

Бакалаврська РОБОТА

БР.ПМІ-62.00.000 ПЗ

Група ПМІ-21-1

Кізима Олег

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інженерної механіки та робототехніки  
Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Кізима Олег Володимирович

УДК 621.865:004.896

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Робот для пінімання вантажів

Інженерія мехатроних  
систем

131-Прикладна механіка

Здобувач освітнього ступеня О.В.Кізима

Науковий керівник Шуляр І.О , доцент кафедри КМВ

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

професор Панчук В. Г.

Рецензент

---

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

**Івано-Франківський національний технічний університет и**  
**нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інженерної механіки та робототехніки

Кафедра Компютеризованого машинобудування

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 131-Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри \_\_\_\_\_**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОМ**

**Кізімі Олегу Володимировичу**

1.Тема роботи:Створення робота для перенесення вантажів

керівник роботи Шуляр І. О. доцент кафедри КМВ

затвержені наказом закладу вищої освіти від

2.Строки подання студентом роботи

3.Вихідні дані до роботи: література з питань проектування мобільних роботів,офіційні документи С++,

4.зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд конструкцій мобільних роботів.Оцінка слабкої ланки робота.Електрична схема керування.Конструкція та компоненти руки робота.

5.Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення руки маніпулятора – 1 лист А1, Модель та компоненти маніпулятора робота – 1 лист А1,принципова електрична схема.

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шуляр І. О. доцент кафедри КМВ	25.02.2025	

7.Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Надання завдання	25.02.2025	
2	Збір матеріалу про мою тему	03.03.2025	
3	Розробка моделі робота	15.03.2025	
4	Створення електричної схеми робота	18.03.2025	
5	Оформлення пояснювальної частини	15.04.2025	
6	Відгук керівника дипломного проекту		

Студент \_\_\_\_\_ Кізіма О.В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Шуляр І.О

(прізвище та ініціали)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025\_p.

## Реферат

У бакалаврській роботі розглянуто процес створення чотириноного мобільного робота з маніпулятором для перенесення вантажів у складних умовах. Проведено аналіз конструктивних рішень, розрахунків навантажень, моделювання у середовищах AutoCAD та Gazebo, а також розроблено програмне забезпечення для управління за допомогою ROS. Особливу увагу приділено вибору матеріалів, проектуванню кінцівки з маніпулятором, електронній схемі керування та тестуванню у наближених до виробничих умовах. Отримані результати свідчать про ефективність запропонованої конструкції та перспективність її подальшого застосування у промисловості та логістиці.

**Ключові слова:** чотириногий робот, маніпулятор, ROS, симуляція Gazebo, алюміній 6061, електронна схема, автономна навігація.

Технічні відомості: Обсяг пояснювальної записки: сторінок 55, кількість рисунків 17, таблиць 3, креслень 8

## **Abstract**

The bachelor's thesis considers the process of creating a four-legged mobile robot with a manipulator for carrying loads in difficult conditions. The analysis of design solutions, load calculation, modeling in AutoCAD and Gazebo environments, and the development of control software using ROS were carried out. Particular attention was paid to the selection of materials, the design of the limb with a manipulator, the electronic control circuit and testing in conditions close to production. The results obtained indicate the effectiveness of the proposed design and the prospects for its further application in industry and logistics.

Keywords: four-legged robot, manipulator, ROS, Gazebo simulation, aluminum 6061, electronic circuit, autonomous navigation.

Technical information: Explanatory note volume: pages 55, number of figures 17, tables 3, drawings 8

## Зміст

ВСТУП	4
1. Загальний огляд і класифікація промислових роботів	5
1.1 Характеристика робота за кваліфікацією промислових роботів	10
1.2 Конструкція та принцип роботи	11
1.3 Матеріал та технічні характеристики	12
1.4 Розрахунок та навантаження конструкції	14
2. КОНСТРУКЦІЯ ТА ЕЛЕКТРОННА ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТА	16
2.1 Код на C++ для керування одним сервоприводом	16
2.2 Створення робота в Autocad Inventor	17
2.3 Електрична схема керування	19
2.4 Створення руки у середовищі Autocad Inventor	21
3. КОНСТРУЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ЧОТИРОНОГО РОБОТА	32
3.1 Конструкція та компоненти руки робота	32
3.2 Оцінка слабкої ланки робота	33
3.3 Розрахунок посадок і допусків	36
3.4 Промислові сценарії застосування чотириноного мобільного робота	43
4. ВИСНОВКИ ПО БАКАЛАВРСЬКІЙ	47
5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49
6. ДОДАТКИ	51

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кізіма О.В			<b>Пояснювальна записка</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Шуляр І.О				1		
Реценз					<b>ІФНТУНГ ПМІ-21-1</b>			
Затверд.		Панчук В.Г.						

## Вступ

В сучасному світі розвиток технологій відбувається з неprecedентною швидкістю. То, що кілька десятиріч тому здавалося всього-навсього фантасією, сьогодні поступово включає себе в наш щоденний лад. Роботехнологія — одна з найбільш динамічних і найближчих до майбутнього галузей. Вона не тільки захоплює промисловий процес, але й медицину, сільськогосподарську діяльність, логістику, освітні установи, а навіть області розваг і побуту.

Особливе захоплення викликають мобільні роботи, які здатні пересуватися у складних умовах, перехід через різноманітні перешкоди та реакція на зміну середовища. Популярним напрямом у цій ситуації також були чотириногі роботи, що пародіювали рухи звірів, наприклад, собак.

Робот-собака не тільки інженерний предмет розваги. Це складна система, яка поєднує механічні, електронні та програмні частини. У своїй конструктивній специфікації він здатний пересуватися в умовах, де використання колісних або гусеничних платформ є неефективним: на нерівностях, у зруйнованих середовищах, а також у вузьких проходах.

У перспективі ці прилади можуть виконувати допоміжні ролі для людей під час рятувальних операцій, інспекцій або навіть у повсякденному житті як "інтелектуальні" асистенти. Це стало джерелом натхнення для створення мого особистого прототипу чотириноногого робота, де ключовими аспектами є конструктивна простота, функціональність та можливість бездротового управління.

Таким чином, розробка цього робота-собаки є яскравим прикладом цікавості розвитку технологій і ідей зміни робота і його характеристик. Це не лише навчальний проєкт, а й перший мій крок для створення чогось цікавого і функціональнішого.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. Загальний огляд і класифікація промислових роботів.

Щоб зрозуміти, який саме робот потрібен для певної задачі, спочатку потрібно знати, як їх класифікують. Це не просто поділ за зовнішнім виглядом — це системний підхід, що враховує технічні характеристики, функціональність і специфіку роботи.

Промислові роботи поділяють за кількома ключовими параметрами.

Наприклад:

- Спосіб переміщення — чи це маніпулятор, пересувний робот, або робот зі змінною базою;
- Тип завдань — зварювання, складання, фарбування, транспортування;
- Привод — електричний, пневматичний або гідравлічний;
- Вантажопідйомність — від легких роботів до систем, які піднімають сотні кілограмів;
- Кількість ступенів свободи, точність, швидкість, зона охоплення.

Також враховується тип заготовки — її маса, матеріал, форма, а ще особливості самого процесу: наскільки точна має бути обробка, які інструменти використовуються, чи потрібно адаптуватися під зміну деталей.

Це дозволяє підібрати модель робота, яка максимально ефективно впорається із завданням. Інакше кажучи, не треба купувати складну дорогу систему, якщо достатньо простого маніпулятора — і навпаки.

Ще один важливий момент — тип керування:

- Програмоване — робот діє за заздалегідь написаною інструкцією;
- Адаптивне — реагує на зміни довкілля, використовує датчики;
- Інтелектуальне — тут уже застосовується штучний інтелект, наприклад, для розпізнавання образів або ухвалення рішень у реальному часі.

У підсумку, грамотна класифікація — це не формальність, а практичний інструмент, який допомагає обрати саме той тип робота, що оптимально працюватиме в конкретних умовах.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд промислових роботів

Промислові роботи— це машини, які допомагають автоматизувати важку, точну або монотонну роботу на заводах і фабриках. Найчастіше їх використовують у машинобудуванні, але зустріти їх можна і в харчовій промисловості, і навіть на складі. Вони допомагають не тільки пришвидшити виробництво, а й зробити його стабільним і безпечним.

Що можуть робити промислові роботи:

- Зварювати деталі — роботи точніше і швидше виконують зварювання, ніж людина.
- Складати механізми — замість ручного збирання частин, робот все робить
- автоматично.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

- Обробляти метал або пластик — наприклад, фрезерування, шліфування чи свердління.
- Лити метал — роботи заливають гарячий метал у форми, зменшуючи ризику для людей
- Штампувати деталі — часто працюють разом із пресами, де важлива точність і повторюваність.

Типи роботів за функціоналом:

- Універсальні — підходять для різних задач і можуть бути переналаштовані під інше завдання.
- Спеціалізовані — зроблені для однієї конкретної задачі, наприклад, лише для зварювання.
- Прив'язані до обладнання — підходять лише для певного станка або лінії.

Роботи також розділяють за призначенням:

- Основні — безпосередньо беруть участь у виробництві.
- Допоміжні — наприклад, переміщують деталі.
- Гібридні — можуть і працювати, і допомагати.

Який у них привід:

- Електричний — найпоширеніший, простий в обслуговуванні.
- Гідравлічний — для задач, де потрібна велика сила.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Пневматичний — працюють на стисненому повітрі.
- Комбінований — рідше, але буває для складних систем.

Скільки вантажу можуть підіймати:

- До 1 кг — для дрібної роботи, наприклад, у фармацевтиці.
- До 10 кг — для складання невеликих пристроїв.
- До 100 кг — найпоширеніші на звичайних виробництвах.
- До 1000 кг — для обробки великих деталей.

Понад 1000 кг — використовуються на великих заводах, наприклад, в автоіндустрії.

Скільки у них "рук"?

Більшість мають одну, але бувають і з двома, трьома, або навіть чотирма маніпуляторами — залежно від задачі.

Наскільки вони швидкі:

- Повільні — до 0,5 м/с (наприклад, при роботі з хімікатами).
- Середні — 0,5–1 м/с (стандартна швидкість на більшості заводів).
- Швидкі — понад 1 м/с (для високошвидкісного складання чи пакування).

Але треба розуміти, що чим вища швидкість, тим складніше забезпечити точність. Тому швидкість завжди обмежується завданням

Точність роботи:

- Низька — понад 1 мм похибки (підійде для чорнової роботи).
- Середня — 0,1–1 мм (наприклад, збирання побутової техніки).
- Висока — менше 0,1 мм (електроніка, точні механізми).

Що ще враховують при виборі робота:

1. Розмір деталі, з якою він працює.
2. Як подається та забирається ця деталь.
3. Умови навколо (чи є місце, температура, пил і т.д.).
4. Наскільки складна інтеграція з іншими машинами.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб усе це не шукати щоразу вручну, інженери створюють технологічний код — це як паспорт оброблюваної деталі, де вже вказано, який тип робота підійде. За ним можна швидко підібрати відповідне обладнання.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.1 Характеристика робота за кваліфікацією промислових роботів.

### 1. Загальні відомості

Матеріал робота: Алюміній 6061.

Тип: автономна мобільна платформа з маніпулятором

Категорія: промисловий робот з крокуючим типом пересування

Галузь застосування: промисловість, логістика, надзвичайні ситуації.

Клас захисту: IP54 (може бути змінено залежно від умов експлуатації).

### 2. Основні технічні характеристики:

1. Параметр	Значення
2. Кількість опорних кінців	4 (чотириногий хід)
3. Тип пересування	Крокуючий (walking robot)
4. Максимальна швидкість руху	до 3 км/год
5. Радіус дії маніпулятора	до 1.5 м
6. Ступенів свободи маніпулятора	5 (рука + захват)
7. Тип захвата	Двоелементний (механічний)
8. Система управління	Дистанційне/автономне
9. Привід	Електромеханічний
10. Енергоживлення	Акумуляторна батарея 48V
11. Час роботи без підзарядки	до 2 годин (залежно від навантаження)
12. Робоча температура	-10 °C до +45 °C
13. Матеріал конструкції	Алюмінієвий сплав, композити

### 3. Функціональні можливості

Що він може?

Переміщення по нерівній місцевості, маніпулювання об'єктами середньої маси, встановлення камер, сенсорів, інструментів, виконання завдань в умовах, недоступних для людини.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Конструкція та принцип роботи.

Мій робот має чотири ноги й симетричну будову — завдяки цьому він стійкий і добре тримає рівновагу навіть на нерівній підлозі. У кожній нозі — три рухомі частини, які керуються серводвигунами. Це дозволить йому пристосовуватись до різного типу поверхонь.

Корпус я зробив із алюмінієвого профілю — легкий, але міцний матеріал. Я зробив таку конструкцію важлива, бо двигуни не повинні нести зайвого навантаження, а сам робот має витримувати роботу в непростих умовах.

Передбачене окреме місце для маніпулятора — механічної руки. Завдяки їй робот може не тільки рухатися, а й піднімати предмети, відкривати двері або натискати кнопки. Це значно розширює його можливості.

Керує всім мікроконтролер STM32. Він посилає сигнали на двигуни через спеціальні драйвери. Програму для керування писали на C++ із використанням бібліотек для датчиків — наприклад, гіроскопа й акселерометра, щоб робот знав, як він розташований у просторі. А через модулі Bluetooth і Wi-Fi ним можна керувати на відстані — навіть не підходячи до нього.

Завдяки цим розмірам цей робот добре підходить для роботи в обмеженому просторі — наприклад, на виробництві. Він здатен виконувати завдання, де людині або великому механізму буде складно.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Матеріал та технічні характеристики.

Щоб робот працював надійно та виконував свої задачі, важливо ще на етапі розробки чітко визначити його основні технічні параметри. Маса, розміри, кількість ступенів свободи й матеріали — усе це прямо впливає на те, як робот рухається, наскільки він стійкий і зручний у керуванні. У цьому розділі я зібрав ключові характеристики створеного чотириноного робота з маніпулятором. Саме на них я спирався під час розрахунків і прийняття технічних рішень.

