

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Робот гексапод»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ПМ-01

Карпач Діана Павлівна

Керівник:

Професор, д. т. н. АСНК

Безвесільна О.М.

Рецензент:

к.т.н., доцент

Самарцев Юрій Миколайович

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ПМ-01.06.1760.001.ПЗ	Пояснювальна записка	66	
3	A1	ДП.ПМ-01.09.1760.001.СК	Складальний кресленик	1	
4	A3	ДП.ПМ-01.09.1760.000.СхПр	Принципова схема	1	
5	A3	ДП.ПМ-01.09.1760.000.СхС	Структурна схема	1	
6	A3	ДП.ПМ-01.09.1760.000.БСА	Блок-схема	1	
7	A4	ДП.ПМ-01.06.21.000 СП	Специфікація	1	
8	A3	ДП.ПМ-01.09.1760.002	Корпус	1	
9	A3	ДП.ПМ-01.09.1760.003.СК	Нога робота у зібранні	1	

				ДП ПМ-01 06.1760.001.ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Карпач Д.П.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Безвесільна О.М					
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю.В.					
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.АСНК Гр. ПМ-01

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Робот гексапод»**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Карпач Діані Павлівні

1. Тема проєкту «Автоматизована мехатронна система «Робот-гексапод»», керівник проєкту професор, д. т. н. АСНК Безвесільна О.М., затверджені наказом по університету від «28» травня 2024 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 10.06.2024

3. Вихідні дані до проєкту : сонячні панелі, сервоприводи, датчики, Raspberry Pi камера.

4. Зміст пояснювальної записки: ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ; ВСТУП; Мета і завдання; Огляд існуючих проєктів що пов'язані з розробкою автоматизованих систем для проведення моніторингу та інспекції; Огляд мехатронних систем; Принцип роботи мехатронних систем; Освітній та навчальний потенціал теми дипломного проєкту; Актуальність теми дипломного проєкту; Робот гексапод; Функціональні особливості робота гексапода; Автономність роботів; Енергозбереження та енергоефективність; Основні принципи енергозберігаючих алгоритмів; Приклади енергозберігаючих алгоритмів для робота гексапода; Застосування енергозберігаючих алгоритмів; Принцип роботи гексапода; Опис конструкції; Кінематичні схеми; Застосування сонячних панелей для робота гексапода; Інтеграція сонячних

панелей; Переваги використання сонячної панелей; Сервопривід; Плати керування; Плата-shield; Датчик температури; Газовий датчик; Акселерометр; Камера; Елементи живлення; Сонячні панелі; Розробка принципової схеми; Розробка структурної схеми; Розрахунок кількості двигунів; Розрахунок руху кінцівки робота; Висновки; Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Презентаційний плакат 1 аркуш А1; складальний кресленик 1 аркуш А1; складальний кресленик механізму ноги 1 аркуш А1; Схема електрична принципова 1 аркуш А1. Схема структурна 1 аркуш А3; Блок-схема 1 аркуш А3; код програми 2 аркуші А4; Специфікація 1 аркуш А4.

розділів проекту* (читаємо примітку внизу сторінки)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.04.2024 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Одержання затвердженого завдання до дипломного проекту	01.02.2024	
	Технологічний та освітній вимір	01.03.2024	
	Концепція робота гексапода	11.03.2024	
	Аналіз та підбір електрокомпонентів та розробка принципової схеми.	29.03.2024	
	Конструювання системи в програмному пакеті SolidWorks	15.04.2024	
	Розробка та оформлення графічного матеріалу	01.05.2024	
	Висновки та оформлення пояснювальної записки	25.05.2024	

Студент

Д.П. Карпач

Керівник

О.М. Безвесільна

АНОТАЦІЯ

Цей дипломний проєкт присвячено розробці та вдосконаленню робота-гексапода з метою збільшення його автономності роботи. сновною метою дослідження є створення роботизованої платформи, здатної працювати тривалий час без зовнішнього втручання завдяки покращеним енергетичним системам і алгоритмам навігації. Проєкт включає розробку конструкції робота з шістьма ногами для підвищення стабільності та маневреності, інтеграцію сонячних панелей для зарядки та впровадження енергозберігаючих алгоритмів для зниження енергоспоживання.

У ході дослідження було проведено аналіз існуючих рішень у сфері робототехніки, розроблено програмне забезпечення для керування рухами та навігацією, а також експериментально перевірено робота в різних умовах. Результати показали значне збільшення часу автономної роботи робота-гексапода та підвищення його ефективності в складних умовах, таких як пересічена місцевість і наявність перешкод. Проєкт має потенціал для застосування в рятувальних операціях і дослідженнях важкодоступних територій.

У рамках проєкту було розроблено конструкцію робота-гексапода, оснащеного шістьма ногами для підвищеної стабільності та маневреності на різних поверхнях. Методика дослідження включала аналіз існуючих рішень у галузі робототехніки, моделювання кінематики робота, розробку програмного забезпечення для управління рухами та навігацією, а також експериментальне тестування робота у різних умовах.

Результати показали, що вдосконалений робот-гексапод має значно більший час автономної роботи порівняно з базовими моделями.

Проєкт може бути корисним для подальших досліджень у сфері мобільної робототехніки та застосувань, де необхідна висока автономність, наприклад, у рятувальних операціях або дослідженнях важкодоступних територій.

THE ANNOTATION

This diploma project is dedicated to the development and enhancement of a hexapod robot aimed at increasing its operational autonomy. The primary objective of the research is to create a robotic platform capable of operating for extended periods without external intervention, thanks to improved energy systems and navigation algorithms. The project involves designing a robot with six legs to enhance stability and maneuverability, integrating solar panels for charging, and implementing energy-saving algorithms to reduce power consumption.

The research included an analysis of existing solutions in the field of robotics, the development of software for motion control and navigation, and experimental testing of the robot under various conditions. The results showed a significant increase in the autonomous operating time of the hexapod robot and improved efficiency in challenging conditions such as rough terrain and obstacle presence. The project has potential applications in rescue operations and the exploration of hard-to-reach areas.

As part of the project, the hexapod robot was designed with six legs for increased stability and maneuverability on different surfaces. The research methodology included an analysis of existing solutions in robotics, kinematic modeling of the robot, the development of software for motion control and navigation, and experimental testing of the robot under various conditions. The results demonstrated that the improved hexapod robot has significantly longer autonomous operating time compared to basic models.

This project can be valuable for further research in mobile robotics and applications requiring high autonomy, such as rescue operations or the exploration of difficult-to-reach areas.

ЗМІСТ.....	8
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА ОСВІТНІЙ ВИМІР.....	13
1.1. Мета і завдання.....	13
1.2. Огляд існуючих проектів що пов'язані з розробкою автоматизованих систем для проведення моніторингу та інспекції.....	13
1.3. Огляд мехатронних систем.....	14
1.4. Принцип роботи мехатронних систем.....	16
1.5. Освітній та навчальний потенціал теми дипломного проєкту.....	18
1.6. Актуальність теми дипломного проєкту.....	19
1.7. Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2 КОНЦЕПЦІЯ РОБОТА ГЕКСАПОДА.....	20
2.1. Робот гексапод.....	22
2.2. Функціональні особливості робота гексапода.....	22
2.3. Автономність роботів.....	22
2.4. Енергозбереження та енергоефективність.....	23
2.4.1. Основні принципи енергозберігаючих алгоритмів.....	23
2.4.2. Приклади енергозберігаючих алгоритмів для робота гексапода..	24
2.4.3. Застосування енергозберігаючих алгоритмів.....	25
2.5. Принцип роботи гексапода.....	26
2.6. Опис конструкції.....	28
2.7. Кінематичні схеми.....	29
2.8. Застосування сонячних панелей для робота гексапода.....	31
2.8.1.Інтеграція сонячних панелей.....	32

					ДП ПМ-01 06.1760.001		
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.		Карпач			Літ.	Арк.	Акрюшів
Перевір.		Безвесільна				8	66
Н.					Робот гексапод КПІ ім.Ігоря Сікорського Каф. АСНК; Гр.ПМ-01		
Затверд.							

2.8.2. Переваги використання сонячних панелей.....	32
2.9. Висновки до розділу 2.....	33
РОЗДІЛ 3. ОПИС ОБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	33
3.1. Сервопривід.....	33
3.2. Плати керування.....	38
3.3. Плата-shield.....	40
3.4. Датчик відстані.....	41
3.5. Датчик температури.....	42
3.6. Газовий датчик.....	44
3.7. Акселерометр.....	45
3.8. Камера.....	47
3.9. Елементи живлення.....	49
3.10. Сонячні панелі.....	51
3.11. Висновки до розділу 3.....	52
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ «РОБОТА-ГЕКСАПОДА»	
4.1. Розробка принципової схеми.....	52
4.2. Розробка структурної схеми.....	56
4.3. Висновки до розділу 4.....	58
РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ.....	58
5.1. Розрахунок кількості двигунів.....	58
5.2. Розрахунок постановленої задачі, для руху кінцівки робота.....	59
Висновки.....	63
Список використаних джерел.....	64
ДОДАТКИ.....	67
ДОДАТОК А.....	68

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСІРМ - Системи автоматизованої інспекції та моніторингу прогресу

БПЛА - Безпілотні літальні апарати

МБІ – Моделювання будівельної інформації

МТС – мехатронна система

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

Точка А - цільова точка для досягнення передньої правої кінцівки з координатами (150; -20; 100)

x, y, z - координати точки в просторі

x', y' - координати точки після повороту

x'', y'' - координати точки після зсуву

a, b, c - сторони трикутника

Φ - кут нахилу прямої С до осі Х

emurZeroRotate, tibiaZeroRotate - початкові кути для FEMUR і TIBIA (135° і 45° відповідно)

atan2(y, x) - функція обчислення арктангенса з двома аргументами

soxa_zero_rotate - кут повороту кінцівки щодо корпусу, 45 градусів

LIMB COORDINATE SYSTEM - координатна система, в якій знаходиться кінцівка робота

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

ВСТУП

У сучасному світі розвиток технологій значно прискорюється, і одним із найдинамічніших напрямків є робототехніка. Роботи стали невід'ємною частиною багатьох сфер нашого життя, від промислового виробництва до медичних та побутових застосувань. Особливої уваги заслуговують багатоногі роботи, або гексаподи, які завдяки своїй конструкції та функціональним можливостям пропонують нові підходи до вирішення різних завдань у складних умовах.

Гексапод - це робот з шістьма ногами, який може адаптуватися до різноманітних поверхонь та умов середовища. Завдяки своїй стабільності та маневреності, такі роботи здатні виконувати завдання, які можуть бути недоступні для роботів з традиційними колесами чи гусеницями. Крім того, гексаподи є чудовою платформою для дослідження біоміметики, оскільки їх конструкція та рухи часто імітують природні механізми, зокрема, рухи комах і павуків.

Автономні роботи-гексаподи мають широкий спектр застосувань, від моніторингу та інспекції об'єктів до виконання рятувальних операцій у важкодоступних і небезпечних місцях. Підвищення автономності таких роботів є актуальним завданням, оскільки це дозволяє забезпечити безперервність їхньої роботи та знизити залежність від зовнішніх джерел живлення. Крім того, впровадження енергозберігаючих алгоритмів та використання сонячних панелей сприяє зниженню енергоспоживання, що є важливим для довготривалої роботи у віддалених місцях.

Цей дипломний проєкт присвячений розробці та дослідженню робота-гексапода. Метою роботи є створення ефективного та надійного робота, здатного виконувати конкретні завдання в різних середовищах. У рамках дослідження буде проведено аналіз існуючих конструкцій гексаподів, розроблено нові алгоритми керування рухом, а також реалізовано апаратну частину робота. Особлива увага приділяється питанням енергоспоживання, стабільності руху та адаптивності до зовнішніх умов.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Перший розділ включає визначення мети і завдань проєкту, огляд існуючих проєктів, що пов'язані з розробкою автоматизованих систем для моніторингу та інспекції, аналіз мехатронних систем та їх принципів роботи. Також розглянуто освітній та навчальний потенціал теми та обґрунтовано актуальність дослідження.

У другому розділі розглянуто функціональні особливості робота-гексапода, принципи автономності, енергозбереження та енергоефективності. Детально описано основні принципи енергозберігаючих алгоритмів, наведено приклади їх застосування, а також розглянуто принцип роботи гексапода, опис його конструкції та кінематичні схеми. Особлива увага приділена інтеграції сонячних панелей.

