Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення апаратного комплексу робота-гексапода
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ-22-1
Максим РАШИН
(власне ім'я прізвище)
Спеціальності 151 Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)
Керівник ас. Роман СТРІЛЕЦЬ
(посада, власне ім'я прізвище)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАРБІ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я прізвище)

2026р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКІТС
Кафедра КІТАРБІ
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КІТАРБІ _____
(підпис)
«__» ___ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Рашину Максиму Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення апаратного комплексу робота-гексапода
затверджена наказом по університету від " 04 " червня 2026р. № 473 Ст
2. Термін подання студентом роботи " 17 " липня 2026р.
3. Вихідні дані до роботи
3.1 Живлення – акумулятори 21700;
3.2 Плата керування – Arduino Mega;
3.3 Raspberry Pi;
3.4 TowerPro SG90;
3.5 Fusion 360.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
4.1 Вступ;
4.2 Аналіз предметної області;
4.3 Вибір електронних компонентів для реалізації апаратного комплексу робота-гексапода;
4.4 Розробка конструкції робота-гексапода
4.5 Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці;
4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний матеріал у вигляді презентації – 12 арк. ф. А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз конструкції робота-гексапода	28.04 – 04.05.25	виконано
2	Вибір електронних компонентів для реалізації робота-гексапода	05.05 – 14.05.25	виконано
3	Розробка 3D-моделі робота-гексапода	15.05 – 31.05.25	виконано
4	Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці	01.06 – 10.06.25	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	11.06 – 14.06.25	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-системою StrikePlagiarism	15.06 – 17.06.25	виконано
7	Подання роботи на рецензію	18.06 – 20.06.25	виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	21.06 – 23.06.25	виконано
9	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.06.25	виконано

Дата видачі завдання 27.04.2026р.

Здобувач _____ Максим РАШИН
(підпис)

Керівник роботи _____ ас. Роман СТРІЛЕЦЬ
(підпис) (посада, власне ім'я прізвище)

Я, Рашин Максим Євгенович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«06» липня 2026 р.  Максим РАШИН

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 с., 1 табл., 60 рис., 1 дод., 28 джерел.

РОБОТ, ARDUINO, FUSION360, СЕРВОПРИВІД, RASPBERRY PI, ДАТЧИКИ, ГЕКСАПОД, МОДЕЛЮВАННЯ.

Метою роботи – підвищення обробки інформації за рахунок розробки апаратного комплексу робота-гексапода спрямованого на забезпечення стабільного пересування, адаптації до нерівної поверхні та ефективного керування рухами за рахунок оптимізації апаратної архітектури та системи керування..

Об’єкт розробки – процес функціонування та управління багатоногими мобільними роботами (гексаподами) в умовах змінного середовища та різних типів поверхонь.

Предмет розробки – апаратний комплекс робота-гексапода, включаючи конструкцію, приводи (серводвигуни), сенсорну систему, мікроконтролерне керування та їх вплив на стабільність, точність руху, енергоефективність і прохідність робота.

В роботі проведено аналіз типів робототехнічних систем, їх будови. Проведено вибір електронних компонентів для реалізації апаратного комплексу робота-гексапода. Побудовано загальна блок-схема гексапода. Розроблено 3D-модель конструкції гексапода. Проведено заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці в лабораторії де виконувалася кваліфікаційна робота.

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

ABSTRACT

Explanatory note: 57 pages, 1 table, 60 figures, 1 appendix, 28 references.

ROBOT, ARDUINO, FUSION360, SERVO DRIVE, RASPBERRY PI, SENSORS, HEXAPOD, MODELING.

The purpose of this work is to design and develop a hardware complex for a hexapod robot aimed at ensuring stable locomotion, adaptation to uneven surfaces, and efficient motion control through the optimization of the hardware architecture and control system.

The object of development is the process of operation and control of multi-legged mobile robots (hexapods) in changing environments and on various types of surfaces.

The subject of development is the hardware complex of a hexapod robot, including its structure, actuators (servo motors), sensor system, microcontroller-based control, and their impact on the robot's stability, motion accuracy, energy efficiency, and terrain mobility.

The work includes an analysis of different types of robotic systems and their structures. Electronic components for implementing the hardware complex of the hexapod robot were selected. A general block diagram of the hexapod was developed. A 3D model of the hexapod structure was designed. Measures and calculations were carried out to ensure safe working conditions in the laboratory where the qualification work was performed.

The obtained results can be related to Sustainable Development Goal 9 "Industry, Innovation and Infrastructure," particularly to target 9.4 "Development of high-tech mechanical engineering."

ЗМІСТ

Перелік скорочень 8
Вступ 9
1 Аналіз предметної області 11
1.1 Огляд та аналіз робототехнічних систем 11
1.2 Аналіз будови робота-гексапода 19
1.3 Датчики що використовуються у роботі-гексаподі 23
2 Вибір електронних компонентів для робота-гексапода 26
2.1 Вибір електронних компонентів для побудови робота-гексапода 26
2.2 Побудова схеми з’єднання 36
3 Розробка конструкції робота-гексапода 38
3.1 Розробка 3D-моделі робота-гексапода 38
3.2 Теорія автоматичного управління 48
3.3 Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці 49
Висновки 53
Перелік джерел посилання 54
Додаток А Демонстраційний матеріал 57

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БД – база даних;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

ОЗП – оперативно-запам’ятовуючий пристрій;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп’ютер;

ЧПК – числове програмне керування;

DDL – Direct Diode Laser (прямий діодний лазер).

ВСТУП

На сьогодні робототехніка набуває широкого розповсюдження та використання, зокрема з’явилася потреба у мобільних роботах, що будуть долати складні перешкоди. Таким роботом є робот-гексапод, що має шість рухомих кінцівок, який може долати перешкоди і виконувати запрограмовані функції.

Завдяки високій маневреності роботи-гексаподи знаходять застосування під час проведення пошуково-рятувальних операцій, обстеження аварійних та зруйнованих об'єктів, моніторингу промислових підприємств, виконання військових завдань, дослідження важкодоступних територій, а також у сільському господарстві, геології та екологічному моніторингу.

Особливої актуальності набуває використання роботів-гексаподів у контексті розвитку концепцій «Індустрія 4.0» та «Роботизовані автономні системи», де мобільні роботи застосовуються для автоматизації виробничих процесів, інспектування технологічного обладнання, контролю стану інженерних мереж та виконання регламентних робіт у небезпечних умовах.

Метою роботи – підвищення обробки інформації за рахунок розробки апаратного комплексу робота-гексапода спрямованого на забезпечення стабільного пересування, адаптації до нерівної поверхні та ефективного керування рухами за рахунок оптимізації апаратної архітектури та системи керування.

Об’єкт розробки – процес функціонування та управління багатоногими мобільними роботами (гексаподами) в умовах змінного середовища та різних типів поверхонь.

Предмет розробки – апаратний комплекс робота-гексапода, включаючи конструкцію, приводи (серводвигуни), сенсорну систему, мікроконтролерне керування та їх вплив на стабільність, точність руху, енергоефективність і прохідність робота.

Для досягнення окресленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

– дослідити типи роботів;

– визначити основні елементи конструкції;

– розробити блок-схему робота-гексапода;

– розробити 3D-модель робота-гексапода;

– втілити заходи і розрахунки для забезпечення умов безпечної праці.

Пояснювальну записку оформлено згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], а також з рекомендаціями з підготовки і оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [2-3].

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд та аналіз робототехнічних систем

На сьогодні розвиток робототехнічних систем зумовлений стрімким розвитком технологій та зростаючим вимогам до ефективності, точності та безпеки у різних сферах діяльності. Розробка робототехнічних систем забезпечує автоматизацію виробничих процесів, підвищуючи продуктивність і зменшуючи вплив людини на процеси. Важливість цього обумовлено збільшенням глобальної конкуренції та оптимізації витрат.

Робототехнічні системи дозволяють виконувати складні та небезпечні завдання, де людина може зазнати шкоди тим самим зменшуючи небезпеку людей в процесі робіт. Такими сферами можуть бути військові операції, робота в умовах радіації та ін. Мобільний робот-маніпулятор зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Мобільний робот-маніпулятор

Одним з напрямків використання робототехнічних систем є інтеграція з

концепціями Інтернет речей та «Industry 4.0», що дає можливість для створення «розумних» виробництв.

На сьогодні є багато різновидів роботів, також є загальноприйняті стандарти, що дають базову класифікацію для робототехнічної системи – ISO 8373:2021 [4]. Основними з них є:

– промислові роботи;

– сервісні роботи.

До промислових роботів відносяться робототехнічні системи що автоматично керуються, можуть перепрограмовуватися, що має три або більше осей [5]. Промисловий робот може бути як стаціонарним так і мобільним, що використовуються у промисловості. Промисловий робот зображений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Промисловий робот

Сервісні роботи використовуються як для професійних цілей так і особистих, що включає транспортування, обробку інформації тощо. На сьогодні їх використовують у сферах доставок, консультування, прибирання, медична сфера, тощо.

Сервісний робот зображений на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Сервісний робот

Промислові роботи також мають власну класифікацію. Вони класифікуються за характером операцій, а саме технологічними операціями, допоміжними та універсальними. До допоміжних відносяться роботи що виконують допоміжні операції з обслуговування устаткування та транспортно-складські операції[6].

За спеціалізацією є спеціальні, спеціалізовані та багатоцільові. Наступною класифікаційною ознакою є галузь застосування, що поділяється на ливарні, ковальсько-пресове, складання, зварювання та ін. Роботів також розрізняють за системою координат, що використовуються для координатних переміщень, а саме декартова система, полярна та полярна складна [7]. Схематичне зображення переміщень у різних системах координат зображено на рисунку 1.4.

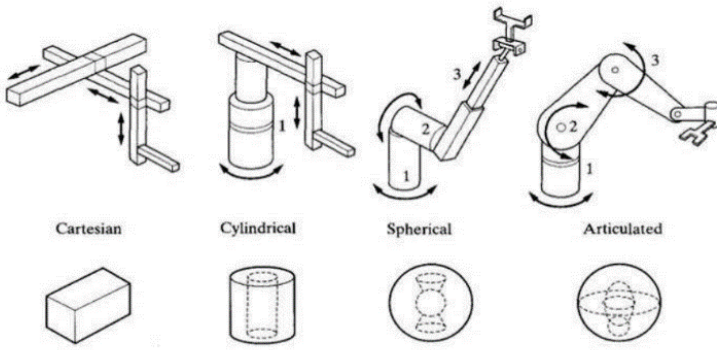


Рисунок 1.4 – Переміщення у різних системах координат

Наступним є класифікація за числом ступенів свободи, де може бути одна ступінь, дві ступені та більше трьох ступенів. Ступені свободи зображені на рисунку 1.5.

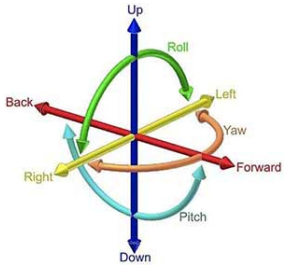


Рисунок 1.5 – Ступені свободи робота

За вантажопідйомністю вони розрізняються від 1кг до понад 1000кг.

Промислові роботи можуть бути як мобільними так і стаціонарними. А за типом силового приводу розрізняють електромеханічні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані [8].

За характером відпрацювання програми є жорсткопрограмовані, адаптивні та гнучкопрограмовані. І останнім з основних класифікацій роботів є класифікація за характером програмування швидкостей та дискретних переміщень.

Класифікація промислових роботів зображена на рисунку 1.6.

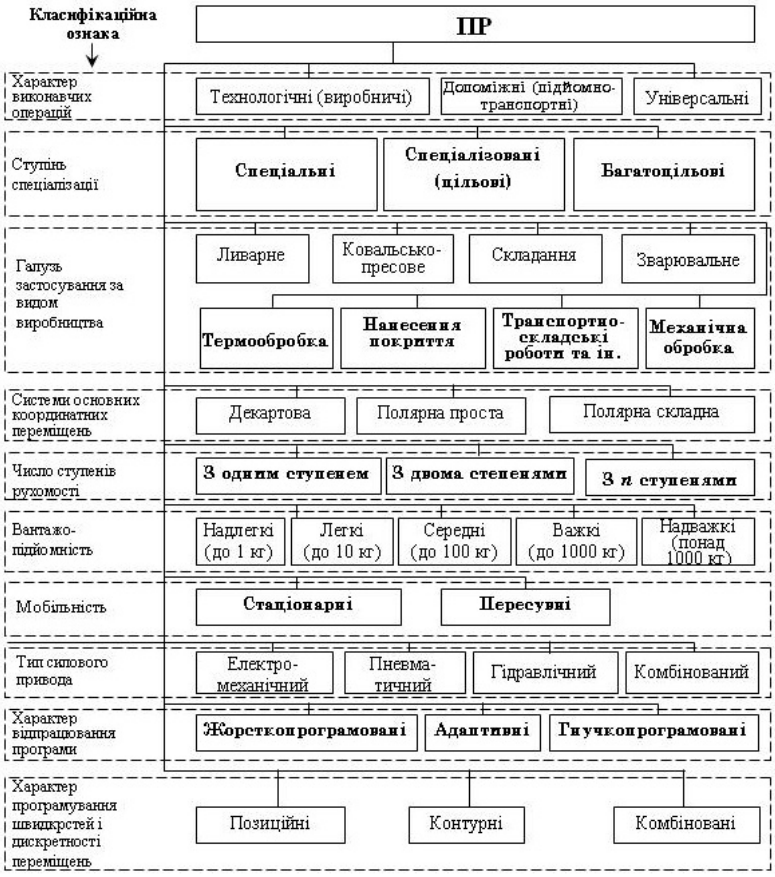


Рисунок 1.6 – Класифікація промислових роботів

Однак наведена вище класифікація не є вичерпною через швидкий розвиток технологій виробництва роботів та знаходження нових сфер використання.