Маса робота	12 кг
1. Кількість опор	4 ноги
2. Ступені свободи ніг	По 3 ступені свободи на кожную ногу
3. Ступені свободи маніпулятора	4 (плече, лікоть, кисть, захват)
4. Матеріал конструкції	Алюмінієвий сплав 6061
5. Живлення	Акумулятор 24 В

Чому я вибрав такі характеристики

- Маса 12 кг — легка, але міцна конструкція.
- Чотири ноги з 3 ступенями свободи кожна — для стабільного та гнучкого руху.
- Маніпулятор з 4 ступенями свободи — достатньо для базових маніпуляцій.
- Матеріал 6061 алюміній — оптимальний баланс міцності та ваги.
- Живлення 24 В акумулятором — автономність роботи.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Матеріал Алюміній 6061.

Алюмінієвий сплав 6061 — один із найпопулярніших конструкційних сплавів на основі алюмінію, що широко застосовується у машинобудуванні, авіації та робототехніці завдяки оптимальному поєднанню механічних властивостей і корозійної стійкості.

Основні характеристики і параметри.

1. Хімічний склад Al, Mg ( $\sim 1\%$ ), Si (0.6–0.9%)
2. Міцність (межа текучості)  $\approx 276$  МПа
3. Міцність на розрив 310–350 МПа
4. Щільність 2.7 г/см<sup>3</sup>
5. Корозійна стійкість Висока, хороша атмосферна стійкість
6. Твердість (Brinell) 95 НВ
7. Температура експлуатації -50 °С до +150 °С
8. Обробка Легко піддається механічній обробці.
9. Термальна обробка Можлива для підвищення міцності (старіння)



Рисунок 1.3-Алюміній 6061.

Застосування в робототехніці:

6061 алюміній часто використовується для виготовлення рам, корпусів, важелів та інших структурних елементів роботів завдяки високому співвідношенню міцності до ваги, що дозволяє створювати легкі та міцні конструкції без значного збільшення маси.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

#### 1.4 Розрахунок навантаження

Щоб робот працював стабільно, важливо правильно оцінити, яке навантаження припадає на кожну з його ніг. Загальна вага конструкції разом із маніпулятором — близько 12 кг. Коли робот стоїть на всіх чотирьох ногах, ця вага розподіляється рівномірно.

Як порахувати навантаження на одну ногу?

Дуже просто — беремо класичну формулу сили тяжіння:  $F = m \times g$

де:

$F$  — сила, що діє на одну ногу (Н),

$m$  — маса, яка припадає на одну ногу (кг),

$g$  — прискорення вільного падіння, приблизно  $9.81 \text{ м/с}^2$ .

Крок 1. Загальна маса:

$$m = 12 \text{ кг}$$

Крок 2. Оскільки 4 ноги, то:

$$m_{\text{leg}} = 12 \text{ кг} / 4 = 3 \text{ кг}$$

Крок 3. Розрахунок сили на одну ногу:

$$F_{\text{leg}} = 3 \text{ кг} \times 9.81 \text{ м/с}^2 = 29.43 \text{ Н}$$

Отже, навантаження на одну ногу робота в статичному положенні — приблизно 29.43 Н.

Формула:

$$M = F \cdot l$$

де:

$M$  — крутний момент (Н·м),

$F$  — сила, прикладена на ногу (Н),

$l$  — довжина важеля (від коліна до точки прикладання сили, м).

Вихідні дані:

Макс. сила  $F = 70 \text{ Н}$  (як закладено)

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l$  — довжина сегмента нижньої частини ноги (наприклад, 0.25 м — 25 см до "ступні")

Розрахунок:

$$M = 70 \text{ Н} \cdot 0.25 \text{ м} = 17.5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

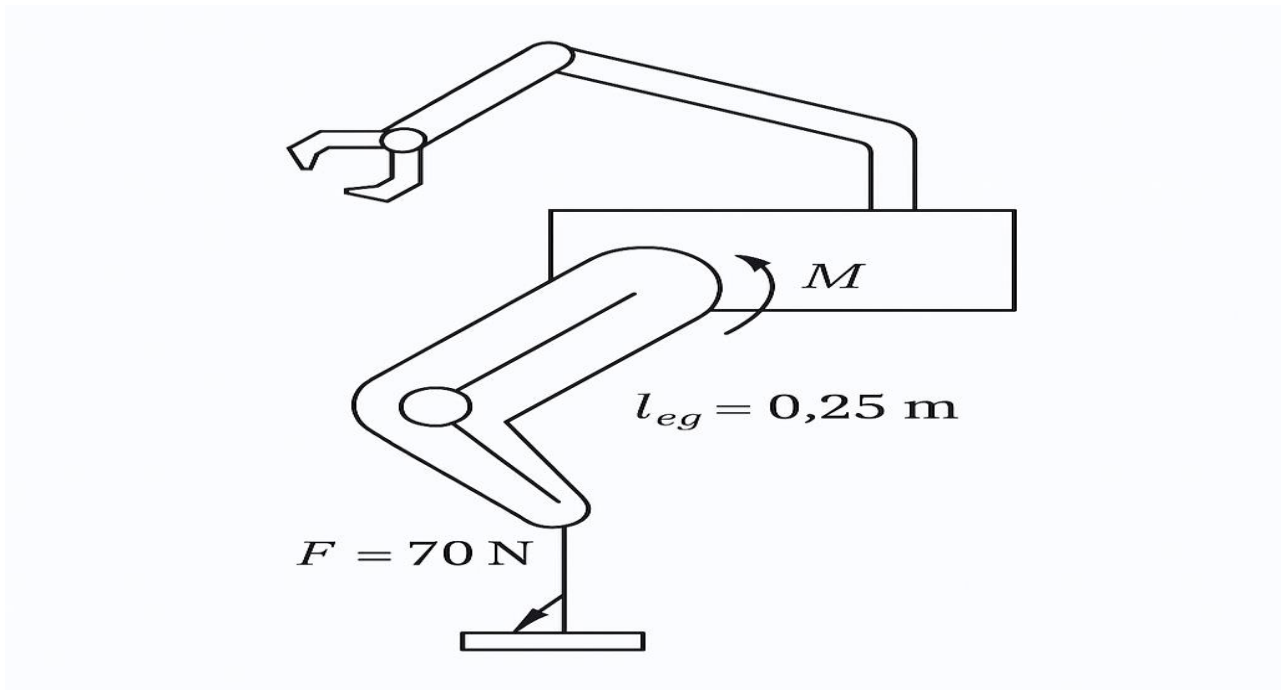


Рисунок 1.4-Зображення ноги робота з розрахунком сили і крутного моменту.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. КОНСТРУКЦІЯ ТА ЕЛЕКТРОННА ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТА

### 2.1 Код на C++ для керування одним сервоприводом.

Спосіб підключення

Arduino Uno або сумісна плата

Бібліотека Servo.h

Сигнальний пін підключено до піну 9

Серво живиться окремо

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo myServo; // створення об'єкта серво
```

```
void setup() {
```

```
  myServo.attach(9); // підключення до піну 9
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  myServo.write(90); // поворот серво на 90°
```