Третій розділ містить детальний опис компонентів, що використовуються для побудови робота-гексапода, включаючи сервоприводи, плати керування, датчики, камери та елементи живлення. Розглянуто переваги використання сонячних панелей для підвищення автономності робота.

У четвертому розділі представлено розробку електрично принципової та структурної схем керування робота, що забезпечують ефективну взаємодію всіх компонентів системи.

Останній п'ятий розділ включає розрахунки, необхідні для визначення оптимальної кількості та характеристик двигунів, необхідних для забезпечення ефективної роботи робота-гексапода.

Висновки цього дослідження можуть бути застосовані для подальшого розвитку робототехнічних систем, а також для практичного використання в різних сферах, де необхідні автономні мобільні роботи, здатні функціонувати в екстремальних умовах. Таким чином, даний проєкт не лише сприяє розвитку робототехніки, але й має потенціал для значного впливу на різні сфери діяльності людини.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА ОСВІТНІЙ ВИМІР

1.1. Мета і завдання

Мета дипломного проекту полягає у вивченні та розробці автоматизованої мехатронної системи на прикладі робота-гексапода та вдосконалення його за рахунок збільшення автономності його роботи з використанням сонячних панелей.

Завдання дипломного проекту:

- Аналіз існуючих конструкцій гексаподів: Вивчення різних архітектур гексаподів, їхніх переваг та недоліків для визначення оптимальної конструкції.
- Розробка апаратної бази гексапода: Проектування та створення фізичного прототипу гексапода з використанням сучасних компонентів та матеріалів.
- Розробка програмного забезпечення для автономного керування: Створення алгоритмів та програмного забезпечення для автономного навігації, розпізнавання об'єктів та прийняття рішень.
- Оцінка результатів та підсумки: Аналіз отриманих даних, визначення переваг та недоліків розробленого робота гексапода та рекомендації для подальших досліджень і вдосконалень.

1.2. Огляд існуючих аналогів, що пов'язані з розробкою автоматизованих систем для проведення моніторингу та інспекції

Існує декілька значущих проектів, що пов'язані з розробкою автоматизованих систем для проведення моніторингу та інспекції в різних галузях. Ось декілька прикладів:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

1. *Авіаційна індустрія* - Компанії Comau та Leonardo розробили самоналагоджувальну роботизовану систему для автономної інспекції гелікоптерних лопатей. Ця система використовує когнітивну робототехніку, передові системи візуалізації та штучний інтелект для виконання точних тестів та мультиспектральної поверхневої інспекції, забезпечуючи високу точність та ефективність процесів перевірки структурної цілісності лопатей.[7]
2. *Будівництво* - у будівельних проектах використовують технології лазерного сканування, БПЛА[10], комп'ютерне бачення та МБІ. Ці системи значно підвищують ефективність, точність та безпеку на будівельних майданчиках, допомагаючи контролювати прогрес будівництва та оцінювати стан конструкцій.[8]
3. *Промислове виробництво* - Fasteon пропонує рішення для автоматизованого контролю якості на виробничих лініях. Вони використовують машинне бачення та роботизовані системи для збору даних та виявлення дефектів у реальному часі, що дозволяє зменшити кількість відходів та оптимізувати виробничі процеси. Ці системи також інтегрують технології Індустрії 4.0 для цифровізації збору даних та підвищення ефективності виробництва.[9]

Такі проекти демонструють значний потенціал автоматизованих систем для поліпшення якості та ефективності процесів моніторингу та інспекції в різних галузях. Вони сприяють підвищенню безпеки, зниженню витрат та забезпеченню більш точних і надійних результатів.

1.3. Огляд мехатронних систем

Мехатронні системи — це інтегровані системи, що об'єднують механічні, електронні, комп'ютерні та інформаційні технології для створення складних автоматизованих пристроїв та систем. Мехатроніка, як наукова та інженерна

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

дисципліна, виникла на стику цих технологій, щоб забезпечити ефективні рішення для автоматизації та роботизації.



Рис.1.3.1. Мехатроніка, як наука [5]

Мехатроніка - це інтердисциплінарна галузь, яка об'єднує механіку, електротехніку, електроніку та комп'ютерну науку для розробки та створення складних механічних систем, які керуються за допомогою електроніки та програмного забезпечення. Вона охоплює різноманітні області, такі як робототехніка, автоматизація виробництва, медичні пристрої, авіаційна та автомобільна промисловість, тощо. Мехатроніка дозволяє створювати розумні, автономні системи з високим рівнем точності та продуктивності.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Розглянемо функціональну схему МТС, представленої на рис.1.3.2.



Рис.1.3.2. – Функціональна МТС[6]

1.4. Принцип роботи мехатронних систем

Мехатронні системи працюють на принципі тісної інтеграції всіх складових компонентів. Це забезпечує синергетичний ефект, коли система в цілому функціонує ефективніше, ніж сума окремих її частин. Взаємодія між механічними, електронними та програмними компонентами забезпечує високу точність, швидкість і надійність роботи системи.

Основні етапи функціонування мехатронної системи



Рис.1. 4. 1. Етапи функціонування мехатронної системи[6]

1. Введення даних (сенсори):

Сенсори збирають інформацію про навколишнє середовище та стан самої системи. Ці дані можуть включати позицію, швидкість, силу, температуру тощо.

2. Обробка даних (контролери та програмне забезпечення):

Зібрані сенсорами дані передаються до контролерів, де вони обробляються за допомогою спеціально розроблених алгоритмів. Програмне забезпечення отримує дані та проводить аналіз, а потім приймає рішення щодо подальших дій системи.

3. Виконання команд (виконавчі механізми):

Контролери передають відповідні команди виконавчим механізмам, таким як мотори, актуатори чи інші приводні системи, які виконують необхідні дії. Це може бути рух, маніпуляції з об'єктами або зміна стану системи.

4. Зворотний зв'язок:

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Виконані дії знову відслідковуються сенсорами, що дозволяє контролерам оцінити ефективність виконання команд та, при необхідності, внести корективи. Цикл зворотного зв'язку забезпечує точність і стабільність роботи системи.

1.5. Освітній та навчальний потенціал

Розробка та дослідження роботів-гексаподів мають значний освітній потенціал. Вони можуть бути використані як навчальні платформи для студентів, що вивчають робототехніку, мехатроніку та суміжні дисципліни. Це сприяє підготовці кваліфікованих фахівців у цих галузях.

Отже, актуальність теми визначається її важливістю для розвитку сучасної техніки та технологій, широкими можливостями застосування у різних галузях, а також внеском у розвиток наукових досліджень та освіти. Розробка таких систем сприяє інноваціям та покращенню якості життя, роблячи цей напрямок досліджень особливо значущим у сучасному світі.

Гексапод - вид крокуючих роботів, які на відміну від своїх двоопорних аналогів мають значно вищу стійкість до бічних і поздовжніх навантажень, а так само допускають застосування більш дешевих компонентів, ніж інші шагоходи. Крокуючі роботи - клас роботів, які за своїм принципом переміщення максимально схожі на людину або тварину. Перші концепції крокуючих машин були закладені в кінці 19 століття професором П.Л. Чебишева, в 21 столітті ведеться активна розробка в даному напрямку такими фірмами як Boston Dynamics, Mechanized Propulsion Systems, MIT. Часто гексапод застосовуються в медицині, виробництві. Ведуться розробки для застосування крокуючих платформ у військових цілях. Потенційно, крокуючу платформу можна використовувати і в компанії Robocode як альтернативу платформі Leo. Використання крокуючого робота доцільно в тих випадках, коли неможливо використовувати колісного або гусеничного робота, тому що прохідність у крокуючого робота вище - він може переступати непереборні для

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

колісних і гусеничних роботів перешкоди, переміщатися по практично будь-якого виду ґрунтів. На платформі можливо розміщувати цільове обладнання, необхідне при, наприклад, розборі завалів, будівництві, обслуговуванні техніки[2].

1.6. Актуальність теми дипломного проєкту

Актуальність теми обумовлена широким застосуванням роботизованих систем у промисловості, дослідницькій діяльності та в повсякденному житті. Можна навести приклад деяких з них:

1. Широке застосування в промисловості та наукових дослідженнях:

Роботи-гексаподи мають значний потенціал для використання у різних галузях, таких як інспекція важкодоступних місць, рятувальні операції, моніторинг навколишнього середовища, аграрний сектор, та багато інших. Їх здатність адаптуватися до різноманітних типів поверхонь і умов робить їх незамінними в багатьох сферах.

2. Покращення мобільності та стабільності:

Завдяки шести ногам роботи-гексаподи можуть легко переміщатися по нерівних поверхнях, що забезпечує їм перевагу перед іншими типами роботів. Це особливо важливо для місій, де необхідна висока маневреність і стабільність руху.

3. Розвиток мехатроніки та інтеграції систем:

Тема сприяє розвитку мехатроніки як міждисциплінарної галузі, яка поєднує механіку, електроніку та комп'ютерні науки. Створення автоматизованої системи для робота-гексапода вимагає інтеграції цих знань і технологій, що сприяє розвитку інженерії загалом.

4. Інноваційні рішення та передові технології:

Дослідження та розробка автоматизованих систем для роботів-гексаподів стимулюють інновації у використанні нових матеріалів, сенсорних технологій,

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Це сприяє створенню передових технологій, які можуть бути використані в різних галузях.

5. Енергоефективність та автономність:

Вдосконалення роботів-гексаподів у напрямку підвищення енергоефективності та автономності дозволяє створювати більш ефективні та самодостатні системи. Це особливо важливо для довготривалих місій в умовах обмеженого доступу до джерел живлення.

1.7. Висновки до розділу 1

Отже, в цьому розділі було визначено основні мету і завдання проєкту, проведено детальний огляд існуючих проєктів у сфері автоматизованих систем для моніторингу та інспекції, розглянуто мехатронні системи та принципи їх роботи, а також проаналізовано освітній та навчальний потенціал дослідження. Таким чином, розділ 1 закладає теоретичну основу для подальших практичних розробок та експериментів, спрямованих на досягнення цілей проєкту. Отримані знання та проведені аналізи стануть основою для впровадження інноваційних рішень у розробці робота-гексапода з підвищеною автономністю.

РОЗДІЛ 2 КОНЦЕПЦІЯ РОБОТА ГЕКСАПОДА

2.1. Робот гексапод

Роботи Нехарод, що характеризуються своєю шестиногою конструкцією, стають все більш актуальними в області робототехніки завдяки їх потенціалу високої стабільності та адаптивності на різних місцевостях. Пошуки покращеної автономності цих роботів викликані потребою в більш універсальних, ефективних і надійних машинах, здатних виконувати складні завдання в неструктурованому середовищі. [13]

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Останні дослідження висвітлюють кілька досягнень і викликів у цій галузі. Одним із важливих аспектів є розробка інтелектуальних систем керування, які дозволяють шестиногим орієнтуватися та адаптуватися до різних місцевостей. Наприклад, традиційні архітектури керування часто покладаються на кінематичні моделі для керування рухом. Ці моделі відносно прості та ефективні для контрольованих середовищ, але можуть не підійти у складніших сценаріях зовнішнього середовища. Навпаки, динамічні контролери, які враховують взаємодію між кінцівками робота та рельєфом, пропонують кращу пристосованість до нерівних і непередбачуваних поверхонь, хоча вони вимагають складніших механічних моделей і обчислювальної потужності.

Біологічні підходи також набувають популярності. Ці методи імітують пересування та адаптивність комах, надаючи зрозуміти, як досягти більш природних та ефективних рухів. Наприклад, шестиногі роботи з адаптивними до місцевості системами керування пересуванням використовують пропріоцептивні датчики для виявлення та реагування на взаємодію ніг і місцевості. Ця технологія була успішно застосована в різних умовах, у тому числі під водою, де традиційні датчики, такі як камери, менш ефективні.[28]

Ще одним перспективним напрямком є інтеграція алгоритмів навчання та прогнозних моделей. Ці методи дозволяють шестиногим коригувати свої рухи на основі попереднього досвіду, покращуючи свою здатність долати нові та складні місцевості з часом. Наприклад, навчання з підкріпленням (RL) продемонструвало потенціал у створенні адаптивного руху, хоча його застосування все ще значною мірою обмежене контрольованим внутрішнім середовищем.