Окремо варто навести класифікацію роботів за способом пересування:

– колісні;

– гусеничні;

– крокуючі;

– літаючі;

– плаваючі;

– гексаподи.

Колісні роботи є найбільш поширеними на сьогодні через простоту побудови колісної бази, має високу швидкість переміщення та низьку ціну [9]. Колісний робот зображений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Колісний робот

Гусеничні роботи є другими по популярності, гусениці у порівнянні з колесам дають більшу прохідність при досить низькій ціні та складності виробництва. Особливостями такої будови є можливість рівномірного розподілу ваги на поверхню, зменшення тиску на ґрунт та покращене зчеплення [10]. Недоліками є менша швидкість у порівнянні з колісною будовою, більше енергоспоживання.

Гусеничний робот зображений на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Гусеничний робот

Крокуючі роботи розроблені з використанням рухомих опор, зазвичай вони подібні до тварин або людини. Досить складний для програмування та збірки, що не зменшує його популярність серед розробників. Серед переваг досить велика прохідність, гнучкість та адаптивність до різних умов. Недоліками є складна конструкція та керування, високе енергоспоживання, нижча швидкість, висока вартість. Крокуючий робот зображений на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Крокуючий робот

До літаючих роботів відносяться дрони, що переміщуються за допомоги двигунів з пропелерами. Можуть мати форму подібно до літака. Частіше за всього використовуються для транспортування. Перевагами є швидке пересування та доступ до важкодоступних місць, висока гнучкість застосування та можливість автономного польоту [11]. Недоліками є високе енергоспоживання і високі вимоги до ваги елементів конструкції, чутливість до погодних умов, необхідність встановлення систем стабілізації конструкції.

Такий робот зображений на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Літаючий робот

Плаваючий робот може мати різні види будови, бути як надводним так і підводним. Має конструктивні особливості у вигляді герметичного корпусу, використання систем баласту для підводних роботів та специфічних сенсорів, що використовуються саме в морських дронах, а саме сонари, датчики тиску, тощо. Використання такого робота обмежене водним середовищем [12]. Недоліками таких роботів є складність керування під водою, високий вплив зовнішнього середовища на конструкцію робота, що потребує спеціальних підходів до розробки таких роботів, висока вартість. Сферами використання таких роботів є зазвичай океанографія, нафтогазова галузь, рятувальні операції. Такий робот зображений на рисунку 1.11.

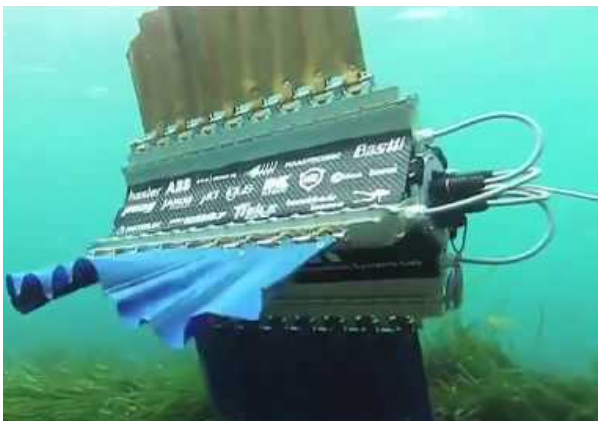


Рисунок 1.11 – Плаваючий робот

Робот-гексапод є різновидом крокуючих роботів, має шість ніг, які використовуються для пересування. Така будова запозичена від комах, і забезпечує високу стійкість руху та надійність у складних умовах. Перевагами такої будови є висока стійкість, що забезпечує пересування у випадках порушення роботи декількох ніг, висока прохідність, а саме здатність долати перешкоди як приклад можна навести можливість переміщуватися по сходам, висока гнучкість, та стабільність без необхідності балансування. Недоліками є складність конструкції, велика кількість приводів та нижча швидкість. Такий робот зображений на рисунку 1.12.

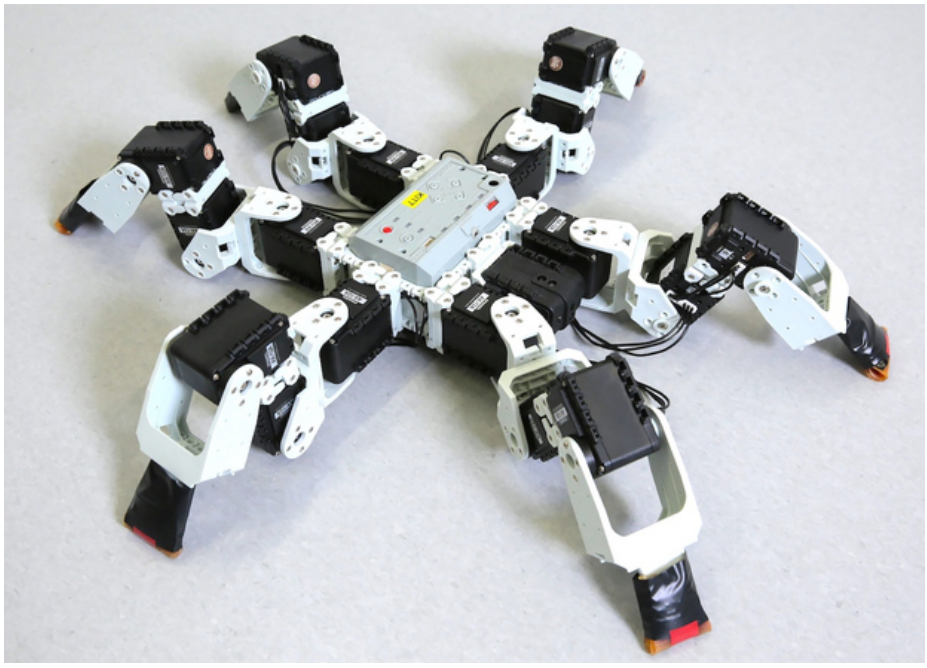


Рисунок 1.12 – Робот-гексапод

1.2 Аналіз будови робота-гексапода

На сьогодні роботи-гексаподи можуть мати різні конструкції, але основні елементи залишаться незмінними. Це корпус, який включатиме в себе основні електронні компоненти, такі як плата керування, датчики та сервоприводи. В залежності від конструкції може бути виготовленим як з металу так і з пластику. Робот-гексапод з металевою рамою зображений на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Робот-гексапод з металевою рамою

На сьогодні досить популярним стало виготовлення корпусів з пластику на 3D-принтері. Корпус забезпечує жорсткість всієї конструкції. Може бути як відкритим у вигляді тонкого листа так і бути закритим. Гексопод з відритим корпусом зображений на рисунку 1.14.

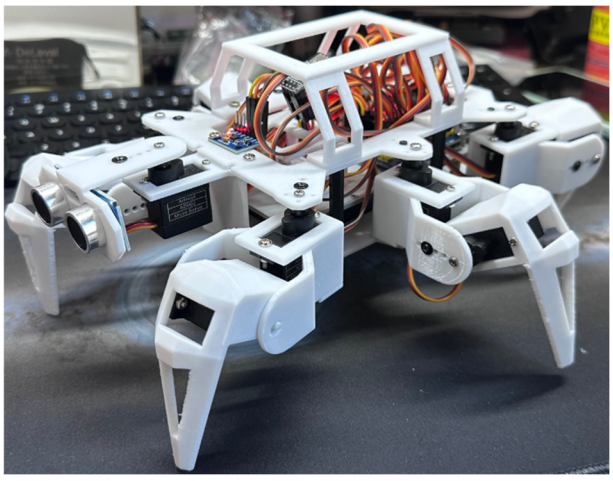


Рисунок 1.14 – Робот-гексапод з відритим корпусом

До корпусу гексапода висуваються наступні вимоги:

– висока жорсткість, що забезпечує мінімальну деформацію при навантаженні;

– мінімальна вага, що зменшить навантаження на приводи;

– використання конструкції з рівномірним розподілом маси, для збереження балансу конструкції;

– висока міцність конструкції.

Наступним основним елементом є кінцівки робота, що забезпечують сам процес переміщення. Зазвичай мають три ступені свободи та складаються з трьох сегментів, що керуються сервоприводами. Першим сегментом є так званий «стегно», він кріпиться до рами та забезпечує рух в горизонтальній площині. Другий сегмент – так зване «коліно», забезпечує рух вгору-вниз і третій сегмент – «ступня» забезпечує витягування ноги. Всі ці сегменти повторюють будову кінцівок комах. Три ступені свободи робота-гексапода зображено на рисунку 1.15.

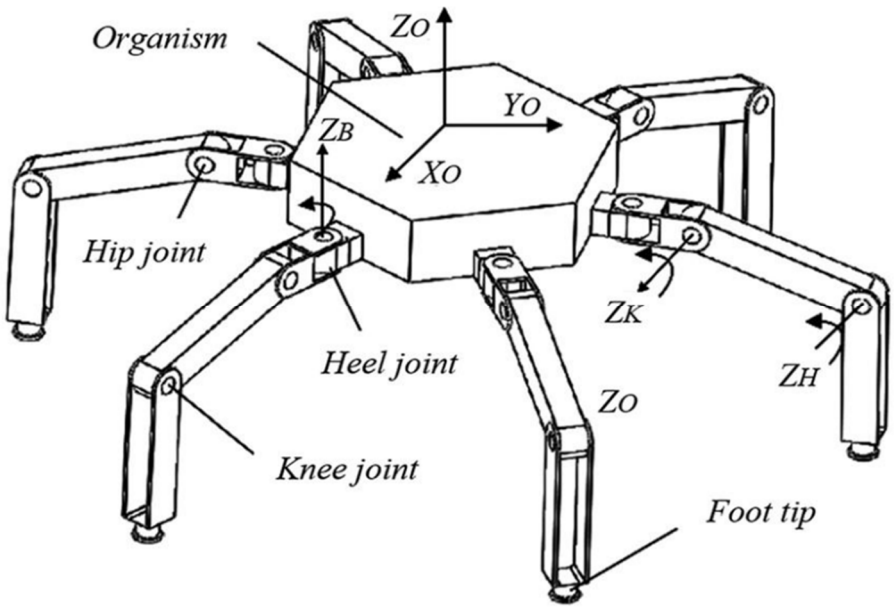


Рисунок 1.15 – Можливості переміщення кінцівок робота-гексапода

В якості приводів, що забезпечують рух кінцівок можуть бути:

– крокові двигуни;

– сервоприводи;

–гідравлічні приводи.

Крокові двигуни здійснюють кутове переміщення за допомоги кроків, тобто мінімального переміщення на 1.8° або 0.9° за один крок. Для їх використання необхідне встановлення драйверів крокового двигуна, що також може поділити кроки двигуна на мікрокроки, таким чином драйвер ділить мінімальний крок ще на 256 мікрокроків тим самим забезпечуючи точне переміщення. Недоліком такого двигуна є те, що він не має зворотнього зв’язку і не може контролювати власне положення. Таким чином при перевантаженні цей двигун може втрачати кроки та інформацію про власне положення. Крокoвий двигун зображений на рисунку 1.16.



Рисунок 1.16 – Крокoвий двигун

Також ще одним недоліком можливо назвати великі розміри двигуна у порівнянні з сервоприводом подібної потужності. В загальному вигляді двигуни розподіляються по розмірам від Nema 14 до Nema 48, де 14 це габаритний розмір фланця двигуна і становить 35 мм. Потужність двигуна також залежить від розмірів, так як збільшується розмір ротора, тим самим збільшуючи крутний момент, також зі збільшенням розмірів збільшується кількість витків в обмотках. Тим самим також збільшуючи крутний момент.

Наступним елементом, що виконує переміщення гексапода є сервоприводи. Вони складаються з електродвигуна, редуктора та потенціометра. Потенціометр використовується для визначення кута положення вала двигуна.

Загальна будова зображена на рисунку 1.17.

