

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ)

Конструювання та дизайну

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)
Конструювання та дизайну

(назва факультету(ННІ))

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 20__ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання

(назва кафедри)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Розробка конструкції та дослідження режиму роботи універсального маніпулятора

Спеціальність

133 Галузеве машинобудування

(код і найменування)

Освітня програма Робототехнічні системи і комплекси сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Ph.D

(науковий ступінь та вчене звання)

Юрій РОМАСЕВИЧ

(ПІБ)

Олександр СПОДОБА

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Дарія ШАГОВА

(ПІБ здобувача)

КИЇВ 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____

Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Конструювання машин і обладнання

д.т.н., професор

Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(науковий ступінь вчене звання)

(підпис)

(ПБ)

“ ___ ”

20__ р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

Шаговій Дарії Юрївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____

133 Галузеве машинобудування

(код і найменування)

Освітня програма _____

Робототехнічні системи і комплекси сільськогосподарського

виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми _____

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Розробка конструкції та дослідження режиму роботи універсального маніпулятора

Затверджена наказом від “16” грудня 2024р. № 2269»С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. _____

2. _____

3. _____

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “ ___ ”

20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

Олександр СПОДОБА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

Дарія ШАГОВА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку, що складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи містить 66 аркушів друкованого тексту.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто особливості конструктивного виконання універсальних маніпуляторів.

У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто особливості створення математичної моделі та дослідження режимів руху виконавчої ланки маніпулятора з гідравлічним приводом та проведено теоретичні дослідження режиму руху за різними законами зміни прохідної площі в золотниковому розподільнику.

У третьому розділі наведено основні положення щодо вимог безпеки перед, під час та після виконання робіт із роботами.

У четвертому розділі наведено техніко-економічні результати виготовлення універсального маніпулятора.

Ключові слова: математичне моделювання, робот, маніпулятор, гідравлічний привід, режими руху, золотниковий розподільник, режим пуску.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	2
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. Актуальність теми.....	5
1.1. Типи маніпуляторів та області їх застосування.....	5
1.2. Конструктивне виконання маніпуляторів.....	10
1.3. Система керування.....	16
1.4. Інформаційно-вимірювальна система.....	19
1.5. Система зв'язку.....	21
1.6. Сучасний технічний рівень маніпуляторів.....	23
РОЗДІЛ 2. Технічна частина.....	25
2.1. Вимоги до розроблення універсального маніпулятора.....	25
2.2. Вибір приводних неповно-поворотних гідравлічних двигунів переміщення ланок універсального маніпулятора...	27
2.3. Розробка математичної моделі.....	35
2.4. Динамічний аналіз режимів руху ланки маніпулятора.....	41
РОЗДІЛ 3. Охорона праці.....	48
3.1. Загальні положення при роботі із промисловими роботами..	48
3.2. Вимоги безпеки перед початком роботи.....	49
3.3. Вимоги безпеки під час роботи.....	50
3.4. Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	51
3.5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	52
РОЗДІЛ 4. Економічна ефективність.....	53
4.1. Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення.....	53
4.2. Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	54
4.3. Розрахунок заробітної плати.....	55
4.4. Кошторис витрат на розробку робота.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ККД – коефіцієнт корисної дії

НГД – неповноповоротний гідравлічний двигун

НГ – насос гідравлічний

ЗР – золотниковий розподільник

ГУ – гумове ущільнення

ЗІЗ – Засоби індивідуального захисту

КВП – контрольно вимірювальна апаратура

ПТЕ – правила технічної експлуатації;

ПБЕ – правила безпечної експлуатації;

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку промисловості та автоматизації виробничих процесів, маніпулятори та роботи набувають ключового значення.

Вони є невід'ємною частиною технологічних ліній, забезпечуючи високу точність, швидкість і повторюваність виконання операцій, що особливо важливо в умовах зростаючої конкуренції та вимог до якості продукції.

Розробка універсальних маніпуляторів з розширеними функціональними можливостями є особливо актуальною задачею, оскільки такі системи здатні адаптуватися до широкого спектра завдань, мінімізуючи необхідність у спеціалізованому обладнанні та забезпечуючи гнучкість виробництва. Існуючі конструкції часто мають обмеження, щодо вантажопідйомності, робочої зони, кількості ступенів свободи або енергоефективності. Тому дослідження нових конструктивних рішень та оптимізація режимів роботи універсальних маніпуляторів є важливим кроком до підвищення ефективності автоматизованих комплексів.

Метою магістерської роботи є розробка конструкції універсального маніпулятора з підвищеними експлуатаційними характеристиками та дослідження режимів руху його ланок для забезпечення ефективного виконання різноманітних технологічних операцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Аналіз існуючих конструкцій маніпуляторів та виявлення їхніх переваг і недоліків, а також формулювання вимог до універсального маніпулятора.
- Розробка концептуальної та принципової конструктивної схеми універсального маніпулятора з обґрунтуванням вибору кінематичної пари та приводних систем.
- Проведення кінематичного та динамічного аналізу розробленої конструкції.

- Розробка математичної моделі руху маніпулятора для дослідження різних режимів роботи.

Об'єктом магістерської кваліфікаційної роботи є процес функціонування та керування універсальними маніпуляційними системами.

Предметом магістерської кваліфікаційної роботи є конструктивні параметри та режими роботи розробленого універсального маніпулятора, які впливають на його техніко-економічні показники.

Методи дослідження: теоретичні дослідження базуються на проведенні математичного моделювання з використанням методів аналітичної механіки, теорії механізмів і машин, диференціального та інтегрального числення..

Теоретична цінність встановлено закономірності зміни об'ємної подачі робочої рідини до приводних механізмів гідравлічного приводу, за якої мінімізуються динамічні навантаження, що виникають в процесі переміщення вихідної ланки гідравлічного приводного двигуна разом з вантажем.

Практична цінність Створена математична модель може бути використана для проектування та налагодження систем керування гідравлічними роботами. Розроблений алгоритм керування може бути впроваджений у промислові контролери для підвищення точності та продуктивності реальних гідравлічних роботів, що призведе до зниження браку та часу виконання операцій.

Апробація результатів магістерської роботи. Брав участь у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з галузей знань та спеціальностей у 2024-2025 роках зі спеціальності «Галузеве машинобудування».

Структура та обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг магістерської кваліфікаційна роботи становить 66 с., із них 62 с., основного тексту, у тому числі 16 ілюстрацій і 4 таблиці. Список використаних джерел містить 54 найменування

РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

1.1. Типи маніпуляторів та області їх застосування

Існує певний ряд ознак, за якими прийнято класифікувати промислові роботи. Система координат, в якій переміщуються ланки робота, відіграє ключову роль у всій системі. Вона задає основні параметри рухів, впливає на форму та розміри робочої зони, а також визначає тип структурної схеми маніпулятора. Дану систему поділяють на 3 основні види [1]:

- 1) Прямокутна (декартова)
- 2) Полярна
- 3) Кутова (ангулярна)

Розглянемо типові приклади механізмів які працюють в даних координатних системах.

Залежно від кількості взаємо перпендикулярних координатних осей які забезпечують рух механізму, прямокутна система поділяється на два типи. У прямокутній плоскій системі робочий орган робота переміщується в межах двох осей, а у прямокутній просторовій переміщення відбувається за трьома осями [3].

На Рис.1.1 зображено механізм, робоча зона якого обмежена прямокутною просторовою зоною. У його основі лежать 3 перпендикулярні один до одного пристрої, які рухаються паралельно відповідно координатним осям XYZ. Рух відбувається незалежно вздовж кожної з осей, а простота конструкції та обслуговування у поєднанні з високою точністю є його основними перевагами. Декартові маніпулятори широко застосовуються у сферах промислового виробництва: 3D-друк, верстати з ЧПК, автоматизовані системи, лабораторні комплекси, мікрохірургічні системи тощо. Дана конструкція має досить великі габарити та певні обмеження у русі, оскільки відсутні обертальні маневри та гнучкість [3].

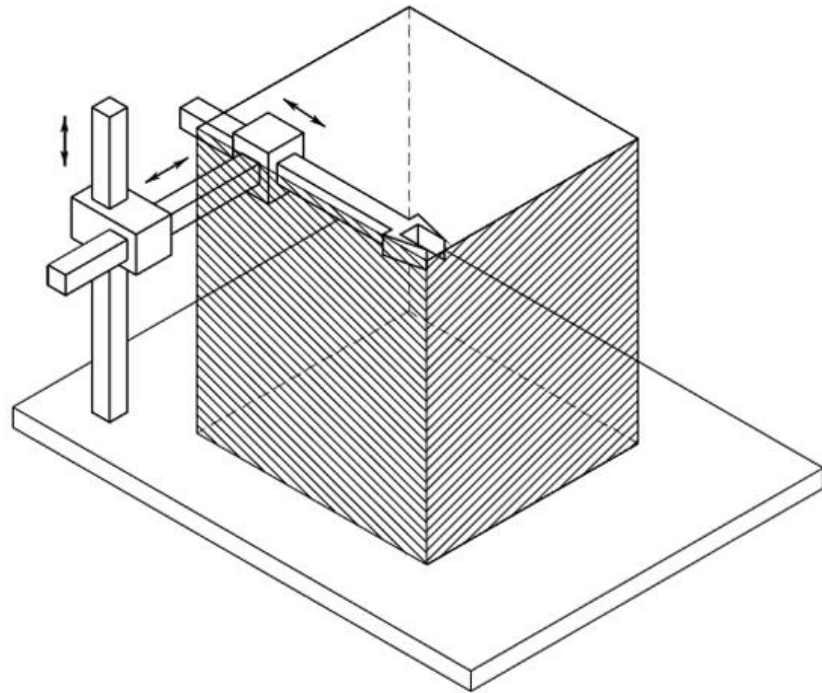


Рис.1.1 Декартовий прямокутний маніпулятор

В полярній системі координат вирізняють три основні конструктивні виконання. Полярна плоска система описує положення робочого органа за допомогою радіус-вектора, величина якого змінюється в результаті лінійного переміщення вздовж однієї осі та кутового переміщення навколо іншої, перпендикулярної до першої осі. У полярній циліндричній системі радіус-вектор змінюється завдяки лінійним переміщенням уздовж двох взаємно перпендикулярних осей та кутовому переміщенню навколо однієї з даних осей. Полярна сферична система характеризується радіус-вектором, який визначається лінійним переміщенням робочого органа вздовж однієї осі та кутовими переміщеннями навколо двох інших взаємно перпендикулярних осей [3].

На Рис.1.2 зображено типовий маніпулятор, який працює в полярній циліндричній системі координат. Даний робот-маніпулятор має лінійний та поступальний рухи вздовж своїх осей, але, на відміну від декартового, також має обертальний рух навколо вертикальної осі. Серед переваг такого маніпулятора можна виділити простоту конструкції та велику вантажопідйомність [3].

Через обмеження діаметром обертання він не може виконувати складні траєкторії та є менш гнучким у порівнянні з іншими роботами, що являється його основним недоліком. Застосовується даний маніпулятор у машинобудуванні (завантаження/розвантаження деталей), пакуванні продукції, ливарному виробництві та електронній промисловості [3].