```
  delay(1000);      // затримка 1 сек
```

```
  myServo.write(0); // поворот на 0°
```

```
  delay(1000);      // затримка 1 сек
```

```
  myServo.write(180); // поворот на 180°
```

```
  delay(1000);      // затримка 1
```

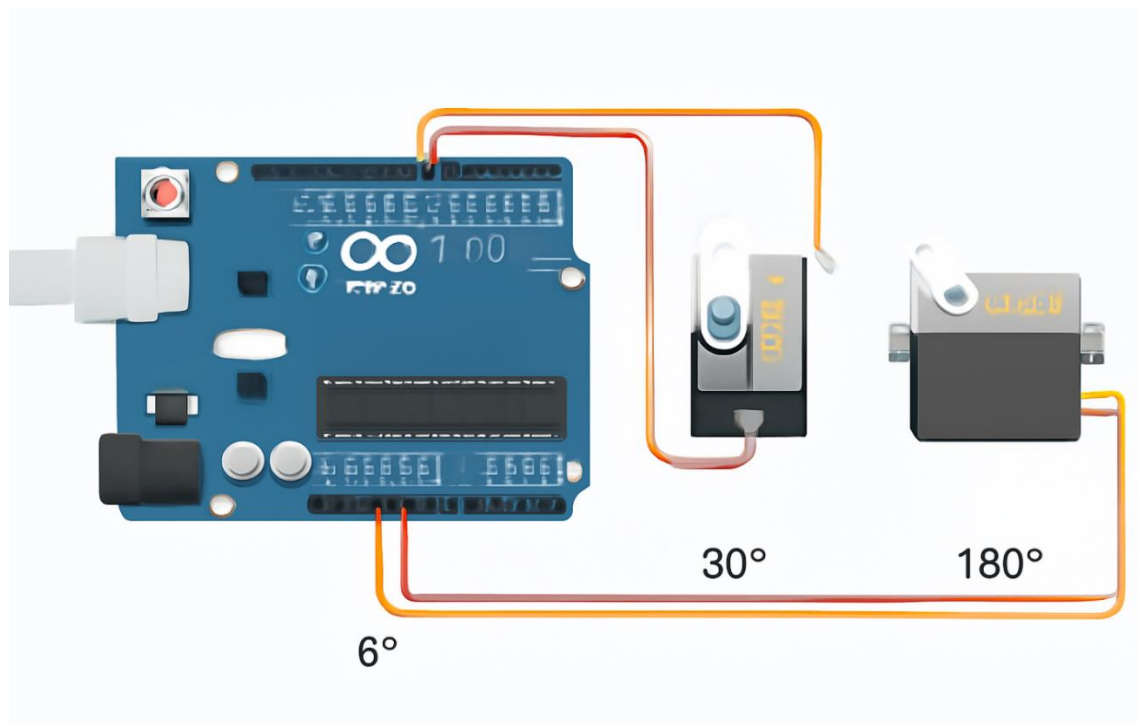


Рисунок 2.1-Позиції сервоприводу Arduino при керуванні кодом.

					БР.ПМІ-62.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2.2 Створення робота в Autocad.

### Початковий робот.

Створенням цього робота я надихнувся стилем Boston Dynamics Spot які займаються створенням такого типу роботів початковим роботом якого я взяв був чотириногий мобільний робот схожий на собаку за виглядом за виглядом він складався із:

1. Чотири незалежні ноги з трьома ступенями свободи кожна.
2. Компактний корпус, ймовірно виготовлений з легких композитів або алюмінієвого сплаву.
3. Сервоприводи, розташовані в кожному тазовому вузлі, які забезпечують обертання ніг.

Одним із фактором чого я хотів його змінити це було те що він був обмежений у роді діяльності він міг тільки збирати інформацію і тільки рухатись по рельєфу.



Рисунок 2.2-Зображення п робота якого я використав для прототипу та створення свого робота.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **Кінцевий результат.**

Таким чином, порівнюючи початкову та оновлену версію робота, можна виділити кілька важливих змін:

1. замість класичного корпусу з вентиляцією використовується монолітна платформа, яка стала міцнішою та краще витримує навантаження від маніпуляторної руки;
2. до конструкції додали справжній маніпулятор із клешнею, тому робот може захоплювати, переносити чи взаємодіяти з різними предметами;
3. ноги робота повністю перероблено, вони отримали нову, більш міцну й технічно продуману форму;
4. зовнішній вигляд також змінився, робот виглядає як робот із цифрового майстерні, зовні він більше відповідає промисловим стандартам. Таким чином, після всіх цих змін робот не просто є платформою для пересування чи спостереження. Він зробився досить великою мобільною системою, яка може не лише рухати, а й взаємодіяти з навколишнім середовищем. Доданок руки маніпулятора, безумовно, робить його більш універсально : використання робота можливо не тільки для технічного обстеження у спеціальному обладнанні чи логістиці, а й у автоматизації промислових процесів.

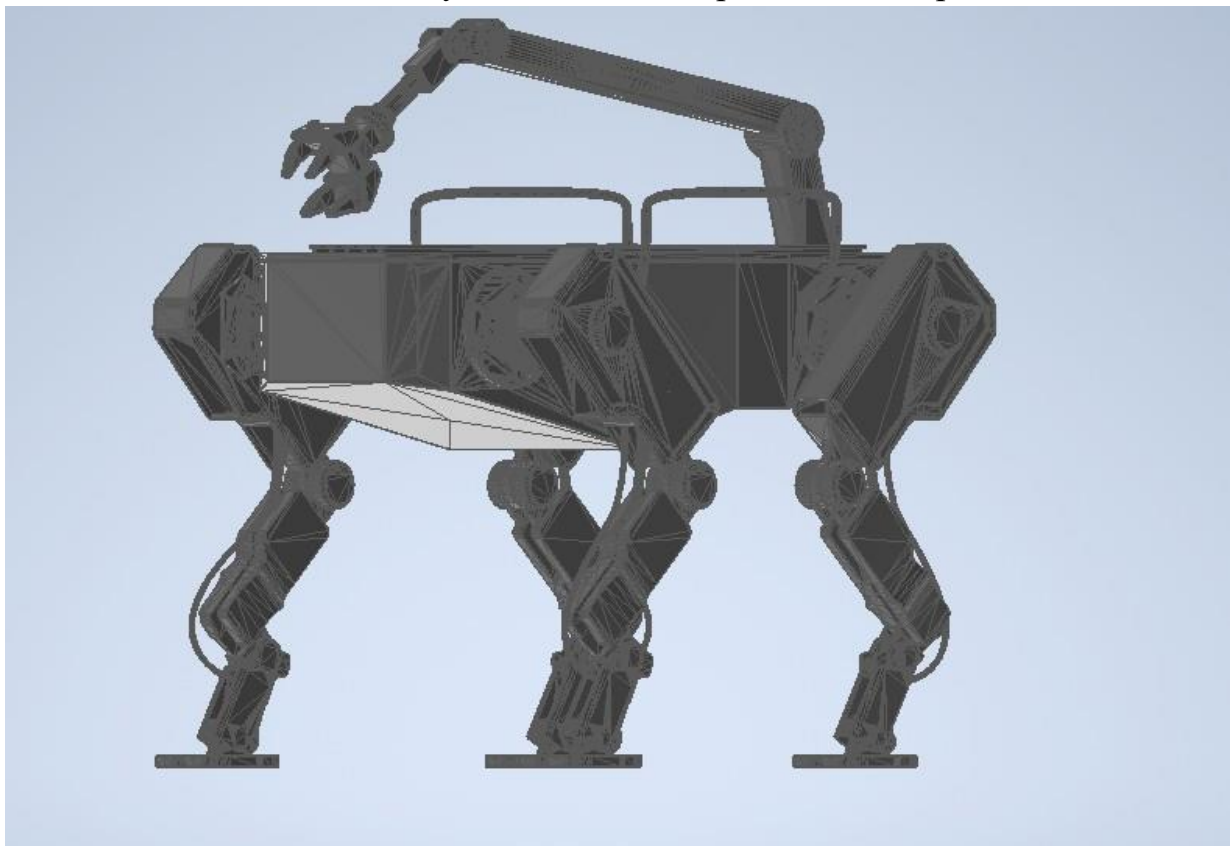
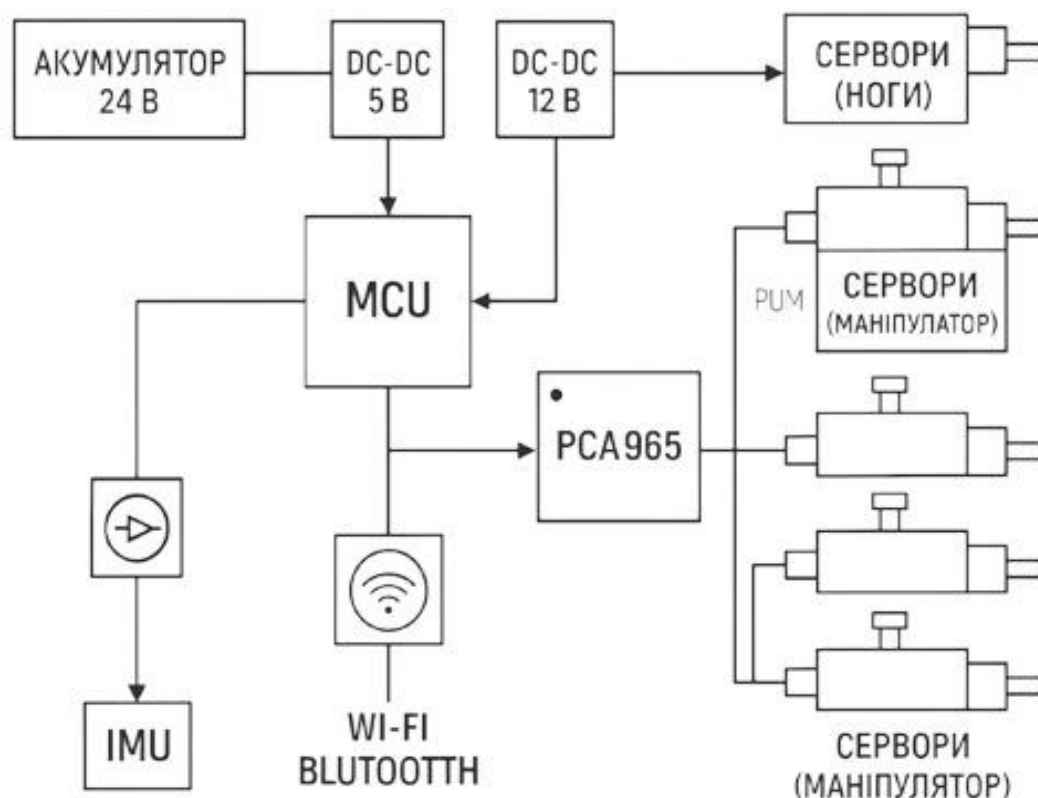


Рисунок 2.2-Зображення кінцевого робота створеного у AutoCad.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Електрична схема керування.

Щоб створити схему для роботи, я використав спеціальну програму, які допомагає створювати точні 2D або 3D моделі. Спочатку я визначив основні компоненти: акумулятор, мікроконтролер, серводвигуни, маніпулятор та датчики (наприклад, IMU). Після цього, в програмі намалював геометричні фігури, що відповідають кожній деталі, а з'єднання між ними позначаємо лініями. Для зручності кожен компонент підписав, наприклад, "Акумулятор 24 В", "Мікроконтролер" чи "IMU". Також додаємо позначки, що вказують, де проходить живлення і як відбувається керування між елементами



### 2.3-Електрична схема керування чотириноногого робота.

Складові схеми.

Опис функцій

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1. Акумулятор 24 В       | Джерело живлення для всієї системи  |
| 2. DC-DC 5 В / 12 В      | Перетворювачі напруги для живлення різних елементів                                   |
| 3. MCU (мікроконтролер)  | Головний обчислювальний модуль керування  |
| 4. PCA965                | Розширювач для керування великою кількістю сервоприводів (часто І <sup>2</sup> С/ШІМ) |
| 5. СЕРВОРИ (НОГИ)        | Приводи, що відповідають за рух чотирьох ніг  |
| 6. СЕРВОРИ (МАНІПУЛЯТОР) | Приводи для керування сегментами руки з клешнею                                       |
| 7. ІМУ                   | Інерційний модуль (акселерометр+гіроскоп) для орієнтації в просторі                   |
| 8. WI-FI / BLUETOOTH     | Модулі бездротового зв'язку для передачі команд або телеметрії                        |

Загальний процес роботи:

Живлення: Акумулятор забезпечує енергію всіх систем.

Керування через Wi-Fi/Bluetooth: Надсилання команд шляхом використання смартфона чи комп'ютера.

Мікроконтролер (MCU): приймає команди та зчитує дані з ІМУ для визначення місцезнаходження робота.

Обробка та управління серво-моторами: MCU надсилає команди на серво-мотори зі допомогою PCA965, щоб змінити положення ніг чи маніпулятора.

Реакція: Робот відповідає командам, здійснюючи рух ніг чи маніпулятора, дотримуючись рівноваги за рахунок ІМУ.

Ця створена мною схема показує принцип роботи робота і їх складових на цій схемі.

## 2.4 Створення руки у середовищі Autocad.

Маніпуляторна рука на чотириноному роботі — це те, що справді дозволяє йому не просто рухатись, а виконувати корисну роботу. Вона може щось підняти, натиснути кнопку, потримати предмет або щось переставити — тобто зробити ті речі, які звичайна платформа без «руки» не зможе.

Конструкція руки модульна — вона складається з кількох з'єднаних між собою частин, кожна з яких може рухатись завдяки сервоприводу. Ми спеціально заклали мінімум три ступені свободи: щоб рука могла згинатись, підніматись і повертатись. Цього цілком достатньо для більшості практичних задач.

Сегменти зроблені прямими — це полегшує розрахунки, рухи виходять простішими, а сама конструкція жорсткіша й менш схильна до деформацій. На кінці — захват із трьома пальцями. Така схема дозволяє утримувати об'єкти різної форми, навіть без складних сенсорів чи зворотного зв'язку. Просто, але надійно.

Рука кріпиться безпосередньо до корпусу робота — це дає змогу зробити її коротшою, а тому — вона міцніша. Матеріал — алюмінієвий сплав, бо він легкий і досить міцний. Загалом, просту, зручну і функціональну конструкцію, яка справляється з типовими виробничими задачами й не перевантажує робота зайвими деталями.

Складові руки та її функції:

Рука складається з окремих з'єднаних сегментів, які легко обслуговувати або замінювати.

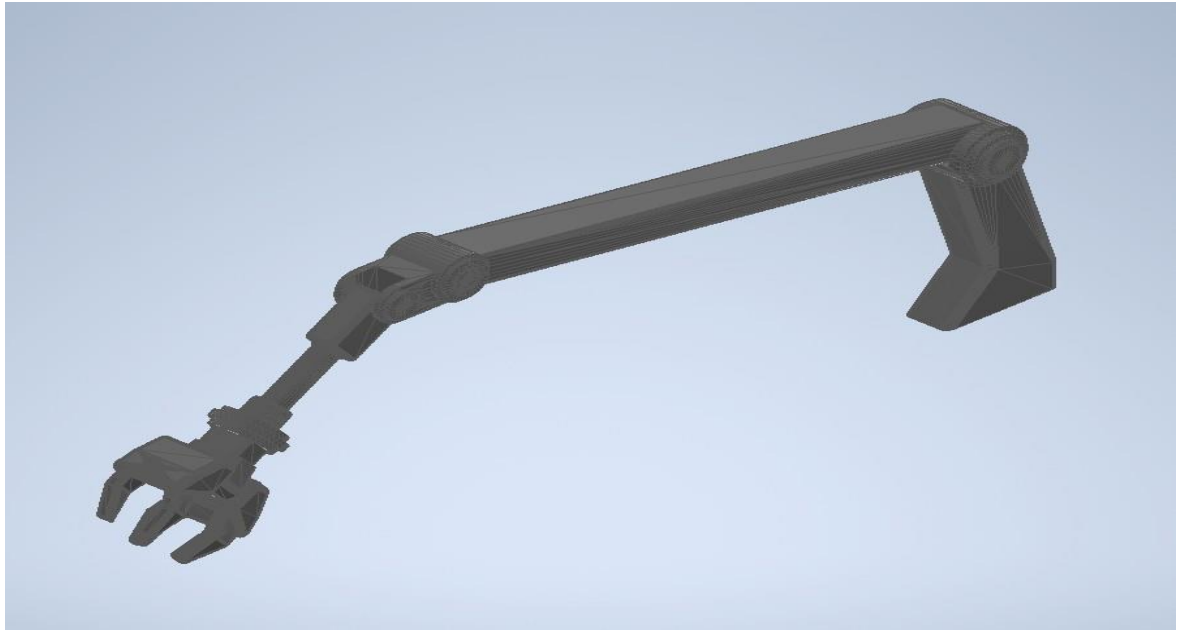
Вибрано 3–4 ступені свободи — це оптимальний баланс між гнучкістю та простотою керування.

Пряма конструкція важелів спрощує проектування, зменшує ризик зіткнень і полегшує програмування рухів.

Три «пальці» дозволяють надійно тримати предмети різної форми без складних датчиків чи систем зворотного зв'язку.

Усі шарніри розраховані на встановлення потужних серводвигунів.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2.4-Модель маніпуляторної руки робота з трьома ступенями свободи та захватом клешневого типу

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Створення кінцевого захвату маніпулятора в Autodesk Inventor

Один із ключових елементів маніпулятора — це захват, який розташовується на його кінці. Саме він безпосередньо взаємодіє з об'єктами: утримує, піднімає або переміщує їх. У цьому випадку мова йде про двощелепний механізм, у якому обидві щелепи симетричні та приводяться в рух центральним приводом.

### Загальна конструкція

Механізм складається з двох частин, які обертаються навколо спільної осі. Робочі грані зроблені під кутом, щоб забезпечити краще захоплення предметів. Уся конструкція надійно кріпиться до маніпулятора через перехідник або фланець. Під час проєктування враховувалися вимоги до міцності, точності форми й технологічності виготовлення.

Це рішення виявилось зручним під час моделювання та не викликало труднощів при складанні. Обрав двощелепний тип через його просту геометрію та ефективність у базових захватах.

### Як створювався захват у Inventor

#### 1. Побудова першої щелепи

Розпочинається з нової деталі. В ескізі креслиться форма щелепи з урахуванням розмірів і кутів скошування. Далі вона витягується в об'ємну модель, а при потребі — заокруглюються краї або додаються фаски.

#### 2. Друга щелепа

Може бути створена як дзеркальна копія першої або змодельована окремо. Обидві деталі встановлюються у збірці так, щоб мали спільну вісь обертання.

#### 3. Механізм з'єднання

Основний вузол — це елемент, що утримує щелепи та приводить їх у рух. Він може мати отвір для вала або кріплення сервоприводу.

### Складання та налаштування

Після побудови деталей вони збираються в єдину систему. Встановлюються обмеження руху, щоб щелепи відкривалися і закривалися одночасно та

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

симетрично. Для перевірки роботи іноді додається умовний привід, щоб наочно побачити, як усе працює..

Після складання деталям призначаються матеріали (наприклад, алюмінієвий сплав 6061), кольори та текстури. Готову модель можна представити у вигляді креслення або 3D-візуалізації.

#### Висновок

Створена модель захватного механізму повністю відповідає вимогам і добре підходить до конструкції маніпулятора. Використання Autodesk Inventor дозволило пройти всі етапи — від створення окремих деталей до повної збірки й анімації руху. Такий підхід забезпечує точність, універсальність і можливість виготовлення або 3D-друку компонентів у майбутн

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4-Кінцевого захвату маніпулятора.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Створення симуляції руху у середовищі Gazebo

Після створення 3D-моделі робота я імпортував її у Gazebo, щоб налаштувати фізичні параметри й протестувати рухи у віртуальному середовищі. Тут задавався матеріал, вага деталей, обмеження для суглобів і взаємодія з поверхнею.

Особисто я перевіряв це на кількох зразках — і було видно, як відрізняється фізика при зміні маси.

Використання симулятора дозволяє перевірити всі конструктивні та програмні рішення ще до створення справжнього прототипу. Це економить час і ресурси, а також дає можливість одразу виявити й виправити недоліки.

Основні налаштування симуляції:

Фізика:

Вибирається фізичний рушій (ODE або Bullet) для реалістичної симуляції контактів і тертя. Вказуються реальні маси всіх компонентів (корпус, ноги, маніпулятор), щоб динаміка була максимально наближена до справжньої. Центр мас налаштований для стійкості, а коефіцієнт тертя для ніг встановлено у межах 0.7–1.0.

Шарніри:

Для ніг і маніпулятора використовуються ротаційні шарніри. Кути руху обмежені (наприклад, від  $-45^\circ$  до  $+90^\circ$ ), а також додано демпфування, щоб рухи були плавними і без ривків.

Параметри ми виставляли не одночасно, а поетапно: спочатку маси, потім центр мас, далі тертя.

Сенсори:

Встановлено IMU для відстеження положення та стабілізації. За потреби додаються камери або лідари для навігації та візуального сприйняття.

Візуальні налаштування:

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітлення зроблено м'яким і рівномірним, фон — нейтральний, щоб модель робота була добре видна. Якість рендерингу середня, цього достатньо для демонстрації і не перевантажує комп'ютер.

Камера:

Кут огляду встановлено 45–60°, щоб повністю охопити модель. Відстань і положення камери підбрані так, щоб було добре видно робота збоку і зверху, особливо рухомі частини.



Рисунок 2.5-модель чотириноного робота з маніпулятором у середовищі симуляції Gazebo.

Висновок:

У процесі виконання цієї роботи я самостійно змодельовав тривимірну конструкцію чотириноного робота з маніпулятором і завантажив її у симуляційне середовище Gazebo. Це дало можливість на практиці побачити, як саме поводить ся робот під час руху, перевірити його стійкість та протестувати базові механізми без потреби виготовляти фізичний прототип.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Після проведених випробувань стало зрозуміло, що обране конструктивне рішення виявилось доволі вдалим. Надалі це дозволить перейти до налаштування алгоритмів управління та поступового вдосконалення функціональних можливостей платформи.

### 3. КОНСТРУЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ЧОТИРОНОГОГО РОБОТА

Система, яка дозволить роботу самостійно перемішуватись.

Моєю ціллю цього пункту було створення програми для робота, за якою він міг би перемішуватись, бачити різні перешкоди і реагувати на них.

Приклад Python коду для цього руху