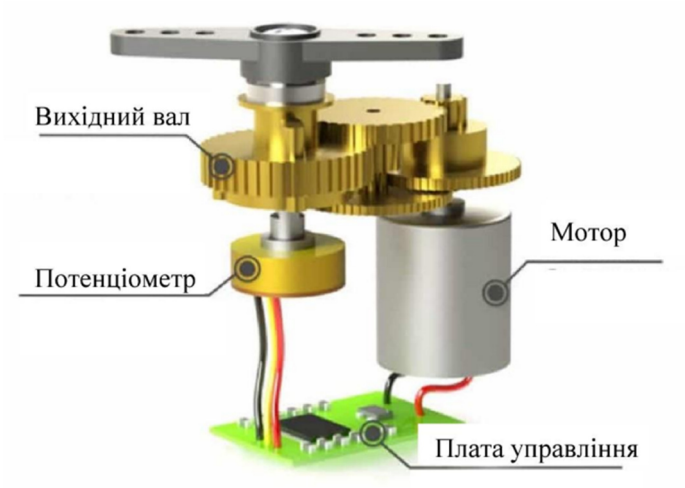


Рисунок 1.17 – Будова сервопривода

Плата управління формує керуючий сигнал для двигуна та визначає помилку у положенні вала а саме різницю між заданим положенням та фактичним, що визначений за допомоги потенціометра.

Перевагами такого типу приводів є висока точність положення та повторюваність, наявність зворотнього зв’язку, що формується за допомоги потенціометра, компактність.

Недоліками є складніша будова у порівнянні з кроковими двигунами, складність налаштування та потреба у корегуванні ПІД регулятора під визначене навантаження.

Сервопривід зображений на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Сервопривід Servo Tower Pro 9g SG90

1.3 Датчики що використовуються у роботі-гексаподі

На сьогодні робототехнічні системи не можуть обходитися без зв’язка з зовнішнім світом, таким зв’язком виступають датчики. Вони можуть мати зовсім різні принципи роботи. Виділяють наступні датчики, що використовуються в робототехніці:

– датчики відстані та визначення перепон;

– датчики положення та орієнтації;

– тактильні та силові датчики;

– датчики зовнішнього середовища.

Датчики відстані та визначення перепон слугують для орієнтування робота у просторі, уникнення зіткнення з перешкодами та побудова карти навколишнього простора.

До таких датчиків входять інфрачервоні, ультразвукові датчики та лідари.

Інфрачервоні датчики за рахунок теплового випромінювання від об’єктів виявляють наявність цих об’єктів, та вимірюють відстань до них. Інфрачервоний датчик зображений на рисунку 1.19.

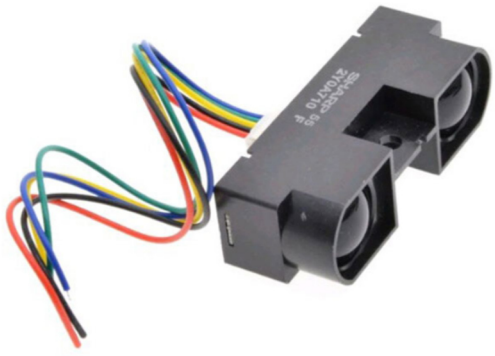


Рисунок 1.19 – Інфрачервоний датчик відстані

Ультразвукові датчики вимірюють відстань до об’єктів за рахунок випромінювання звукових хвиль з фіксуванням часу їх відбиття від об’єкту. Такі датчики фіксують об’єкти на відстані до 450 см та точністю в середньому до 3 мм.

Перевагами таких датчиків є можливість детекції прозорих об’єктів, відсутність залежності від освітлення. Недоліками є зниження точності при роботі з м’якими матеріалами та матеріалами, що поглинають звуки або під певним кутом. Такий датчик зображений на рисунку 1.20.



Рисунок 1.20 – Ультразвуковий датчик наближення

Лідари використовують лазерні імпульси, вимірюючи час їх повернення до приймача. Таким чином будуються карти приміщень, виявлення перешкод та руху.

Відображення лідаром приміщення зображено на рисунку 1.21.



Рисунок 1.21 – Результат сканування лідаром

Можуть як сканувати площини так і 3D об’єкт. Лідар зображений на рисунку 1.22.



Рисунок 1.22 – Лідар

Датчики положення визначають положення робота у просторі. До нього можливо віднести GPS, гіроскопи.

GPS використовується для визначення положення робота на відкритій території. Недоліком такого датчика є неефективність визначення положення в приміщеннях. Датчик GPS зображений на рисунку 1.23.

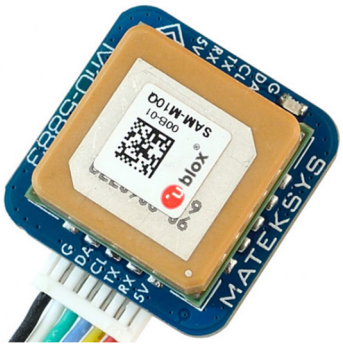


Рисунок 1.23 – Датчик GPS

Гіроскоп визначає кутові зміни орієнтації, нахил та поворот у просторі. Гіроскоп у поєднанні з акселерометром зображений на рисунку 1.24.



Рисунок 1.24 – Датчик MPU6050

2 ВИБІР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОБОТА-ГЕКСАПОДА

2.1 Вибір електронних компонентів для побудови робота-гексапода

Для подальшого визначення необхідних електричних компонентів, що забезпечать повну функціональність робота-гексапода необхідно вказати основні функціональні елементи робота.

Таким чином у робота-гексапода є наступні функціональні елементи:

– плата керування;

– живлення;

– сервоприводи для виконання переміщення;

– датчики;

– засоби керування.

Структурна схема робота-гексапода зображена на рисунку 2.1.

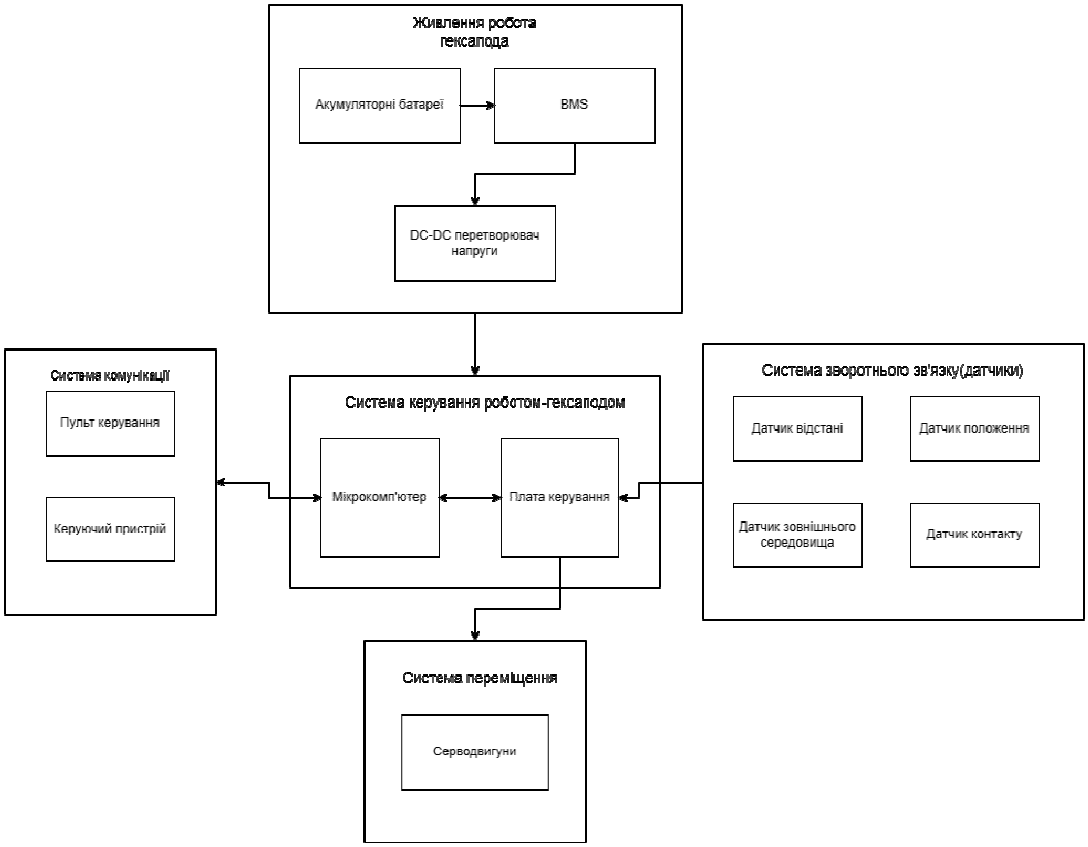


Рисунок 2.1 – Структурна схема робота-гексапода

Плата керування виконує основні обчислювальні функції на основі отриманої від датчиків інформації, керує периферією у вигляді сервоприводів та має людино-машинний інтерфейс для виконання заданих операцій.

На сьогодні є великий вибір як готових плат так і контролерів, що дозволять на їх основі розробити плати керування. Основними готовими платами є Arduino які в залежності від кількості периферій та складності прошивок мають декілька версій від Arduino Nano [13], що має 14 цифрових входів/виходів, 8 аналогових входів та роз'єм Mini USB для обміну даними з комп'ютером. В якості мікроконтролера використовується 8-бітний ATmega328P. Напруга живлення такої плати становить від 7В до 12В. Flash пам'ять такого контролера становить 32Кб. Доцільність використання цієї плати повинна враховувати кількість серводвигунів, що будуть під'єднуватися до цієї плати, так як в загальному вигляді у робота гексапода використовується 18 сервоприводів, що відповідають тільки за переміщення робота. Таким чином ця налагоджувальна плата не є гарним вибором для використання в роботі гексаподі.

Arduino Nano зображена на рисунку 2.2.

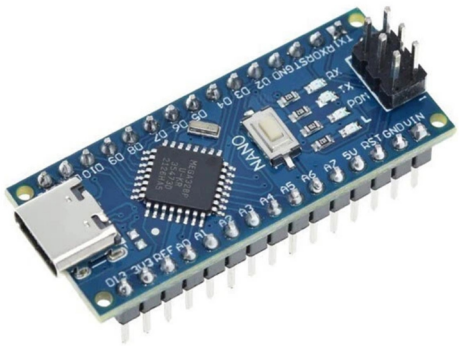


Рисунок 2.2 – Налагоджувальна плата Arduino Nano

Наступною платою що може використовуватися для керування роботом є Arduino Uno [14]. Ця плата є схожою до Nano, відмінністю є розміри, наявність у Uno роз'єму для зовнішнього живлення, менше аналогових входів ніж у Nano, що становить всього 6 від A0 до A5. Використання в роботі-гексаподі є також недоцільним. Arduino Uno зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Arduino Uno

Останньою платою Arduino є Arduino Mega 2560 [15]. Ця плата побудована на основі мікроконтроллера ATmega 2560, що включає в себе 54 цифрових входів/виходів, 16 аналогових входів, має окремий роз'єм живлення, 4 інтерфейси UART, об'єм Flash пам'яті становить 256 Кб. Напруга живлення становить від 7 до 12 В. Arduino mega 2560 зображена на рисунку 2.4.

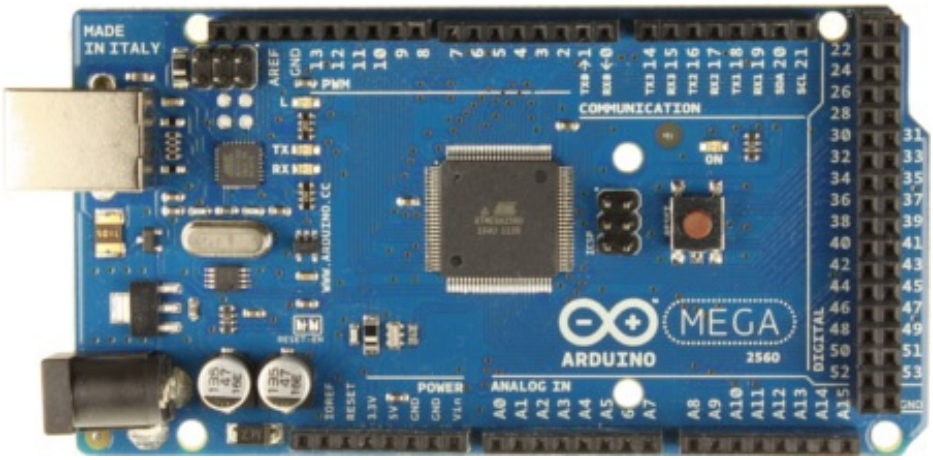


Рисунок 2.4 – Arduino Mega 2560

Так як ця плата має багато виходів, а саме 54 цифрових входів/виходів та 16 аналогових входів, та досить великий розмір Flash пам'яті, що дозволить завантажувати складні прошивки, таким чином цю плату можливо використовувати для побудови робота-гексапода.

Також необхідно розглянути плати, що будуть аналогами Arduino Mega 2560

для знаходження оптимального варіанту.

Першим аналогом, що можливо використати в роботі-гексаподі є ESP-32 [16], це плати що побудовані на 32-х бітних процесорах Xtensa LX6, що можуть мати як одноядерне виконання так і двоядерне. Процесор включає в себе підтримку Wi-Fi та Bluetooth.