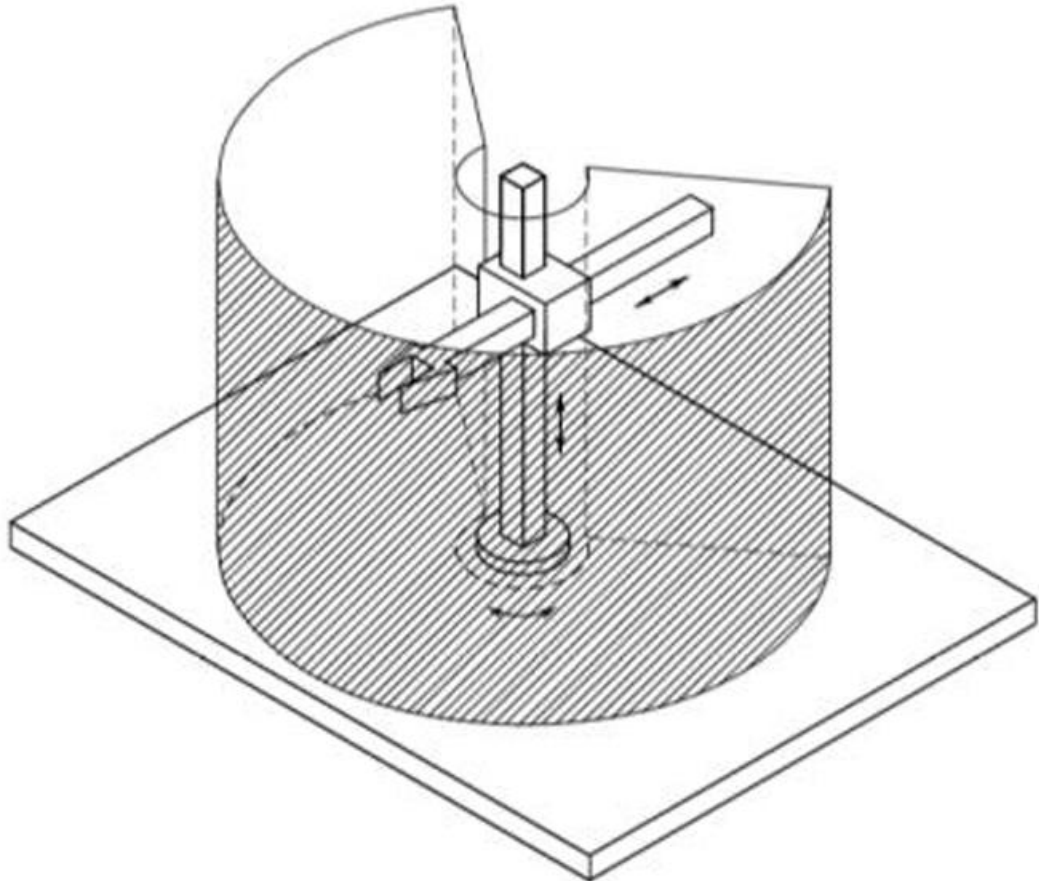


Рис.1.2 Полярний циліндричний маніпулятор

Маніпулятор типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) Рис.1.3 є поширеним прикладом конструкції, яка працює в полярній циліндричній системі. Він має паралельні обертальні ланки які рухаються у площині XY та уздовж осі Z. Цей робот має високу швидкість і точність, наприклад у збірних операціях. Також до переваг такого пристрою належать компактність, простота програмування та жорсткість у горизонтальній площині. Такий тип робота можна часто зустріти у промислових виробництвах: складання

дрібних механізмів, пакування, складання на конвеєр, монтаж мікросхем тощо [3].

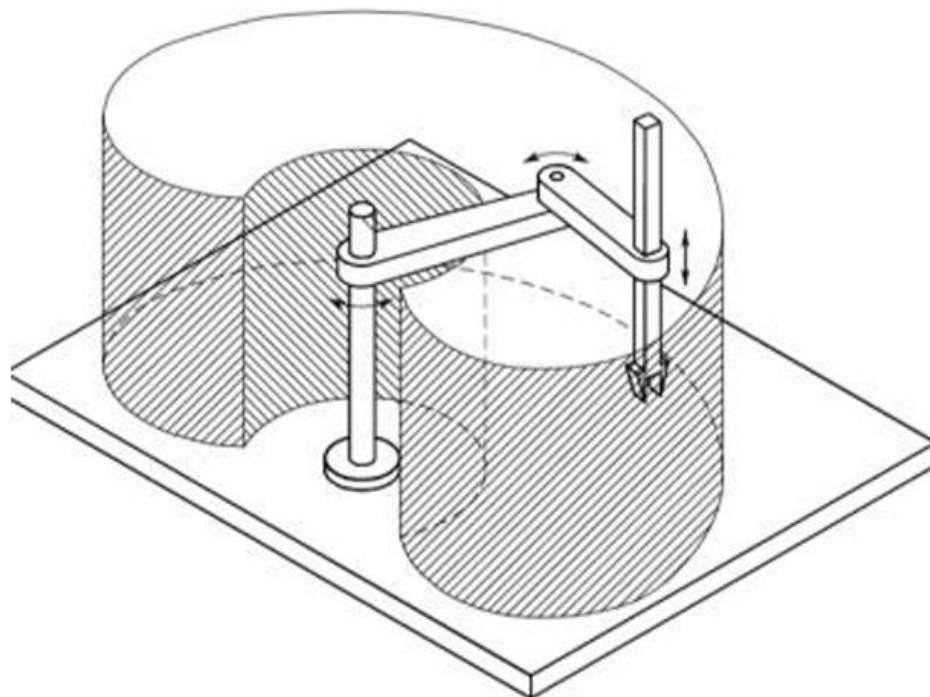


Рис.1.3 Маніпулятор типу SCARA

На Рис.1.4 зображено сферичний маніпулятор. Його рух здійснюється у полярній сферичній системі. Такий робот має велику гнучкість у своїх рухах та може працювати у досить широких діапазонах, тому він підходить для задач розташування об'єктів у просторі під різними кутами. Але, через сферичний рух з'являються певні мертві зони, до яких даний робот не має доступу [3].

До недоліків можна віднести його обмежену точність в крайніх положеннях. На відміну від полярного циліндричного маніпулятора, сферичний є менш компактним. Найчастіше зазначений робот використовують у зварюванні в складних положеннях, фарбуванні деталей, обслуговуванні обладнання та у ливарному виробництві (залиття форм) [4].

Кутова (ангулярна) система координат (рис. 1.4) поділяється на три основні різновиди. Ангулярна плоска визначається радіусом-вектором, який змінюється залежно від кутових переміщень маніпулятора в межах однієї координатної площини [4].

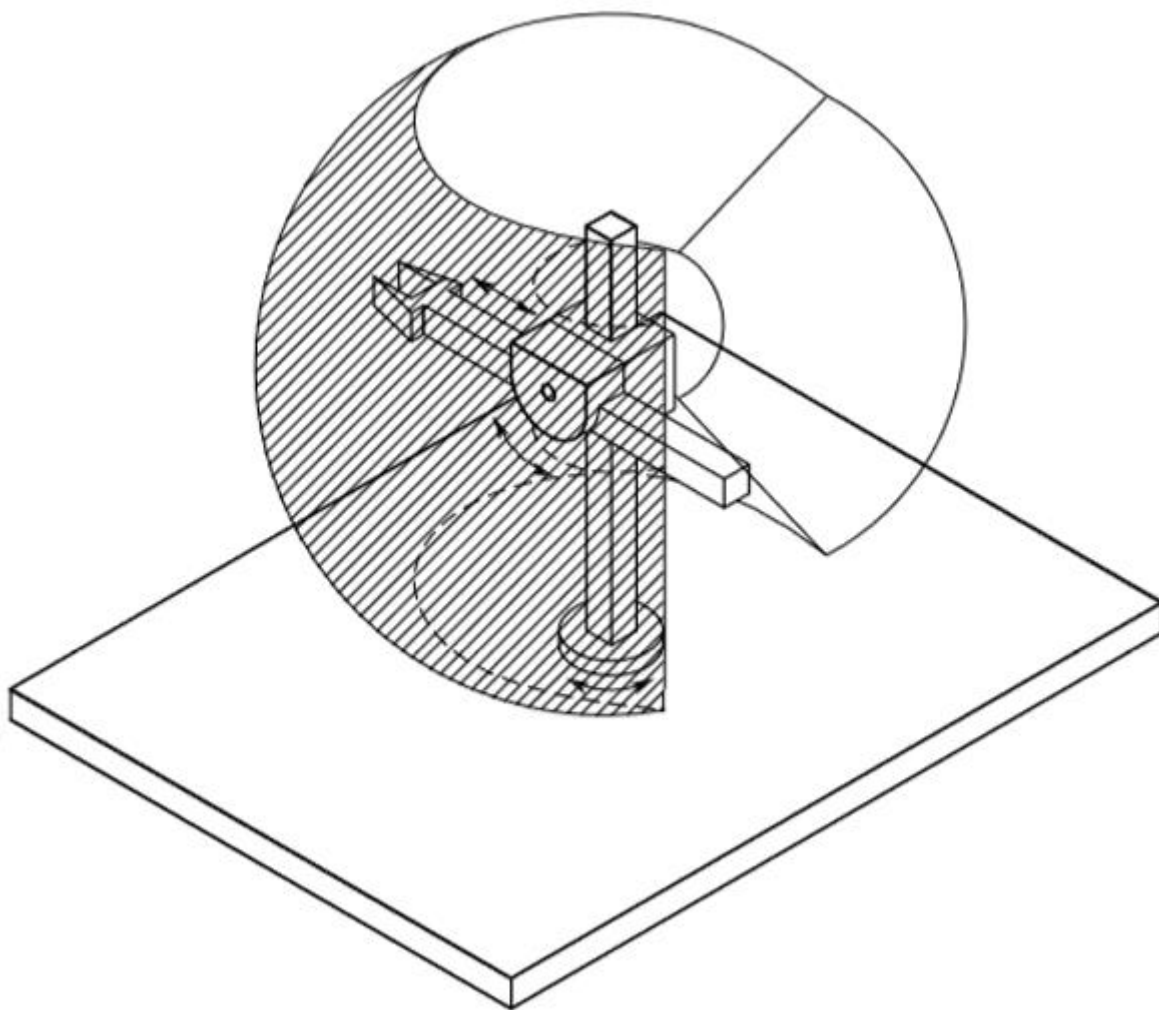


Рис.1.4 Полярний сферичний маніпулятор

Ангулярна циліндрична характеризується зміною радіуса-вектора під впливом кутових переміщень у площині та додатковим лінійним переміщенням уздовж осі, що перпендикулярна до цієї площини. Ангулярна сферична визначається зміною радіуса-вектора залежно від кутових переміщень у двох взаємно перпендикулярних площинах [4].

На Рис.1.5 зображено типовий багатоланковий шарнірний маніпулятор, ланки якого з'єднані між собою обертальними суглобами. Даний механізм має багато ступенів свободи та лише обертальні рухи, що дозволяє йому виконувати складні гнучкі маневри, хоча він є досить складним в управлінні. З усіх типів маніпуляторів цей являється найуніверсальнішим, має компактну будову та є адаптивним до різних процесів [4].

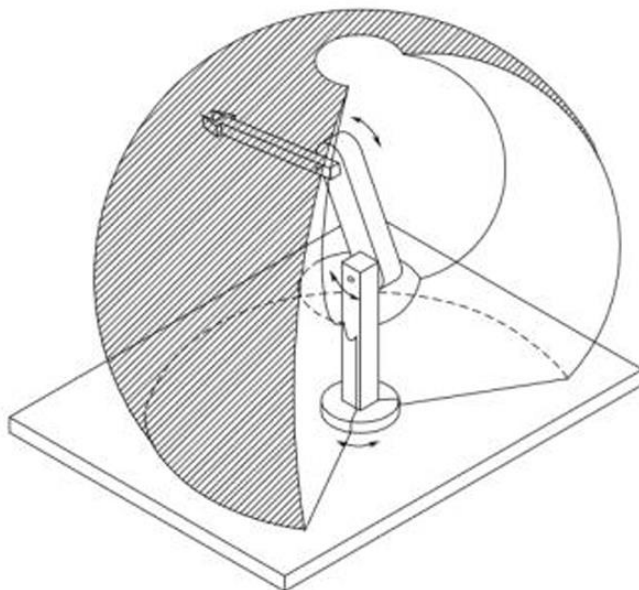


Рис.1.5 Багатоланковий шарнірний маніпулятор

1.2 Конструктивне виконання маніпуляторів

Сучасні роботи маніпулятори складаються з чотирьох основних систем:

- 1) Механічна та виконавча системи
- 2) Система керування
- 3) Інформаційно-вимірювальна система
- 4) Система зв'язку

Механічна та виконавча системи [5]

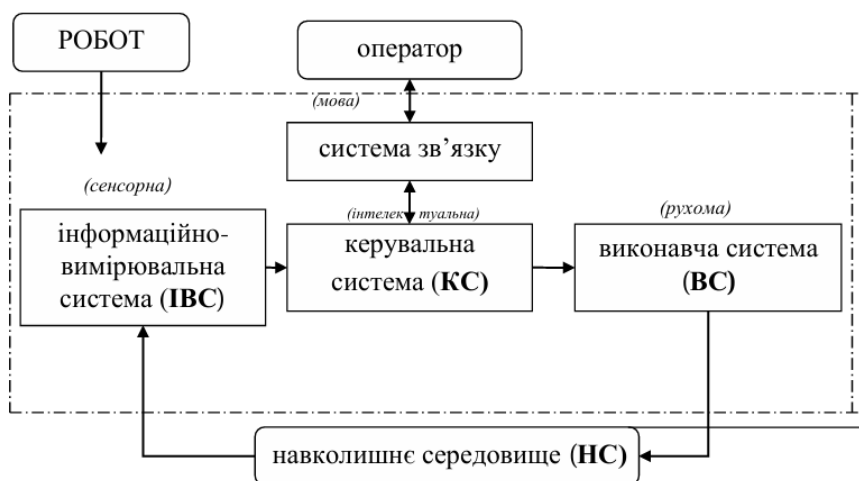


Рис 1.6 Основні системи робота

Механічна система робота складається з приводу та трансмісії. Основна її функція полягає у перетворенні енергії в механічну та приведенні в рух ланок. З'єднанні між собою ланки утворюють кінематичний ланцюг і належать до виконавчої системи [5].