```
#!/usr/bin/env python3

import rospy

from std_msgs.msg import Float64MultiArray

def send_leg_commands(pub, angles):
    # angles — список кутів сервоприводів ноги
    msg = Float64MultiArray(data=angles)
    pub.publish(msg)

def main():
    rospy.init_node('leg_controller_node')
    # кожна нога керується окремо
    leg1_pub = rospy.Publisher('/leg1_controller/command', Float64MultiArray,
queue_size=10)
    leg2_pub = rospy.Publisher('/leg2_controller/command', Float64MultiArray,
queue_size=10)
    leg3_pub = rospy.Publisher('/leg3_controller/command', Float64MultiArray,
queue_size=10)
    leg4_pub = rospy.Publisher('/leg4_controller/command', Float64MultiArray,
queue_size=10)

    rate = rospy.Rate(1) # 1 Гц цикл
```

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

```

while not rospy.is_shutdown():
    # Приклад команд для ніг (3 кутові позиції на ногу)
    leg1_angles = [0.2, 0.4, 0.1]
    leg2_angles = [-0.2, 0.3, 0.15]
    leg3_angles = [0.1, 0.45, -0.1]
    leg4_angles = [-0.1, 0.35, 0.2]
    send_leg_commands(leg1_pub, leg1_angles)
    send_leg_commands(leg2_pub, leg2_angles)
    send_leg_commands(leg3_pub, leg3_angles)
    send_leg_commands(leg4_pub, leg4_angles)
    rospy.loginfo("Leg commands sent")
    rate.sleep()