Особливостями цих процесорів є дуже низьке споживання(до 20мкА) в сплячому режимі. Такі процесори мають декілька різновидів, що відрізняються внутрішньою Flash пам’яттю, а саме: ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, ESP32-D0WD, ESP32-D0WDQ6 – взагалі не мають Flash пам’ять. ESP32-D0WDR2-V3 – має 2 Мб внутрішньої пам'яті PSRAM. ESP32-U4WDH має 4 Мб внутрішньої флеш-пам'яті та ESP32-S0WD – не має внутрішньої флеш-пам'яті та має лише одне ядро процесора Tensilica Xtensa LX6.

Цей процесор має 34 виходи GPIO, що можуть керувати периферією, три UART, два I2C, чотири SPI, два I2S, CAN, 18 АЦП(12-біт) та 2 ЦАП(8-біт). Частота процесора становить до 240 Мгц, ОЗУ – 520 Кб. Налагоджувальна плата на основі процесора ESP зображено на рисунку 2.5.

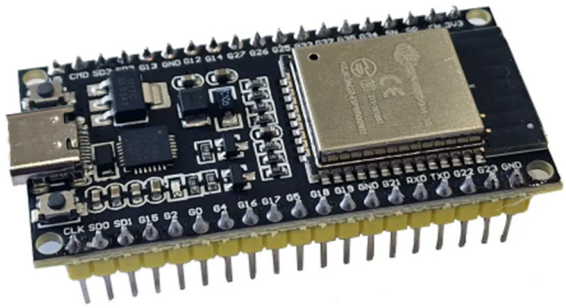


Рисунок 2.5 – ESP 32 WROOM-32

У порівнянні з Arduino Mega 2560, ESP 32 має більше можливості для керування робота-гексапода. Недоліками такої плати є високе споживання енергії в робочому режимі. Використання процесора замість мікроконтролера потребує більш складних прошивок, які б враховували наявність декількох ядер в процесорі. Були апаратні недоліки в перших версіях що робили неможливе використання периферії, яка потребувала 5В.

Наступним рішенням, що може використовуватися для керування роботом може бути RP2040 [17]. Це мікроконтролер, що має двоядерний процесор Arm Cortex-M0+ з частотою до 133 МГц та 264 Кбайт вбудованої оперативної пам’яті. В ньому відсутня Flash пам’ять, а програми запускаються на зовнішній пам'яті (до 16 Мб) через шину QSPI. В загальному вигляді ці мікроконтролери зазвичай використовуються в платах Pi Pico H. Таким чином цей мікроконтролер має:

– два ядра Arm Cortex-M0+ @ 133 МГц;

– 264 КБ оперативної пам'яті;

– підтримку до 16 МБ зовнішньої Flash-пам'яті;

– DMA контролер;

– чотири 12-розрядних АЦП.

– вбудований сенсор температури;

– два інтерфейси UART;

– два інтерфейси SPI;

– два інтерфейси I2C;

– 16 PWM каналів;

– 30 GPIO виводів;

– два PIO блоки для власних інтерфейсів;

– два PLL;

– підтримка інтерфейсу SWD для завантаження та налагодження;

– підтримка сплячих режимів та зниженої частоти для зниження споживання.

Raspberry Pi Pico H зображено на рисунку 2.6.

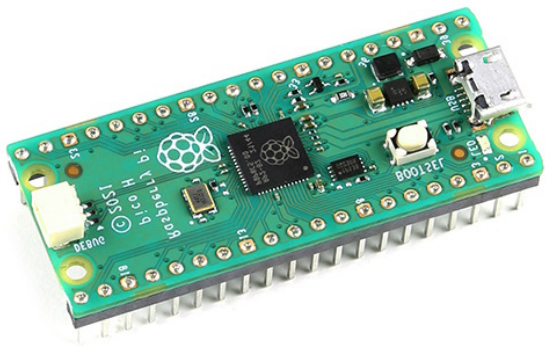


Рисунок 2.6 – Raspberry Pi Pico H

Недоліками такої плати є невелика кількість керуючих виходів, складність програмування прошивки та висока вартість.

Останнім рішенням що можливо використати для керування роботом-гексаподом є Raspberry Pi. Це сімейство мікрокомп’ютерів, що включають в себе піни GPIO, які можуть використовуватися для керування периферією. Першим з таких мікрокомп’ютерів є Raspberry Pi Zero 2 W [18], яка має найменші розміри з усіх інших мікрокомп’ютерів. Обладнана така плата 64-бітним процесором Arm Cortex-A53 з тактовою частотою 1 ГГц з 512 Мб оперативної пам'яті. Плата містить WiFi 2,4GHz IEEE 802.11b/g/n, Bluetooth 4.2, слот для карт пам'яті microSD, порт mini HDMI для монітора, роз'єм для камери CSI-2, порт USB On-The-Go (OTG), роз'єм micro USB для живлення і нерозпаяний 40-контактний роз'єм GPIO. Ця плата зображена на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Raspberry Pi Zero 2W

Більш вдосконаленою версією є мікрокомп’ютери від Raspberry Pi 2 до найбільш сучасної Raspberry Pi 5 [19]. Pi 5 має 4-х ядерний 64-бітний Arm Cortex-A76 BCM2712 з графічним процесором VideoCore VII, ОЗП LPDDR4X-4267 SDRAM з версіями на 4 Гб та на 8 Гб, дводіапазонний Wi-Fi, Bluetooth, 2 порти USB 3.0, 2 порти USB 2.0 та 40 контактів GPIO. Як і попередній мікрокомп’ютер, працює під керуванням операційної системи Linux, що розроблена спеціально для цих мікрокомп’ютерів. Живлення мікрокомп’ютера становить 5В та 3А.

Цей мікрокомп’ютер зображений на рисунку 2.8.

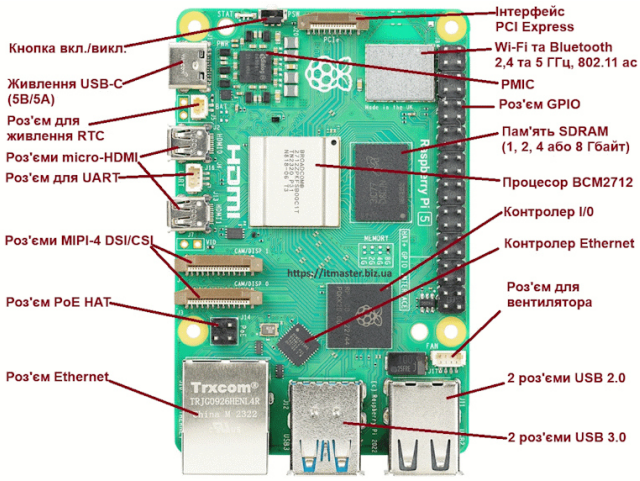


Рисунок 2.8 – Raspberry Pi 5

Таким чином в якості плати керування доцільно використовувати мікрокомп’ютер Raspberry Pi 5 в якості центру обчислень робота та ESP 32 або Arduino Mega 2560 в якості плати керування, через наявність в них достатньої Flash пам’яті для завантаження прошивок, які б підтримували всі основні функції та достатньої кількості цифрових та аналогових входів/виходів, що дозволять підключити всі датчики та сервоприводи.

Наступним основним елементом є датчики, а саме датчики відстані, положення, зовнішнього середовища та контакту.

На сьогодні є велика кількість датчиків відстані, вони відрізняються за типами – ультразвукові, інфрачервоні та лазерні [20]. Також вони відрізняються розміром похибки при вимірювання а саме: найбільш поширені ультразвукові датчики (HC-SR04) мають похибку від 0.5 см до 1 см, що є достатнім для такого робота. Такий датчик зображений на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Інфрачервоні датчики використовуються зазвичай для вимірювання відстані від 20 до 150 см. Типовим інфрачервоним датчиком є датчик відстані SHARP 2Y0A21, що має дальність від 10 см до 80 см [21]. Він зображений на рисунку 2.10.

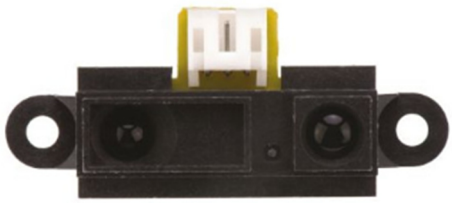


Рисунок 2.10 – Датчик відстані SHARP 2Y0A21

Лазерні датчики забезпечують високу точність на великих дистанціях а саме до 10 м, недоліком такого датчика є його висока ціна. Такими датчиками є лідари, що допомагають будувати карту місцевості [22]. Прикладом такого лідару є Benewake LiDAR TFmini-S, він зображений на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Лідар Benewake LiDAR TFmini-S

Таким чином в роботі-гексаподі доречно використати два датчика відстані, а саме ультразвуковий датчик HC-SR04 та датчик відстані SHARP 2Y0A21, тому що вони мають характеристики достатні для використання їх у роботі-гексаподі для обходу перешкод та побудови маршруту.

Датчик положення слугує для визначення положення робота у просторі, таким датчиком виступає акселерометр, що також крім прискорення може визначати орієнтацію робота у просторі. Також є модулі, що включають в себе не тільки акселерометр а й барометр, гіроскоп та компас. Для робота-гексапода

доречно використати саме акселерометр, через його універсальність та низьку ціну. Таким акселерометром є трьох осьовий акселерометр GY-61 ADXL335, що зображений на рисунку 2.12 [23].

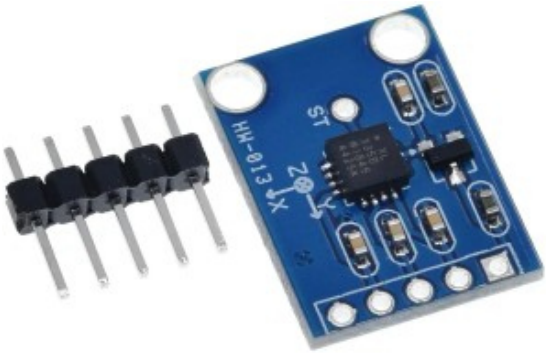


Рисунок 2.12 – Акселерометр GY-61 ADXL335

Датчики контакту зазвичай слугують для взаємодії з предметами за допомоги маніпулятора, такими датчиками є кінцеві вимикачі, що дають інформацію роботу про зіткнення або взаємодію з предметами, індукційні датчики, що взаємодіють з металами або сенсорні, що також сигналізують про контакт між об’єктом та роботом.

Датчики зовнішнього середовища зазвичай використовуються опціонально, в залежності від задач що покладаються на робота. Такими датчиками є датчики температури, тиску, вологості. Наприклад датчик температури DHT11, що вимірює температуру до 50°C та вологість повітря. Він зображений на рисунку 2.13.

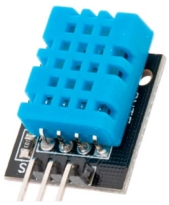


Рисунок 2.13 – Датчик DHT11

Останнім елементом є вибір сервоприводів, що будуть використовуватися для переміщення робота [24]. Вибір таких сервоприводів залежить від їх технічних характеристик та потенціального навантаження на робота. Сервоприводи мають

наступні технічні характеристики:

– робоча напруга;

– крутний момент;

– швидкість обертання вала;

– кутове переміщення.

Основним сервоприводом, що зазвичай використовуються в робототехніці є сервопривід Tower Pro SG90, він має робочу напругу до 6 В, швидкість 0.12 сек/60°, крутний момент становить до 2.5 кг*см [25]. Кут повороту становить 180°. Tower Pro SG90 зображений на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Сервопривід Tower Pro SG90

Аналогом Tower Pro SG90 є сервопривід від тієї ж компанії Tower Pro MG996R [26]. Він має робочу напругу до 7.2 В, швидкість обертання становить 0.14 с/60°, крутний момент для цього сервопривода становить до 11 кг*см, кут повороту 180°.

Його недоліком у порівнянні з попереднім сервоприводом є більша ціна, що у разі його використанні значно збільшить загальну ціну робота-гексапода через велику кількість сервоприводів. Tower Pro MG996R зображений на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Сервопривід Tower Pro MG996R

2.2 Побудова схеми з’єднання

Після вибору електронних компонентів, що будуть складати електронну частину робота-гексапода необхідно розробити схему підключення до вибраної плати керування вибраної периферії.

Таким чином схема підключення зображена на рисунку 2.16.