Механічні системи промислових роботів можуть мати два варіанти компоновання. У першому випадку силові двигуни розміщуються безпосередньо на рухомих ланках маніпулятора, але дана схема призводить до збільшення його маси та габаритів. У другому варіанті двигуни розташовані в єдиному силовому блоці та передають рух на кінематичний ланцюг за допомогою передач, що зменшує навантаження на конструкцію, проте ускладнює алгоритми керування [5].

На рис. 1.7 наведено типовий приклад маніпулятора, який складається з опори, маніпуляційної системи, захватного пристрою та приводу. В маніпуляційній системі зазвичай виділяють «руку», яка забезпечує переміщення в робочій зоні об'єкта маніпулювання, а також кисть, яка здійснює його позиціонування. До кисті кріпиться захватний пристрій, що безпосередньо захоплює об'єкт маніпулювання [3].

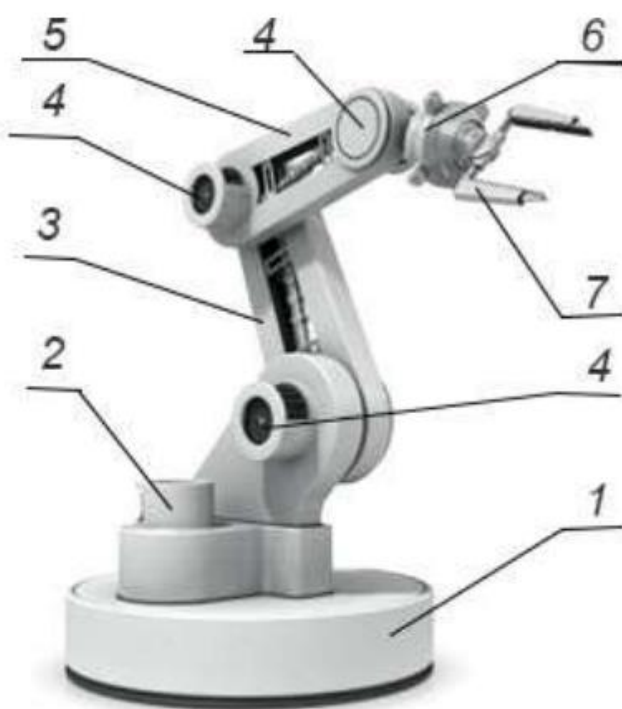


Рис. 1.7 – Механізм маніпулятора

На рис 1.7 наведено такі позначення: 1 – опора; 2 – привод; маніпуляційна система («рука»): 3 – «плече», 5 – «передпліччя», 6 – «кисть»; 4 – шарніри; 7 – захватний пристрій [3].

Базова частина робота (основа) — це платформа, яка виконує роль фундаменту для всієї системи. Вона забезпечує стійкість, жорсткість і точність роботи, оскільки на ній кріпляться всі вузли: приводи, трансмісії, ланки, захвати. Залежно від вимог, конструкція основи може мати різні форми [3].

Ланки робота утворюють між собою кінематичні пари та забезпечують поступальний, обертовий, гвинтовий, циліндричний, або сферичний рухи. Завдяки структурі кінематичного ланцюга, багатоланкова рука маніпулятора переміщується у просторі із заданою орієнтацією [3].

Зазвичай виробництво простих роботів обмежується механізмами з трьома ступенями рухомості, оскільки такий варіант є більш економічним і простішим у виготовленні та експлуатації. Тому збільшення кількості ступенів свободи накладає на виробництво та експлуатацію певну кількість вимог, що значно ускладнює ці процеси [3].

Залежно від вимог, ланки маніпуляторів виготовляють із різних матеріалів. Чавун або сталь підходять для виробів метою яких є взаємодія з великим навантаженням. Вони гарантують високу жорсткість, довговічність та гасять вібрації. Якщо важливою вимогою є мінімізація маси, тоді використовують алюмінієві сплави [6].

Для високоточних або медичних роботів застосовують титан, який поєднує легкість і високу міцність. Для отримання складних форм при низькій масі (наприклад дрони) використовують композити на основі вуглепластику або склопластику, хоча такі матеріали можуть бути крихкими при сильних ударах [6].

Отже, вибір матеріалу завжди залежить від того, яку роль виконує конкретна ланка, яке навантаження вона має сприймати, наскільки важлива точність рухів і яку швидкість руху потрібно забезпечити [6].

Привод – це складова виконавчої частина робота, яка забезпечує перетворення енергії в механічний рух. Енергія подається від джерела живлення до двигуна, який перетворює її в механічну і за допомогою трансмісії передає до виконавчих ланок. За видом енергоносія приводи поділяються на гідравлічні, пневматичні, електричні та комбіновані [3].

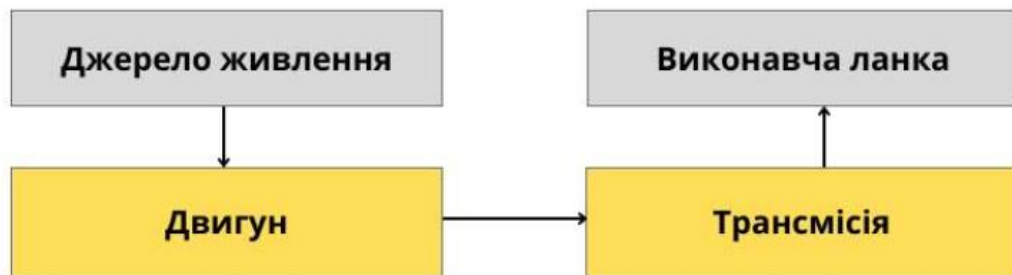


Рис.1.8. Загальна схема приводу

Вибір типу приводу визначається переліком чинників, серед яких:

- 1) вид навантаження на робочий орган та ланки робота;
- 2) вимоги до величини та швидкості лінійних і кутових переміщень робочого органу;
- 3) кількість необхідних точок позиціонування та рівень точності відтворення заданої траєкторії;
- 4) умови експлуатації промислового робота та інші особливості роботи.

Приводи всіх типів при їх використанні мають специфічні особливості [3]:

- сучасні промислові роботи мають велику кількість ступенів рухомості, кожний з яких забезпечується своїм виконавчим двигуном;
- для виконання загальної технологічної задачі необхідно забезпечити групу керування виконавчими двигунами, тобто привід з позицій управління повинен розглядатися як багатовимірна система;
- широка зміна діапазону навантажень на привід з переважанням інерційних навантажень;
- висока точність виконавчого органа маніпулятора при позиціонуванні;

- потрібні великі ресурси роботи при значних динамічних навантаженнях і без регламентної експлуатації;
- привід повинен допускати тривалу роботу в загальмованому режимі.[4]

Пневматичний привід часто застосовують у роботизованих комплексах з цикловим керуванням. В якості джерела енергії виступає стиснене повітря. В пневматичних установках використовуються силові пневмоциліндри, поворотні та ротаційні пневмомотори. До переваг даного приводу належать конструктивна простота і надійність, висока швидкість переміщення ланок, екологічність та безпечність в експлуатації [4].

До недоліків можна віднести низькі ККД (через стисливість повітря) та потужність, складність забезпечення високої точності та плавності рухів, а також потребу у досить об'ємному додатковому обладнанні (компресори, реверсиви тощо) [4].

Гідравлічний привід — це систем, яка використовує енергію стиснутої рідини для створення та передачі руху. Він широко застосовуються у роботах, де потрібні великі зусилля при відносно компактних розмірах приводу [8].

Основні переваги гідравлічних приводів полягають у їхній здатності забезпечувати високу потужність та значні навантаження при плавному і рівномірному русі, високій енергоємності та швидкодії. Такі приводи стійкі до перевантажень і дозволяють легко реалізувати механізми з високим крутним моментом. У порівнянні з пневматичними приводами мають більш високий ККД [8].

До недоліків гідравлічних приводів відносяться необхідність в наявності власних енергоустановок, складність конструкції та обслуговування, необхідність у герметичності системи, чутливість до температурних змін, що впливає на в'язкість масла, а також ризик забруднення робочої рідини, що знижує надійність роботи [8].

Електричний привід є найбільш поширеним типом приводу завдяки простоті керування, високій точності позиціонування та можливості легко

інтегруватися з електронними системами управління. Серед переваг такого приводу можна виділити компактність, високий ККД, низький рівень шуму, екологічність та забезпечення високої точності рухів [8].

До недоліків належать невисока питома потужність при великих навантаженнях, потреба у редукторах для узгодження швидкості та моменту, інерційність та необхідність у системах охолодження під час інтенсивної роботи [9].

Комбінований привод — це система, яка поєднує в собі різні типи приводів (найчастіше поєднання гідравлічного та пневматичного) для реалізації руху виконавчих ланок маніпулятора. Основною метою такого поєднання є використання переваг кожного типу приводу і мінімізація їх недоліків [9].

До переваг комбінованого приводу відносяться оптимальне поєднання швидкості, сили та точності, зменшення навантаження на окремі системи, висока надійність та гнучкість у налаштуванні. До недоліків можна віднести складність конструкції та керування, дорожче обслуговування та потребу у синхронізації різних систем [9].

Наступа частина механічної системи робота-маніпулятора складається з трансмісії. Перед подальшим впливом на виконавчі ланки, отримана механічна енергія потребує певних видозмін, таких як перетворення виду руху, зміну величини крутного моменту, напрямку та швидкості руху [10].

Розрізняють такі типи трансмісій:

- механічні (зубчасті, черв'ячні, ремінні або ланцюгові редуктори);
- гідравлічні (гідролінії, золотники, дроселі);
- пневматичні (розподільники повітря, пневмолінії);
- електричні (перетворювачі частоти, редуктори з електродвигунами).

У деяких випадках передавальні механізми можуть бути взагалі відсутні. Так, наприклад, поступальний лінійний електродвигун безпосередньо взаємодіє з виконавчим органом та передає відповідний рух, окрім випадків, коли передачі наявні для узгодження осей двигуна та виконавчої ланки [10].

У високооборотних двигунах застосовуються передачі з великим передавальним числом для узгодження швидкостей, крутних моментів та виконавчих ланок [10].

1.3. Система керування

Існує комплекс певних пристроїв і програм, які перетворюють задані алгоритми або команди оператора в узгоджену дію механізмів робота. Насьогодні система керування повинна відповідати певним критеріям [11]:

- Адаптивність до зовнішнього середовища та здатність аналізувати вхідні сигнали.
- Розподіл вирішення задач за певними рівнями
- Синергічне поєднання окремих модулів, запрограмованих на вирішення конкретних задач.

На Рис.1.9 наведено загальну структурно-функціональну схему адаптивної системи керування. Вона складається з трьох основних рівнів, які фокусуються на вирішенні розбитої на блоки задачі.