Загалом прагнення до збільшення автономності шестиногих роботів включає в себе поєднання передових систем керування, біологічних дизайнів і методів машинного навчання. Ці розробки не тільки підвищують продуктивність

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

роботів, але й розширюють можливості їх застосування в таких сферах, як пошук і порятунок, моніторинг навколишнього середовища та дослідження в небезпечних або важкодоступних районах.

2.2. Функціональні особливості робота гексапода

1. Рухливість:

1.1. Гейт (патерн ходи): Рух робота-гексапода може бути запрограмований для різних типів ходи (наприклад, триножний гейт, де одночасно рухаються три ноги, або хвилеподібний гейт для плавного пересування).

1.2. Стабільність: Завдяки шести ногам робот може підтримувати високу стабільність навіть на нерівних поверхнях.

2. Навігація і ухиляння від перешкод:

2.1. Алгоритми управління: Використання алгоритмів, що обробляють дані від сенсорів для ухиляння від перешкод і планування маршрутів.

2.2. Автономність: Можливість автономного прийняття рішень на основі обробки даних з сенсорів.

3. Гнучкість і адаптація:

3.1. Модульність: Дизайн робота дозволяє легко змінювати або додавати компоненти, що спрощує модифікації та покращення.

3.2. Адаптивність: Система може адаптуватися до різних умов середовища шляхом зміни параметрів руху та алгоритмів управління.

2.3. Автономність роботів

Повністю автономний робот має такі можливості[11]:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

1. Самостійно отримувати і обробляти інформацію про навколишнє середовище.
2. Працювати тривалий час без втручання людини.
3. Переміщатися повністю або рухати окремі частини у просторі без допомоги людини.
4. Уникати створення небезпечних ситуацій для людини, майна або самого себе, якщо це не передбачено його специфікацією, характеристиками або завданнями.

Автономний робот також здатен навчатися і здобувати нові навички, такі як удосконалення алгоритмів для виконання своїх завдань або адаптація до змін у навколишньому середовищі. Проте, як і інші машини, автономні роботи потребують регулярного технічного обслуговування.

2.4. Енергозбереження та енергоефективність

Енергозберігаючі алгоритми – це методи управління ресурсами, спрямовані на зниження енергоспоживання робототехнічних систем без шкоди для їх функціональності та продуктивності. Вони особливо важливі для мобільних роботів, таких як гексаподи, оскільки дозволяють збільшити час автономної роботи та підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів.

Енергоефективність — це оптимальне використання енергетичних ресурсів, при якому досягається та сама кількість енергії для забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві, але з меншою витратою ресурсів.

2.4.1. Основні принципи енергозберігаючих алгоритмів

Отже, основні принципи енергозберігаючих алгоритмів включають:

1. *Оптимізація руху:*

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- 1.1. Планування траєкторій: вибір маршрутів, що мінімізують відстань і енерговитрати.
- 1.2. Рухові патерни: використання оптимальних схем руху, таких як кроки з мінімальною витратою енергії.
2. *Ефективне управління живленням*:
 - 2.1. Режими енергозбереження: перехід компонентів у сплячий режим або зниження їхньої активності, коли вони не використовуються.
 - 2.2. Інтелектуальне керування батареєю: оптимізація процесів зарядки та розрядки для продовження терміну служби батареї.
3. *Зменшення енерговитрат на обробку даних*:
 - 3.1. Обчислювальна ефективність: використання алгоритмів, що вимагають менших обчислювальних ресурсів.
 - 3.2. Адаптивна обробка: зменшення частоти обробки даних з сенсорів, коли це можливо.
4. *Застосування відновлюваних джерел енергії*:
 - 4.1. Сонячні панелі: інтеграція систем зарядки від сонячних панелей для підзарядки батарей під час руху.
 - 4.2. Енергоефективні матеріали: використання матеріалів, що зменшують загальні енерговитрати, наприклад, легких і міцних матеріалів для конструкції робота.

2.4.2. Приклади енергозберігаючих алгоритмів для робота гексапода

1. *Алгоритми планування траєкторій*:
 - 1.1. A алгоритм*: знаходить оптимальний маршрут з точки зору енерговитрат.
 - 1.2. Dijkstra алгоритм: використовується для знаходження найкоротших шляхів, що також зменшує енергоспоживання.
2. *Оптимізація руху кінцівок*:

						ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

2.1. Згладжування траєкторій: використання плавних рухів для зменшення різких змін, які збільшують енерговитрати.

2.2. Балансування навантаження: рівномірний розподіл навантаження між кінцівками для зменшення енергоспоживання.

3. *Режими енергозбереження*:

3.1. Динамічне відключення компонентів: автоматичне вимкнення датчиків або процесорів, коли вони не потрібні.

3.2. Зниження частоти роботи процесора: зменшення тактової частоти процесора під час виконання менш ресурсомістких завдань.

4. *Адаптивне управління живленням*:

4.1. Моніторинг енергоспоживання: постійний аналіз використання енергії для виявлення і усунення надмірних витрат.

4.2. Прогнозування енергоспоживання: використання історичних даних для передбачення майбутніх потреб у енергії і відповідної адаптації роботи робота.

2.4.3. Застосування енергозберігаючих алгоритмів

Енергозберігаючі алгоритми можуть застосовувати для таких цілей:

1. *Рятувальні операції*: роботи можуть працювати довше в автономному режимі, збільшуючи шанси на успішне завершення місії.

2. *Сільське господарство*: підвищення ефективності сільськогосподарських робіт, які працюють на великих територіях.

3. *Дослідження віддалених територій*: роботи можуть тривалий час виконувати дослідницькі завдання в умовах обмеженого доступу до джерел енергії.

Впровадження енергозберігаючих алгоритмів є критично важливим для підвищення автономності і ефективності робототехнічних систем, особливо в умовах, де доступ до енергетичних ресурсів обмежений.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

2.5. Принцип роботи гексапода

Робот-гексапод — це багатоногий робот, який має шість ніг, що дозволяє йому рухатися і маневрувати з високою стабільністю та прохідністю. Завдяки шести точкам опори гексаподи здатні ефективно переміщатися на складних поверхнях і долати різні перешкоди. Вони використовуються в дослідженнях, рятувальних операціях, військових застосуваннях, а також у розвагах та навчанні.

Найбільшим у світі роботом-гексаподом є "Mantis," розроблений британською компанією Micromagic Systems. Цей гексапод, який отримав широку популярність завдяки своїм вражаючим розмірам та можливостям, демонструє передові технології у сфері робототехніки та мехатроніки.

На рисунку 6.1. можна побачити найбільшого у світі робота гексапода.



Рис.2.5.1. Найбільший робот гексапод у світі[14]

						ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

Робот Mantis є яскравим прикладом того, як інноваційні технології можуть поєднуватися для створення унікальних і потужних робототехнічних систем. Його гідравлічна система, комп'ютерне управління та сенсорні технології забезпечують високу автономність, маневреність та функціональність, що відкриває широкі можливості для застосування у різних галузях. Mantis може працювати в декількох режимах, включаючи ручне управління та автономний режим. У ручному режимі оператор використовує джойстики та інтерфейси для безпосереднього контролю над роботом. В автономному режимі робот використовує попередньо запрограмовані траєкторії та алгоритми ухилення від перешкод для самостійного пересування.

Робот-гексапод є яскравим прикладом мехатронної системи, яка інтегрує механічні, електронні та програмні компоненти для досягнення високої мобільності та функціональності.

1. *Механічна частина*: конструкція робота включає шість ніг, кожна з яких має кілька ступенів свободи для забезпечення складних рухів.
2. *Електроніка*: використання сенсорів для визначення положення ніг, датчиків навколишнього середовища та виконавчих механізмів (сервомоторів) для приводу ніг.
3. *Програмне забезпечення*: розробка алгоритмів для координації рухів ніг, забезпечення стабільності та адаптації до нерівних поверхонь, а також для автономної навігації та ухилення від перешкод.

Мехатронні системи, як робот-гексапод, демонструють потужність та можливість інтеграції різних технологій для створення складних та високоефективних автоматизованих систем, які можуть виконувати широкий спектр завдань у різних умовах.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

2.6. Опис конструкції робота

Робот-гексапод є складним механізмом, що імітує рухи комах, використовуючи шість ніг для пересування. Конструкція такого робота включає кілька ключових компонентів, кожен з яких виконує певну функцію для забезпечення його мобільності та автономності.

Основні компоненти конструкції:

1. Рама (корпус):

- 1.1. Матеріал: Зазвичай виготовляється з легких та міцних матеріалів, таких як алюміній або карбонове волокно, щоб забезпечити міцність і мінімізувати вагу.
- 1.2. Структура: Рама підтримує всі інші компоненти, включаючи електроніку та батареї. Вона має відповідні кріплення для ніг та інших механізмів.

2. Ноги:

- 2.1. Кількість: Шість ніг, розташованих симетрично по відношенню до центральної осі робота.
- 2.2. Сегменти: Кожна нога складається з декількох сегментів (частіше за все трьох: стегно, гомілка і лапка), з'єднаних за допомогою суглобів.
- 2.3. Суглоби: Кожен суглоб може мати один або кілька ступенів свободи (DOF), що дозволяє ногам рухатися в різних напрямках. Найчастіше використовуються серводвигуни для забезпечення руху.

3. Сервомотори:

- 3.1. Типи: Стандартні або цифрові серводвигуни, які забезпечують точне позиціонування і контроль руху ніг.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

3.2. Розташування: Кожен суглоб ноги обладнаний серводвигуном, що дозволяє управляти положенням сегментів ноги.

4. *Контролери*:

4.1. Основний контролер: Мікроконтролер або одноплатний комп'ютер (наприклад, Arduino, Raspberry Pi), що виконує основне управління роботом.

4.2. Сервоконтролери: Спеціалізовані контролери для управління серводвигунами, які отримують команди від основного контролера.

5. *Сенсори*:

5.1. IMU (інерціальний вимірювальний блок): Використовується для визначення орієнтації і прискорення робота.

5.2. Датчики відстані: Ультразвукові або інфрачервоні датчики для виявлення перешкод і забезпечення навігації.

5.3. Датчики позиції: Енкодери або потенціометри, інтегровані в серводвигуни для точного контролю положення ніг.

6. *Джерела живлення*:

6.1. Акумулятори: Літій-полімерні (Li-Po) або літій-іонні (Li-Ion) акумулятори забезпечують необхідну енергію для роботи всіх компонентів.

6.2. Системи управління живленням: Модулі, що забезпечують стабілізоване живлення для електроніки та двигунів.

7. *Комунікаційні модулі*:

7.1. Бездротові модулі: Wi-Fi, Bluetooth або радіомодулі для дистанційного керування та обміну даними з іншими пристроями.

2.7. Кінематичні схеми

Не менш важливими є і кінематичні схеми роботів. По них можна прочитати, як рухається сам пристрій. Тому на рисунку 2.7.1. можна побачити різні кінематичні схеми.

								Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001			

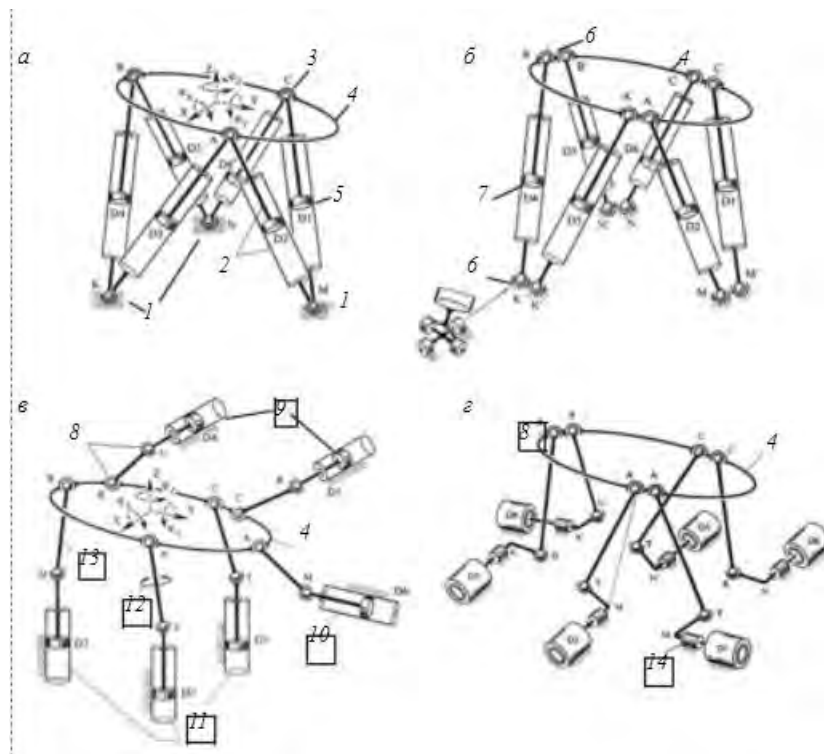


Рис. 2.7.1. Варіанти кінематичних схем гексаподів [17]

1 – основа; 2 – вільні обертання – самоустановка штоків та циліндрів; 3 – подвійний сферичний шарнір (IIIs+IIIs) або (IVs+IVs) або (IIIs+IVs) із загальним центром; 4 – вихідна ланка (платформа/стіл); 5 – однорухлива (поступальна, гвинтова) або дворухлива (поступально-обертальна) пара; 6 – дворуховий сферичний циліндр (кардане з'єднання) IVs; 7 – поступальна пара з можливістю обертання (IVs); 8 – сферичні трирухливі шарніри (IIIs); 9 - приводи для відтворення переміщень в основному вздовж осі X і повороту Z; 10 - привод для відтворення переміщень в основному вздовж осі Y; 11 – приводи для відтворення переміщень в основному вздовж осі Z та поворотів ϕ_X та ϕ_Y ; 12 - вільне обертання (самоустановка шатуна); 13 - шатун; 14 – однорухлива обертальна пара (Vr)

Підводні роботи-гексаподи призначені для виконання завдань у водному середовищі, таких як дослідження морського дна, інспекція підводних об'єктів, моніторинг екологічного стану та рятувальні операції. Конструкція підводного

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

робота-гексапода включає спеціальні елементи, що забезпечують його ефективну роботу під водою.

Ще приклад конструкції підводного робота:

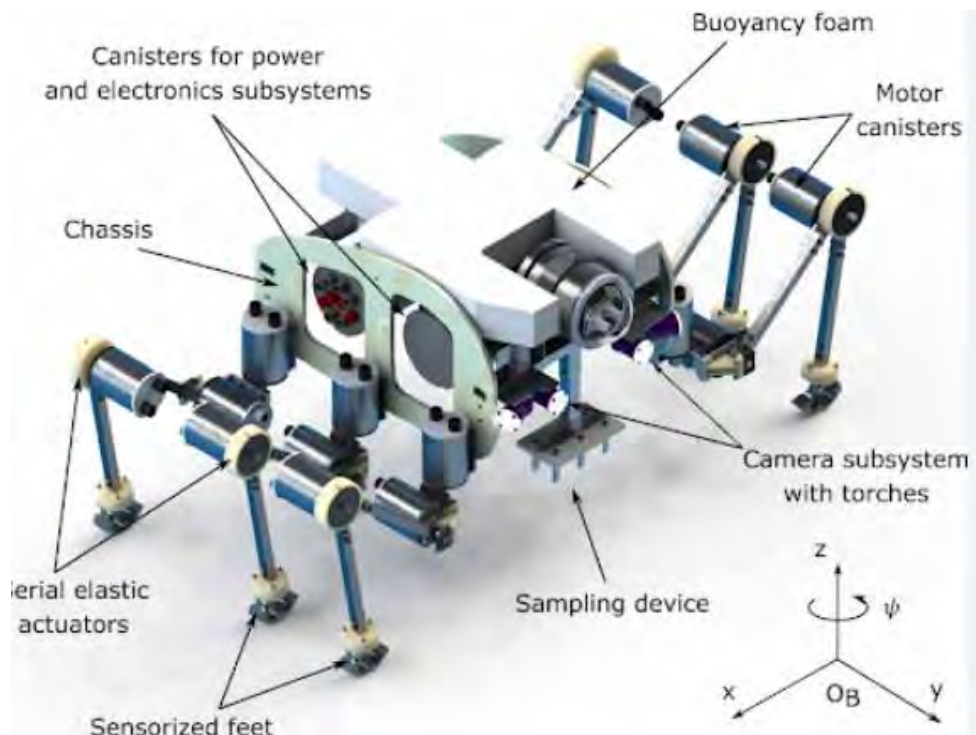


Рис.2. 7.2. Конструкція підводного робота гексапода[16]

Підводний робот-гексапод є складним технічним пристроєм, що поєднує передові технології у сфері механіки, гідравліки, електроніки та програмного забезпечення. Завдяки своїй гнучкості, маневреності та здатності працювати в екстремальних умовах, такі роботи мають широке застосування у різних галузях, включаючи наукові дослідження, промисловість та рятувальні операції.

2.8. Застосування сонячних панелей для робота гексапода

Застосування сонячних панелей для живлення робота-гексапода є ефективним рішенням, яке дозволяє підвищити автономність і знизити залежність від зовнішніх джерел енергії. Сонячні панелі забезпечують робота необхідною енергією для його функціонування, дозволяючи використовувати відновлювані джерела енергії. Впровадження сонячних панелей у конструкцію

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

робота-гексапода дозволяє забезпечити його енергетичну автономність, що особливо важливо для тривалих місій у віддалених або важкодоступних місцевостях. Сонячна енергія є відновлюваним джерелом, що значно знижує експлуатаційні витрати та підвищує екологічну безпеку роботи гексапода.

2.8.1. Інтеграція сонячних панелей

Інтеграція сонячних панелей у систему робота-гексапода включає кілька етапів:

1. *Монтаж панелей* - встановлення панелей на корпусі робота таким чином, щоб вони не перешкоджали руху і функціонуванню інших компонентів.
2. *Зарядний контролер* - використання зарядного контролера для регулювання напруги та струму, що надходять від сонячних панелей до акумулятора.
3. *Акумулятор* - підключення акумулятора для накопичення енергії, що генерується сонячними панелями.
4. *Електронна система управління* - налаштування електронної системи управління для моніторингу заряду акумулятора та керування розподілом енергії.[24]

2.8.2. Переваги використання сонячних панелей

1. Застосування сонячних панелей для живлення робота-гексапода має кілька суттєвих переваг:
2. *Автономність* - робот може працювати тривалий час без підзарядки від зовнішніх джерел енергії.
3. *Екологічність* - використання відновлюваних джерел енергії зменшує викиди парникових газів та інші шкідливі впливи на навколишнє середовище.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

4. *Економічність* - сонячна енергія є безкоштовною, що знижує експлуатаційні витрати на енергію.
5. *Надійність* - зменшується залежність від мережевих джерел енергії та збільшується надійність роботи в умовах відсутності або нестабільності електропостачання.[23]

2.9. Висновки до розділу 2

Отже, розділ 2 розкриває концепцію робота-гексапода, його функціональні особливості, принципи роботи, а також питання автономності та енергоефективності. У цьому розділі також розглядаються конструкція робота, кінематичні схеми та використання сонячних панелей для підвищення автономності.

Таким чином, розділ 2 закладає технічну основу для подальших етапів розробки робота-гексапода, зосереджуючи увагу на ключових аспектах автономності, енергоефективності та конструктивних особливостях. Отримані знання та результати аналізу забезпечують міцну базу для практичної реалізації та тестування робота в реальних умовах.

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ОБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Сервопривід

Забезпечити рухомість всіх ланок робота-гексапода можна завдяки серводвигунам.

Сервопривід — це допоміжний мотор, який використовується для дистанційного автоматичного керування або регулювання різних механізмів, таких як машини, апарати, а також для відкривання та закривання засувки і клапанів. Він функціонує за рахунок імпульсів змінної тривалості, що передаються через сигнальний дріт.

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

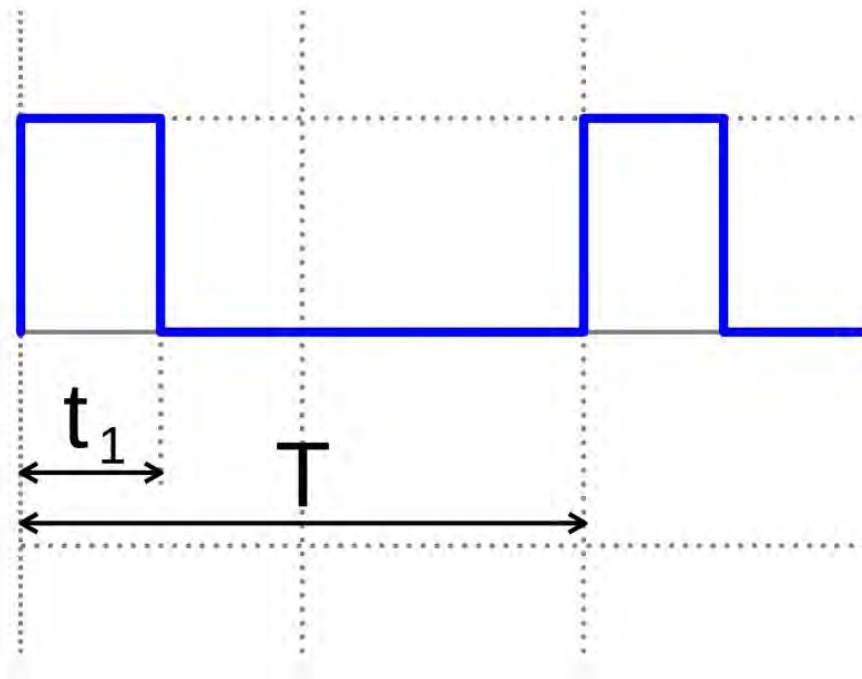


Рис. 3.1.1. Приклад ШІМ сигналу для управління серводвигуном[22]

Як показано на рис. 3.1, для генерації ШІМ-сигналу потрібна частота 50 Гц, тобто період сигналу становить 20 мс. Час імпульсу може змінюватися від 1 мс до 2 мс. При тривалості імпульсу 1 мс двигун встановлюється в положення 0° , при 1,5 мс - на 90° , а при 2 мс - на 180° . Таким чином, варіюючи тривалість імпульсу від 1 мс до 2 мс, можна керувати двигуном в діапазоні від 0° до 180° . Отже, кут повороту сервоприводу визначається тривалістю імпульсу: чим довший імпульс, тим більший кут повороту. Програмне забезпечення для управління серводвигуном не генерує ШІМ-сигнал безпосередньо, а використовує готові бібліотеки, які перетворюють заданий кут у відповідний ШІМ-сигнал.

Сервопривід — це пристрій, що використовується для точного контролю положення, швидкості і прискорення механічного об'єкта. Він складається з двигуна, датчика зворотного зв'язку і контролера. Сервоприводи знаходять широке застосування в робототехніці, автоматизації, аерокосмічній техніці та багатьох інших галузях.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

В роботі-гексаподі сервоприводи є ключовими компонентами для забезпечення руху і стабільності. Ось декілька прикладів їх використання:

1. *Контроль руху ніг:* кожна нога гексапода може мати декілька суглобів, кожен з яких управляється окремим сервоприводом. Це дозволяє точно контролювати положення кожної ноги та координувати їх рухи для забезпечення плавного пересування.
2. *Стабілізація:* сервоприводи можуть швидко реагувати на зміни в положенні та компенсувати нестабільність, забезпечуючи стабільність робота на нерівних поверхнях.
3. *Маніпуляції з об'єктами:* якщо робот-гексапод оснащений маніпуляторами або іншими інструментами, сервоприводи дозволяють точно контролювати їх рухи для захоплення, переміщення або маніпуляції з об'єктами.
4. *Зворотний зв'язок для точного позиціонування:* використання датчиків зворотного зв'язку дозволяє сервоприводам забезпечувати точне позиціонування ніг та інших компонентів робота, що є критично важливим для виконання складних завдань.