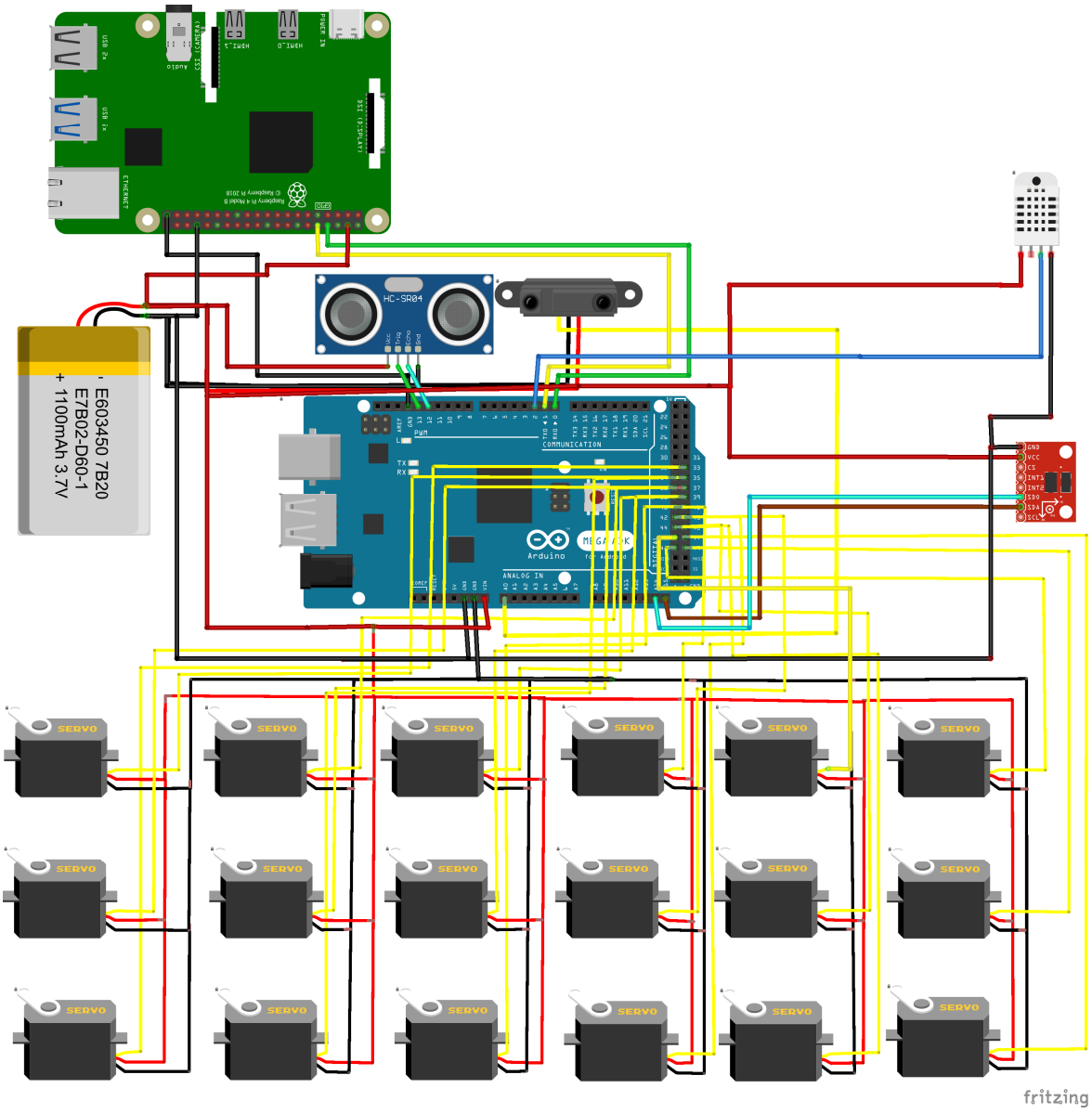


Рисунок 2.16 – Схема підключення електронних компонентів робота-гексапода

Raspberry Pi 4 за допомоги контактів GPIO а саме GPIO 15 та GPIO 14, які відповідають за інтерфейс UART а саме TX UART та RX UART керує Arduino Mega

2560. Живлення ж самого Raspberry Pi відбувається за допомоги 5V та GND на фізичних виводах.

Arduino Mega отримує живлення за допомоги пінів VIN та GND, дроти інтерфейсу UART від Raspberry підключено до пінів секції Communication а саме виводам RX0 та TX0.

Живлення 5V та GND від акумулятора на Raspberry Pi, Arduino, датчики та серводвигуни йдуть паралельно один одному.

Інформаційні виводи HC-SR04 підключено до секції PWM Arduino а саме 13 та 12 контакт.

SHARP 2Y0A21 інформаційним контактом підключено до секції Analog In Arduno, а саме A0.

Інформаційний вивід датчика температури DHT11 підключено до секції PWM, а саме до 2 контакту Arduino.

Акселерометр ADXL 345, контактами SDO та SDA підключено до секції Analog In а саме A14 та A15.

Керуючи виводи серводвигунів підключено до секції Digital, від 33 до 51 піна Arduino.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА-ГЕКСАПОДА

3.1 Розробка 3D-моделі робота-гексапода

Для розробки 3D-моделі гексапода необхідно розробити платформу, яка містила б всі основні електронні компоненти, а саме плату керування, мікрокомп’ютер та датчики. Для цього було взято вже готові 3D-моделі електронних компонентів. Ці компоненти зображені на рисунку 3.1.

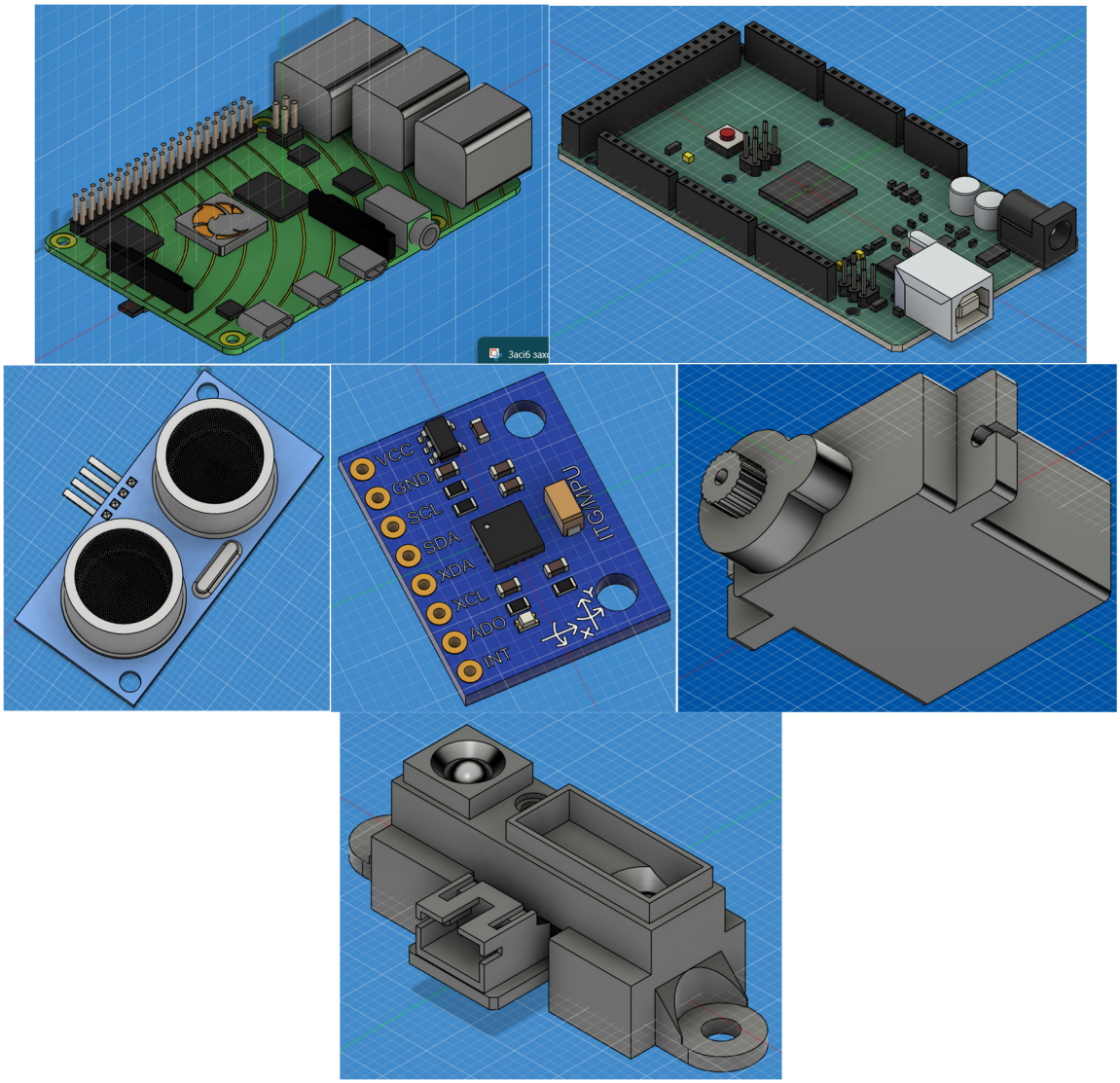


Рисунок 3.1 – Готові електронні компоненти для розробки робота-гексапода

Після додавання всіх електронних компонентів було виконано їх попереднє

компонування, результат якого зображено на рисунку 3.2.

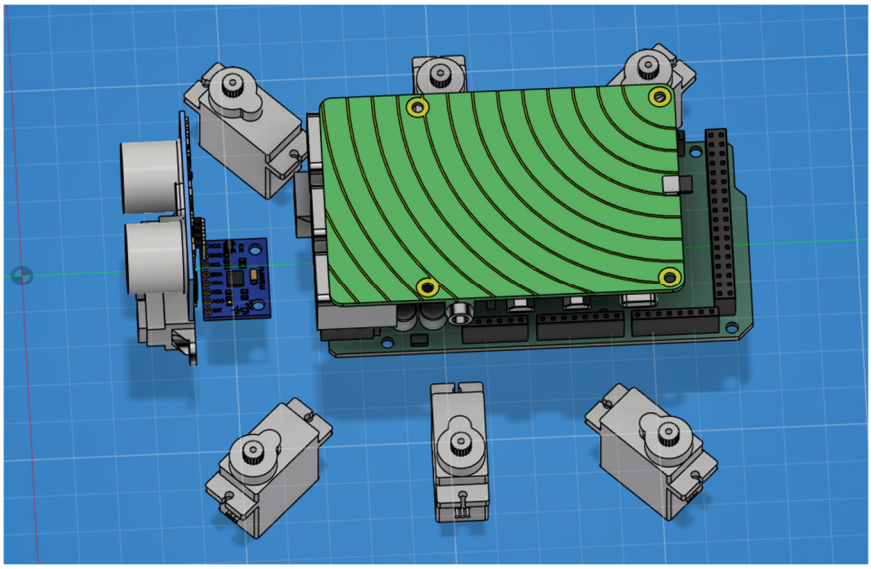


Рисунок 3.2 – Попереднє компонування електронних деталей

На основі компонування була побудована платформа, на якій розміщуються електронні компоненти. Вона складається з двох частин а саме нижньої, де розміщується плата керування, серводвигуни, акселерометр та датчик відстані. Нижня основа зображена на рисунку 3.3.

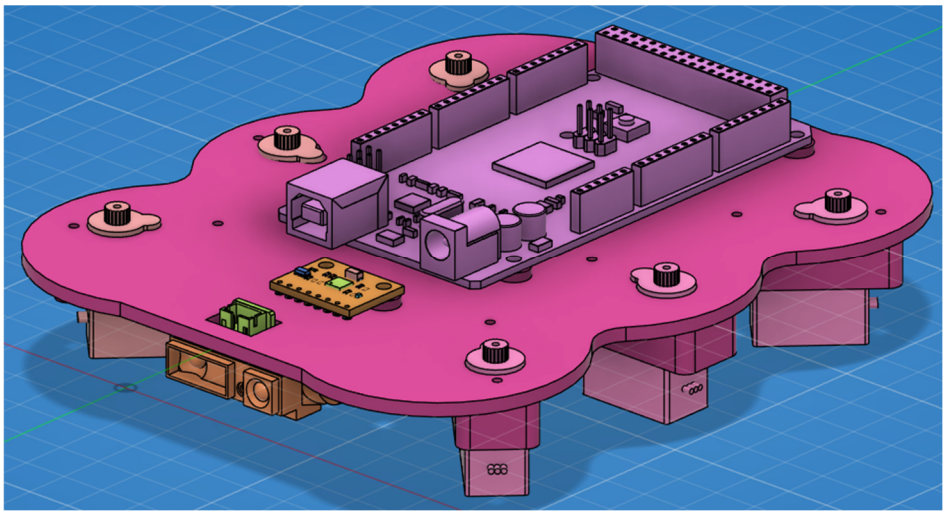


Рисунок 3.3 – Нижня основа робота-гексапода

Наступним етапом є розроблення кріплення ніг до платформи, так як загальна висота платформи з двох частин буде залежати саме від кріплення ніг гексапода.

В якості елемента, що буде передавати рух від серводвигуна на деталь є шестерня сервопривода, яка зображена на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Шестерня сервопривода

Таким чином на основній деталі було зроблено елемент, куди ця шестерня відповідно вставляється, що зображено на рисунку 3.5.