Рис.1.9 Структурно-функціональна схема адаптивної системи керування

Створення плану руху у невизначених умовах відбувається на стратегічному рівні. Даний рівень є частково ізольованим від джерел зовнішньої інформації і формує загальний план дій маніпулятора на основі заданих алгоритмів. Тактичний рівень перетворює отриману інформацію від вищого рівня в конкретні завдання, наприклад траєкторію рухів та їх корекцію згідно інформації від зовнішніх сенсорів. Далі на найнижчому виконавчому рівні команда реалізується і приводиться у відповідий рух [12].

Існують два основні способи керувань, які мають одну принципову відмінність: наявність зворотнього зв'язку. Відкриті системи є типовими для простих маніпуляторів, де сигнал формується без урахування стану робота. В замкнених системах постійно відбувається порівняння заданих й фактичних параметрів руху, що призводить до їх корекції [13].

За ступенем автоматизації системи керування бувають ручні, напівавтоматичні та автоматичні. У першому випадку оператор повністю контролює процес, задаючи рухи за допомогою керуючого пристрою. Даний тип керування застосовується для навчання, тестування та в середовищах з підвищеною небезпекою. За допомогою напівавтоматичного керування оператор частково бере участь в автоматизованому процесі. Наприклад, людина може задавати траєкторію або координати, рух по яким робот виконуватиме самостійно. Автономну роботу за допомогою заданих програм робот виконує в автоматичному режимі. Система сама оброблює інформацію від зовнішніх сенсорів і рішення приймаються безпосередньо без участі людини [14].

Принципи роботи значно впливають на гнучкість системи та поділяються на програмні, адаптивні та інтелектуальні. Програмний принцип роботи часто застосовується у сферах, де у основі лежить повторюваний виробничий процес, а також, незмінні та чітко визначені умови середовища. Даний тип роботи є найпростішим і складається з попередньо визначеного плану дій. На практиці застосування програмного принципу роботи можна спостерігати у робота, який виконує пакування деталей на конвеєрі [15].

Адаптивний принцип роботи характеризується безпосередньою взаємодією з зовнішніми сигналами, які надходять від інформаційно-вимірювальної системи. Датчики зворотнього зв'язку дозволяють маніпулятору реагувати на зміну умов роботи (вага, положення, сила опору тощо). Зміна сили стискування ефектора залежно від твердосні об'єкта є прикладом застосування наведеного принципу роботи [16].

Система інтелектного керування базується на штучному інтелекті та машинному навчанні, і є найдосконалішою серед існуючих. Самонавчання і прогнозування поведінки є головними критеріями. Даний принцип роботи широкого застосовується серед колаборативних роботів, які розпізнають обличчя людини, аналізують її наміри і допомагають у виконанні спільного завдання [17].

Командна інформація, яка подається до системи керування та приводить в рух виконавчі ланки, залежно від змісту поділяється на чотири типи: циклові, позиційні, контурні та комбіновані [18].

Цикловий тип є ознакою системи, у якій командна інформація забезпечує переміщення рухомої ланки по крайнім положенням. Позиційний тип характеризується додатковою велчиною переміщення, тобто система прагне досягти заданої позиції або положення об'єкта, виконуючи позиціонування по декільком точкам. Контурна система керування додатково містить параметр траєкторії, за допомогою якого вона забезпечує переміщення по певному контуру. Також в робототехніці зустрічаються комбіновані системи керування, тобто поєднання циклового, позиційного та контурного типів керування [19].

Зазвичай система керування складається з систем введення та виведення, пристрою зберігання та процесора. Процес обробки сигналу можна описати наступним чином. Спочатку на систему введення подається команда від оператора, датчику чи програми, далі інформація передається до частина яка відповідає за зберігання пам'яті. Це може бути оперативна або енергонезалежна пам'яті. Процесор вилучає вхідний матеріал з пам'яті та приймає рішення

відповідно до алгоритму, а система виведення передає готові команди зовнішнім пристроям [3].

Мікропроцесори і мікроконтролери відіграють ключову роль у системах керування, тому що вони фактично виконують роль «мозку» всієї системи. За архітектурою серед процесорів зазвичай вирізняють п'ять типів.

- мікропроцесори з повним набором команд
- мікропроцесори зі скороченим набором команд
- мікропроцесори з мінімальним набором команд
- суперскалярні процесори
- мікропроцесори спеціального призначення

Мікропроцесори з повним набором команд підтримують великий набір складних команд, тобто одна команда може виконувати кілька операцій одночасно. Важливою перевагою таких мікропроцесорів є можливість виконувати складні завдання однією командою, що економить пам'ять для програм, але, через складність виконання зменшується швидкість на вирішення простих операцій [3].

Мікропроцесори зі скороченим набором команд є оптимізованим, але дещо обмеженими. Кожна команда виконує лише одну просту операцію, за рахунок чого збільшується швидкість виконання та спрощується архітектура [3].

Мікропроцесори з мінімальним набором команд є ще більш спрощеним варіантом та вбудовуються в системи де потрібна економія ресурсів і енергії. Вони використовують об'ємні командні слова, завдяки чому відбувається виконання складних операцій за один цикл [3].

Суперскалярні процесори здатні виконувати одночасно кілька команд, паралельно оброблюючи данні для максимальної продуктивності. Мікропроцесори спеціального призначення розроблені для виконання конкретного завдання, економлять енергію і ресурси [3].

1.4. Інформаційно-вимірювальна система

Роль «органів почуттів» робота виконує інформаційно-вимірювальна система, яка складається з сенсорів, пристроїв перетворення, пристроїв обробки інформації та лінії зв'язку. Вона являється невід'ємною складовою сучасних адаптивних та інтелектних роботів, оскільки відповідає за адаптацію до зовнішніх стимулів, які постійно змінюються [3].

Датчики (сенсори) – пристрої для виміру фізичних величин та їх перетворення для подальшої обробки мікропроцесором, відіграють ключову роль у даній системі. За принципом дії та вимірюваними величинами датчики поділяють на потенціометр, тензометричний, індуктивний, терморезисторний, ємкісний, фоторезисторний, електронний, індукційний, п'єзоелектричний, термоелектричний, датчик Холла та фотоелектричний. На Рис.1.10 наведено таблицю цієї класифікації [3].

Типи датчиків та величини, які вони можуть вимірювати

Величина, що вимірюється	Тип датчика											
	потенціометр	тензометричний	індуктивний	терморезисторний	ємкісний	фоторезисторний	електронний	індукційний	п'єзоелектричний	термоелектричний	датчик Холла	фотоелектричний
Переміщення	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+
Рівень	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Швидкість	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+
Прискорення	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Сила	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-
Тиск	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Момент	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
Вологість	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
Температура	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+
Витрата речовини	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
Вібрація	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-

+ застосовується; - не застосовується.

Рис.1.10 Типи датчиків та величини, які вони вимірюють

Розглянемо принцип роботи датчику звуку. Спочатку звуковий сенсор (мікрофон) 5 сприймає коливання повітря (звукові хвилі) й перетворює їх у слабкий електричний аналоговий сигнал. Сигнал подається на компаратор

LM393 7, який порівнює рівень сигналу з певним порогом, заданим регулятором чутливості (потенціометром) 6, який дозволяє налаштувати, при якій гучності датчик реагуватиме. Якщо гучність перевищує поріг, компаратор формує логічний сигнал 1, що означає високий рівень, якщо не перевищує – тоді сигнал рівний 0 [3].

Далі цифровий вихід 4 видає сигнал 1 або 0 залежно від результату порівняння компаратора. Цей вихід підключають до контролера, щоб визначати момент спрацювання. Аналоговий вихід 1 передає безперервний сигнал із мікрофона, пропорційний гучності звуку. Його використовують, якщо потрібно вимірювати рівень звуку, а не просто фіксувати факт спрацювання. Вхід напруги живлення (VCC) 3 подає живлення на всю плату. Вхід заземлення (GND) 2 забезпечує спільну «нульову» точку для електричних кіл. Індикатор живлення 8 світиться, коли подано живлення. Індикатор роботи датчика 9 вмикається, коли компаратор зафіксував звук, який перевищив поріг [3].



Рис.1.11 Датчик звуку

1.5. Система зв'язку

Система зв'язку – це частина системи керування роботами, яка забезпечує обмін інформації між контролерами, датчиками, виконавчими механізмами, операторами та іншими складовими. Вона необхідна для передачі точних

сигналів керування від контролера до виконавчих пристроїв, швидкого прийняття інформації від датчиків та забезпечення координації роботи [3].

До її складу відносять:

- Канали зв'язку, які можуть бути дротовими (кабелі) або бездротовими (Wi-Fi, Bluetooth, радіоканал).
- Пристрої передавання та приймання сигналів, тобто модулі інтерфейсів (UART, RS-485, Ethernet тощо).
- Протоколи обміну даними - правила, за якими інформація кодується, передається й приймається (Modbus, CAN, I²C, SPI) [3].

Комунікація здійснюється за допомогою каналу зв'язку – сукупності технічних засобів та середовища розповсюдження, що забезпечує передавання повідомлень від джерела до отримувача [3]. Структурна схема каналу зв'язку представлена на рис. 1.12. Інформаційний сигнал від джерела проходить кодування (перетворення сигналу з форми, зручної для безпосереднього використання, у форму, зручну для передачі), модуляцію (процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу) та потрапляє до передавача. Далі через середовище розповсюдження сигнал передається від передавача до приймача. Після цього відбувається зворотне перетворення сигналу – його демодуляція та декодування. В результаті цього отримувачу надходить інформаційний сигнал, який був надісланий йому джерелом[3]



Рис.1.12 Структурна схема каналу зв'язку

1.6. Сучасний технічний рівень маніпуляторів

Раніше значна частина робочих процесів потребувала людської праці, оскільки сфера робототехніки була обмеженою. З розвитком технологій виникла необхідність в автоматизації багатьох робочих процесів [3].

Сучасний технічний рівень маніпуляторів поєднує елементи механіки, електроніки та програмного забезпечення. Роботи оснащуються високоточними сервоприводами, редукторами з мінімальними люфтами та легкими, але жорсткими матеріалами, та здатні забезпечувати повторюваність рухів у межах $\pm 0,01$ мм та працювати з високою швидкістю без втрати точності [16].

Швидке виконання математичних операцій та паралельна обробка багатьох сигналів від сенсорів стали невід'ємною частиною роботизованих систем. Сучасні мікропроцесори, на відміну від аналогових схем, здатні реалізувати складні алгоритми керування рухом, що значно підвищує точність позиціонування та плавність переміщення [18].

Деякі роботизовані комплекси складаються з вбудованої системи на чипі, яка поєднує у собі декілька процесорів, мікроконтролерів, контролерів пам'яті, цифрового сигнального процесору DSP та прискорювачів. Це робить можливим інтеграцію алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання безпосередньо у системі керування [3].

Енкодери та тензодатчики з часом здобули можливість отримувати виміри з мікронною точністю при своїх компактних розмірах. Все більшого поширення набувають інтегровані системи «розумних сенсорів» [3].

Вбудовані мікропроцесори виконують попередню обробку сигналів: фільтрують шуми та передають данні по цифровим інтерфейсам. Це знижує навантаження на центральний контролер і підвищує ефективність роботи всієї системи. У сфері машинного зору активно застосовуються 3D-лідари, стереозір та камери з алгоритмами штучного інтелекту. Завдяки цьому маніпулятори здатні орієнтуватися у просторі, будувати карту середовища, розпізнавати об'єкти та визначати їх положення з високою точністю. Форс-сенсори нового

покоління наділили роботів можливістю «відчувати» взаємодію з предметами майже так само чутливо, як людська рука. Це робить можливим безпечну взаємодію робота з людиною, особливо у колаборативних системах [3].

Одним з важливим сучасних напрямків в робототехніці являється клас колаборативних роботів (cobots). Вони створені для спільної роботи з людиною та суттєво відрізняються від промислових роботів своєю безпекою відносно зовнішнього користувача, тому під час їхнього використання відсутні огорожі та інші зони безпеки [3].

