструкцій дозволяють знизити ризики, запобігти нещасним випадкам і підвищити ефективність використання гусеничного дрона.

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання дипломної роботи була розроблена та досліджена мобільна роботизована система для перевезення вантажів на базі гусеничної платформи з маніпулятором. Аналіз етапів розвитку роботизованих транспортних систем показав, що сучасні автономні платформи поєднують складні механічні, сенсорні та програмні рішення, які забезпечують високу точність, ефективність та безпеку виконання вантажних операцій. Враховуючи сучасні тенденції, в роботі була спроектована система, яка поєднує високу маневреність, вантажопідйомність та можливість автономної роботи в різних умовах.

2. Проведено детальні розрахунки масових параметрів, тягових характеристик гусеничної бази, енергоспоживання та кінематики маніпулятора, що дозволило обґрунтувати вибір основних приводів, елементів живлення та забезпечити стійкість і стабільність роботи системи. Особлива увага була приділена оптимізації робочих параметрів маніпулятора, що забезпечує точне позиціонування вантажів у процесі виконання завдань.

3. Розроблено апаратно-програмну архітектуру системи на основі контролера Arduino Uno, GPS-модуля NEO-6M, Wi-Fi модуля ESP8266, драйверів двигунів DRV8825, датчиків положення та контролю заряду. Створено функціональну схему, блок-схему алгоритму роботи та електричні принципові схеми ключових вузлів системи, що дозволило узгодити роботу всіх підсистем і забезпечити їх взаємодію.

4. Виконане моделювання конструкції у середовищі Onshape дало змогу отримати повну 3D-модель системи, оцінити її масово-інерційні характеристики, перевірити працездатність кінематичних вузлів та оптимізувати компоновку внутрішніх компонентів.

5. Проведено аналіз ризиків та розроблено комплекс заходів із забезпечення безпеки експлуатації гусеничного дрона, що включає технічні

рішення, організаційні заходи та навчання персоналу для мінімізації ризиків і попередження нещасних випадків під час роботи у складних умовах.

6. Загалом виконана робота дозволила створити технічно обґрунтовану, безпечну, ефективну та автономну мобільну роботизовану систему для перевезення вантажів, готову до подальшого впровадження та практичного застосування.

7. Результати роботи апробовані на XXI Міжнародній науковій конференції "Ольвійський форум - 2025".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0>(дата звернення: 10.04.2025)
2. Види роботів і класифікація в робототехніці. URL:<https://worldbank.org.ua/3720-vidi-robotiv-i-klasifikatsiya-v-robototekhnitsi.html>(дата звернення: 20.04.2025)
3. RobotShop — Роботи, робототехніка та компоненти. URL: <https://www.robotshop.com/> (дата звернення: 25.04.2025)
4. Boston Dynamics Official Site. URL:<https://bostondynamics.com/products/stretch/> (дата звернення: 29.04.2025)
5. Robotics Online — Association for Advancing Automation. URL: <https://www.automate.org/> (дата звернення: 02.05.2025)
6. Universal Robots. URL:<https://www.universal-robots.com/products-and-services/>(дата звернення: 05.05.2025)
7. ISO 8373:2012 Robots and robotic devices — Vocabulary. [Чинний від 2012-06-01]. Женева: ISO, 2012. 32 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ ISO 10218-1:2017 Роботи промислові. Вимоги до безпеки. Частина 1. Роботи. [Чинний від 2017-08-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 46 с.
9. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. Cham: Springer, 2016. 2226 p.
10. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 3rd ed. Pearson, 2004. 400 p.
11. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. Wiley, 2006. 496 p.
12. Головка В.М. Теорія автоматичного керування. Київ: Либідь, 2019. 376 с.
13. Черниш О.М. Прикладна механіка. Частина I. Київ: ЦУЛ, 2022. 290 с.

14. Березуцький В.П. Основи робототехніки. Навч. посібник. Київ: КНУБА, 2020. 328 с.
15. Герасимов В.Г. Основи мехатроніки та робототехніки. Київ: Ліра-К, 2021. 274 с.
16. Petrescu R.V.V., Petrescu F.I. Robotic Systems – Design, Construction, Control and Application. INTECH Open Access Publisher, 2016. 250 p.
17. Yoshikawa T. Foundations of Robotics: Analysis and Control. MIT Press, 1990. 335 p.
18. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer, 2009. 632 p.
19. Hwangbo M., Sa I., Siegwart R. Control and Navigation of Mobile Robots: Theory and Applications. Cham: Springer, 2020. 320 p.
20. Schilling R.J. Fundamentals of Robotics: Analysis and Control. Prentice Hall, 1990. 448 p.
21. Овчаренко Ю. В. Елементи мехатроніки і робототехніки. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. 240 с.
22. Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., et al. Control of Nonlinear Systems with Applications to Robotics. Springer, 2020. 450 p.
23. Siciliano B. Control of Robot Manipulators. Springer, 2021. 450 p.
24. Robotics Online — Association for Advancing Automation. URL: <https://www.automate.org/> (дата звернення: 15.05.2025)
25. IEEE Robotics and Automation Society. URL: <https://www.ieee-ras.org/> (дата звернення: 17.05.2025)
26. ROS Wiki — Robot Operating System. URL: <https://wiki.ros.org/> (дата звернення: 18.05.2025)
27. Nvidia Robotics Platform. URL: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-robotics> (дата звернення: 30.05.2025)
28. MathWorks Robotics System Toolbox Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/products/robotics.html> (дата звернення: 01.06.2025)