Сервоприводи є невід'ємною частиною багатьох мехатронних систем, зокрема роботів-гексаподів. Вони забезпечують точний контроль руху і позиціонування, що є критично важливим для виконання складних завдань і досягнення високої точності та стабільності. Завдяки своїм можливостям, сервоприводи знаходять застосування в багатьох галузях, від робототехніки до авіації та автоматизації виробництва.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001	

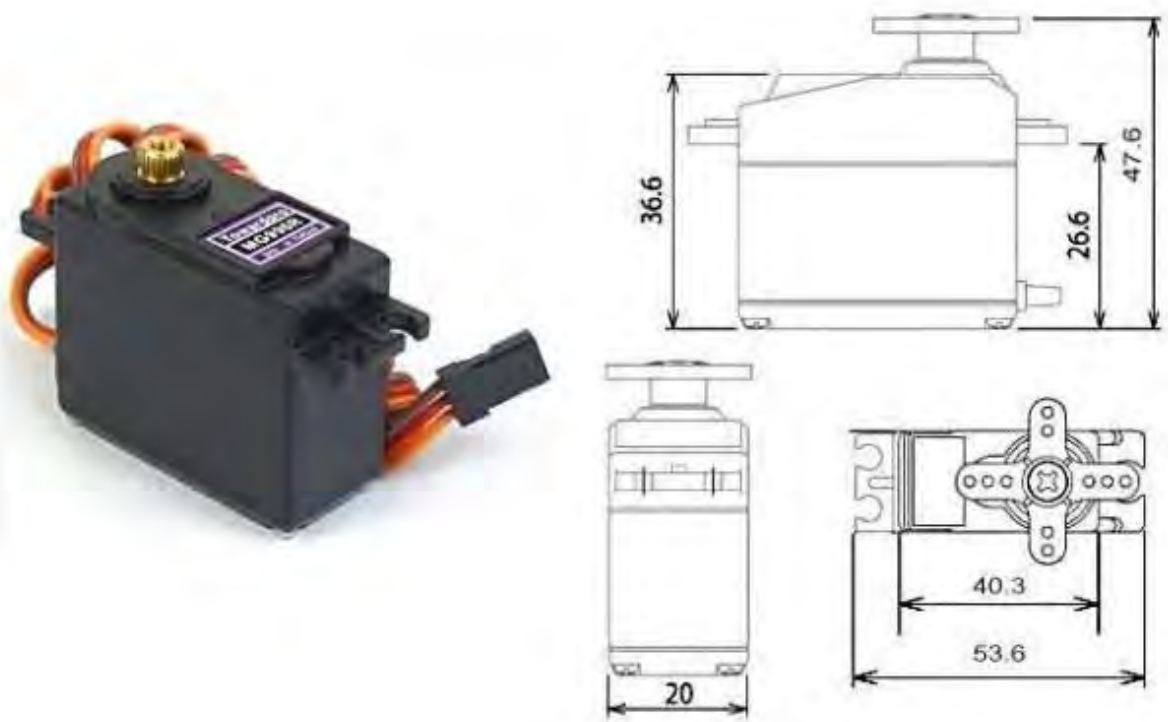


Рис. 3.1.2. Сервопривід Towerpro MG996R та його розміри

Таблиця 3.1.

Характеристики сервопривода Towerpro MG996R [3]

Вага	60 гр.
Розмір	40.3ммх20ммх44.1мм
Робоча напруга	4.8...7.2 У
Швидкість навантаження	без 60 градусів/0.2 сек.(6 В)
Пусковий момент	10 кг/см (6 В)
Довжина дроту	30 см



Рис. 3.1.3. Сервопривід GH-S37A та його розміри

Таблиця 3.2.

Характеристики сервопривода GH-S37A [15]

Вага		3,7 гр.
Розмір		17,6 x 20,1 x 9,2 мм.
Крутний момент		0.7 кг / см при 4.8В і 0.8 кг / см при 6.0В
Швидкість навантаження	без	0,1 сек / 60 градусів (4.8V)
Робоча напруга		4,8 – 7,2 В
Довжина кабелю		150 мм

3.2. Плати керування

У цій системі керування використовується принцип Master-Slave. Міні-комп'ютер Raspberry Pi виконує роль Master, тобто здійснює управління, тоді як мікропроцесор Arduino Mega виконує роль Slave, обробляючи сигнали управління, які надходять від міні-комп'ютера.

Raspberry Pi 3

Raspberry Pi — одноплатний комп'ютер, розроблений британським фондом Raspberry Pi Foundation. Головне призначення — сприяти вивченню базових комп'ютерних навичок школярами. Він побудований на системі-начипі (SoC) Broadcom BCM2835, яка включає:

- Процесор ARM з тактовою частотою 700 МГц
- Графічний процесор VideoCore IV
- 512 або 256 мегабайтів оперативної пам'яті

Цей міні-комп'ютер не має жорсткого диска, замість нього використовують SD-карту, яка призначена для зберігання даних і операційної системи. Такі характеристики дозволяють Raspberry Pi 3 відтворювати відео з роздільною здатністю 1080p, що робить його потужним інструментом для різних завдань у системі управління.



Рис. 3.2.1. Міні-комп'ютер Raspberry Pi [31]

Таблиця 3.3.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Характеристики міні-комп'ютера Raspberry Pi

Тип	Одноплатний комп'ютер
Чіпсет	Broadcom BCM2837
Тип процесора	ARM Cortex-A53
Частота	1,2 GHz
Кількість ядер	4
Обсяг оперативної пам'яті	1 GB
Графічний чіпсет	VideoCore IV 3D
Зовнішні порти	4 x USB 2.0, HDMI, CSI, DSI, Ethernet, 3,5 Audio Jack, 1 x micro-USB OTG, 40 GPIO
Картрідер	microSD
Бездротові комунікації	Wi-Fi 802.11n, Bluetooth 4.1
Потужність БЖ	5 В, 2.5 А

Основою платформи Arduino Mega є 8-бітний мікроконтролер ATmega2560, який працює на частоті 16 МГц. Він має 256 КБ пам'яті для прошивок, 8 КБ оперативної пам'яті і 4 КБ пам'яті для зберігання даних. Arduino Mega має 54 цифрових входи/виходи, 16 аналогових входів, 4 послідовних інтерфейси (UART), USB-роз'єм, роз'єм живлення, роз'єм для програмування і кнопку скидання. Вона сумісна з більшістю плат розширення, створених для інших моделей Arduino.



Рис. 3.2.1. Плата Arduino Mega 2560[30]

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 3.4.

Характеристики плати Arduino Mega 2560

Мікроконтролер	ATmega2560
Напруга живлення	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	7 – 12 В
Напруга живлення (критична)	6 – 20 В
Цифрові виходи	54
Аналогові виходи	16
Максимальний вихідний струм виводу	40 мА
Flash-пам'ять	256 КБ
Тактова частота	16 МГц

3.3. Плата-shield

Для забезпечення подання стабільного живлення на двигуни постала необхідність вибору плати-shield, на яку можна було б вивести лінії живлення та під'єднати до управляючих пінів плати Arduino.

Mega protoshield для Arduino – це плата, яка «одягається» поверх плати Arduino Mega, завдяки тому, що піни на них повністю співпадають. Також на платі розпаяні дві лінії для подання живлення.[29]

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

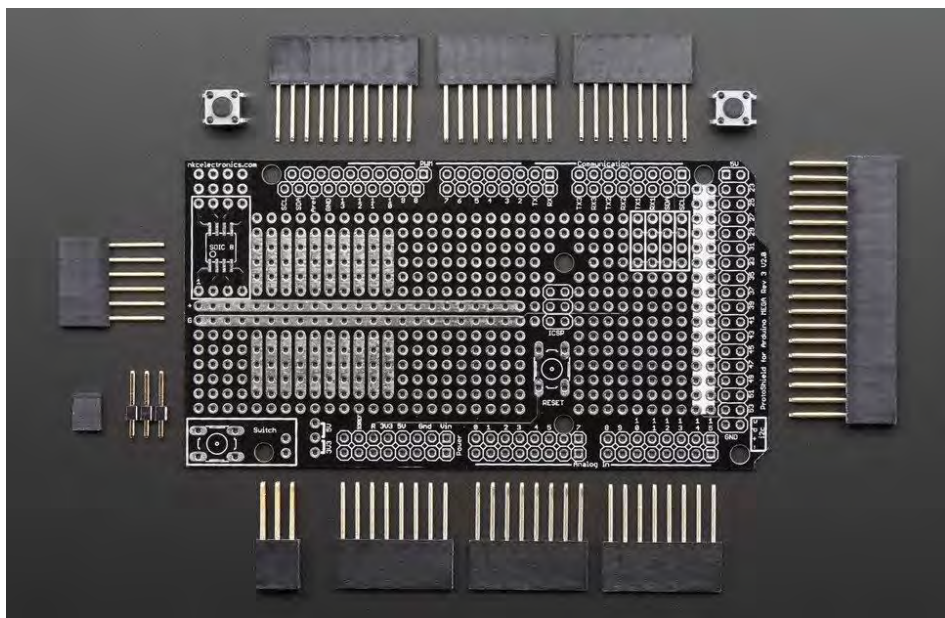


Рис. 3.3.1. Плата-shield для Arduino Mega

3.4. Датчик відстані

Датчик відстані — це пристрій, який вимірює відстань до об'єкта або поверхні за допомогою різних методів. Ці датчики використовуються в багатьох сферах, включаючи робототехніку, автомобільну промисловість, мобільні пристрої та системи безпеки. Нижче наведено основні типи датчиків відстані, їх принципи роботи та застосування.

Датчики відстані є ключовими компонентами для забезпечення ефективної роботи роботів-гексаподів. Вони дозволяють роботам взаємодіяти з навколишнім середовищем, забезпечують автономність та безпеку пересування, а також виконання складних завдань з високою точністю. Використання різних типів датчиків відстані залежить від конкретних вимог завдань та умов експлуатації робота.

									Арк.	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001					



Рис. 3.4.1..Датчик відстані HC-SR04[20]

Таблиця 3.5.

Характеристики ультразвукового датчика відстані HC-SR04[20]

Робоча напруга	3,5-5,5 В
Робочий струм	8 мА
Робоча частота	40 кГц
Максимальна дистанція	1500 мм
Мінімальна дистанція	0 см
Кут вимірювання	15°
Розміри	37 x 20 x 15 мм;
Вага	9 г

3.5. Датчик температури

Датчик температури — це пристрій, який вимірює температуру середовища і передає ці дані у вигляді електричного сигналу для подальшої обробки. Температурні датчики використовуються в різних сферах, включаючи промисловість, побутову техніку, медичні прилади, а також в робототехніці.

Датчики температури є важливими компонентами багатьох сучасних систем, включаючи робототехніку. Вони забезпечують точний контроль і моніторинг температури, що є критично важливим для підтримки оптимальних умов роботи і запобігання перегріву. У роботі-гексаподі датчики температури

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

допомагають забезпечити надійну та стабільну роботу, захищаючи компоненти від пошкоджень і підвищуючи загальну ефективність системи.



Рис.3. 5.1. Температурний датчик[27]

Температурні датчики можуть працювати на основі різних фізичних принципів.

Модуль GY-906 – це безконтактний інфрачервоний термометр на базі чіпа Melexis MLX90614ESF-BAА[19]. Він включає два датчики температури в одному корпусі: один інфрачервоний датчик для вимірювання температури об'єктів перед віконцем корпусу, і другий для вимірювання температури самого корпусу. Дані з модуля можна отримувати через інтерфейс SMBus (сумісний з I2C) або через PWM-вихід [26].

Безконтактний датчик температури зручний для вимірювання температури рідин і газів, рухомих об'єктів, температури тіла в медицині або об'єктів, до яких важко дістатися.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				



Рис. 3.5.2. Датчик температури GY-906[26]

Якщо встановити такий датчик на рухому або обертову платформу, можна зробити простий температурний сканер або тепловізор, що неможливо з датчиками, які потребують дотику. Крім вимірювання температури, цей датчик можна використовувати як датчик руху і датчик вогню.

Завдяки підсилювачеві з низьким рівнем шуму, 17-бітному АЦП і потужному блоку DSP досягається висока точність і роздільна здатність термометра. Він поставляється із заводським калібруванням із цифровим ШІМ та SMBus виходом. Як стандарт, 10-бітна ШІМ налаштована на безперервну передачу вимірної температури в діапазоні від -20 до 120 °С, з вихідною роздільною здатністю 0,14 °С.

3.6. Газовий датчик

Датчик газу MQ-5 реагує на присутність зрідженого газу та диму в повітрі, при цьому він мало чутливий до парів алкоголю. Сенсор має аналоговий вихід, який змінюється залежно від концентрації цих газів у повітрі. Він сумісний з платформами Arduino, AVR, PIC, ARM та іншими мікроконтролерами. MQ-5 є одним із найпоширеніших датчиків у серії MQ. Цей газовий датчик, типу

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

оксиду металу (MOS), також відомий як хімічний резистор, оскільки його робота заснована на зміні опору чутливого матеріалу при контакті з газом. Концентрацію газу можна виміряти за допомогою простої схеми дільника напруги.