Оснащення датчиками сили, моменту та положення дозволяє роботу автоматично зупинитися у разі дотику до людини. Навчання цих пристроїв зазвичай відбувається методом “hand guiding”, де користувач вручну задає траєкторію яку робот запам’ятовує. Можливість змінювати програмування колаборативного робота робить його гнучким та адаптивним до виконання різних завдань [3].

Компактні габарити цих пристроїв, на відміну від промислових, не вимагають багато простору для влаштування, та можуть легко переміщатися на нові місця. Безпечне використання таких роботів значно впливає на економічну складову, оскільки немає потреби у дорогих системах огороженнях [3].

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вимоги до розроблення універсального маніпулятора

При проектуванні та розробці конструкції окрім робочої зони та межі досяжності маніпуляторів необхідно враховувати ще й масо-габаритні параметри елементів маніпулятора. Так, як вони напряду будуть впливати на вибір потужність та крутний момент приводних двигунів.

В загальному випадку найкраще розміщувати приводні двигуни найближче до основи. Так, як саме приводні двигуни мають більшу масу ніж сампі ланки маніпуляційної системи. При конструктивній розробці універсального маніпулятора було прийнято наступні припущення:

- виходячи з аналізу існуючих універсальних маніпуляторі та для досягнення найбільшої універсальності, межі досяжності та рухомості маніпуляційної системи розроблювального маніпулятора приймемо, що в розробленому маніпулятору буде не менше шести ступенів рухомості, тобто буде використано шість приводних двигунів. Кожен з яких, буде виконуватиме рухи ланок перпендикулярно відносно попередньої ланки.;
- для універсального маніпулятора у якості приводних двигунів використаємо неповно-поворотні гідравлічні приводні двигуни. Так, як при використанні даного типу приводних двигунів, немає необхідності використовувати допоміжні багато вартісні механізми такі як, планетарні редуктори або більш дорогі хвильові редуктори з проміжними тілами кочення.
- при розробці конструкції враховувати масу ланки маніпуляційної системи та намагатися із конструктивних переконань змістити центр маса якомога ближче до вихідного валу привідного двигуна.

Згідно прийнятих припущень із загально-конструкторського сприйняття відмова від використання передаточних механізмів дає змогу:

- полегшити конструкцію та змістити центр ваги ближче до виконавчого двигуна;
- із міркувань надійності відмова від окремого вузла збільшить надійність даної маніпуляційної системи;
- із міркувань економічності можна виявити наступні позитивні аспекти, такі, як здешевлення маніпуляційної системи у зв'язку з відмовою використання в ній високовартісних елементів у вигляді приводних планетарних або хвильових з проміжними тілами кочення механізмів.

Конструкція розробленого універсального маніпулятора зображена на рис. 2.1

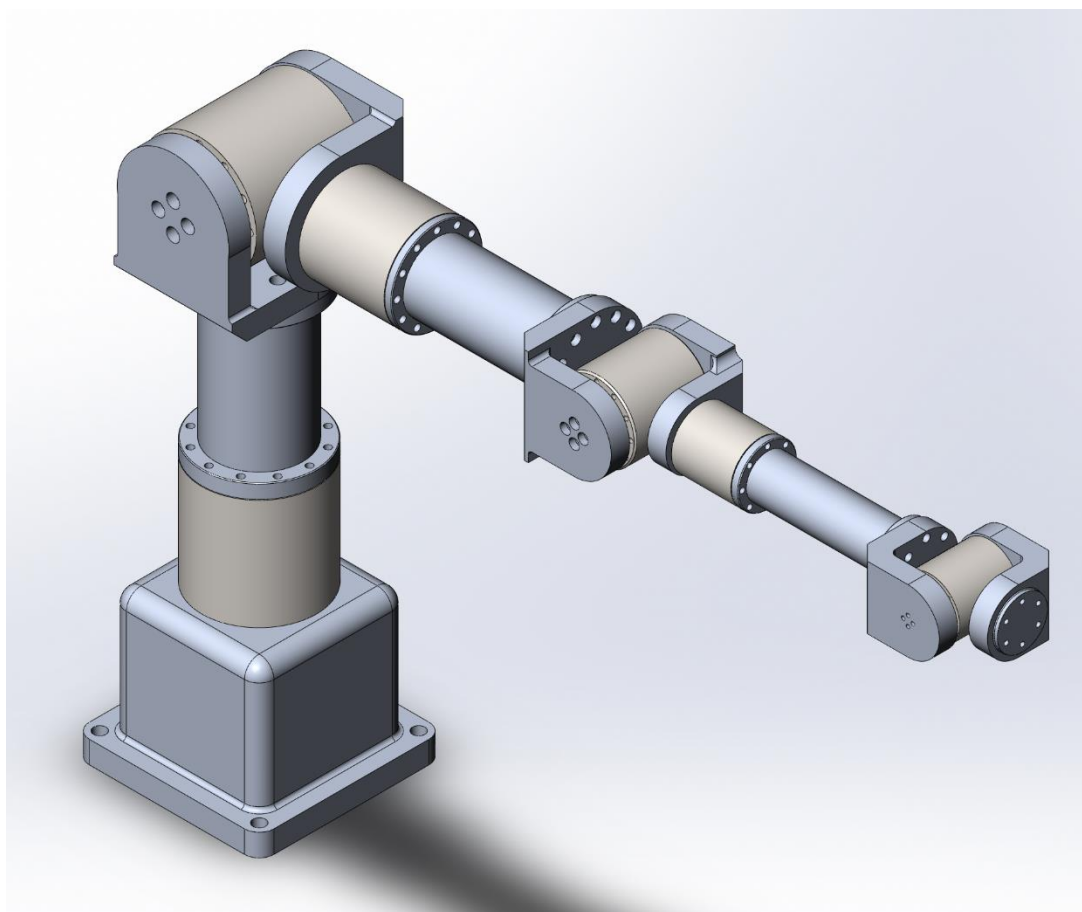


Рис. 2.1. Конструкція розробленого універсального маніпулятора з гідравлічним приводом.

В якості жорстких елементів конструкції виходячи із заданих параметрів універсальності маніпулятора, та не забезпечення умови використання

маніпуляційної системи в умовах особливого використання. Для зменшення власної ваги маніпуляційної системи та відповідно зменшення вильоту центру ваги та відповідно використання більш потужних гідравлічних приводних двигунів приймемо, що виготовлення елементів несучої механічної системи буде із алюмінієвого сплаву.

2.2. Вибір приводних неповно-поворотних гідравлічних двигунів переміщення ланок універсального маніпулятора.

Проведемо вибір привідного гідравлічного двигуна для шостої ланки

Визначимо центр ваги двомасової моделі:

$$L = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.1)$$

де: x_1 - відстань до центра мас шостої ланки, м; m_1 - маса шостої ланки, кг; x_2 - відстань до центра мас вантажу, м; m_2 - маса вантажу, кг;

$$L = \frac{41,07 \cdot 0,9 + 80 \cdot 30}{0,9 + 30} = 0,079$$

Визначимо статичний крутний момент:

$$T_{ст} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L}{\eta_p}, \quad (2.2)$$

де: g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; η_p - коефіцієнт корисної дії двигуна.

$$T_{ст} = \frac{(0,9 + 30) \cdot 9,81 \cdot 0,079}{0,98} = 24,72$$

Визначимо динамічний крутний момент:

$$T_{\text{дин}} = (m_1 + m_2) \cdot L^2 \cdot \varepsilon, \quad (2.3)$$

де: ε - кутове прискорення переміщення ланки маніпулятора.

$$T_{\text{дин}} = (0,9 + 30) \cdot 0,079^2 \cdot 5 = 0,989$$

Визначимо необхідний крутний момент:

$$T = (T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}) \cdot K, \quad (2.4)$$

де: K - коефіцієнт запасу.

$$T = (24,72 + 0,989) \cdot 1,1 = 28,28$$

Проведемо вибір привідного гідравлічного двигуна для п'ятої ланки

Визначимо центр ваги двомасової моделі:

$$L = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.5)$$

де: x_1 - відстань до центра мас шостої та п'ятої ланки, м; m_1 - маса шостої та п'ятої ланки, кг; x_2 - відстань до центра мас вантажу, м; m_2 - маса вантажу, кг;

$$L = \frac{71,56 \cdot 5 + 80 \cdot 30}{5 + 30} = 0,079$$

Визначимо статичний крутний момент:

$$T_{\text{ст}} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L}{\eta_p}, \quad (2.6)$$

де: g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; η_p - коефіцієнт корисної дії двигуна.

$$T_{\text{ст}} = \frac{(5 + 30) \cdot 9,81 \cdot 0,079}{0,98} = 28$$

Визначимо динамічний крутний момент:

$$T_{\text{дин}} = (m_1 + m_2) \cdot L^2 \cdot \varepsilon, \quad (2.7)$$

де: ε - кутове прискорення переміщення ланки маніпулятора.

$$T_{\text{дин}} = (5 + 30) \cdot 0,079^2 \cdot 5 = 1,12$$

Визначимо необхідний крутний момент:

$$T = (T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}) \cdot K, \quad (2.8)$$

де: K - коефіцієнт запасу.

$$T = (28 + 1,12) \cdot 1,1 = 32,032$$

Проведемо вибір привідного гідравлічного двигуна для четвертої ланки

Визначимо центр ваги двомасової моделі:

$$L = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.9)$$

де: x_1 - відстань до центра мас шостої та п'ятої та четвертої ланки, м; m_1 - маса шостої та пятої та четвертої ланки, кг; x_2 - відстань до центра мас вантажу, м; m_2 - маса вантажу, кг;

$$L = \frac{282,31 \cdot 8,2 + 515,4 \cdot 30}{8,2 + 30} = 0,465$$

Визначимо статичний крутний момент:

$$T_{\text{ст}} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L}{\eta_p}, \quad (2.10)$$

де: g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; η_p - коефіцієнт корисної дії двигуна.

$$T_{\text{ст}} = \frac{(8,2 + 30) \cdot 9,81 \cdot 0,465}{0,98} = 196,883$$

Визначимо динамічний крутний момент:

$$T_{\text{дин}} = (m_1 + m_2) \cdot L^2 \cdot \varepsilon, \quad (2.11)$$

де: ε - кутове прискорення переміщення ланки маніпулятора.

$$T_{\text{дин}} = (8,2 + 30) \cdot 0,465^2 \cdot 5 = 50,737$$

Визначимо необхідний крутний момент:

$$T = (T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}) \cdot K, \quad (2.12)$$

де: K - коефіцієнт запасу.

$$T = (196,883 + 50,737) \cdot 1,1 = 272,382$$

Проведемо вибір привідного гідравлічного двигуна для третьої ланки

Визначимо центр ваги двомасової моделі:

$$L = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.13)$$

де: x_1 - відстань до центра мас шостої, п'ятої четвертої ланки та третьої ланки, м;
 m_1 - маса шостої, п'ятої четвертої ланки та третьої ланки, кг; x_2 - відстань до
центра мас вантажу, м; m_2 - маса вантажу, кг;

$$L = \frac{147,34 \cdot 16,27 + 525,4 \cdot 30}{16,27 + 30} = 0,392$$

Визначимо статичний крутний момент:

$$T_{ст} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L}{\eta_p}, \quad (2.14)$$

де: g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; η_p - коефіцієнт корисної дії
двигуна.

$$T_{ст} = \frac{(16,27 + 30) \cdot 9,81 \cdot 0,392}{0,98} = 243,103$$

Визначимо динамічний крутний момент:

$$T_{\text{дин}} = (m_1 + m_2) \cdot L^2 \cdot \varepsilon, \quad (2.15)$$

де: ε - кутове прискорення переміщення ланки маніпулятора.

$$T_{\text{дин}} = (16,27 + 30) \cdot 0,392^2 \cdot 5 = 63,863$$

Визначимо необхідний крутний момент:

$$T = (T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}) \cdot K, \quad (2.16)$$

де: K - коефіцієнт запасу.