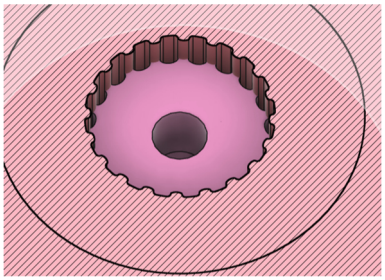


Рисунок 3.5 – Отвір під шестерню

Сама деталь, яка є першою складовою частиною ноги гексапода, зображена на рисунку 3.6.

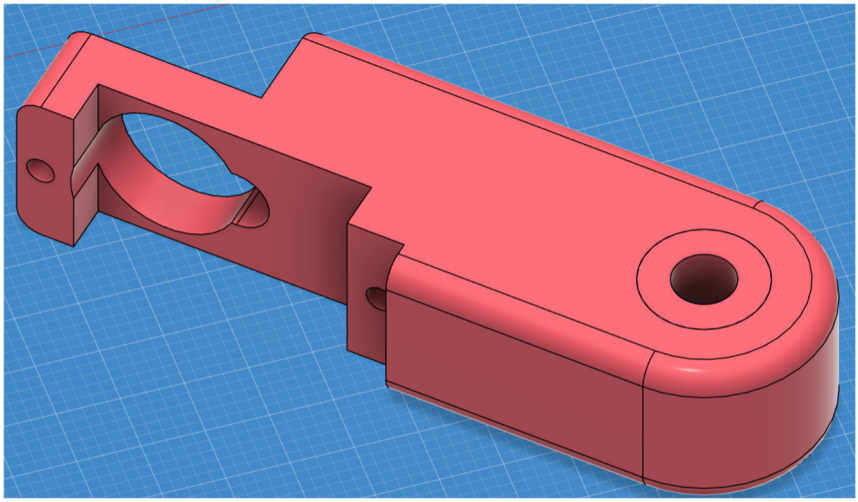


Рисунок 3.6 – Перша складова частина ноги-гексапода

В цій частині було зроблено кріплення для серводвигуна і посадочне місце для другої складової частини ноги. Для мінімізації бокових викривлень при навантаженні в частину кріплення деталі до платформи додана алюмінієва втулка, яка буде тримати горизонтальність вісі при навантаженні. Цей елемент зображений на рисунку 3.7.

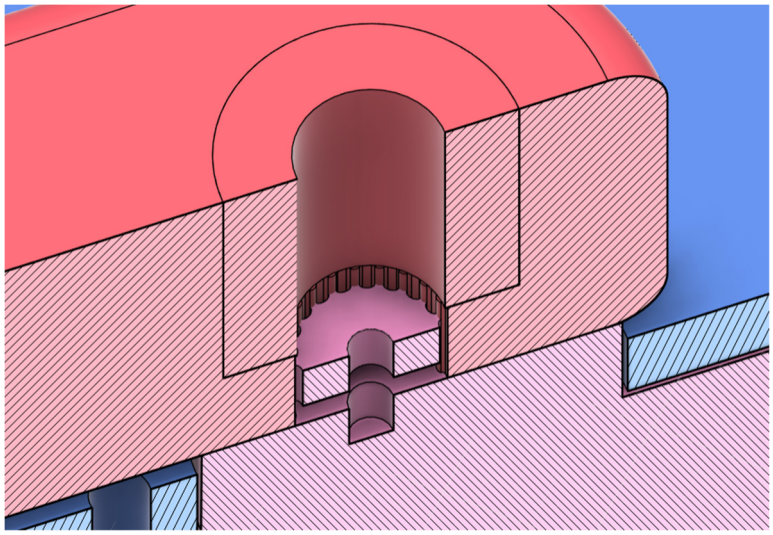


Рисунок 3.7 – Втулка для вертикальної стабілізації

Вся деталь з серводвигуном і посадочним місцем під наступну частину ноги зображено на рисунку 3.8.

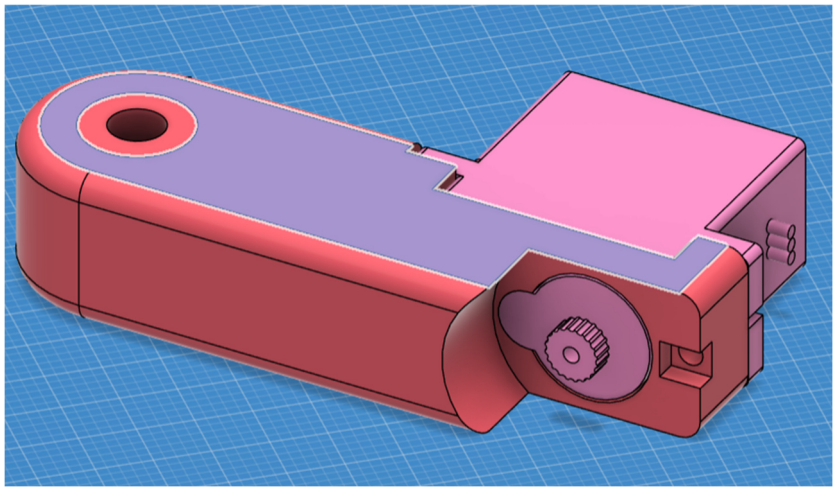


Рисунок 3.8 – Перша частина ноги гексапода

Друга частина ноги також рухається за допомоги шестерні сервопривода,

встановлюється на посадочне місце першої частини, має місце для встановлення серводвигуна та посадочне місце для третьої ланки. Ця деталь зображена на рисунку 3.9.

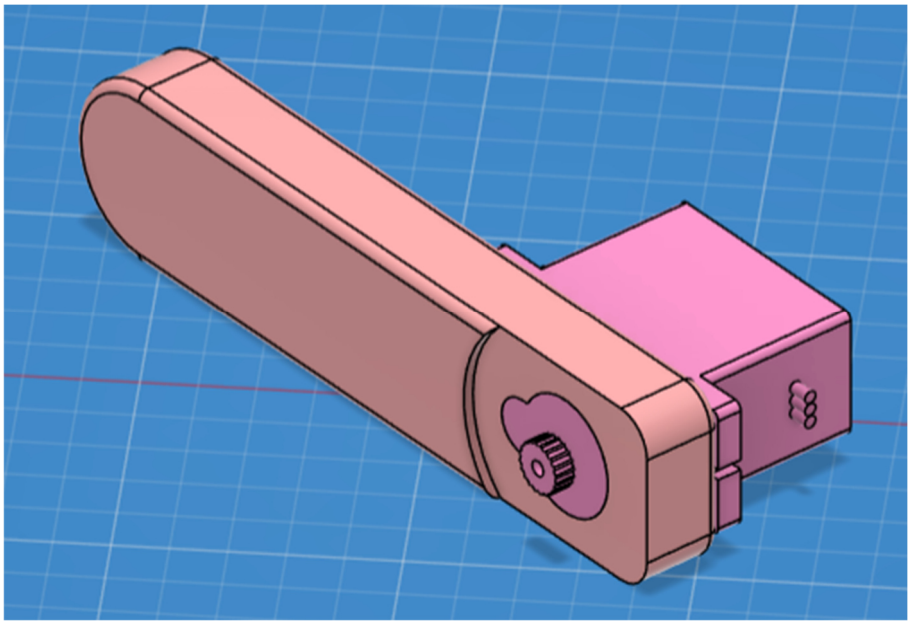


Рисунок 3.9 – Друга ланка ноги робота-гексапода

Деталь з іншого ракурсу та місце для шестерні зображено на рисунку 3.10.

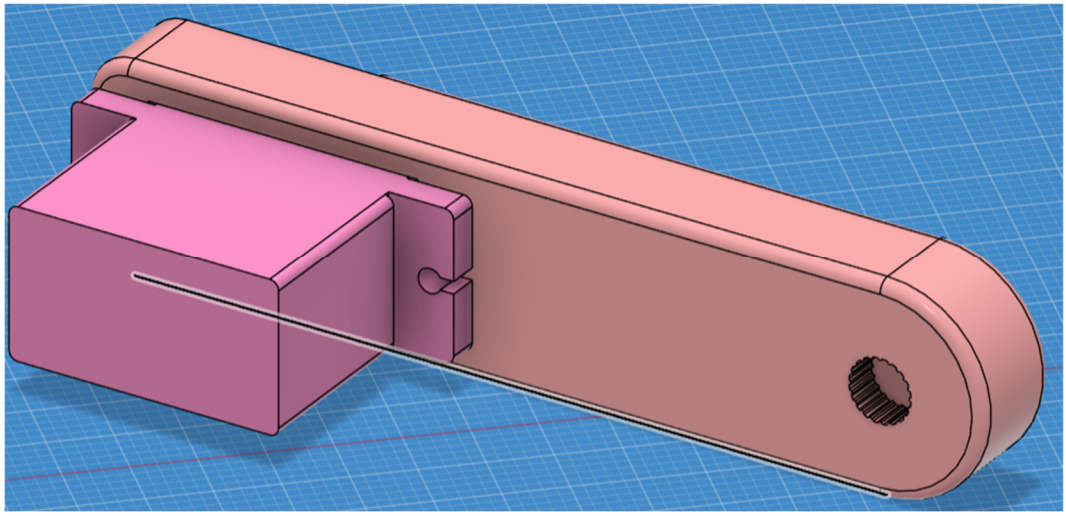


Рисунок 3.10 – Друга ланка ноги робота-гексапода з пазом для шестерні

Третя та остання ланка зроблена для амортизації та основою, яка взаємодіє з поверхнями, вона зображена на рисунку 3.11.

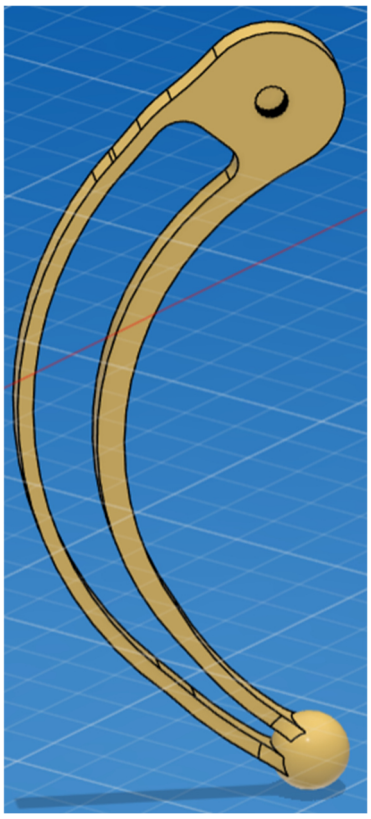


Рисунок 3.11 – Третя ланка ноги робота-гексапода

Таким чином, всі три ланки з серводвигунами, які були розроблені, зображені на рисунку 3.12. На цьому рисунку вони поєднані між собою в місцях з’єднання.

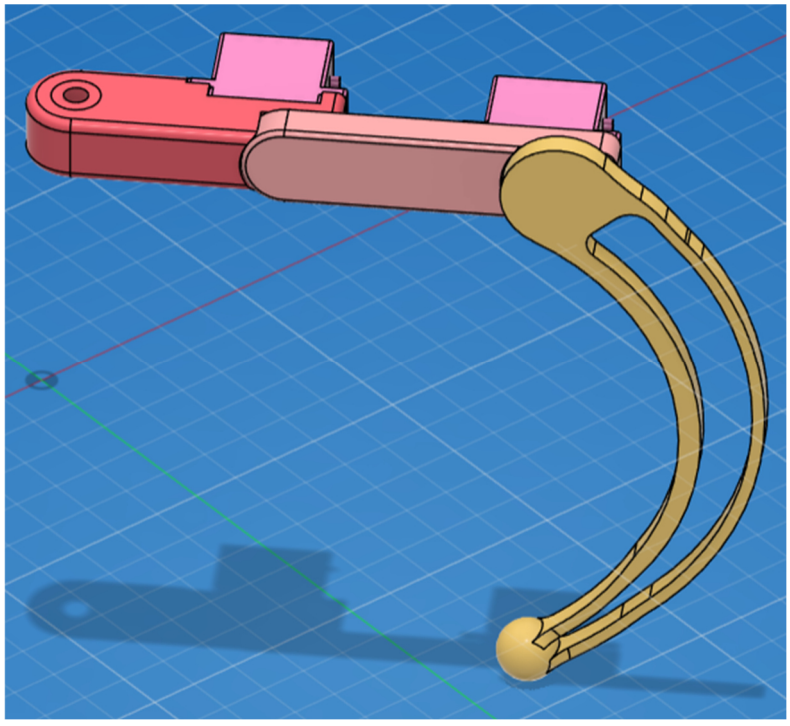


Рисунок 3.12 – Нога гексапода у зборі

Таким чином зберігається переміщення робота у трьох осях. Нога, яка приєднана до корпусу зображена на рисунку 3.13.