if __name__ == '__main__':
    try:
        main()
    except rospy.ROSInterruptException:
        pass

```

Для управління ногами робота четвертого покоління я розробив просту програму на Python, використовуючи середовище ROS (Robot Operating System). Основна задача цієї програми — надсилати команди сервоприводам кожної ноги з певною частотою, щоб контролювати рухи у трьох суглобах кожної ноги.

Як це було реалізовано:

Я створив окремий ROS-вузол під назвою `leg_controller_node`, який працює в циклі з частотою 1 раз на секунду. Саме цей вузол відповідає за надсилання команд для управління ногами.

Для кожної з чотирьох ніг я налаштував окремий канал (публікатор), через який передаються команди у вигляді трьох кутів для кожного суглоба.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У циклі програми задаються потрібні кути для кожної ноги, і ці значення надсилаються на сервоприводи, які рухають ноги відповідно до команд.

Під час тестування я перевіряв, чи правильно працює зв'язок із каналами та чи відповідають рухи ніг заданим командам. Для цього порівнював очікувані кути з реальними рухами.

#### Висновок:

Створена програма дозволяє базово керувати ногами робота, забезпечуючи їх рух згідно з поставленими цілями. Це хороший фундамент для подальшого розвитку та ускладнення функцій робота. Таблиця з прикладом кутів

Нога	Сустав 1	Сустав 2	Сустав 3	Частота (Гц)
1. leg1	0.2	0.4	0.1	1
2. leg2	-0.2	0.3	0.15	1
3. leg3	0.1	0.45	-0.1	1
4. leg4	-0.1	0.35	0.2	1

## Як працює алгоритм

Коли програма запускається, спочатку створюється спеціальний вузол у ROS — це як центр керування, який відповідає за рухи робота. Для кожної ноги налаштовується окремий канал, через який надсилаються команди.

Далі все відбувається по колу: програма розраховує, під яким кутом має згинатися кожен суглоб, і надсилає ці значення на відповідні серводвигуни. Серводвигуни отримують команди й рухають ноги так, як потрібно. Цей процес постійно повторюється, завдяки чому робот може рухатися плавно й керовано.

Що для цього використовувалося

ROS — це спеціальна платформа, яка допомагає організувати роботу різних частин робота та дозволяє їм «спілкуватися» між собою.

Python — мова програмування, на якій написаний увесь код для керування ногами.

Серводвигуни — це ті самі моторчики, які отримують команди від програми й приводять у рух ноги робота.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.1 Конструкція та компоненти руки робота.

Ця частина робота — це маніпулятор, який складається з кількох рухомих сегментів. Кожен із них виконує свою важливу роль, щоб рука могла рухатися і виконувати різні завдання.

Основні частини маніпулятора:

1. Основа — це міцна деталь, до якої кріпиться вся конструкція. Вона служить опорою для всіх інших елементів.
2. Плечовий шарнір — перший рухомий вузол, який дозволяє маніпулятору обертатися у просторі та задає основний напрямок руху.
3. Основна ланка (верхня частина руки) — довгий сегмент, який передає рух від плеча до ліктя.
4. Ліктьовий шарнір — другий рухомий вузол, що відповідає за згинання та розгинання маніпулятора, додаючи ще одну ступінь свободи.
5. Нижня ланка (передпліччя) — з'єднує ліктьовий шарнір із хватом і передає йому рух.
6. Кінцевий механізм (хват) — це спеціальний пристрій на кінці маніпулятора, який захоплює та утримує різні об'єкти.

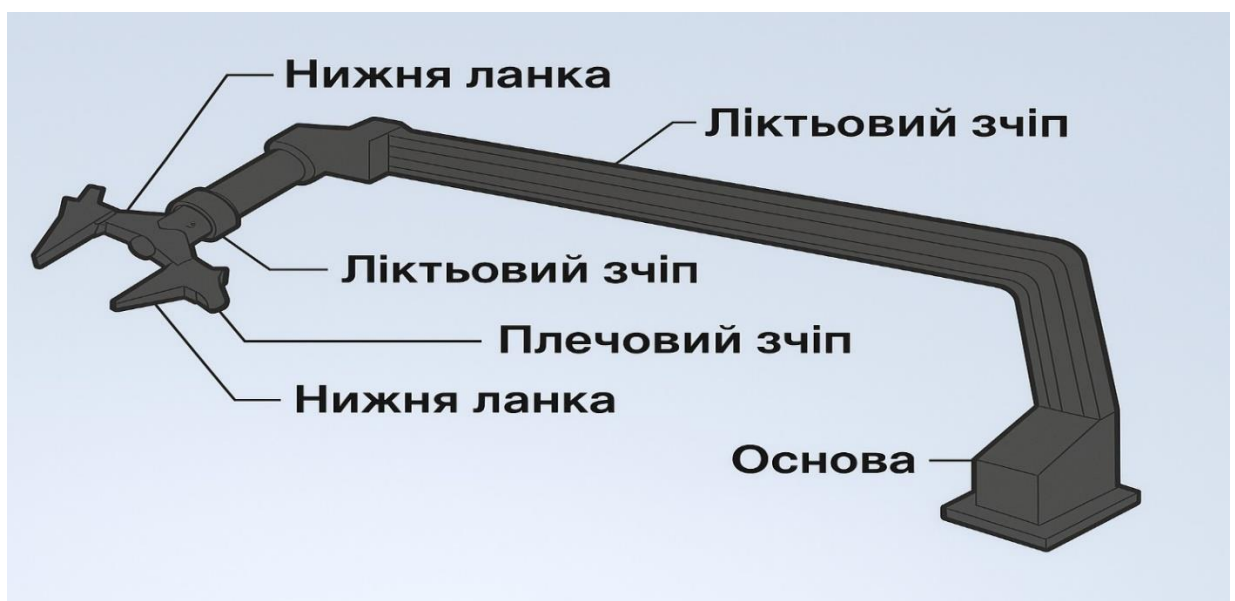


Рисунок 3.1 Конструкція та компоненти маніпулятора робота.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

### 3.2 Оцінка слабкої ланки робота.

Щоб з'ясувати, яка частина конструкції може бути потенційно слабкою, я спочатку проаналізував основні елементи, які піддаються навантаженням — це ноги, суглоби, маніпулятор і критичні вузли з'єднання.

Оцінка навантаження на ноги:

Маса всього робота — 12 кг. Якщо розділити вагу на чотири ноги, виходить по 3 кг на кожну. При стандартному прискоренні вільного падіння ( $9.81 \text{ м/с}^2$ ), сила на одну ногу — приблизно 29.43 Н у статичних умовах.

Крутний момент у суглобах:

Враховуючи, що довжина сегмента ноги становить 0.25 м, я отримав момент:  $29.43 \text{ Н} \times 0.25 \text{ м} = 7.36 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Цей вузол і потребує перевірки на міцність.

Міцність матеріалу:

Я захотів використати алюміній 6061. Для діаметра 0.02 м, гранична сила на розрив — понад 86 000 Н, що в рази перевищує навантаження. Тобто в двох словах конструкція має достатній запас міцності.

Маніпулятор:

Кожен сегмент має вагу по 1 кг, тому сила — 9.81 Н, а крутний момент (якщо довжина 0.3 м) — 2.94 Н·м. Це є значно нижче критичних значень для даного матеріалу.

.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де може бути слабка ланка?

Найбільш вразливими залишаються суглоби, адже саме через них проходять основні крутні моменти. Якщо ж сервоприводи недостатньо потужні або точні, це також може стати проблемою. В умовах руху чи при перенесенні важких предметів навантаження можуть зрости, тому ці моменти потрібно враховувати.

Висновок:

У ході спостереження стало зрозуміло, що в статичних умовах конструкція — і ноги, і маніпулятор — поводяться стабільно. Але під час активного руху або навантаження можуть з'явитися додаткові сили, які не варто ігнорувати, особливо у вузлах з'єднання. Це потрібно враховувати, щоб уникнути пошкоджень у майбутньому.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ОЦІНКА СЛАБКОЇ ЛАНКИ РОБОТА

Маса робота: 12 кг

Маса на ногу = 3 кг

$$F_{leg} = 3 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 = 29,43 \text{ Н}$$

Матеріал: алюміній 6061

Межа плинності: 276 МПа

Допустима сила:  $F_{maxI}$

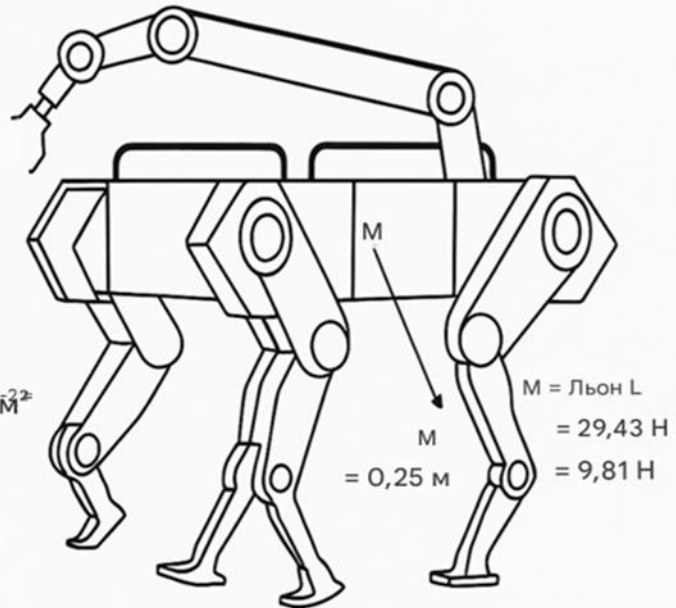
$$F_{maxI} = \frac{\sigma_{0,2}}{S} = \frac{276 \times 10^6 \text{ Па}}{3,14 \times 10^{-4} \text{ м}^2} = 86664 \text{ Н}$$

Слабка ланка: шарніри або виконавчі механізми

Маса чоловіка: 1 кг

$$F_{manip} = 1 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 = 9,81 \text{ Н}$$

Висновок: шарніри або приводи



Маніпулятор

$$F_{manip} = 1$$

$$\text{кг} = 9,81 \text{ Н} \times 0,3 \text{ м}$$

Масовий маніпулятор

$$F_{manip} = 1 \text{ кг}$$

$$= 2,91 = 2,94 \text{ м}$$

Рисунок 3.2-Зображення розрахунків для оцінення слабкої ланки в роботі маніпуляторі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.ПМІ-62.000 ПЗ

Арк.

35

### 3.3 Розрахунок посадок і допусків

Приклади підбору посадок

#### 1. Жорстке з'єднання (типу “вал-муфта”)

Для з'єднання Ø10 мм я використав посадку H7/p6, яка дає гарантований натяг:

Отвір H7: 10.000...10.015 мм

Вал p6: 10.026...10.043 мм

→ Натяг: від 11 до 43 мкм

Це забезпечує надійне фіксування без ковзання навіть при навантаженні.

#### 2. Зазорне з'єднання (наприклад, для обертової осі у шарнірі)

При Ø20 мм було вибрано H7/g6:

Отвір H7: 20.000...20.025 мм

Вал g6: 19.959...19.983 мм

→ Зазор: 17...66 мкм

Такий допуск дозволяє вільне обертання без заїдання.

#### 3. Перехідна посадка (для знімного, але щільного з'єднання)

Для Ø15 мм взято H7/k6:

Отвір: 15.000...15.018 мм

Вал: 15.003...15.018 мм

→ Можливий легкий натяг або зазор: -3 мкм до +18 мкм

Це рішення зручне, коли елемент потрібно знімати під час обслуговування, але без люфту.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

Елемент	Посадка	Призначення
Серводвигун	H7/p6	Жорстке з'єднання без люфту
Суглоб ноги	H7/g6	Обертовий вузол з гарантованим зазором
Маніпулятор	H7/k6	Перехідна посадка для знімного кріплення

## Розрахунок допусків

Посадка	Номинальний розмір (мм)	Поле допуску (мкм)
H7	30	+0 +25
g6	30	-14 -20
h7	20	0 +18
h6	20	0 -9
C11	8	+370 +460

Рисунок 3.3 Зображення розрахунку допусків

Еквівалентне напруження робота.

Щоб впевнитися, що конструкція справді надійна, я перевінив, яке навантаження витримує одна з її деталей. Для цього використав метод Мізеса — він допомагає зрозуміти, наскільки сильно «напрягається» матеріал і чи не близький він до моменту, коли почне деформуватись.

Це особливо важливо, бо деталь зроблена з алюмінієвого сплаву, і потрібно заздалегідь знати, чи витримає він роботу без поломок.

Ось які були дані для розрахунку:

Матеріал — алюміній 6061-Т6 (досить легкий і міцний).

Діаметр деталі — 20 мм.

Навантаження, яке діє на неї — 70 ньютонів.

Крутний момент у місці з'єднання — 10,5 ньютон-метрів.

Межа, коли алюміній починає деформуватись — 276 мегапаскаль.

Ці розрахунки дали змогу зрозуміти, чи все гаразд з міцністю, і чи не потрібно щось підсилювати або змінювати в конструкції.

### 1. Розрахунок нормального напруження від осьового навантаження

Визначаємо площу поперечного перерізу:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.02^2}{4} = 3.14 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{70}{3.14 \times 10^{-4}} \approx 223.9 \text{ МПа}$$

### 2. Розрахунок дотичного (зсувного) напруження від крутного моменту

Полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{3.14 \cdot 0.02^3}{16} = 1.57 \times 10^{-7} \text{ м}^3$$
$$\tau = \frac{M}{W_p} = \frac{10.5}{1.57 \times 10^{-7}} \approx 66.9 \text{ МПа}$$

### 3. Еквівалентне напруження за критерієм Мізеса

Загальне еквівалентне напруження визначається як:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{(223.9)^2 + 3 \cdot (66.9)^2} = \sqrt{50134.6 + 13443.8} = \sqrt{63578.4} \approx 252 \text{ МПа}$$

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

Пораховане напруження на одну з деталей робота — вийшло приблизно 252 мегапаскалі. Це трохи менше, ніж межа, при якій алюміній 6061-T6 починає деформуватись (вона десь 276 МПа). Тобто, загалом деталь витримає, працювати буде.

Але є нюанс — запас міцності невеликий, лише близько 9%. Для коротких навантажень, разових дій — цього достатньо. Але якщо робот буде довго працювати або отримає удари, є ризик, що деталь із часом «втомиться» і зламається.

Тому я вирішив, що краще підстрахуватись: або зробити цю частину товстішою, або трохи змінити її форму, щоб на неї не діяло таке велике зусилля. Це зробить всю конструкцію надійнішою й довговічнішою.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як я перевіряв робота в умовах, наближених до справжнього виробництва  
Після того як я зібрав робота, запрограмував його й налаштував базові команди для руху, я вирішив перевірити, як він покаже себе не в лабораторії, а в умовах, які схожі на справжній цех.

Що хотів дізнатися?

Чи зможе він нормально рухатись у тісному просторі, чи не буде падати на нерівній підлозі, чи зможе сам обминати перешкоди і не збиватись із маршруту.

Як проходив тест

Місце вибрав непросте: звичайна виробнича зона, де купа обладнання, вузькі проходи, іноді їздять візки або хтось щось несе. Ідеальне середовище, щоб побачити, як робот справиться без допомоги.

Я запустив його в автономному режимі. Він сам створював карту, будував маршрут і вирішував, куди йти, за допомогою датчиків (типу LIDAR і IMU). Ніхто йому не підказував, усе в реальному часі.

Що побачив у результаті

Реагував на перешкоди швидко — за пів секунди;