Рис. 3.6.1. Датчик газу MQ-5 [32]

Таблиця 3.6.

Характеристики датчик газу MQ-5A

Напруга живлення	5В
Вихідний сигнал	аналоговий
Споживання енергії	до 800 мВт
Діапазон температур робочих	-10 °С .. + 55 °С

3.7. Акселерометр

Акселерометр — це сенсорний пристрій, що вимірює прискорення, яке зазнає об'єкт, до якого він прикріплений. Цей пристрій використовується в багатьох областях, включаючи робототехніку, мобільні телефони, автомобілі та медичні прилади.

Акселерометри є критично важливими компонентами для забезпечення ефективної роботи та автономності роботів-гексаподів, а також багатьох інших мехатронних систем.

Акселерометри - це електромеханічні пристрої, які реєструють як статичні, так і динамічні сили прискорення. Статичні сили включають силу тяжіння, тоді як динамічні можуть виникати внаслідок вібрацій та руху[12].

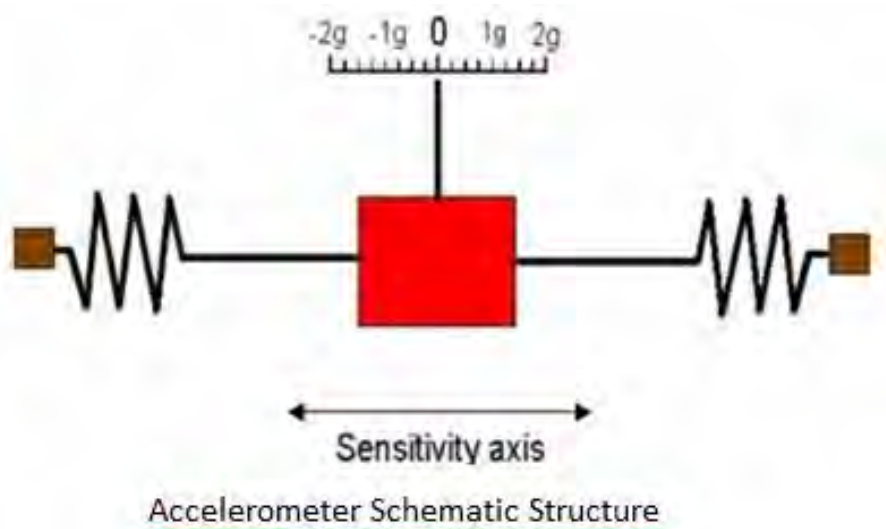


Рис.3.7.1. Робота акселерометра[12]

ADXL345 - це точний датчик, який може вимірювати рух у трьох напрямках з великим діапазоном до 16 гравітацій. Він використовує цифрові інтерфейси, щоб передавати дані про рух через SPI або I2C. Цей датчик працює як у мобільних пристроях, так і в інших системах, і може вимірювати як те, як стоять речі (статичний рух), так і як вони рухаються (динамічний рух). Він дуже чутливий і може виявити навіть дуже маленькі зміни у нахилі або русі. Акселерометр також може працювати ефективно, зменшуючи споживання енергії, що робить його корисним для систем, які потребують інтелектуального управління.

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис.3.7.2. Акселерометр ADXL345

3.8. Камера

Для трансляції відео в режимі реального часу, постала необхідність в виборі камери. Для цієї задачі чудово підходить спеціальна камера, що має спеціальний шлейф для з'єднання з Raspberry Pi. Raspi CAM v2.1 – це нова камера від Raspberry Pi Foundation, що має 8 мегапіксельний сенсор від Sony IMX219, з поліпшеним фіксованим фокусом. Вона поставляється в комплекті зі шлейфом, а також сумісна з усіма моделями Raspberry Pi [21].

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 3.8.1. Камера Raspі CAM v2.1

Таблиця 3.8.

Характеристики камери Raspі CAM v2.1

Сенсор	8-ми мега піксельний Sony IMX219
Розширення фото	3280 x 2464 пікселів
Підтримувані формати відео	1080p x 30fps, 720p x 60 fps та 640 x 480p x 90fps
Розмір матриці CCD	¼ дюйма
Розміри	25 x 23 x 9 мм

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.9. Елементи живлення

Одним із найважливіших завдань цього проекту є забезпечення живлення всіх компонентів системи. Для живлення двигунів і датчика відстані доцільно використати акумулятор, а для живлення Raspberry Pi буде застосовано сучасний портативний зарядний пристрій (power bank).

Turnigy Heavy Duty 4000mAh 3S 60C Lipo Pack відомий своєю продуктивністю, надійністю та доступною ціною. Ці акумуляторні батареї оснащені тяговими розвантажувальними приводами, що зменшують опір і підтримують високі струмові навантаження. Вони здатні витримувати екстремальні умови, зокрема під час пілотажних польотів та використання в RC-автомобілях. Кожен акумулятор оснащений позолоченими роз'ємами та роз'ємами стилю JST-XH. Усі акумуляторні батареї Turnigy Lipo зібрані з використанням IR-підібраних елементів, що забезпечує їх високу ефективність.

Рис. 3.9.1. Акумуляторна батарея Turnigy Heavy Duty



Таблиця 3.9.

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Характеристики акумуляторної батареї Turnigy Heavy Duty

Ємність	4000 мА/г
Кількість банок	3 S
Максимальний струм розряду	60 – 120 С
Максимальний струм заряду	2 С
Вага	371 г
Геометричні розміри	147 x 49 x 24 мм
Напруга на виході	11.1 В
Випускний штепсель	НХТ 4мм
Дріт	10AWG

Оскільки напруга на виході акумулятора становить 11,1 В, необхідно знизити її до 6 В. Для цього можна використати стабілізатор бортового живлення YEP 20A SBEC. Він підтримує широкий діапазон вхідної напруги від 6 до 50 В. Вихідна напруга стабілізатора налаштовується перемичкою і може бути встановлена на 5 В, 5,5 В, 6 В, 7 В або 9 В. Крім того, стабілізатор має два вихідних роз'єми для розподілу навантаження при високому споживанні струму. Зовнішній корпус стабілізатора захищений термоусадкою.



Рис. 3.9.2. Стабілізатор бортового живлення YEP 20A SBEC

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001	

Характеристики стабілізатора бортового живлення YEP 20A SBEC

Максимальний струм на виході	20 А
Напруга на виході	5 В / 5.5 В / 6 В / 7 В / 9 В
Геометричні розміри	57 x 26 мм
Вага	42 г
Вхідна напруга	2-12 елементів li-XX або 6-35 елементів Ni-MH/Ni-CD акумуляторів

3.10 Сонячні панелі

Сонячні батареї – це пристрої, які перетворюють сонячну енергію на електроенергію. Вони складаються з сонячних елементів, які об'єднані в модуль з вихідними клемами для підключення до електроприладів. Сонячні панелі – це тільки частина системи для використання сонячної енергії.

Через постійне підвищення цін на електроенергію, все більше людей розглядають можливість встановлення сонячних батарей, щоб зменшити витрати на електроенергію. Хоча ці батареї коштують недешево, їх встановлення допомагає знизити залежність від зростання цін на енергоносії.

Деякі вважають, що сонячні панелі працюють тільки влітку, але це неправда: вони виробляють електроенергію цілий рік, хоча взимку її менше через менш інтенсивне сонце. Крім економії на електроенергії, можна заробляти, продаючи надлишок енергії за Зеленим тарифом, коли держава купує її за вищою ціною.

Впровадження сонячних панелей у конструкцію робота-гексапода дозволяє забезпечити його енергетичну автономність, що особливо важливо для тривалих місій у віддалених або важкодоступних місцевостях.

В умовах недостатньої освітленості (наприклад, вночі або в приміщенні) робот може переключатися на альтернативні джерела живлення, такі як запасні акумулятори або інші енергозберігаючі технології.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001	

Сонячні панелі можна встановити на верхній частині корпусу робота. Це дозволить їм максимально вловлювати сонячне світло.

Енергія, вироблена сонячними панелями, буде зберігатися в акумуляторах, які живитимуть всі електронні компоненти робота, включаючи двигуни, контролери та сенсори.

Робот-гексапод зазвичай споживає багато енергії через свої численні двигуни. Використання сонячних панелей може допомогти продовжити час його автономної роботи, особливо у відкритих сонячних умовах.

3.11 Висновки до розділу 3

У розділі 3 на основі виконаного аналізу з врахуванням поставлених перед роботом завдань було запропоновано загальні компоненти системи керування, а саме: виконавчі механізми, датчики температури, наявності газу та ультразвуковий для виявлення перешкод перед роботом, акселерометр для стабілізації камери, саму камеру, плати керування та елементи живлення, та сонячні панелі.[1]

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ «РОБОТА ГЕКСАПОДА»

4.1. Розробка принципової схеми

На рисунку 4.2 показана принципова схема керування автоматизованою системою "Робот гексапод". Ця система працює на принципі Master-Slave, де міні-комп'ютер Raspberry Pi виступає як Master і керує роботою, а мікроконтролер Arduino Mega виконує команди від Raspberry Pi і контролює виконавчі механізми.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

В системі є два типи виконавчих механізмів: серводвигуни для руху робота та два для стабілізації камери. Всі вони підключені до цифрових входів плати Arduino Mega. Живлення виконавчих механізмів забезпечується акумулятором та стабілізатором бортового живлення, що подає 6 В на плату-шілд.

Управління виконавчими механізмами відбувається за допомогою ШІМ-сигналів, які надсилаються з мікроконтролера Arduino Mega. ШІМ - це процес керування тривалістю високочастотних імпульсів за допомогою низькочастотного сигналу. Вона використовується для управління середнім рівнем вихідної напруги.

Однією з ключових характеристик ШІМ-сигналу є його скважність - частка часу тривалості імпульсу відносно періоду повторення. Це визначає співвідношення між піковою та середньою потужністю імпульсів. Наприклад, при скважності 100% логічний вихід буде високим, а при 50% - напіввисоким.

При програмуванні Arduino, скважність задається значеннями від 0 до 255, де 0 відповідає 0% скважності, а 255 - 100%. Це дозволяє змінювати середнє значення напруги на виході імпульсу, що можна використовувати для емуляції аналогових сигналів на цифровому виході. Один із прикладів використання ШІМ в Arduino - це регулювання яскравості світлодіода.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

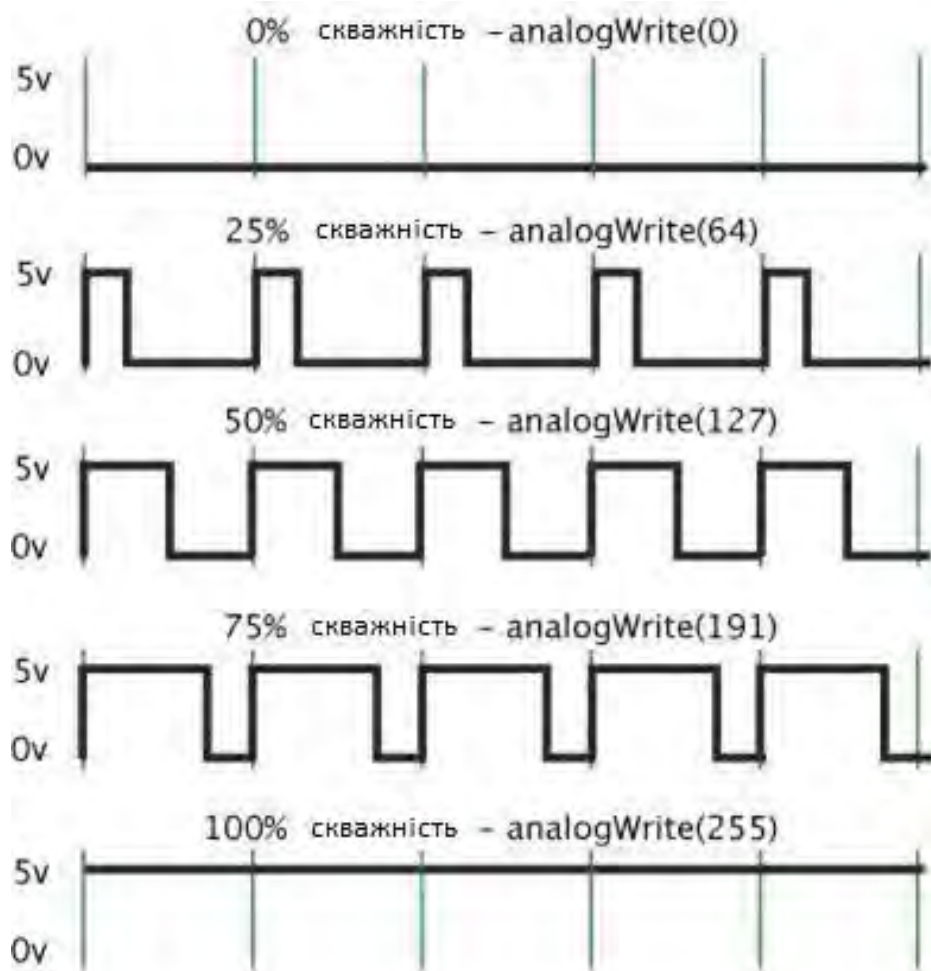


Рис. 4.1.1. ШІМ[22]

Також на платі-шілд та мікроконтролері Arduino Mega підключено кілька датчиків: датчик відстані, датчик температури, датчик наявності газу та акселерометр. Для всіх цих датчиків, крім газового, управляючий сигнал надходить з Arduino Mega, а живлення береться зі спільних ліній плати-шілд. Щодо датчика газу, його живлення подається окремо з плати Arduino Mega через особливості його конструкції.