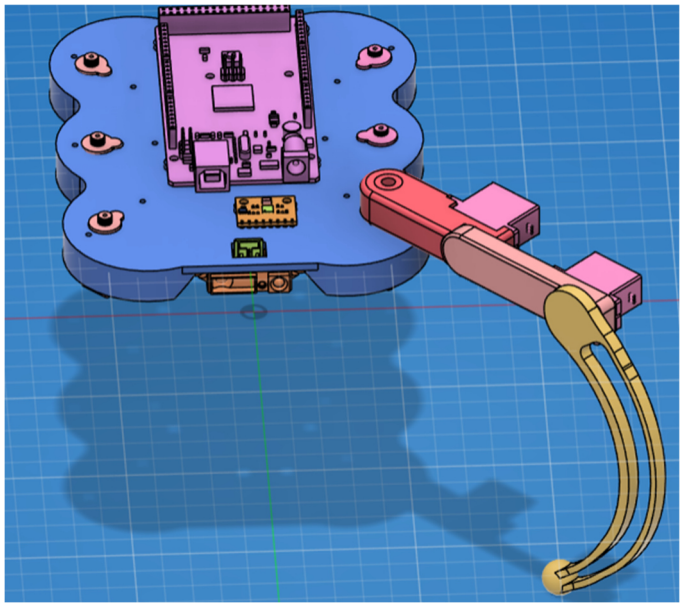


Рисунок 3.13 – Нога гексапода у поєднанні з платформою

Після чого було виконано копіювання та віддзеркалення для забезпечення робота всіма шістьма ногами. Платформа, що обладнана кінцівками зображена на рисунку 3.14.

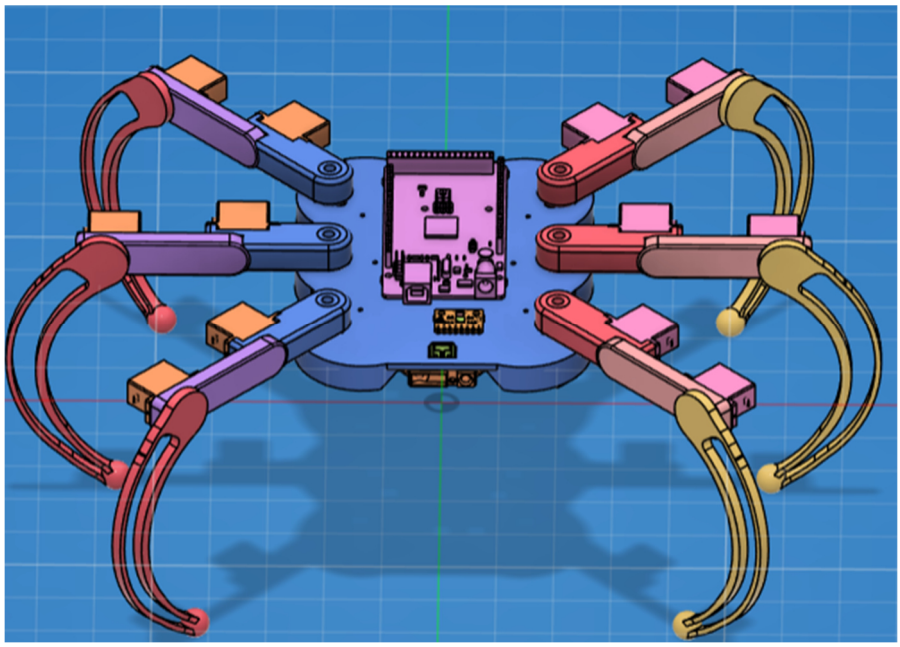


Рисунок 3.14 – Робот-гексапод з кінцівками

Наступним кроком було розроблено нижню кришку, яка одночасно захищає серводвигуни та є сховищем акумуляторів, які живлять всю електроніку. Нижня кришка зображена на рисунку 3.15.

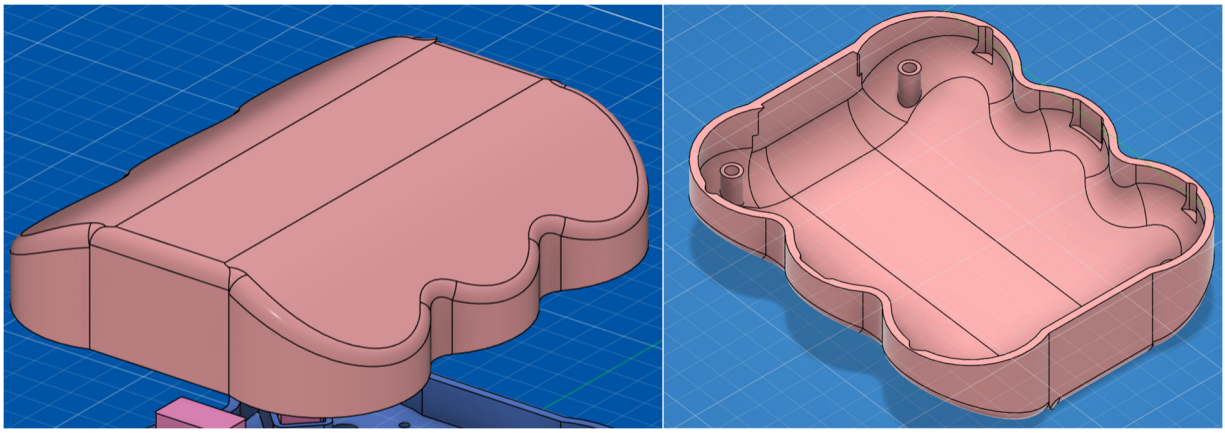


Рисунок 3.15 – Нижня кришка платформи

Акумуляторну збірку пропонується кріпити до дна кришки за допомоги двосторонньої клейкої стрічки. А сама нижня кришка кріпиться до платформи за допомоги гвинтів М5 та спеціальних бонок, що будуть вплавлені у отвори нижньої кришки. Таким чином платформа з кришкою зображені на рисунку 3.16.

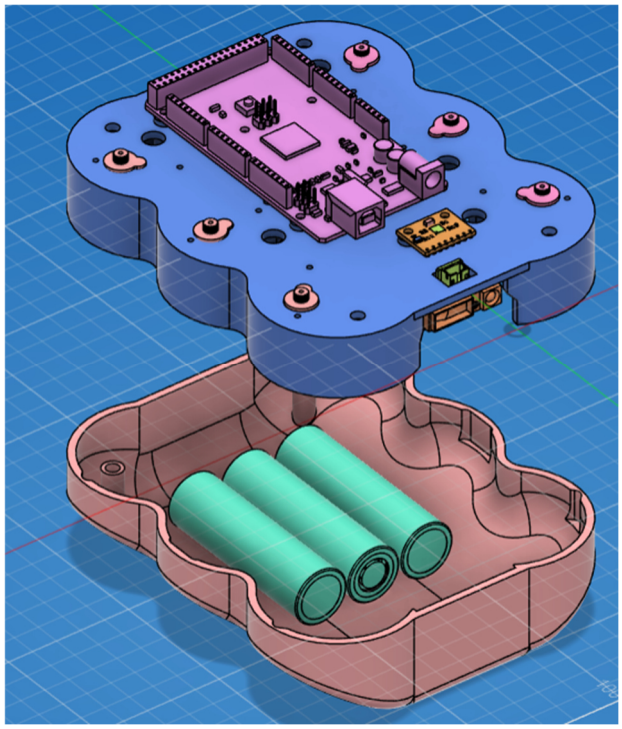


Рисунок 3.16 – Платформ з нижньою кришкою

Таким чином платформа в поєднанні з нижньою кришкою зображені на рисунку 3.17.

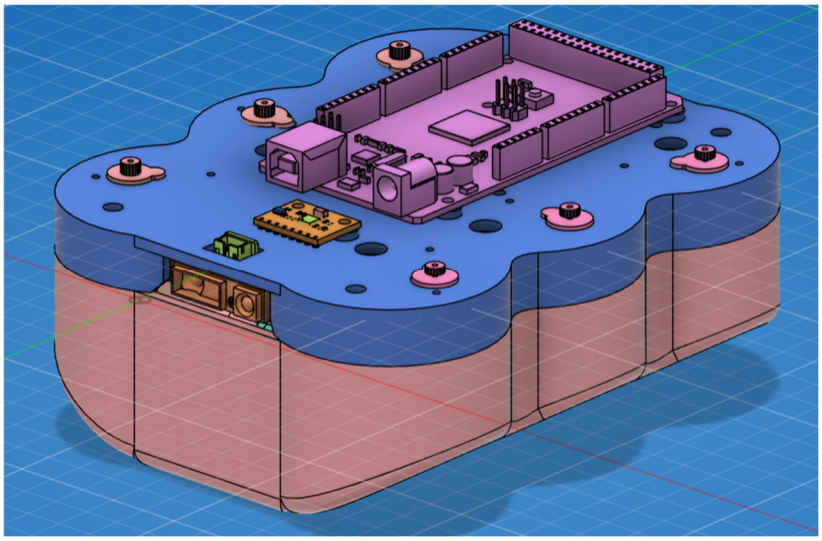


Рисунок 3.17 – Нижня кришка в поєднанні з платформою

Було прийняте рішення про розміщення Raspberry Pi на зворотній стороні платформи для збереження місця, таким чином Raspberry буде знаходитися з акумуляторами і закриватися нижньою кришкою. Зворотна сторона платформи зображена на рисунку 3.18.

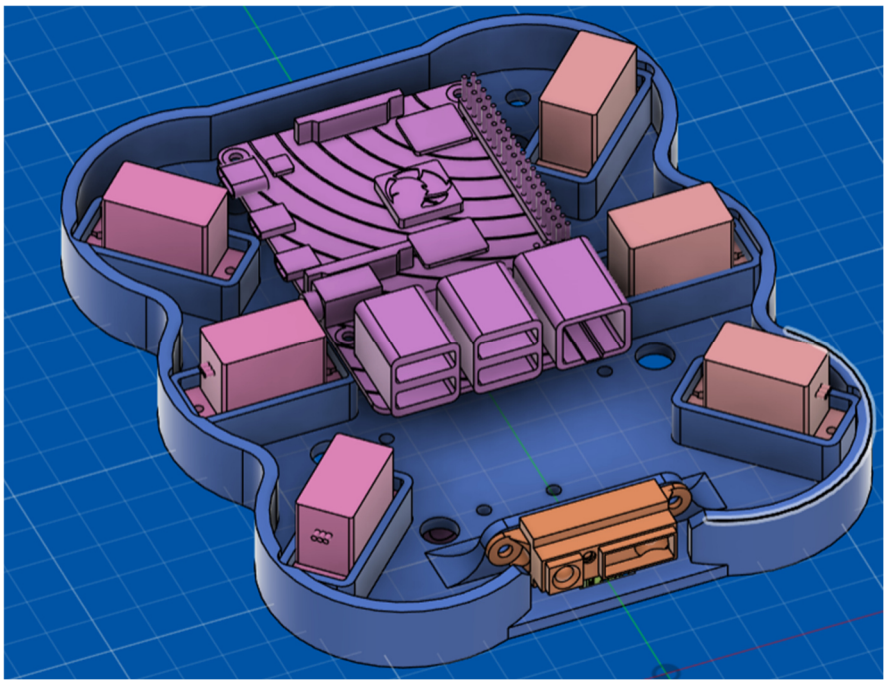


Рисунок 3.18 – Зворотна сторона платформи

Останнім етапом є розроблення верхньої кришки, яка закриває електроніку та фіксує кріплення ніг. В результаті було отримано кришку, що зображено на рисунку 3.19.

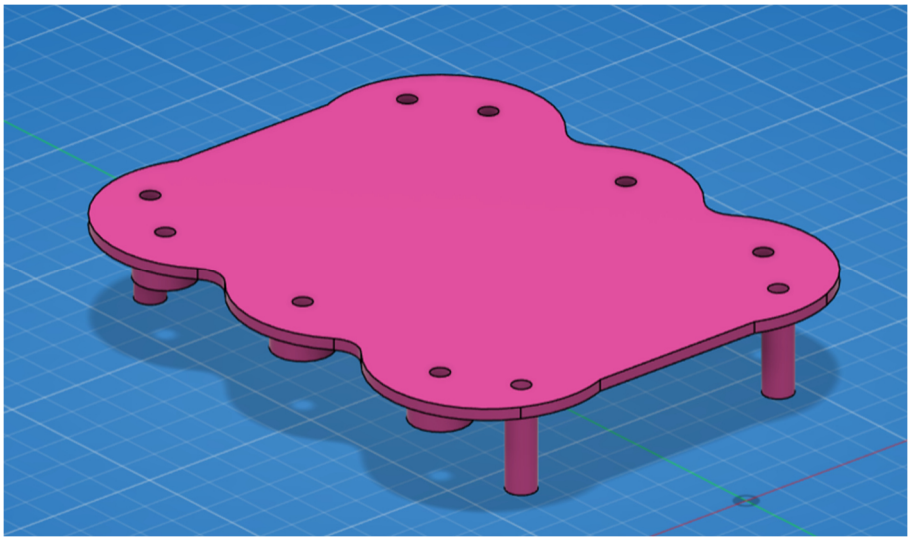


Рисунок 3.19 – Верхня кришка

Таким чином було розроблено конструкцію робота-гексапода. Вся конструкція зображена на рисунку 3.20.