Добре тримав маршрут, не збивався;

Навіть на плитах і похилих місцях ішов упевнено, не хитався;

Двигуни працювали стабільно, не перегрівалися;

Ніяких поломок чи деформацій не було.

Я протестував два варіанти:

— коли все йшло гладко — робот дійшов до всіх точок;

— коли на шляху з'являлись нові об'єкти — він зреагував, оновив карту й обійшов усе сам.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсумок — робот справився добре, ніяких серйозних проблем не виникло. Можна сказати, що він уже майже готовий до справжньої роботи в цеху або на складі.



Рисунок 3.3 Тестування пересування чотириноного робота в умовах виробничого цеху

### Висновок

Під час тестування я переконався, що конструкція справді готова до використання в умовах реального виробництва. Робот самостійно пересувається, своєчасно реагує на перешкоди, а вузли корпусу показали себе надійними в роботі. Це дає змогу говорити про реальну перспективу його застосування в цехах — наприклад, для переміщення деталей або для перевірки обладнання без участі людини.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У перспективі планується доопрацювати програму так, щоб вона краще адаптувалась до змін освітлення. Також хочемо додати камери глибини — це допоможе точніше орієнтуватися в просторі. Ще один етап — підключення робота до віддаленого моніторингу через локальну мережу або хмару.

### **3.4 Промислові сценарії застосування чотириноного мобільного робота.**

Сьогодні виробництва все частіше автоматизують, і для цього потрібні мобільні роботи, які можуть працювати у складних, змінних умовах, обходити перешкоди й не бути прив'язаними до чітко визначених маршрутів. Одним із найцікавіших рішень є чотириногі роботи з маніпулятором — вони добре пересуваються по різних поверхнях і можуть виконувати різні завдання завдяки «руці». Такі роботи можуть не лише доповнити, а й частково замінити класичні візки, маніпулятори чи наземні дрони на виробництві.

Де можна застосовувати такого робота:

Інспекція та обхід об'єктів

Під час тестування я помітив що завдяки своїй мобільності робот може самостійно пересуватися між обладнанням, підніматися на платформи чи долати невеликі перешкоди. Це дозволяє регулярно перевіряти стан устаткування без участі людини.

Локальна логістика

Маніпулятор дає змогу піднімати невеликі предмети (наприклад, деталі чи коробки) і переносити їх у потрібне місце. Це допомагає автоматизувати доставку матеріалів або обслуговування ліній.

Дистанційне втручання в аварійних ситуаціях

Якщо на виробництві сталася аварія чи несправність, робот може швидко потрапити у небезпечну зону, оглянути її, відкрити клапан, вимкнути обладнання чи передати відео оператору.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На мою думку, саме маніпулятор відкриває найбільше можливостей

### Періодичний збір даних

Робот можна оснастити різними сенсорами (наприклад, термокамерою чи газоаналізатором), щоб автоматично збирати інформацію про стан обладнання або середовища й передавати її для аналізу.

### Чому це краще, ніж звичайні системи

Цей тип роботів може вільно рухатися по різних типах поверхні — навіть по решітках, похилих ділянках чи вологій підлозі. І що важливо — вони не просто пересуваються, а ще й здатні піднімати й переносити вантажі, перевіряти стан обладнання та виконувати інші завдання, які раніше робили тільки люди.

До такого робота можна додати додаткове обладнання — наприклад, сканер чи зварювальну голівку, залежно від потреби. Він може працювати як самостійно, так і під управлінням оператора. Це особливо актуально зараз, коли не вистачає робочих рук.

Робот орієнтується в просторі за допомогою сучасних технологій — таких як SLAM, хмарні сервіси та інші засоби навігації.

Чотириногі роботи добре вписуються в систему «розумного» виробництва: вони можуть взаємодіяти з іншими машинами, допомагати в складальних процесах або виконувати завдання на основі даних із загальної системи підприємства.

Що ще можна покращити:

1. Оснастити стереокамерою або LiDAR — для кращої навігації.
2. Покращити маніпулятор — щоб міг виконувати складніші дії.
3. Додати автоматичну зарядку — щоб робот міг працювати без втручання.
4. Інтегрувати в систему безпеки підприємства — щоб допомагав у моніторингу та реагував на надзвичайні ситуації.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



3.4 Чотириногий робот у промисловому середовищі біля конвеєрної лінії.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

Результатом, конструювання та тестування я можу робити такий висновок що створений мною чотириногий робот може добре виконувати завдання при мінімальних змінах. Його універсальність, стійкість і здатність до автономної навігації відкривають широкі можливості на сучасних виробництвах.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### **4.Висновки по бакалаврській.**

У результаті виконання бакалаврської роботи я виконав повний цикл створення прототипу чотириноного мобільного робота з маніпулятором.

Проект охопив усі етапи — від ідеї до практичного тестування, що дозволило не лише перевірити технічну реалізованість задуму, а й оцінити перспективи його використання в реальних умовах.

Основні етапи та досягнення проєкту:

Проектування конструкції:

На цьому етапі я створив детальну 3D-модель робота, яка включає чотири ноги та роботизовану руку, що може рухатись у кількох напрямках. Особливу увагу приділено компактності та можливості адаптації конструкції під різні завдання.

На мій погляд, найбільш складним етапом було налагодження симуляції руху в ROS.

Підбір матеріалів і розрахунок навантажень:

1.Міцність і надійність конструкції.

Щоб робот був надійним і витримував навантаження, я провів розрахунки — перевірив, які сили діють на основні частини конструкції. Також з'ясував, які напруження виникають під час роботи, і переконався, що обраний матеріал — алюміній 6061 — підходить і має достатню міцність для використання на виробництві.

2.Розробка електроніки та програми.

Було створено просту схему живлення і керування, з урахуванням того, що робот працює автономно. Для управління ногами я написав базову програму на мові Python у середовищі ROS — вона дозволяє роботу рухатись, змінювати положення і виконувати прості дії.

3.Моделювання та перевірка віртуально.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Я змодлював, як робот пересувається у віртуальному середовищі, схожому на справжній цех. Це допомогло перевірити, чи не втрачає він рівновагу, як обходить перешкоди і як реагує на зміну поверхні або предмети на шляху.

#### 4. Як можна використовувати на практиці

Ідеї для практичного використання

Неважкий нагляд робочий пропонується запропонувати: він може переміщати деталі або коробки, виручати в аварійній ситуації, на ручці можна встановити додаткові датчики для збору інформації, наприклад про температури або газу.

Результати тестів

Я переконався, що навіть базовий маніпулятор може дати багато сценаріїв застосування.

Робот був випробуваний в дії, і він виявив себе дуже добре, стійко й обходив приховування, не вводив вжитку і виробників — це означає, що всі технічні рішення були прийнятними, і наш проект дійсно працює. Що його слід підтримати

Результати показали його функції. В майбутньому до нього можна додати ще:

1. юрлітові сенсори, які допоможуть йому орієнтуватися у просторі краєвиду, наприклад, камери лазерні датчики газів;
2. навчити його самореєструванню і приймати рішення;
3. оснащення осередками через Інтернет або хмарними сервісами і керування на відстані для сучасних шляхи тивних робітників;
4. навчити його більш енергоефективним, наприклад нових акумуляторів або кращої схеми живлення.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Висновок:**

Таким чином, підсумовуючи зроблену роботу, можна сказати , що поставлену мету було досягнуто – було створено прототип чотириноного мобільного робота з маніпулятором, який може виконувати завдання на виробництвах. Всі етапи проходження від проєктування до тестування завершилися успішно і було надіслано результати, що підтверджують ефективність і перспективність обраної концепції.

Вивчений проєкт готовий до подальших кроків як у напрямку реального виробничого впровадження, так і для наукових цілей.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.Список використаних джерел.

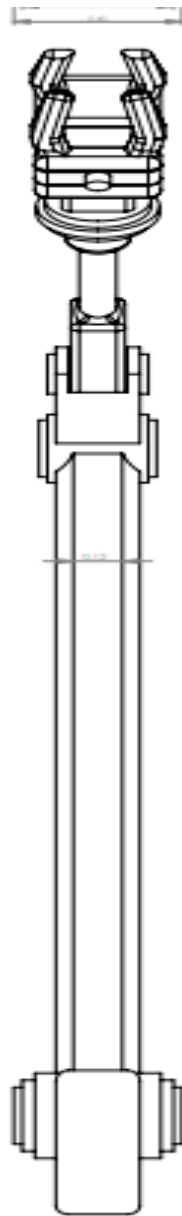
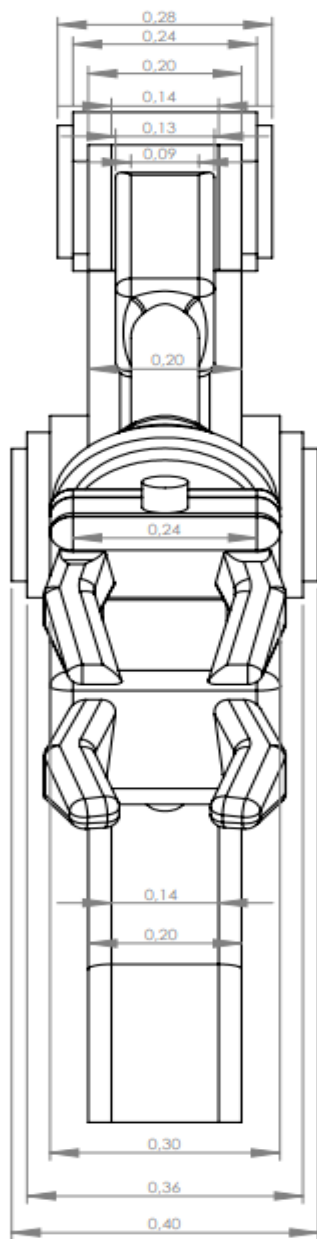
- 1.Фонд робототехніки з відкритим вихідним кодом. Документація щодо моделювання альтанки. – <https://gazebosim.org>
- 2.Сісіліано Б., Хатіб О. (ред.). Довідник Springer з робототехніки. – Springer, 2016.
- 3.ROS Wiki. Документація операційної системи роботів (ROS). – <https://wiki.ros.org>
- 4.Міллер, М. Вивчення ROS для програмування робототехніки. – Packt Publishing, 2017.
- 5.Хатіб, О.. Уникнення перешкод у реальному часі для маніпуляторів та мобільних роботів. 6.Міжнародний журнал досліджень робототехніки. – 1986.
- 7.Русу, Р.Б., Казінс, С. 3D тут: Бібліотека хмар точок (PCL). Міжнародна конференція IEEE з робототехніки та автоматизації (ICRA), 2011.
- 8.Браніцький, М.С., Іное, Х., Фудзімура, К.. Планування руху для мобільних роботів у динамічних середовищах. Журнал «Робототехніка та автоматизація», IEEE, 2003.
- 9.Сісіліано, Б. та ін. Довідник з робототехніки: Основи робототехніки. Springer Science & Business Media, 2016.
- 10.Технічний паспорт: Алюмінієвий сплав 6061-T6 – MatWeb.
- 11.Сициліано Б., О. Хатіб. Довідник з робототехніки. Springer, 2016.
- 12.Корке, П.І. Робототехніка, зір та керування: Фундаментальні алгоритми в MATLAB. – Springer, 2017.
- 13.Крейг, Дж.Дж. Вступ до робототехніки: механіка та керування. – Pearson, 2017.
- 14.Латомбе, Дж.К. Планування руху робота. – Springer, 1991.
- 15.Ф'єрро, Р., та Льюїс, Ф.Л. Керування роботами-маніпуляторами. – Springer, 2007.
- 16.Кумар, В., та Бхатія, А. Робототехніка: проектування, застосування та майбутні напрямки. – CRC Press, 2018.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 17.Се, Л. та Ван, Дж. Огляд автономних мобільних роботів: їх застосування, сучасні технології та майбутні виклики. – Springer, 2019.
- 18.Де Сантіс, А., Сіціліано, Б. та Хатіб, О. Довідник з робототехніки та автоматизації. – CRC Press, 2008.
- 19.Стоянович, Дж. та Мілінкович, М. Проектування та моделювання промислових роботів. – Wiley, 2016.
- 20.Фен, З. та Лю, Дж. Автономні роботи: моделювання, планування шляхів та керування. – Springer, 2020.
- 21.Госселін, К.М. та Анджелес, Дж. Кінематика робота з чотирма важелями. – ASME Journal of Mechanical Design, 1988.

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



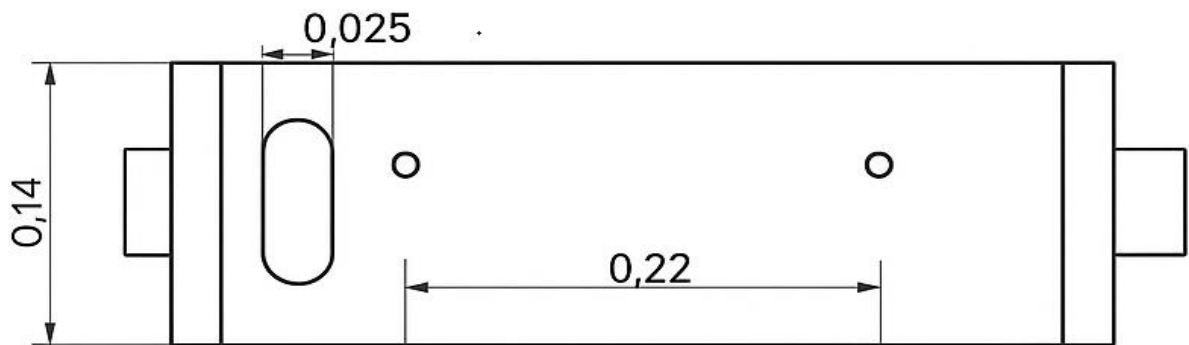
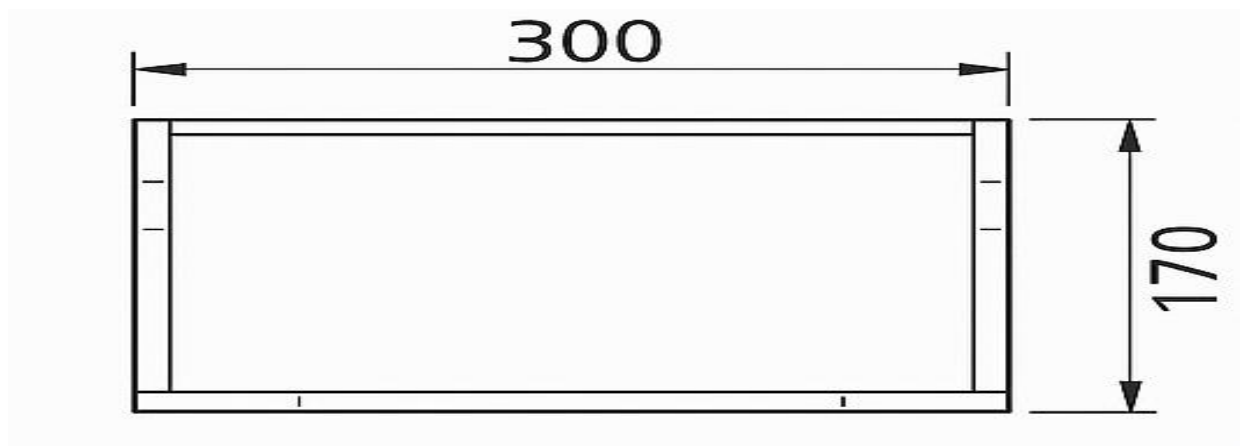
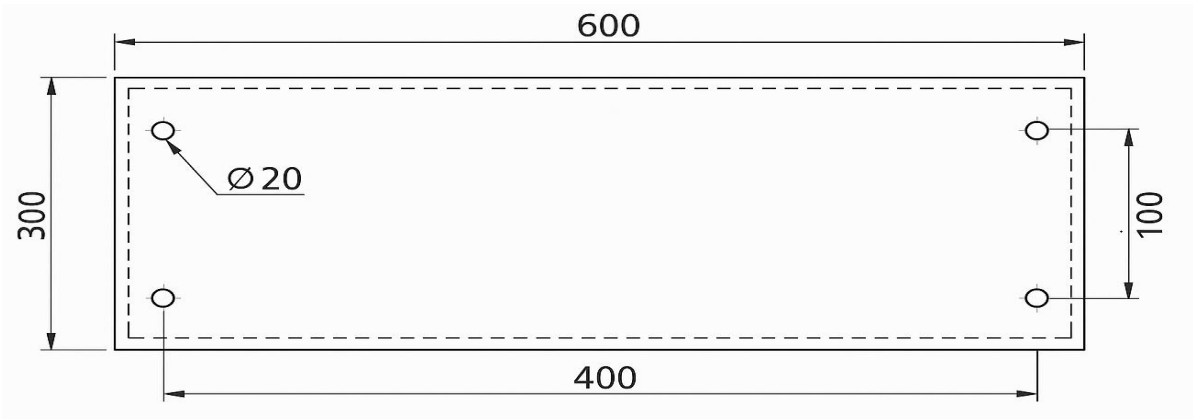


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**БР.ПМІ-62.000 ПЗ**

Арк.

52

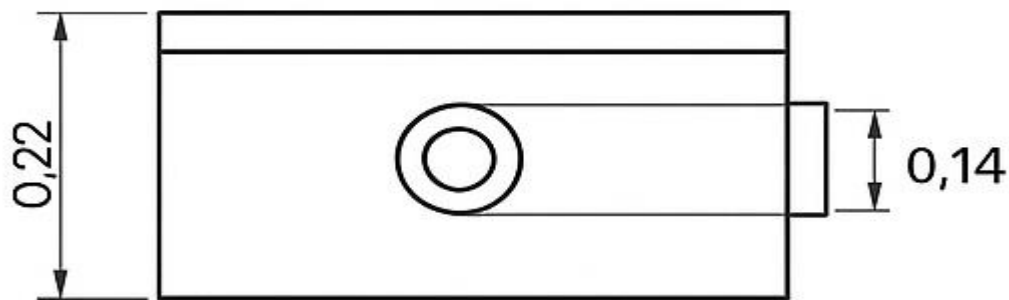


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**БР.ПМІ-62.000 ПЗ**

Арк.

53