$$T = (243,103 + 63,863) \cdot 1,1 = 337,663$$

Проведемо вибір привідного гідравлічного двигуна для другої ланки

Визначимо центр ваги двомасової моделі:

$$L = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2.17)$$

де: x_1 - відстань до центра мас шостої, п'ятої четвертої ланки третьої та другої ланки, м; m_1 - маса шостої, п'ятої четвертої ланки та третьої ланки, кг; x_2 - відстань до центра мас вантажу, м; m_2 - маса вантажу, кг;

$$L = \frac{444,97 \cdot 22,72 + 1050,3 \cdot 30}{22,72 + 30} = 0,789$$

Визначимо статичний крутний момент:

$$T_{\text{ст}} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g \cdot L}{\eta_p}, \quad (2.18)$$

де: g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; η_p - коефіцієнт корисної дії двигуна.

$$T_{\text{ст}} = \frac{(22,72 + 30) \cdot 9,81 \cdot 0,789}{0,98} = 553,718$$

Визначимо динамічний крутний момент:

$$T_{\text{дин}} = (m_1 + m_2) \cdot L^2 \cdot \varepsilon, \quad (2.19)$$

де: ε - кутове прискорення переміщення ланки маніпулятора.

$$T_{\text{дин}} = (22,72 + 30) \cdot 0,0,789^2 \cdot 5 = 290,785$$

Визначимо необхідний крутний момент:

$$T = (T_{\text{ст}} + T_{\text{дин}}) \cdot K, \quad (2.20)$$

де: K - коефіцієнт запасу.

$$T = (553,718 + 290,785) \cdot 1,1 = 928,953$$

Відповідно оберемо наступні приводні двигуни виробника KRN Systeem характеристики яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Характеристики неповноповоротних гідравлічних двигунів

Ланка 6				
Модель двигуна	Кут повороту, град	Номінальний крутний момент, Н/м	Номінальний тиск, бар	Робочий об'єм, мм ³ /рад
KRH-S100	270	100	210	5407,5
Ланка 5				
Модель двигуна	Кут повороту, град	Номінальний крутний момент, Н/м	Номінальний тиск, бар	Робочий об'єм, мм ³ /рад
KRH-S100	270	100	210	5407,5
Ланка 4				
Модель двигуна	Кут повороту, град	Номінальний крутний момент, Н/м	Номінальний тиск, бар	Робочий об'єм, мм ³ /рад
KRH-S300	270	300	210	15138,8
Ланка 3				
Модель двигуна	Кут повороту, град	Номінальний крутний момент, Н/м	Номінальний тиск, бар	Робочий об'єм, мм ³ /рад
KRH-S500	270	500	210	25897,8
Ланка 2				
Модель двигуна	Кут повороту, град	Номінальний крутний момент, Н/м	Номінальний тиск, бар	Робочий об'єм, мм ³ /рад
KRH-S1000	270	1000	210	52932,3

2.3. Розробка математичної моделі

При дослідженні динаміки руху стрілової системи універсального маніпулятора з гідравлічним приводом потрібно знати характеристики поведінки саме механізмів приводу в залежності від зовнішнього навантаження та в залежності від закону керування ним.

В якості приводних механізмів в маніпуляційній системі використано поворотні гідравлічні двигуни.

Математична модель гідравлічного поворотного двигуна двосторонньої дії побудована у вигляді одно масової динамічної системи, яка є найбільш простою в дослідженні динамічних навантажень, що виникають в гідравлічній системі об'ємного гідравлічного приводу в період пуску розгону та усталеного руху [7].

При побудові математичної моделі процесу зміни вильоту маніпуляційної системи з гідравлічним приводом (рис.2.27) та проведенні динамічного аналізу приймаємо наступні припущення:

- маніпуляційна система розміщена горизонтально, оскільки при даному розміщенні досягається максимальний крутний момент на вихідному валу гідравлічного двигуна [7];
- температура, в'язкість робочої рідини, а також кількість не розчиненого повітря за період процесу пуску, розгону та усталеного руху залишаються незмінними [7];
- маси ланок маніпуляційної системи та вантажу приведені до вихідного валу приводного гідравлічного двигуна [7];
- робоча рідина, яка використовується в гідравлічній системі розглядається, як стисливе середовище;
- конструктивні елементи гідравлічної системи, за виключенням трубопроводів, вважаємо абсолютно жорсткими тілами. Відповідно при підвищенні тиску радіальну деформацію буде сприймати гідравлічна лінія [7];

Виходячи з динамічної моделі на вал гідравлічного двигуна під час його переміщення діятимуть наступні сили:

- інерції, які виникають внаслідок переміщення мас рухомих частин маніпуляційної системи, які приведені до вихідного валу привідного гідравлічного двигуна та рухаються з відповідною швидкістю та прискоренням [7];
- сили сухого тертя в ущільненнях гідравлічного двигуна;
- сили в'язкого тертя, що виникають внаслідок перетікання рідини по гідравлічній лінії [7];
- статична сила ваги спричинена масою маніпуляційної системи та об'єкту маніпулювання. Та динамічні сили, які виникають в гідравлічному двигуні під дією тиску гідравлічної рідини [7].

У відповідності до прийнятих припущень, діючих сил та динамічної моделі згідно принципу Д'Аламбера диференціальне рівняння руху маніпуляційної системи з гідравлічним приводом матиме наступний вигляд [7]:

$$m_{np} \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} = P_a \cdot A_a - P_b \cdot A_b - m_{np} \cdot g, \quad (2.21)$$

де: m_{np} – приведена маса рухомих частин та робочої рідини; θ – переміщення вихідної ланки двигуна; B – коефіцієнт демпфування, який зв'язаний з наявністю сил в'язкого та сухого тертя; g – прискорення вільного падіння.

Зміну тиску в порожнинах гідравлічного циліндру визначаємо з рівнянь нерозривності потоку з врахуванням стискання робочої рідини в поршневі та штокові камери гідравлічного циліндру, а також в прилеглих елементах трубопроводу. В результаті чого будемо мати наступні залежності:

- для поршневої камери:

$$\frac{dP_a}{dt} = \frac{E_{np}}{V_a} \cdot \left(Q_a - A_a \cdot \frac{d\theta}{dt} \right); \quad (2.22)$$

$$V_a = V_{\min} + A_a \cdot \theta, \quad (2.23)$$

- для штокової камери:

$$\frac{dP_b}{dt} = \frac{E_{np}}{V_b} \cdot \left(-Q_b - A_b \cdot \frac{d\theta}{dt} \right); \quad (2.24)$$

$$V_b = V_{\max} - A_b \cdot \theta, \quad (2.25)$$

де: E_{np} – приведений модуль об'ємної пружності; V_a і V_b – відповідно початковий об'єм робочої рідини в поршневій та штоковій камерах гідравлічного циліндра з прилеглими трубопроводами; V_{\min} – об'єм робочої рідини в поршневій камері та прилеглих трубопроводах при нульовому положенні поршня ($x=0$); V_{\max} – об'єм робочої рідини в штоковій камері та прилеглих трубопроводах при нульовому положенні поршня ($x=0$).

Приведений модуль об'ємної пружності виразимо наступною залежністю [159]:

$$E_{np} = \frac{E_p}{1 + \frac{d_{mp}}{\delta} \cdot \frac{E_p}{E_m}}, \quad (2.26)$$

де: E_p та E_m – відповідно модулі об'ємної пружності робочої рідини та матеріалу трубопроводу; d_{mp} і δ – відповідно діаметр та товщина стінки трубопроводу гідравлічної магістралі.

Гідравлічний золотниковий розподільник розглянуто у вигляді керуючої апаратури для переміщення вихідної ланки гідравлічного приводного двигуна двосторонньої дії з наступними функціями:

- перерозподіл потоків робочої рідини в гідравлічній системі, відповідно подача до робочих камер гідравлічного двигуна та відведення в бак робочої рідини в залежності від положення золотника;
- зміна швидкості переміщення вихідної ланки приводного гідравлічного двигуна в залежності від переміщення золотника.

Відповідно витрата рідини матиме наступний вигляд [7]:

- для підведення рідини в поршневу камеру гідравлічного двигуна:

$$Q_a = \mu \cdot f_a \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_n - P_a|}; \quad (2.27)$$

- для відведення рідини із штокової камери гідравлічного двигуна:

$$Q_b = \mu \cdot f_b \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_b - P_{зл}|}, \quad (2.28)$$

де: μ – коефіцієнт витрати робочої рідини в залежності від конструкції гідравлічного розподільника; f_a і f_b – площі прохідного перерізу, що утворені між кромкою ущільнюючого пояску золотника та гільзою; ρ – об’ємна маса робочої рідини; P_n – тиск робочої рідини, що створюється гідравлічним насосом; $P_{зл}$ – тиск робочої рідини в зливній магістралі.

Для визначення величини коефіцієнта демпфування представимо його у вигляді суми двох коефіцієнтів [7]:

$$B = F_2 + F_m, \quad (2.29)$$

де: F_z – питома сила гідравлічного супротиву, що викликана тертям робочої рідини в елементах трубопроводу; F_m – питома сила сухого тертя в ущільненнях та направляючих втулках відповідно штоку і поршня гідравлічного двигуна.

Силу гідравлічного супротиву, яка викликана тертям робочої рідини в елементах трубопроводу, знайдемо з наступної залежності [7]:

$$F_z = \frac{4 \cdot \frac{\lambda \cdot \text{Re}}{2} \cdot \mu_\partial \cdot l_m \cdot A_b}{\pi \cdot d_m^4}, \quad (2.30)$$

де: μ_∂ – динамічна в'язкість робочої рідини; l_m – довжина трубопроводу; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, який для різних режимів дорівнює:

- для ламінарного режиму [7]:

$$\lambda = \frac{37,5 \frac{dx}{dt}}{V_p \cdot d_m}, \quad (2.31)$$

де: V_p – швидкість рідини в трубопроводі.

- для перехідного турбулентного режиму ($2300 < \text{Re} < 8 \cdot 10^4$) [7]:

$$\lambda = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25}. \quad (2.32)$$

Визначимо складові сили сухого тертя в ущільненнях та направляючих втулок штоку і поршня гідравлічного двигуна [7]

$$F_m = F_{mш} + F_{mп} + F_c, \quad (2.33)$$

де: $F_{mш}$ – сила сухого тертя штоку; $F_{mп}$ – сила сухого тертя поршня; F_c – сила,

яка виникає внаслідок перетікання робочої рідини з протилежної камери гідравлічного двигуна в бак.

$$F_{mu} = \mu_m \cdot \pi \cdot d_{uu} \cdot b(n \cdot p_k + P_b), \quad (2.34)$$

де: μ_m – коефіцієнт тертя ущільнюючих манжет по робочих поверхнях; d_{uu} – діаметр штоку; b – ширина контакту ущільнюючих кілець; n – кількість ущільнюючих кілець; p_k – початковий питомий тиск кільця на робочі поверхні.

$$F_{mn} = \mu_m \cdot \pi \cdot d_y \cdot b(n \cdot p_k + P_a), \quad (2.36)$$

де: d_y – діаметр двигуна.

$$F_c = P_{3л} \left(\frac{\pi \cdot d_y^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{uu}^2}{4} \right). \quad (2.37)$$

Для розв'язку рівняння руху штоку гідравлічного циліндра та дослідження динаміки переміщення штоку гідравлічного циліндра з вантажем прийнято, що зміна прохідного перерізу f_a і f_b в золотниковому гідравлічному розподільнику змінюється за такими залежностями:

- за лінійною залежністю:

$$f_a \max \cdot \frac{t}{\Delta t}; \quad (2.38)$$

$$f_b \max \cdot \frac{t}{\Delta t}; \quad (2.39)$$

- за параболічною залежністю:

$$f_a \max \cdot \frac{t^2}{\Delta t^2}; \quad (2.40)$$

$$f_b \max \cdot \frac{t^2}{\Delta t^2}; \quad (2.41)$$

- за S подібною залежністю:

$$f_a \max \cdot \left(\frac{6 - 8 \cdot t}{\Delta t} + \frac{3 \cdot t^2}{\Delta t^2} \right) \cdot \frac{t^2}{\Delta t^2}; \quad (2.42)$$

$$f_b \max \cdot \left(\frac{6 - 8 \cdot t}{\Delta t} + \frac{3 \cdot t^2}{\Delta t^2} \right) \cdot \frac{t^2}{\Delta t^2}; \quad (2.43)$$

де t – час переміщення штоку, с; Δt - час переміщення золотника, с.