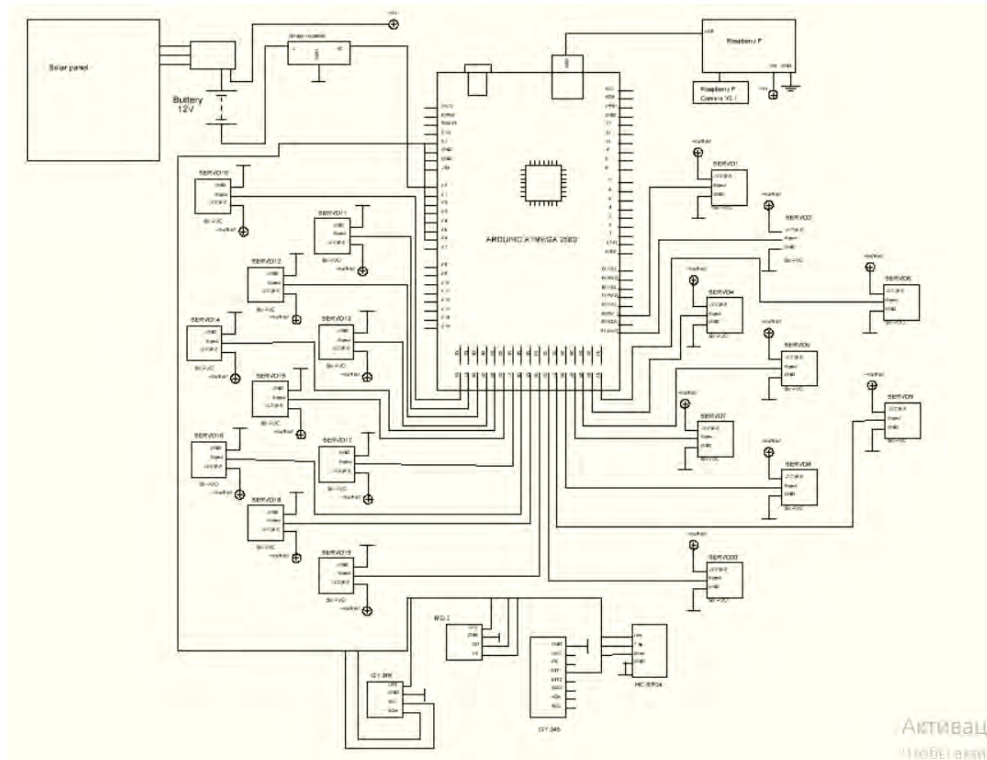
Як показано на рисунку 4.1.2, міні-комп'ютер Raspberry Pi з'єднаний з платою Arduino Mega через USB. Отримуючи управляючі сигнали від комп'ютера, Raspberry Pi передає свої сигнали на плату Arduino, яка виконує відповідну програму.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Міні-комп'ютер Raspberry Pi живиться від окремого джерела живлення - портативного зарядного пристрою (павербанка). Камера Raspicam з'єднана з міні-комп'ютером за допомогою шлейфу AWM для передачі відео на комп'ютер у режимі реального часу. Сонячні панелі підключені до контролера заряду. В свою чергу контролер заряду має виходи для підключення до акумулятора. Це забезпечить захист акумулятора від перезаряду. Акумулятор підключений до системи живлення через стабілізатор напруги. Також використано перемикання між джерелами живлення, для вибору джерела живлення.

Ця схема дозволяє роботу-гексаподу використовувати сонячну енергію для живлення своїх виконавчих механізмів і датчиків, підвищуючи автономність і зменшуючи залежність від зовнішніх джерел живлення.

Рис. 4.1.2. принципова системи керування роботом-гексаподом



4.2 Розробка структурної схеми системи керування

На структурній схемі графічно зображують елементи системи керування, наявні датчики, контролери, підсилювачі, виконавчі механізми тощо, та їх

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

з'єднання між собою, що буде логічний ланцюг від чутливих елементів до виконавчих механізмів.

Структурна блок-схема пропонованої системи керування представлена на рис. 4.2.1. Вона містить вісімнадцять серводвигунів для управління рухомими кінцівками робота та здійснення переміщення, та два серводвигуни для стабілізації камери; всі серводвигуни підключені до плати-Shield, яка в свою чергу підключена до мікроконтролера Arduino. Ця плата необхідна для подання живлення на двигуни, а також для передачі управляючого сигналу від плати Arduino.

До драйвера також під'єднано датчики: ультразвуковий датчик відстані, з якого надходить цифровий сигнал про відстань до перешкоди і якщо вона буде меншою ніж задана, мікропроцесор переключить режим роботи робота, датчик температури навколишнього середовища та об'єкта, датчик наявності газу в повітрі та акселерометр, дані з якого використовуються для стабілізації камери.

Стабілізатор напруги забезпечує подання 6 В від джерела напруги для живлення двигунів і датчика. Він також необхідний для перетворення напруги від акумулятора до споживаної напруги, яка необхідна для серводвигунів та датчиків. Плата Arduino з'єднана з міні-комп'ютером Raspberry Pi, до якого також приєднана камера. Міні-комп'ютер в свою чергу з'єднаний з комп'ютером за допомогою ssh-протоколу для отримання керуючих сигналів та передачі зображення з відеокамери. Raspberry Pi не тільки отримує керуючий сигнал від комп'ютера, а також передає його на мікроконтролер Arduino, який відповідно до отриманої команди управляє серводвигунами та зчитує дані з датчиків.

Сонячні панелі конвертують сонячну енергію в електричну енергію. Ця енергія потім подається на контролер заряду, який регулює заряд сонячних панелей і забезпечує оптимальне використання енергії. Заряджена електрична енергія зберігається в акумуляторі. Система керування роботом-гексаподом отримує електроенергію від акумулятора і живить усі компоненти системи, такі як датчики, мікроконтролер та виконавчі механізми.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Ця структурна схема, зображена на рис.4.2.2. демонструє як сонячні панелі можуть бути інтегровані у систему керування роботом-гексаподом для постачання електричної енергії

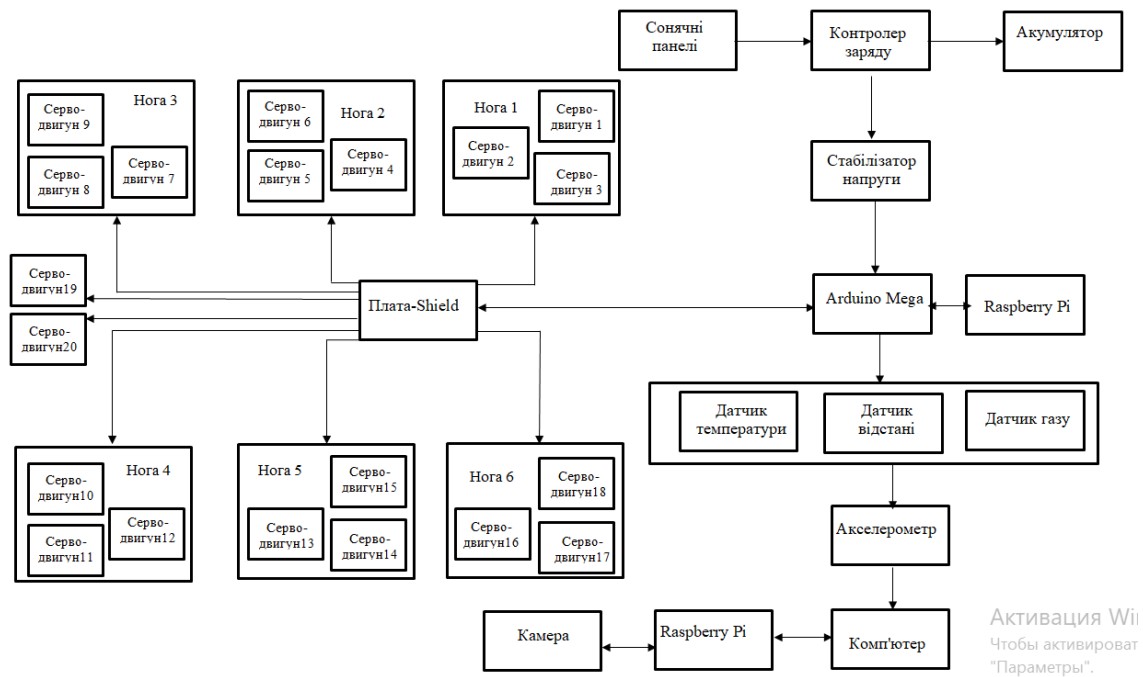


Рис. 4.2.1. Структурна схема системи керування мобільної автоматизованої системи «Робота-гексапода»

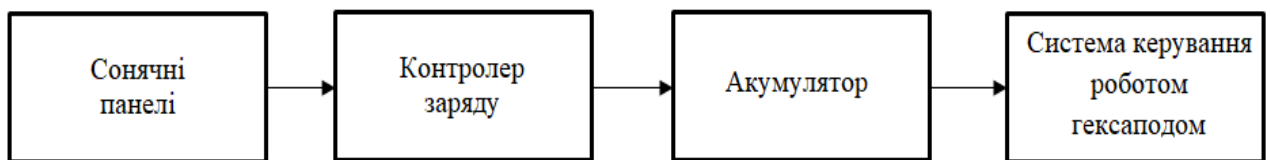


Рис. 4.2.2. Структурна схема інтеграції сонячних панелей з системою роботи робота гесапода

4.3 Висновки до розділу 4

У розділі на основі виконаного аналізу було розроблено електричну та структурну схеми системи керування автоматизованої системи «Робот-гексапод». Описано складові даної системи та принцип роботи.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТА ГЕКСАПОДА

5.1 Розрахунок кількості серводвигунів

Зазвичай кожна нога має три ступені свободи (рух ввєрх-вниз, вперєд-назад, обєртання навколо осі). Оскільки гєксапод має шість нїг і кожна нога має три ступені свободи, вам знадобиться:

Кількість серводвигунів=Кількість нїг×Ступені свободи на кожную ногу
Кількість серводвигунів=Кількість нїг×Ступені свободи на кожную ногу

Для гєксапода з шістьма ногами і трьома ступенями свободи на кожную ногу:

6 ноги×3 серводвигуна на ногу=18 серводвигунів
6 ноги×3 серводвигуна на ногу=18 серводвигунів

Потрібно врахувати додаткові фактори - потрібні ще 2 серводвигуни для підтримки камери.

Для гєксапода, який має шість нїг, кожна з яких має три суглоба (стєгно, коліно, гомілка), кожен суглоб потребує окремого серводвигуна:

6 ноги×3 суглоба на кожную ногу=18 серводвигунів
6 ноги×3 суглоба на кожную ногу=18 серводвигунів

Кількість серводвигунів для конкретної системи залежить від кількості ступенів свободи, необхідних для кожного компонента, механічної структури системи, і вимог до точності та потужності. Отже, для даного гєксапода потрібно 20 двигунів.