```
#!/usr/bin/env python3
import rospy
from std_msgs.msg import Float64MultiArray
from sensor_msgs.msg import Imu
# Функція для відправки команд на ноги
def send_leg_commands(pub, angles):
    msg = Float64MultiArray(data=angles)
    pub.publish(msg)
# Обробка даних IMU для підтримки рівноваги
def imu_callback(msg):
    roll = msg.orientation.x
    pitch = msg.orientation.y
    yaw = msg.orientation.z
    rospy.loginfo(f"IMU Data: Roll: {roll}, Pitch: {pitch}, Yaw: {yaw}")
def main():
    rospy.init_node('robot_leg_controller')
    # Підписка на дані IMU для балансування робота
```

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

```

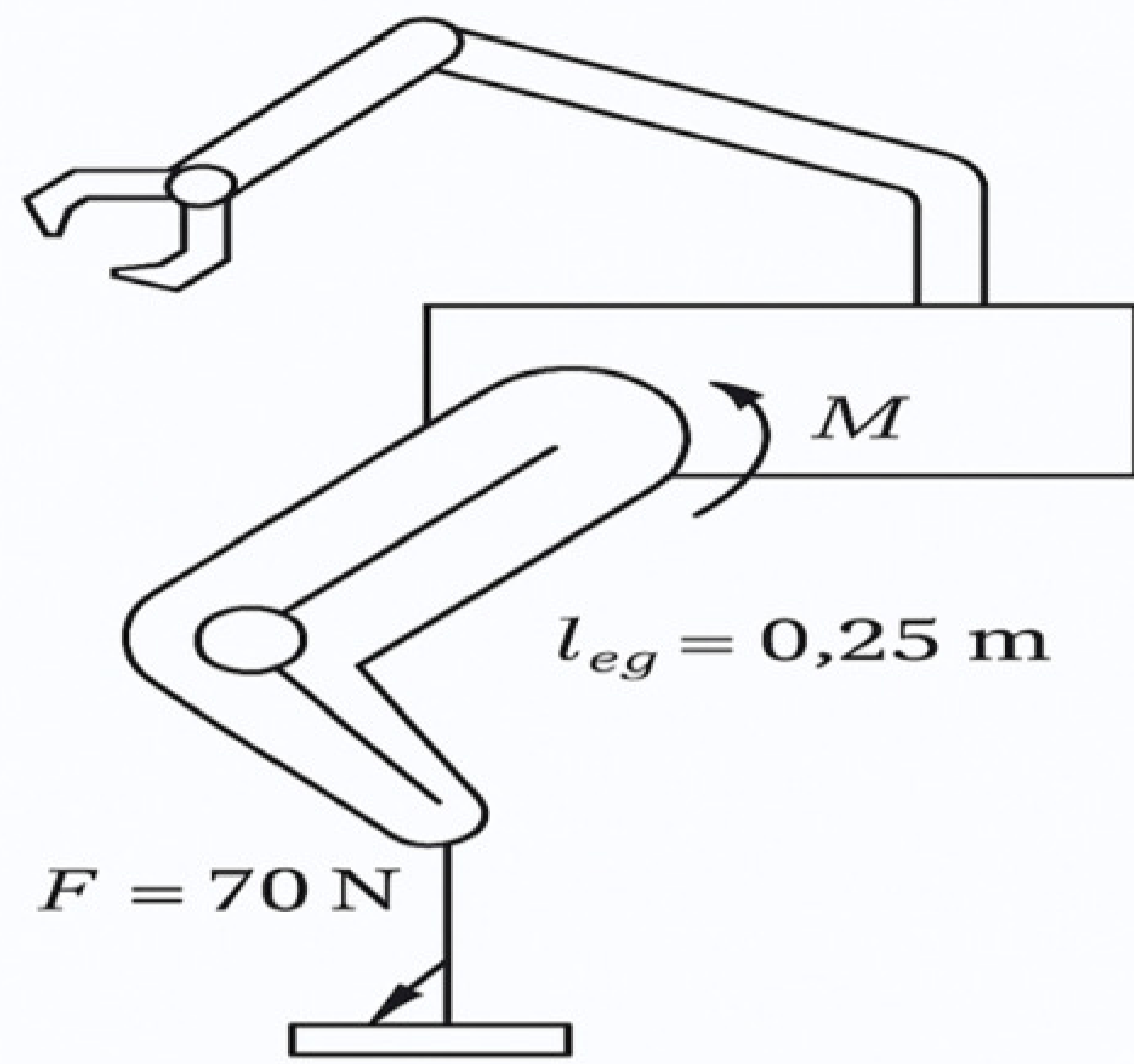
rospy.Subscriber('/imu/data', Imu, imu_callback)
# Публікатори для кожної ноги робота
leg1_pub = rospy.Publisher('/leg1_controller/command', Float64MultiArray, queue_size=10)
leg2_pub = rospy.Publisher('/leg2_controller/command', Float64MultiArray, queue_size=10)
leg3_pub = rospy.Publisher('/leg3_controller/command', Float64MultiArray, queue_size=10)
leg4_pub = rospy.Publisher('/leg4_controller/command', Float64MultiArray, queue_size=10)
# Цикл оновлення команд
rate = rospy.Rate(1) # 1 Гц
while not rospy.is_shutdown():
    # Приклад команд для ніг робота (3 кути на ногу)
    leg1_angles = [0.2, 0.4, 0.1]
    leg2_angles = [-0.2, 0.3, 0.15]
    leg3_angles = [0.1, 0.45, -0.1]
    leg4_angles = [-0.1, 0.35, 0.2]
    # Відправка команд на кожну ногу
    send_leg_commands(leg1_pub, leg1_angles)
    send_leg_commands(leg2_pub, leg2_angles)
    send_leg_commands(leg3_pub, leg3_angles)
    send_leg_commands(leg4_pub, leg4_angles)
    rospy.loginfo("Leg commands sent")
    rate.sleep()
if __name__ == '__main__':
    try:
        main()
    except rospy.ROSInterruptException:
        pass

```

Python код для управління роботом за допомогою сервоприводів у ROS

					<b>БР.ПМІ-62.000 ПЗ</b>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Зображення ноги робота з розрахунком сили і крутного моменту

### ОЦІНКА СЛАБКОЇ ЛАНКИ РОБОТА

Маса робота: 12 кг

Маса на ногу = 3 кг

$F_{leg} = 3 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 = 29,43 \text{ Н}$

Матеріал: алюміній 6061

Межа плинності: 276 МПа

Допустима сила:  $F_{maxI}$

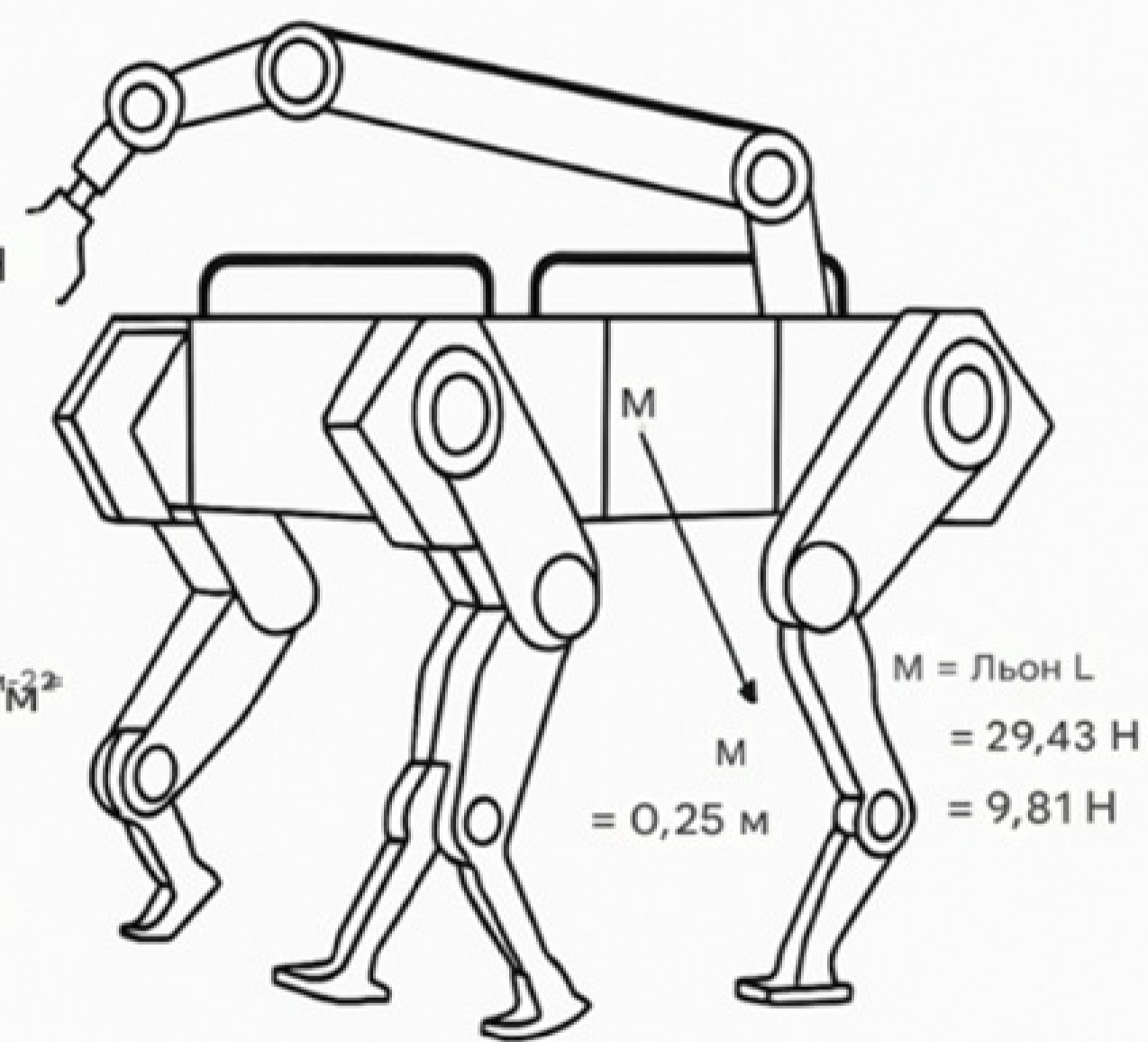
$F_{maxI} = \sigma_{max} \times A = 276 \times 10^6 \times 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 86664 \text{ Н}$

Слабка ланка: шарніри або виконавчі механізми

Маса чоловіка: 1 кг

$F_{manip} = 1 \text{ кг} \times 9,81 \text{ м/с}^2 = 9,81 \text{ Н}$

Висновок: шарніри або приводи



Маніпулятор

Масовий маніпулятор

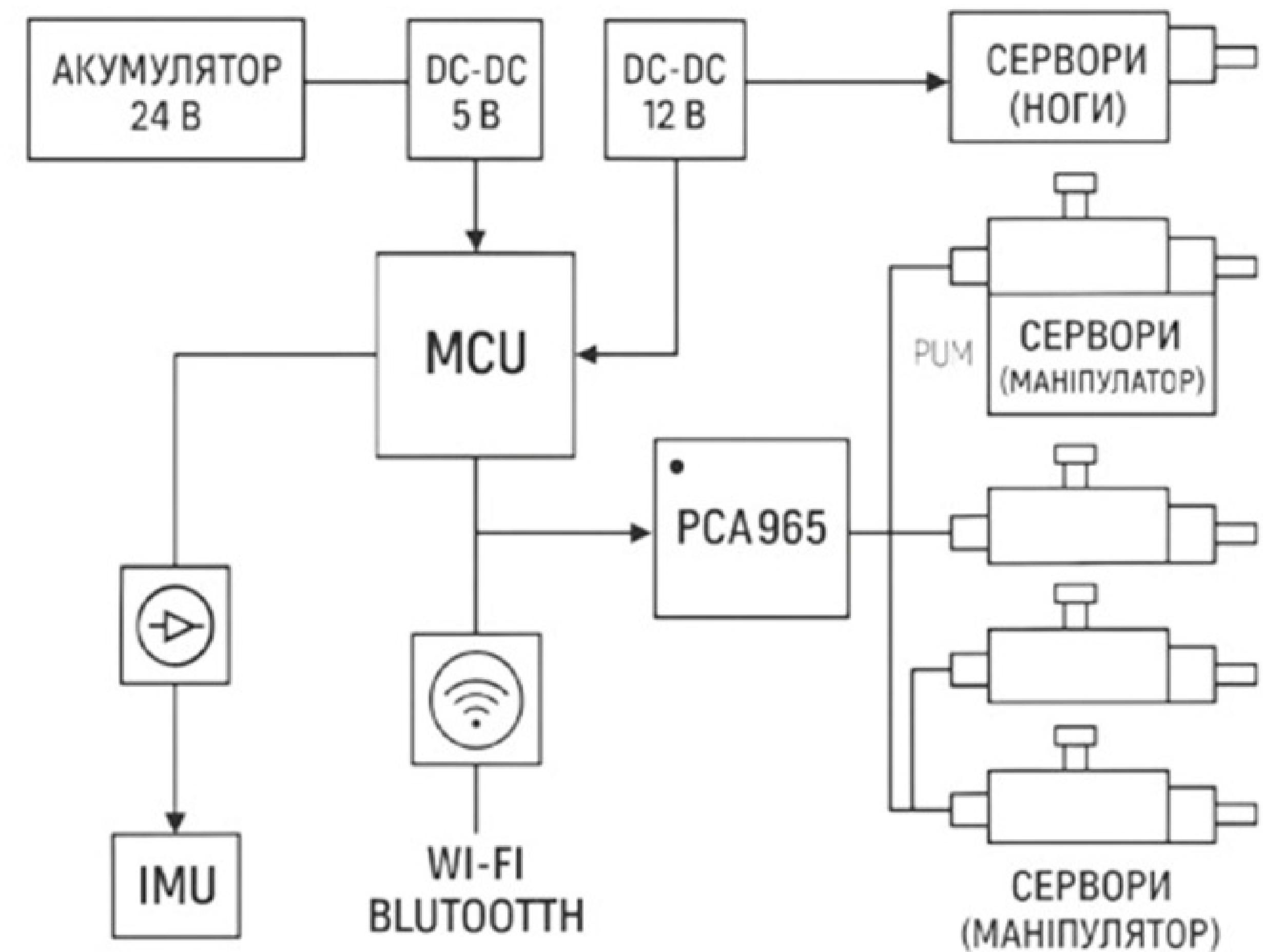
$F_{manip} = 1$

$F_{manip} = 1 \text{ кг}$

$\text{кг} = 9,81 \text{ Н} \times 0,3$

$= 2,91 = 2,94 \text{ м}$

Зображення розрахунків для оцінення слабкої ланки в роботі маніпуляторі.



Електрична схема керування чотириноногого робота.

Загальний процес роботи:

Живлення: Акумулятор забезпечує енергію всіх систем.

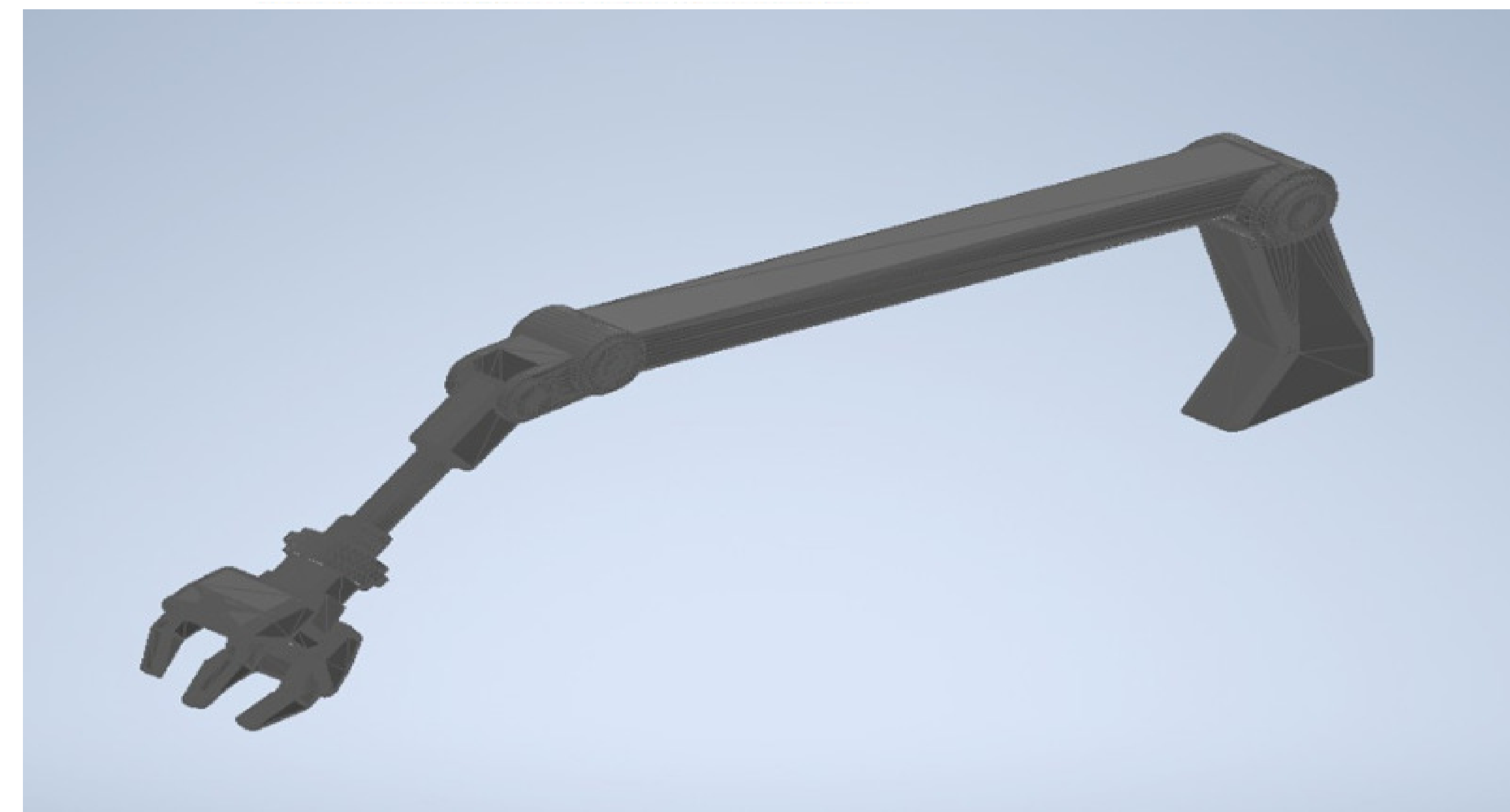
Керування через Wi-Fi/Bluetooth: Надсилання команд шляхом використання смартфона чи комп'ютера.

Мікроконтролер (MCU): приймає команди та зчитує дані з IMU для визначення місцезнаходження робота.

Обробка та управління серво-моторами: MCU надсилає команди на серво-мотори зі допомогою PCA965, щоб змінити положення ніг чи маніпулятора.

Реакція: Робот відповідає командам, здійснюючи рух ніг чи маніпулятора, дотримуючись рівноваги за рахунок IMU.

БР.ПІМІ 21-1 62.00 СХ					Лист	Масштаб
Ізм./Лист	№ док.	Подп.	Дата	Аналіз та конструкція чотириноногого робота з маніпулятором.	Лист	Листов
Разроб	Кізіма О.В					
Проб	Шуляр І.О					
Т. Контр	Панчук В.Г					
Н. Контр	Шуляр І.О			ПІМІ 21-1		
Чтб	Панчук В.Г					



Конструкція та компоненти маніпулятора робота.

Основні компоненти маніпулятора:

1. Основа — міцна частина, яка забезпечує жорстке кріплення всієї конструкції і є опорою для інших елементів.
2. Плечовий шарнір (плечовий зчп) — перший рухомий вузол, що дозволяє обертати маніпулятор у просторі, задаючи базову орієнтацію.
3. Основна ланка (верхня частина руки) — довгий сегмент, який передає рух від плечового вузла до ліктьового.
4. Ліктьовий шарнір (ліктьовий зчп) — другий рухомий вузол, що відповідає за згинання і розгинання маніпулятора, забезпечуючи додаткову ступінь свободи.
5. Нижня ланка (передпліччя) — частина, що з'єднує ліктьовий шарнір із кінцевим механізмом (хвatom), передаючи йому рух.
6. Кінцевий механізм (хвatom) — спеціалізований пристрій для захоплення і утримання об'єктів, який розміщено на кінці маніпулятора.

Модель маніпуляторної руки робота з трьома ступенями свободи та захватом клешневого типу

Складові руки і її функції.

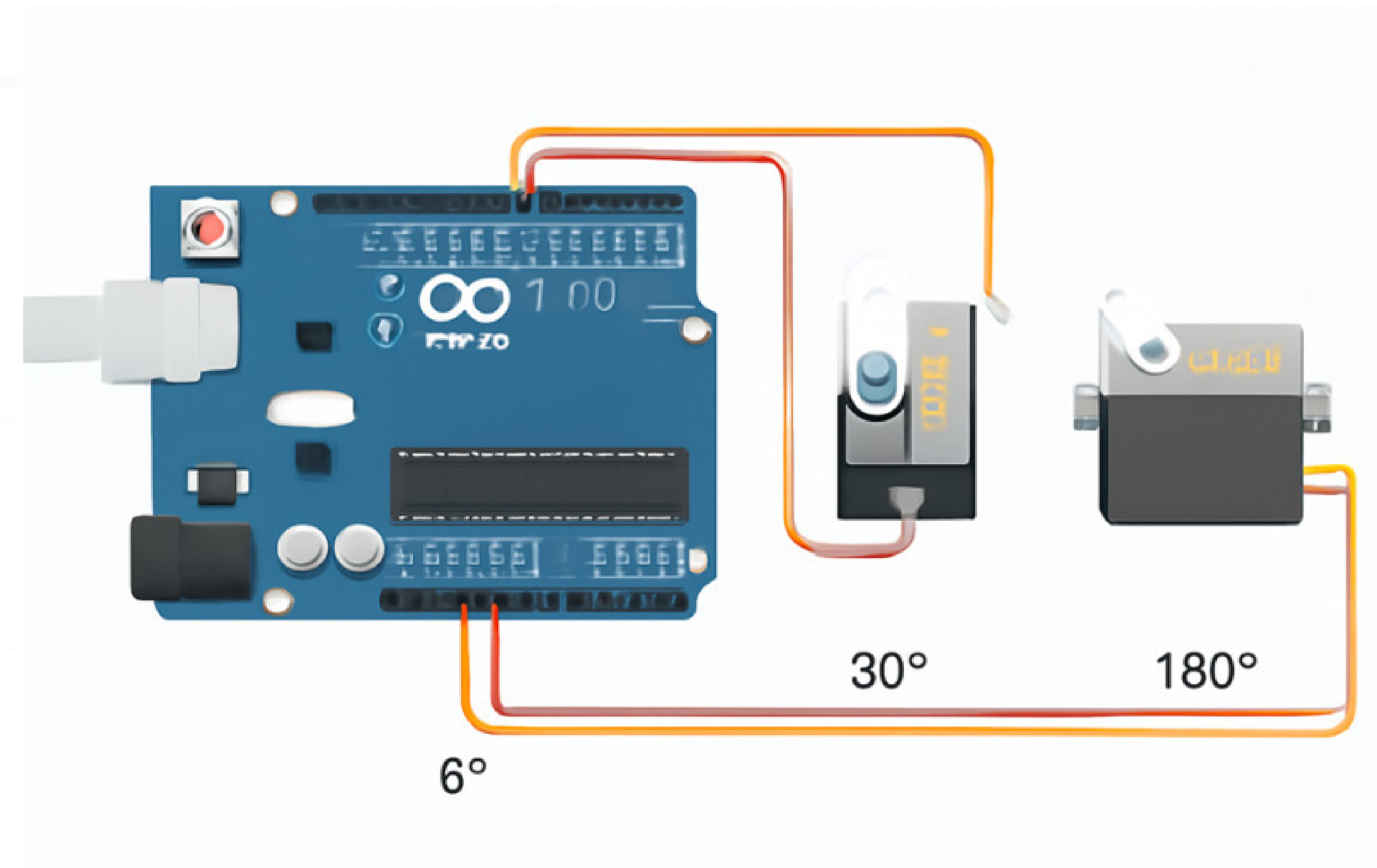
1. Рука складається з окремих з'єднаних сегментів, що дозволяє легко обслуговувати чи замінювати частини.
2. Було обрано 3–4 ступені свободи для досягнення оптимального балансу між гнучкістю та складністю управління.
3. Пряма будова важелів полегшує проектування, зменшує кількість колізій у просторі та спрощує програмне моделювання траєкторії.
4. Конструкція з трьома “пальцями” дозволяє надійно утримувати предмети різної форми без складної системи датчиків або зворотного зв'язку.
5. Усі суглоби виконані з можливістю встановлення серводвигунів з великим моментом, що дозволяє переносити об'єкти.

					<b>БР.ПМІ 21-166.00.001 СК</b>		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	<b>Складові руки та їх функції</b>	Лист	Масштаб
Разроб	Панчук В.Г	Кізіма О.В				Лист	Листов
Проб	Шуляр І.О	Панчук В.Г				<b>ПМІ 21-1</b>	
Т. Контр	Шуляр І.О						
Рецент	Шуляр І.О						
Н. Контр	Панчук В.Г						
Утв							