Приведену масу визначимо з врахуванням зміни маси робочої рідини в штоковій порожнині. Тоді отримаємо:

$$m_{np} = m_g + m_{ш} + V_b \cdot \rho. \quad (2.44)$$

2.4. Динамічний аналіз режимів руху ланки маніпулятора

Для розв'язку рівняння руху вихідної ланки привідного гідравлічного двигуна приймемо такі вихідні параметри гідравлічного приводу маніпулятора:

Робоча рідина марки МГЕ-46В, маса вантажу $m_g = 30 \text{ кг}$; тиск в напірній лінії $P_n = 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$; тиск зливної лінії $P_{зл} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$; приведений модуль пружності рідини $E_p = 1,3 \cdot 10^8 \text{ Па}$; приведений модуль пружності сталі $E_m = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; діаметр трубопроводу $d_m = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; товщина стінки трубопроводу $\delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; питома вага робочої рідини $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Час

переміщення ланки $t = 2c$; час відкривання золотника на максимальну відстань

$$\Delta t = 0,25c. \quad \text{Початкові умови: } x[0] = 0, \quad \frac{dx}{dt}[0] = 0, \quad P_b[0] = \frac{V_b \cdot \rho \cdot g}{A_b},$$

$$P_a[0] = \frac{m_{np} \cdot g}{A_a}.$$

Розв'язавши рівняння руху ланки маніпулятора чисельними методами згідно прийнятих вихідних параметрах та початкових умов, отримано графічні залежності, прискорення та зміни тисків під час перехідного режиму руху (рис. 2.1 – рис.2.2)

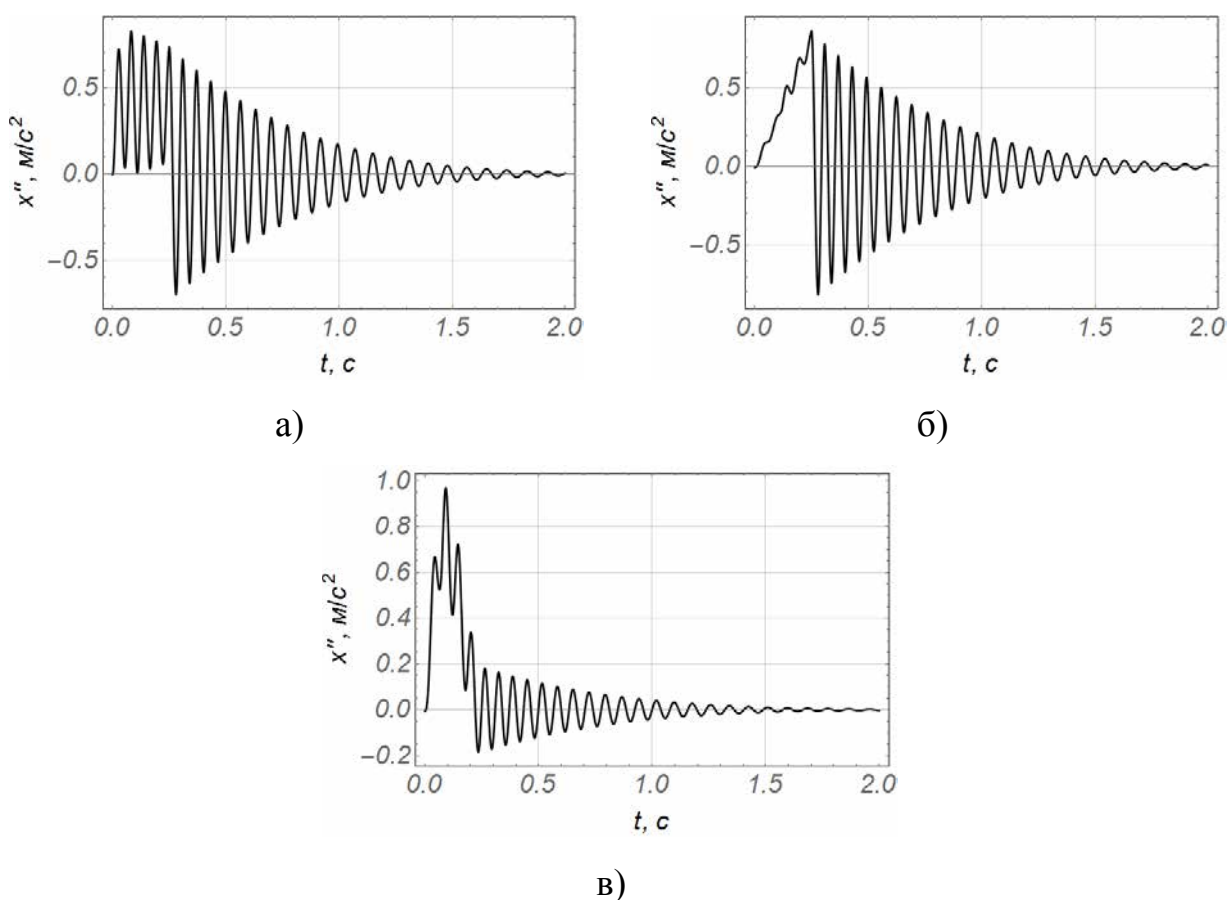


Рис. 2.1. Графіки прискорення вихідної ланки гідравлічного двигуна у відповідності до зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника: а) за лінійною залежністю; б) за параболічною залежністю; в) за S подібною залежністю

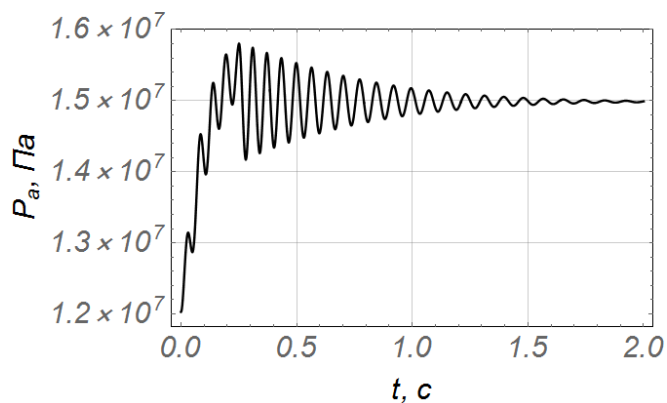
Аналізуючи та порівнюючи між собою отримані графічні залежності прискорення валу гідравлічного двигуна (рис. 2.1) у відповідності до залежності

зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника, можна зазначити наступне:

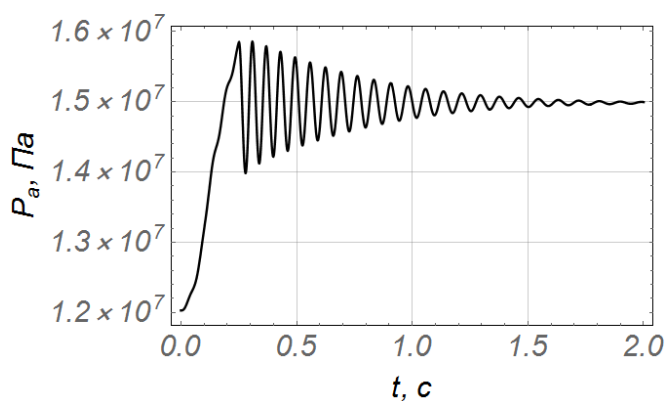
- за лінійною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.1 а): в період розгону валуу гідравлічного двигуна ($t = 0 - 0,25c$) прискорення у період розгону супроводжується значними коливаннями та набуває максимального значення, яке становить $0,82m/c^2$. По закінченню періоду розгону валу гідравлічного двигуна та виходу його на усталений рух ($t = 0,25c$) прискорення супроводжується коливаннями знакозмінного затухаючого характеру;

- за параболічною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.1 б): за період розгону ($t = 0 - 0,25c$) прискорення зростає рівномірно, але при цьому спостерігаються коливання. Максимального значення прискорення набуває в момент закінчення переміщення золотника ($t = 0,25c, f_a = f_a \max, f_b = f_b \max$) і становить $0,88m/c^2$. При подальшому переміщенні валу гідравлічного двигуна ($t = 0,25 - 2c$) спостерігається коливання прискорення знакозмінного затухаючого характеру;

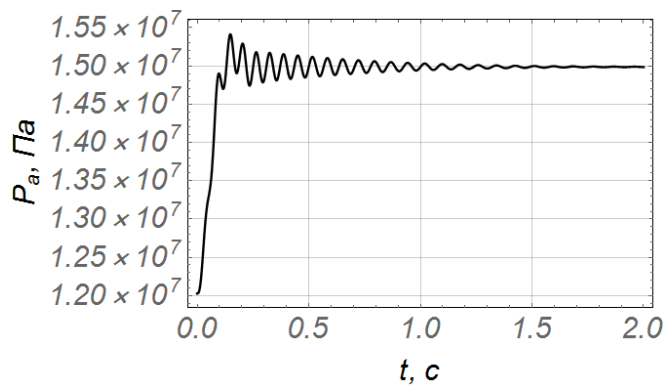
- за S подібною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.1 в): за період розгону ($t = 0 - 0,25c$) прискорення супроводжується коливаннями з явно вираженими максимальними піковими значеннями. Максимального значення прискорення набуває в момент часу $0,1c$ і становить $0,98m/c^2$. В момент часу $t = 0,25c$, прискорення валу гідравлічного двигуна становить $0,195m/c^2$. При подальшому переміщенні валу гідравлічного двигуна ($t = 0,25 - 2c$) спостерігається коливання прискорення знакозмінного затухаючого характеру. Остаточне затухання коливань відбувається у момент часу $t = 1,8c$.



а)



б)



в)

Рис. 2.2. Графіки зміни тиску в поршневій камері гідравлічного двигуна у відповідності до зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника: а) за лінійною залежністю; б) за параболічною залежністю; в) за S подібною залежністю

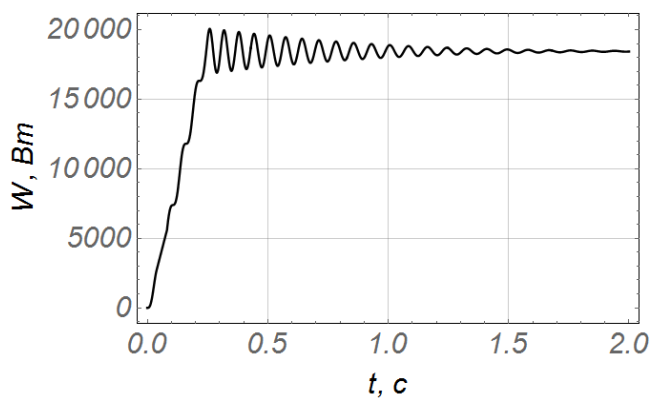
Аналізуючи та порівнюючи між собою отримані графічні залежності зміни тиску в поршневій камері гідравлічного двигуна (рис. 2.2) у відповідності до залежності зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника,

можна зазначити наступне:

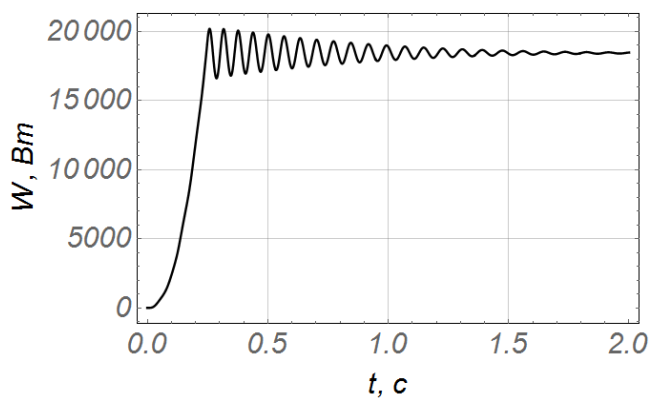
- за лінійною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.2 а): в період розгону валу гідравлічного двигуна ($t = 0 - 0,25c$) виникають значні коливання тиску, які негативно впливають на режими зміни швидкості та прискорення переміщення валу гідравлічного двигуна. В момент часу $t = 0,25c$ максимальне значення тиску становить $1,58 \cdot 10^7 Pa$. При подальшому переміщенні валу зміна тиску супроводжується коливаннями затухаючого характеру. Це спричинено інерційною складовою рухомих мас, стисливістю робочої рідини та піддатливістю елементів гідравлічної системи. Період затухання коливань тиску при усталеному русі відбувається протягом $1,5c$. Тиск в поршневій камері в період усталеного руху становить $1,5 \cdot 10^7 Pa$;