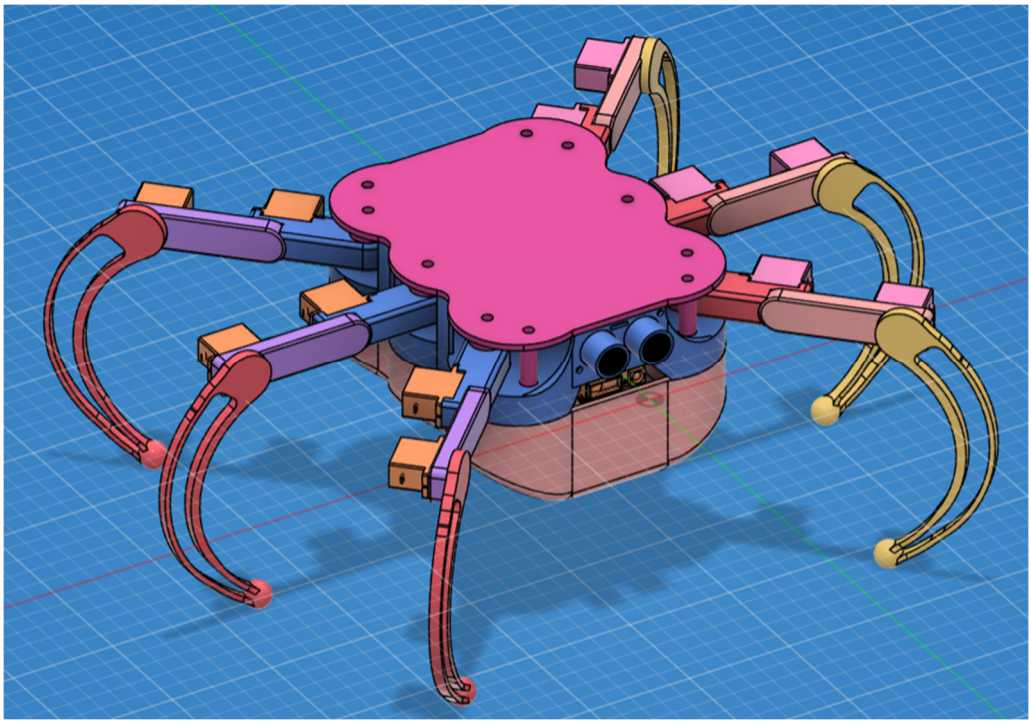


Рисунок 3.20 – 3D модель робота-гексапода

3.2 Теорія автоматичного управління

Системи автоматичного управління (САУ) – це сукупність технічних засобів та програмних алгоритмів, які забезпечують підтримку або зміну певних параметрів об’єкта без безпосередньої участі оператора. Вони є основою сучасних робототехнічних комплексів.

Для забезпечення точності та стабільності роботи маніпулятора необхідно використовувати регулятори, які формують керуючий сигнал на основі поточної похибки. Найбільш поширеними є П, ПІ та ПІД-регулятори. У даній роботі досліджується ПІ-регулятор, оскільки він дозволяє компенсувати як статичну похибку, так і забезпечити прийнятну швидкодію.

Передатна функція це математична модель, що описує динаміку системи в частотній області. Вона використовується для аналізу стійкості, точності, швидкодії та перерегулювання. Загальна передатна функція замкненої САУ має вигляд:

$$\mathrm{Wcl} = \frac{\mathrm{G(s)}}{1+\mathrm{G(s)}} \tag{3.1}$$

де G(s) – передатна функція розімкненої системи: регулятор та об’єкт керування.

САУ вважається стійкою, якщо її реакція на збурення або початкові умови не призводить до неозначеного зростання вихідного сигналу. Один із найпоширеніших способів перевірки стійкості — алгебраїчний критерій Гурвіца, який дозволяє зробити висновок на основі коефіцієнтів характеристичного рівняння [26].

Після підтвердження стійкості системи оцінюють якість регулювання. До основних показників, що характеризують динамічні властивості системи, належить час встановлення, який визначає інтервал, за який вихідний сигнал досягає встановленого значення і стабілізується в межах допустимого відхилення. Важливою характеристикою є також перерегулювання – це максимальне перевищення вихідним сигналом цільового значення у процесі переходу. Крім

того, значущим параметром виступає час запізнення, тобто період, що минає від моменту подачі вхідного сигналу до початку реакції системи.

Ці показники визначаються шляхом комп'ютерного моделювання перехідних процесів, найчастіше − реакції на одиничний стрибковий вплив (функцію Хевісайда).

САУ можна розрахувати в декілька етапів. Спочатку припустимо, що рух одного суглоба робота-гексапода описується передатною функцією:

$$W(s) = \frac{1}{(0.2s+1)(0.1s+1)} \tag{3.1}$$

Модель ПІ регулятора має такий вигляд:

$$GPI(s) = \frac{Kp(Tis+1)}{Tis} \tag{3.2}$$

Було вибрано наступні коефіцієнти: K_p=3.5 ,T_i=0.5 таким чином було отримано замкнуту систему :

$$Wcl(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} \tag{3.3}$$

Об'єкт керування представлено у вигляді аперіодичної динамічної ланки другого порядку, що характеризує інерційні властивості приводу з редуктором. Як регулятор використано ПІ-контролер, який дозволяє зменшити статичну похибку та підвищити якість регулювання.

3.3 Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці

На робочому місці оператора ПК згідно виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі,

статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, вивчення умов праці на робочому місці оператора ПК є необхідною умовою запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих факторів.

Організація робочого місця. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце оператора ПК, загальною площею 48 м^2, і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні знаходиться 6 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочім столом, стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

Живлення ПК здійснюється від трифазної чьотирьох електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом в приміщенні застосовується система занулення.

В таблиці 4.1 наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях, де виконуються роботи операторського типу [28].

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22 – 24 °С; 40 – 60 %; до 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23 – 25 °С; 40 – 60 %; 0,1 – 0,2 м/с

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у лабораторії

відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року. Слід зазначити, що для нормалізації параметрів мікроклімату слід використовувати у приміщеннях кондиціювання повітря, або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції.

Лабораторія, де виконується розробка конструкції модуля, має наступні характеристики:

– площа приміщення 48 м^2 (8×6 м);

– висота – 3,5 м;

– кількість робочих місць – 6 шт.;

– обладнання – стіл з ПК і периферією – 6 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м^2 площі та 20 м^3 обсягу на одне окреме робоче місце з ПК. Площа приміщення 48 м^2 та об'єм 168 м^3, на кожне робоче місце виділено 8 м^2 площі і об'єм 28 м^3, тобто вимога виконана.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [27].

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \tag{3.4}$$

де W – питома потужність, Вт/м^2;

S – площа приміщення, м^2;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\sum} = W_{св} \cdot n_{св}, \qquad (3.5)$$

де $W_{св}$ – потужність одного світильника, Вт;

$n_{св}$ – кількість світильників в приміщенні.

$$W_{\sum} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт},$$

$$W = \frac{400}{48} = 8{,}33 \text{ Вт/м}^2.$$

Отримана питома потужність відповідає освітленості в 250 лк при мінімальній допустимої освітленості 300 лк.

Отже, для створення сприятливих зорових умов в лабораторії необхідно збільшити кількість світильників або замінити лампи в світильниках на більш потужні.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи були розв'язані всі поставлені завдання, а також досягнуто основної мети, тобто розроблено апаратний комплекс робота-гексапода.

У першому розділі були проаналізовані типи робототехнічних комплексів, їх переваги та недоліки. Проаналізовано будову робота-гексапода.

У другому розділі з метою розроблення апаратного комплексу робота-гексапода було побудовано структурну схему, яка включає основні електронні елементи після чого було визначено використовувані електронні компоненти та побудовано схему підключення.

У третьому розділі було розроблено 3D-модель робота-гексапода з використанням всіх електронних компонентів.

У розділі «Заходи і розрахунки для забезпечення безпечних умов праці» було визначено штучне освітлення в дослідницькій лабораторії для розроблення ПЗ на основі Klipper для лазерного верстата.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.

2. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В.А. Андрусевич, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2022. – 151 с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

4. Види роботів і класифікація в робототехніці: всі області застосування і провідні виробники розумних машин; режим доступу (https://worldbank.org.ua/3720-vidi-robotiv-i-klasifikatsiya-v-robototekhnitsi.html#:~:text=International%20Federation%20of%20Robotics%20(IFR%2C%20міжнародна%20класифікація,наданні%20послуг):%20роботи-консультанти%2C%20адміністратори%2C%20гіди%2C%20кур%27єри%2C%20роботи-діагности.)дата використання [17.04.26].

5. Типи роботів: список, який виробники не можуть пропустити; режим доступу (https://www.evsint.com/uk/types-of-manufacturing-robots/) дата використання [17.04.26].

6. Промислові роботи. Класифікація промислових роботів; режим доступу (https://kemppi.in.ua/articles/promochlenie_roboti.htm) дата використання [17.04.26].

7. Класифікація роботів за різними застосуваннями; режим доступу (https://www.fuyumotion.com/uk/news/robot-classification-by-different-applications/) дата використання [17.04.26].

8. Класифікація роботів за різними застосуваннями; режим доступу (https://www.fuyumotion.com/uk/news/robot-classification-by-different-applications/) дата використання [17.04.26].

9. ISO 8373:2021; режим доступу (https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75539/1bc8409322eb4922bf680e15901852d2/ISO-8373-2021.pdf) дата використання [17.04.26].

10. Які є різні типи промислових роботів; режим доступу (https://www.evsint.com/uk/industrial-robots-types/) дата використання [17.04.26].

11. Промислові роботи – найкращий посібник; режим доступу (https://www.evsint.com/uk/guide-to-industrial-robots/) дата використання [17.04.26].

12. Промислові роботи; режим доступу (https://kaf-av.tntu.edu.ua/index.php/mn-abiturient/mn-articles/676-art-industrial-robots) дата використання [17.04.26].

13. Arduino Nano – плата розробки для ATmega328: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/arduino-nano.html) дата використання [02.05.26].

14. Arduino UNO - популярна плата розробки: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/arduino-uno.html) дата використання [02.05.26].

15. Arduino Mega 2560: режим доступу(https://wiki.tntu.edu.ua /Arduino_Mega_2560) дата використання [02.05.26].

16. Мікроконтролер ESP32: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/microcontrollers/esp32.html) дата використання [02.05.26].

17. Мікроконтролер RP2040: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/microcontrollers/rp2040.html) дата використання [02.05.26].

18. Raspberry Pi – продуктивні мікрокомп'ютери: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/raspberry-pi-boards.html) дата використання [02.05.26].

19. Raspberry Pi 5: режим доступу(https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/raspberry-pi5.html) дата використання [02.05.26].

20. Види датчиків руху та їх застосування. Типи, функції та принципи роботи: режим доступу(https://e-server.com.ua/uk/poradi/vidi-datcikiv-ruxu-ta-yix-zastosuvannia-tipi-funkciyi-ta-principi- roboti?srsltid=AfmBOorxes2aIWV6nzrrr6aZt82oEOr0f3s639QZYfvNdhuK3je0lRyd) дата використання [02.05.26].

21. Повний посібник із інфрачервоного датчика руху: режим доступу(https://www.tosunlux.eu/uk/blog/the-ultimate-guide-to-infrared-motion-sensor/) дата використання [02.05.26].

22. Види датчиків руху: режим доступу(https://oxorona.com/motion-sensor-types/) дата використання [02.05.26].

23. Триосьовий акселерометр GY-61 ADXL335: режим доступу(https://3d-cnc.pro/product/trehosevoj-akselerometr-gy-61-adxl335/?srsltid=AfmBOop7G-KV3A_vmjMu4V_zRFmIZmLiHjdsoznfutFZrHahwIikxDLA) дата використання [02.05.26].

24. Що таке сервопривід? : режим доступу(https://amperservice. com.ua/blog/scho-take-servoprivid/) дата використання [02.05.26].

25. Сервопривід Servo Tower Pro 9g SG90: режим доступу (https://idrone.com.ua/servopryvid_servo_micro_tower_pro_9g_sg90) дата використання [02.05.26].

26. Сервопривід, серва Tower Pro MG996R для Arduino PIC ARM AVR: режим доступу(https://evse.com.ua/servoprivod-serva-tower-pro-mg996r-dlya-arduino-pic-arm-avr?utm_source=google&utm_campaign=16015167765&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjwoMXQBhDcARIsAH-eEtubLKxkMN3GJg6TMoS4Ryq7_T6wKHj2eAoVdjhGzhlT69T-oEkRG00aAg_pEALw_wcB) дата використання [02.05.26].

27. Невлюдов, І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарєва. – Харків: ХНУРЕ, 2020.240 с.

28. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т.Є. Стиценко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.