29. STM32 Robotics Applications. URL: <https://www.st.com/en/applications/robotics.html> (дата звернення: 03.06.2025)

30. RobotShop — Роботи, робототехніка та компоненти. URL: <https://www.robotshop.com/> (дата звернення: 09.06.2025)

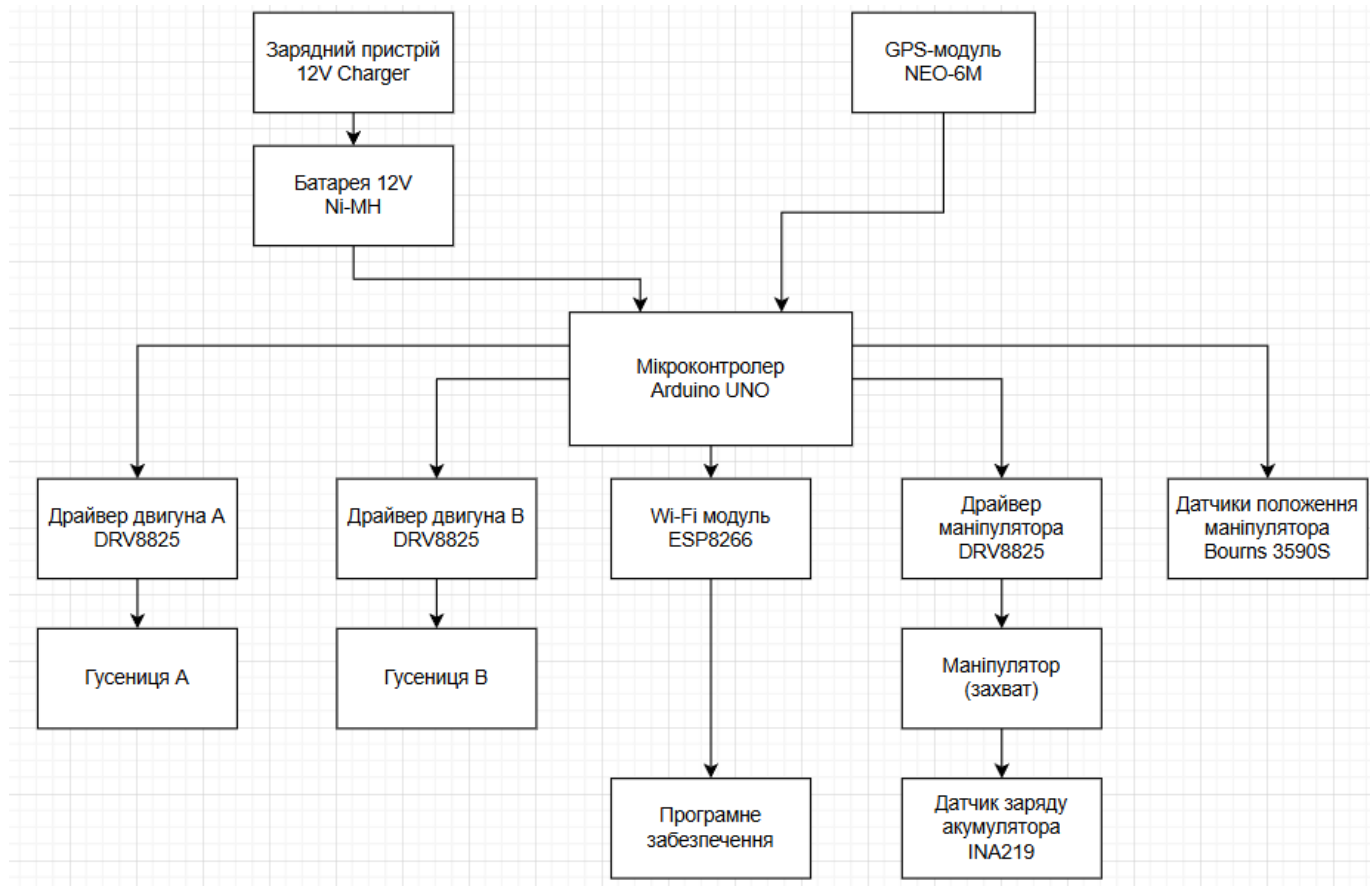
Додаток А



Додаток Б



Додаток В



Додаток Г