```

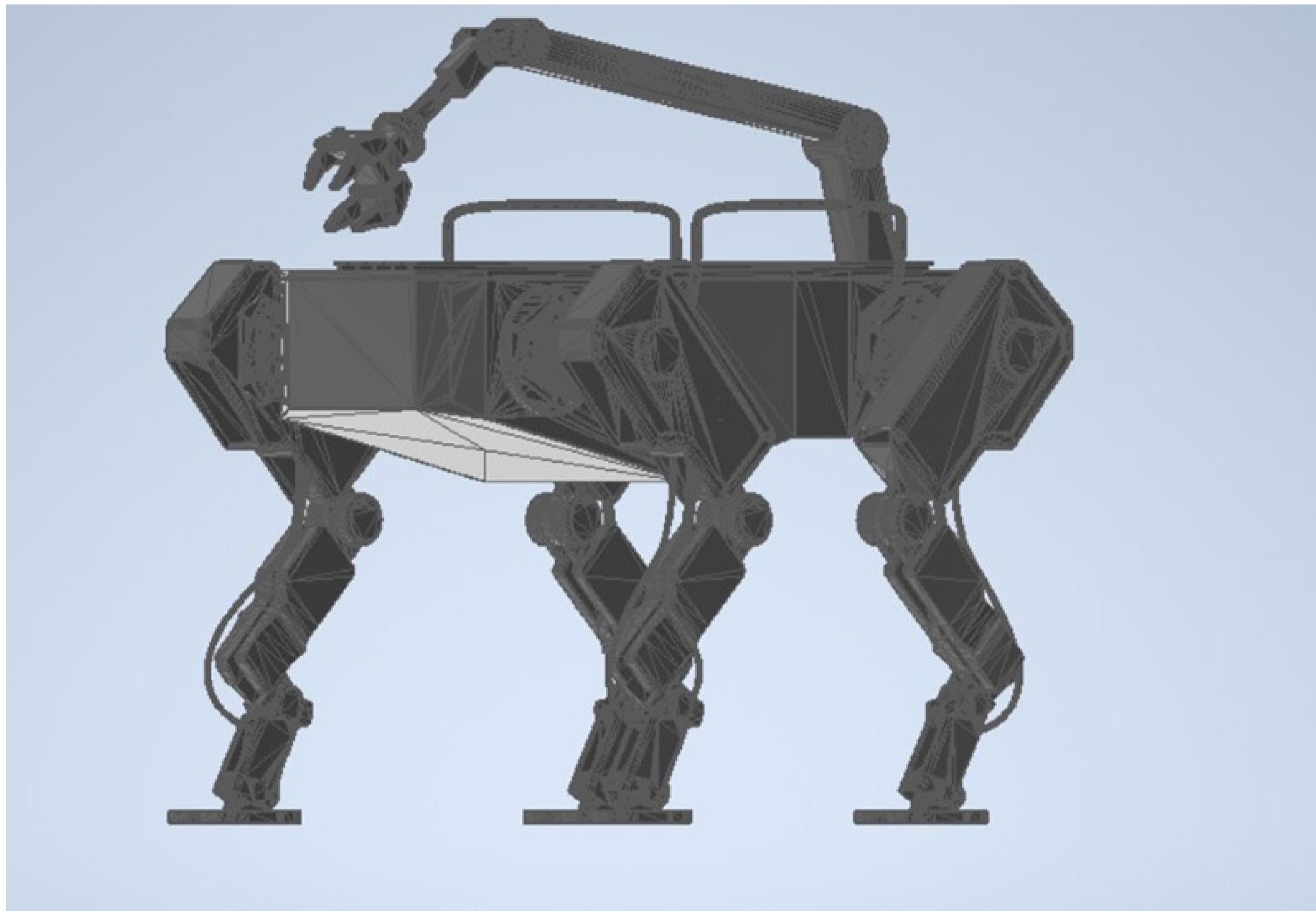
Код на с ++
#include <Servo.h>
Servo myServo; // створення об'єкта серво
void setup() {
  myServo.attach(9); // підключення до піну 9
}
void loop() {
  myServo.write(90); // поворот серво на 90°
  delay(1000); // затримка 1 сек
  myServo.write(0); // поворот на 0°
  delay(1000); // затримка 1 сек
  myServo.write(180); // поворот на 180°
  delay(1000); // затримка 1

```



Позиції сервоприводу Arduino при керуванні кодом

					<b>БР.ПІМІ 21-166.00.001 СК</b>				
Ізм/Лист	№ док.	Підп.	Дата	<b>Код на с++ Arduino</b>			Лист	Маса	Масштаб
Разроб	Кізіма О.В.						Лист	Листаб	
Проб	Шуляр І.О.						<b>ПІМІ 21-1</b>		
Т. Контр	Панчук В.Г.								
Рецент									
Н. Контр	Шуляр І.О.								
Утв	Панчук В.Г.								



1. Параметр	Значення
2. Кількість опорних кінців	4 (чотириногий хід)
3. Тип пересування	Крокуючий
4. Максимальна швидкість руху	до 3 км/год
5. Несуча здатність платформи	до 80 кг
6. Радіус дії маніпулятора	до 1.5 м
7. Ступенів свободи маніпулятора	5 (рука + захват)
8. Тип захвата (механічний)	Двоелементний
9. Система управління	Дистанційне/автономне
10. Привід	Електромеханічний
11. Енергоживлення	Акумуляторна батарея
12. Час роботи без підзарядки	до 2 годин
13. Робоча температура	-10 °С до +45 °С
14. Матеріал конструкції	Алюмінієвий сплав

#### Характеристики матеріала робота Алюміній 6061

1. Хімічний склад	Al, Mg (~1%), Si (0.6–0.9%)
2. Міцність (межа текучості) ≈	276 МПа
3. Міцність на розрив	310–350 МПа
4. Щільність	2.7 г/см <sup>3</sup>
5. Корозійна стійкість	Висока, хороша атмосферна стійкість
6. Твердість (Brinell)	95 НВ
7. Температура експлуатації	-50 °С до +150 °С
8. Обробка	Легко піддається механічній обробці.
9. Термальна обробка (старіння)	Можлива для підвищення міцності



Зображення робота у промисловому середовищі.

					БР.ПМІ 21-166.00.001 СХ		
Ізм/Лист	№ док.	Підп.	Дата	Робот і його характеристики	Лист	Маса	Масштаб
Разроб	Кізіма О.В						
Проб	Шуляр І.О				Лист	Листаб	
Т. Контр	Панчук В.Г						
Рецент	Шуляр І.О						
Н. Контр	Шуляр І.О						
Утб	Панчук В.Г						
					ПМІ 21-1		