5.2 Розрахунок руху кінцівки робота

Постановка задачі

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Допустимо нам потрібно, щоб передня права кінцівка дотягнулася до точки А з координатами (150; -20; 100). Також відомо, що кінцівка повернута щодо корпусу на 45 градусів (параметр соха_zero_rotate):

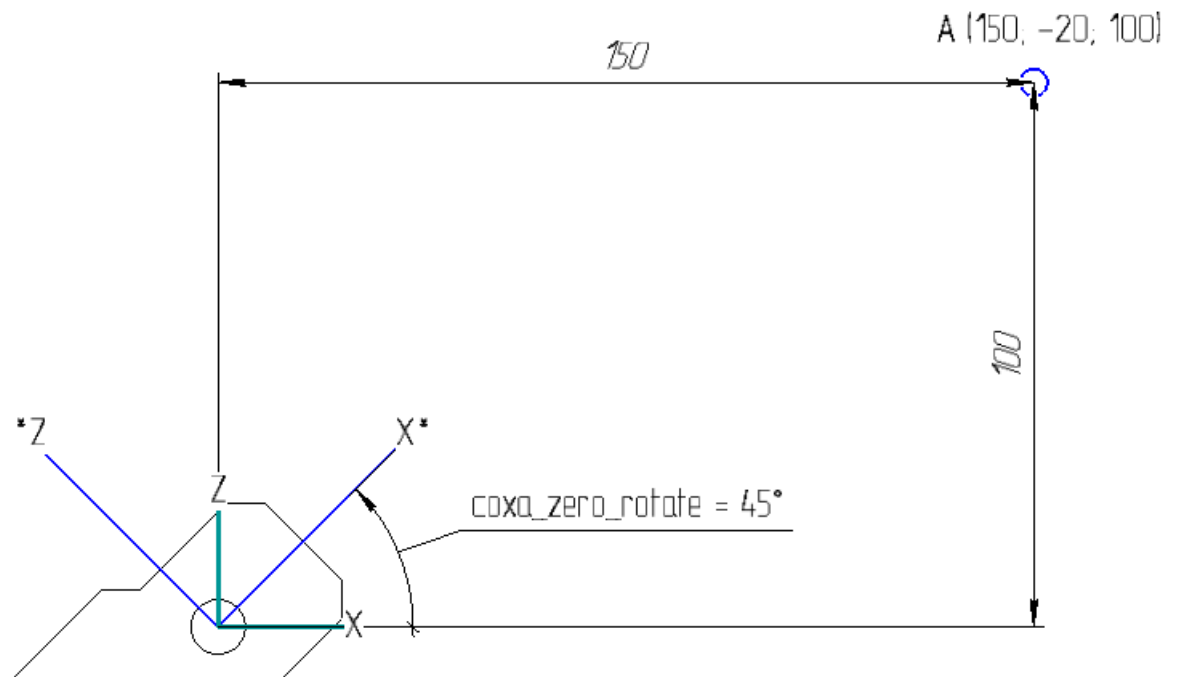


Рис.5.2.1. Початкові дані задачі

Знаходження кута повороту СОХА:

Цей етап є найпростішим. Для початку необхідно перерахувати координати точки А щодо LIMB COORDINATE SYSTEM. Очевидно, що потрібно виконати поворот на кут соха_zero_rotate, зробити це можна за допомогою таких формул:

$$x' = x \cdot \cos \alpha + z \cdot \sin \alpha = 150 \cdot \cos(45) + 100 \cdot \sin(45) = 176.78 \quad (1)$$

$$y' = y = -20 \quad (2)$$

$$z' = -x \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha = 150 \cdot \sin(45) + 100 \cdot \cos(45) = -35.36 \quad (3)$$

Таким чином, ми отримали координати цільової точки А (176.78; -20; -35.36) щодо LIMB COORDINATE SYSTEM.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Тепер можна знайти кут СОХА, використовуючи функцію atan2(4):

$$\text{СОХА} = \text{atan2}(z, x) = \text{atan2}(-35.36, 176.78) = -11.30^\circ \quad (4)$$

І так ми отримали кут, на який потрібно повернути сервопривід СОХА, щоб точка А знаходилася в площині Х'У'.

Знаходження кута повороту FEMUR та TIBIA

Для знаходження цих кутів потрібно перейти до площини Х'У'. Для переходу до площини необхідно виконати поворот точки на кут СОХА, який ми вже розрахували раніше.

$$x' = x' \cdot \cos \alpha + y' \cdot \sin \alpha = 176.78 \cdot \cos(-11) \pm 20 \cdot \sin(-11) = 180.28 \quad (5)$$

$$y' = y = -20 \quad (6)$$

Координата у' не змінюється, оскільки ми виконуємо поворот по осі У'. Далі треба вилучити з розрахунку довжину СОХА, тобто. перейдемо до площини Х''У'', для цього виконаємо зсув координати х' точки на довжину СОХА:

$$x' = x - \text{coxaLenght} = 180.28 - 40 = 140.28 \quad (7)$$

$$y' = y \quad (8)$$

Після всіх цих маніпуляцій подальше розв'язання задачі зводиться до знаходження кутів а та в трикутника:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

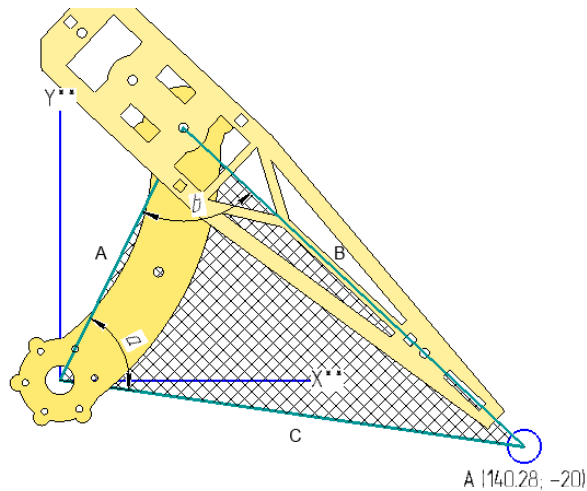


Рис.5.2.2. Рух ноги робота у вигляді трикутника

Перед знаходженням кутів необхідно знайти третю сторону цього трикутника. Ця відстань ні що інша як довжина вектора і розраховується за такою формулою:

$$C = \sqrt{x''^2 + y''^2} = \sqrt{140,28^2 + (-20)^2} = 141.70 \quad (9)$$

точки. Якщо більше ніж сума довжин FEMUR і TIBIA, то точка є не досяжною. У нашому випадку $141.70 < 141 + 85$ — точка доступна.

Тепер нам відомі всі сторони трикутника і можна знайти потрібні нам кути α і β , використовуючи теорему косінусів:

$$a = a \cos\left(\frac{A^2 + C^2 - B^2}{2AC}\right) = 72.05 \quad (10)$$

$$b = a \cos\left(\frac{B^2 + A^2 - C^2}{2AB}\right) = 72.05 \quad (11)$$

Отримані кути не застосовні для згодовування їх сервоприводам, так як тут не враховується початкове положення і кут нахилу прямої C до осі X. Якщо початкові кути FEMUR і TIBIA нам відомі (135° і 45°), то кут нахилу C до осі X нам не відомий. Знайти його можна використовуючи функцію $\text{atan2}(y'', x'')$:

$$\varphi = \text{atan2}(y'', x'') = \text{atan2}(-20, 140.28) = -8.11^\circ \quad (12)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Нарешті можна розрахувати кут повороту сервоприводів FEMUR та TIBIA:

$$FEMUR = femurZeroRotate - a - \varphi = 135 - 72.05 + 8.11 = 71.06^\circ \quad (13)$$

$$FEMUR = b - tibiaZeroRotate = 45 - 72.95 = 27.95^\circ \quad (14)$$

					ДП ПМ-01 06.1760.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Висновки

В рамках дипломного проекту була розроблена автоматизована мехатронна система робота гексапода. Всі поставлені завдання виконані успішно, а отримані результати демонструють ефективність розробленої системи.

Конструкція робота-гексапода поєднує механічні, електронні та програмні компоненти в єдину інтегровану систему, що забезпечує високу мобільність, стабільність і функціональність. Такий робот може виконувати складні завдання в різних умовах, що робить його корисним інструментом для багатьох застосувань у промисловості, наукових дослідженнях та рятувальних операціях.

Нормальне функціонування гексаподів можливе за таких умов:

- принаймні, три стрижні не повинні бути паралельними між собою;
- всі стрижні повинні бути розташовані не менше ніж у трьох непаралельних площинах.

Загалом всі поставлені задачі було виконано. Гексапод здатен автономно (без дротового з'єднання з ПК) переміщуватись. Також отримуються всі зазначені дані з датчиків – загазованість повітря, температура навколишнього середовища та дані з ультразвукового датчика відстані про наявність чи відсутність перешкод перед роботом. При наявності перешкоди робот здійснює поворот, доки перешкода не зникне і чекає подальших команд. Також з камери, що закріплена на корпусі робота відбувається трансляція відео і можна побачити в якому середовищі знаходиться робот.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

Список використаних джерел

- [1]. Підбір комплектуючих елементів робота гексапода [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/ru/prod6415-komplekt-robota-freenove-hexapod-symisnogo-z-arduino-ide>
- [2] Принцип збору конструкції та рух [Електронний ресурс]. <https://www.youtube.com/watch?v=vwLiz7uq0F8>
- [3] Сервопривід TowerPro MG996R [Електронний ресурс] <https://www.mini-tech.com.ua/servomotor-mg996>
- [4] Робототехніка. [Електронний ресурс]. <https://khai.edu.ua/education/osvitni-programi-i-komponenti/osvitni-programi-bakalavriv/robotomehanichni-sistemi-i-logistichni-kompleksi/navchalni-plani2/>
- [5] Взаємоперетин галузей науки і техніки [Електронний ресурс]. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0>
- [6] Введення в мехатроніку та робототехніку [Електронний ресурс]. https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/203103/mod_resource/content/1/1.%D0%9B1_%D0%A0%D0%A2%20%D1%82%D0%B0%20%D0%9C%D0%A2.pdf
- [7] Когнітивна робототехніка для розширеного автоматизованого контролю [Електронний ресурс]. <https://www.comau.com/en/2024/02/26/comau-and-leonardo-leverage-cognitive-robotics-for-automated-inspection/>
- [8] Автоматизований контроль будівництва і моніторингу ходу будівництва [Електронний ресурс]. <https://www.mdpi.com/2673-4109/5/1/14>
- [9] Автоматизований контроль та інспекція якості [Електронний ресурс]. <https://facion.global/products-services/machinery-factory-automation-solutions/automated-quality-control-and-inspection/>
- [10] Збір інформаційних візуальних даних [Електронний ресурс]. <https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-015-0029-z>
- [11] Автономність роботів [Електронний ресурс]. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0>

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

[%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82](#)

[12] Акселерометр [Електронний ресурс]. https://futurenow.com.ua/shho-take-akselerometr-osnovy/#google_vignette

[13] Тенденція роботів [Електронний ресурс]. <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/3/100>

[14] Найбільший робот гексапод у світі [Електронний ресурс]. <https://www.techinsider.ru/popmem/1576997-yutubery-sozdali-samogo-bolshogo-shestinogogo-robota-v-mire-im-mozhet-upravlyat-odin-chelovek/>

[15] Супер-міні серво GH-S37A [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/prod285-syper-mini-servo-gh-s37a-9mm>

[16] Підводний робот і його компоненти [Електронний ресурс]. <http://robotrends.ru/robopedia/podvodnye-roboty-dlya-raboty-na-dne>

[17] Приклади кінематичних схем [Електронний ресурс]. <https://studfile.net/preview/15385245/page:9/>

[18] Одноплатний комп'ютер [Електронний ресурс]. https://uk.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi

[19] Модуль GY-906 [Електронний ресурс]. <https://www.mini-tech.com.ua/ua/gy-906-bezkontaktniy-infrakrasnyiy-termometr-mlx90614>

[20] Датчик відстані [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/ru/prod182-ultrazvykovoii-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04>

[21] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – с. 152-153.

[22] ШІМ: емуляція аналогових контактів на платі Arduino [Електронний ресурс]. <https://www.hwlibre.com/uk/pwm/>

[23] Альтернативна енергетика [Електронний ресурс]. https://moesonce.com/sonyachna/sonyachnistancii-na-zemli-perevagi-ta-nedoliki.html#google_vignette

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП ПМ-01 06.1760.001				