- за параболічною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.2 б): в період розгону валу гідравлічного двигуна ($t = 0 - 0,25c$) коливання тиску відсутні. В момент часу $t = 0,25c$, максимальне значення тиску становить $1,58 \cdot 10^7 Pa$. При подальшому переміщенні валу гідравлічного двигуна зміна тиску супроводжується коливаннями затухаючого характеру. Період затухання коливань тиску при усталеному русі відбувається протягом $1,5c$. Тиск в поршневій камері в період усталеного руху становить $1,5 \cdot 10^7 Pa$;

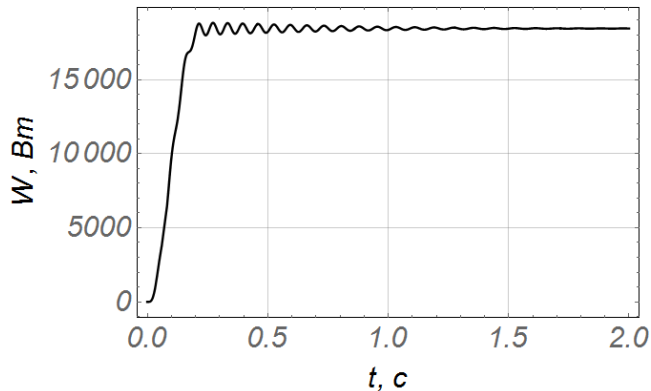
- за S подібною залежністю зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника (рис. 2.2 в): під час розгону валу гідравлічного двигуна ($t = 0 - 0,1c$) коливання тиску відсутні. В момент часу $t = 0,1 - 0,25c$, виникають незначні коливання тиску, максимальне значення яких становить $1,54 \cdot 10^7 Pa$. При подальшому переміщенні валу гідравлічного двигуна зміна тиску супроводжується незначними коливаннями затухаючого характеру. Тиск в поршневій камері в період усталеного руху становить $1,5 \cdot 10^7 Pa$.



a)



б)



в)

Рис. 2.3. Графічні залежності затраченої потужності для переміщення штоку гідравлічного циліндра з вантажем у відповідності до зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника: а) за лінійною залежністю; б) за параболічною залежністю; в) за S подібною залежністю

Для оцінки енергоефективності переміщення валу гідравлічного двигуна за різними режимами руху на рис. 2.3 наведено результати затраченої

потужності. Як видно, при кожному з режимів руху відбувається нерівномірне споживання енергії, що пов'язано із коливаннями тиску робочої рідини, металоконструкції стрілової системи та вантажу. Найменші коливання тиску робочої рідини спостерігаються при зміні площі прохідного перерізу золотникового розподільника за S подібною залежністю. Разом з тим, ці коливання при лінійній та параболічній залежностях зміни площі прохідного перерізу золотникового розподільника є значними, тому в кожному конкретному випадку необхідно вибирати той або інший закон зміни площі прохідного перерізу.

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення при роботі із промисловими роботами

До роботи із гідравлічним обладнанням промислових роботів допускаються працівники віком не молодше 18 років, які пройшли вступний та первинний інструктажі з питань охорони праці та пожежної безпеки, а також навчання безпечним методам ведення робіт на даному обладнанні [21].

Працівники повинні один раз на 3 місяці проходити повторні інструктажі з питань охорони праці, а при виконанні разових робіт, безпосередньо не пов'язаних із посадовими обов'язками або обов'язками за спеціальністю, – цільовий інструктаж відповідно до характеру виконуваної роботи [22].

Перед початком виконання робіт, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання, працівник повинен пройти інструктаж для отримання І групи з електробезпеки та один раз на рік проходити перевірку знань відповідних нормативних актів з охорони праці та пожежної безпеки [23].

Кожен працівник під час виконання своїх трудових обов'язків повинен:

- виконувати тільки ту роботу, яка передбачена посадовими чи робочими інструкціями або доручена йому керівником [24];
- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- знати будову та принцип роботи обладнання з яким йому необхідно працювати [25];
- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території виробництва;
- знати і виконувати вимоги правил пожежної безпеки, знати місця знаходження первинних засобів пожежогасіння та уміти ними користуватися;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, вимоги санітарно-гігієнічних норм і правил, вміти надавати домедичну допомогу;
- користуватися передбаченими засобами колективного та індивідуального

захисту.

Палити та приймати їжу дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях [26].

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які за певних обставин можуть призвести до травматизму чи професійних захворювань, є такі:

- підвищена напруга електричної мережі;
- частини механічного обладнання, що рухаються чи обертаються, а також частини деталей, що оброблюються.

Працівник безоплатно забезпечується спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до діючих Типових галузевих норм або норм передбачених договором [27].

Працівник має право відмовитися від роботи, якщо умови її виконання створюють загрозу його здоров'ю або життю чи суперечать вимогам нормативних актів з охорони праці.

За порушення вимог щодо охорони праці та пожежної безпеки працівник несе адміністративну, дисциплінарну відповідальність згідно діючого законодавства України [28].

3.2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Працівник перед початком роботи повинен:

- одягнути та привести до ладу передбачений для виконання роботи спецодяг, спецвзуття та ЗІЗ;
- оглянути і привести в належний стан робоче місце, прибрати зайве;
- оглянути інструмент, інвентар, пристосування, перевірити їх справність;
- переконатися в достатній освітленості робочого місця; при необхідності використання переносного світильника переконатися в його справності, при цьому напруга для його живлення не повинна перевищувати 42 В.

Стаціонарний маніпулятор має бути закріплений на підлозі і відповідати таким вимогам:

- корпус маніпулятора та відповідно ланки не повинні мати тріщин та інших ушкоджень;
- контрольно-вимірювальне обладнання промислового маніпулятора має бути справним;
- робоча зона, спрямована у бік проходів або в сторону іншого обладнання, має бути відгороджена захисним екраном;
- гідравлічні шланги не повинні мати ушкоджень, вони повинні бути надійно закріплені на штуцерах;
- гідравлічні приводні двигуни не повинні пропускати робочу рідину через ущільнення.

При виявленні загрози безпечному проведенню роботи, необхідно доповісти про це безпосередньому керівнику і до роботи не приступати. Дозволяється приступати до роботи тільки після усунення виявлених недоліків.

3.3. Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи працівник повинен:

- бути уважним, не відволікатися на сторонні справи та розмови, не відволікати інших працівників [36];
- постійно підтримувати чистоту та порядок на робочому місці, тримати в чистоті і справності всі вузли і механізми промислового робота-маніпулятора;
- стежити за справністю роботи електрообладнання та електроприладів; у разі раптового припинення подачі електроенергії промислового робота-маніпулятора необхідно відключити від електричної мережі;
- стежити за справністю всіх контрольно-вимірювальних приладів;

- при виявленні несправностей необхідно вжити заходи щодо зупинки промислового робота-маніпулятора та повідомити про це безпосереднього керівника;

- стежити за тим, щоб не було витоків робочої рідини в місцях приєднання шлангів;

При пресуванні деталі стежити, щоб вона була міцно закріплена, а спеціальне пристосування було встановлене без перекосів. Робочі деталі встановлювати стійко на підручних пристосуваннях так, щоб унеможливити їх зміщення під час роботи. Обробляти деталі, що знаходяться в підвішеному стані або які утримуються руками, не допускається [36].

Забороняється:

- допускати до управління промисловим роботом-маніпулятором сторонніх осіб;

- проводити регулювання та ремонт обладнання під час роботи промислового робота-маніпулятора;

- працювати із несправним роботом-маніпулятором;

- працювати із несправними контрольно-вимірними приладами та гідравлічною магістраллю;

- доторкатися до рубильників та іншого електроустаткування без гумових рукавичок;

- залишати промислового робота-маніпулятора, який працює, без нагляду.

3.4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Вимкнути промислового робота-маніпулятора. Закрити вентиль на масляній магістралі.

Привести робоче місце в належний стан, зібрати та перенести у відведені місця залишки матеріалів, їх відходи, інструменти тощо [36].

Ретельно протерти і очистити пристосування і інструмент від стружки, тирси, пилу тощо.

Зняти спеціальний одяг, спецвзуття, інші ЗІЗ та помістити їх до місця зберігання.

Вимити руки, обличчя, при необхідності прийняти душ, переодягнутися у чистий одяг.

Доповісти керівнику про виявлені під час роботи недоліки

3.5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

В процесі роботи можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- загоряння обладнання або матеріалів, виникнення пожежі;
- пошкодження ізоляції електрообладнання, виникнення напруги дотику та крокової напруги;
- заклинювання рухомих частин обладнання;
- розрив частин механізмів, що рухаються або обертаються;
- виліт матеріалів, що обробляються.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- обгородити небезпечну зону і не допускати в неї сторонніх осіб; якщо обстановка не загрожує життю і здоров'ю працівників і не повинна призвести до більш тяжких наслідків, необхідно її зберегти такою, якою вона була на момент настання події, для проведення розслідування;
- повідомити про те, що сталося, керівника робіт;
- у випадку виникнення пожежі приступити до її ліквідації; якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, викликати пожежну команду.

У разі настання нещасного випадку:

- негайно звільнити потерпілого від дії вражаючого фактору;
- перенести його в безпечне місце;
- визначити стан потерпілого, при необхідності надати йому домедичну допомогу, а у тяжких випадках викликати екстрену медичну допомогу.

При ліквідації аварійної ситуації виконувати вказівки керівника робіт.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

4.1 Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення

Таблиця 4.1

Витрати обладнання та комплектуючі для виготовлення робота

Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Устаткування				
Комп'ютерне обладнання	шт.	1	100000	100000
Транспортні витрати (2%)				3000
Монтаж обладнання (25%)				37500
Мотори та приводи				
KRH-S100	шт.	2	10000	20000
KRH-S300	шт.	1	12000	12000
KRH-S500	шт.	1	15000	15000
KRH-S1000	шт.	2	17500	35000
Насосна станція	шт.	1	60000	60000
Загальна вартість				282500

Загальна вартість витрат на придбання обладнання та програмного забезпечення дорівнює:

$$C_{\text{затр}} = C_{\text{обл}} + C_{\text{ПЗ}} + C_{\text{компл}} \quad (4.1)$$

де: $C_{\text{обл}}$ - вартість обладнання; $C_{\text{ПЗ}}$ - вартість програмного забезпечення; $C_{\text{компл}}$ - вартість комплектуючих.

$$C_{\text{затр}} = 100000 + 116470 + 182500 = 398970 \text{ грн.}$$

Витрати на програмне забезпечення

Витрати на програмне забезпечення Найменування	Од. Змін.	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Програмне забезпечення				
Microsoft Windows 11 Pro	шт.	1	7900	7900
Autodesk Inventor 2025 (1 рік)	шт.	1	108570	108570
Загальна вартість програмного забезпечення				116470

4.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Розрахунок амортизації для комп'ютерного обладнання.

Вихідні дані:

1. Початкова вартість комп'ютерного обладнання: 100 000 грн.
2. Термін служби устаткування: 5 років.
3. Період роботи: 12 місяців.

Визначимо витрати на амортизацію персонального комп'ютера:

$$A_{\text{КО}} = \frac{C_{\text{КО}} \cdot t_p}{t_b \cdot 12}, \quad (4.2)$$

де: $C_{\text{КО}}$ - вартість комп'ютерного обладнання; t_p - час роботи; t_b - термін служби устаткування.

$$A_{\text{КО}} = \frac{100000 \cdot 12}{5 \cdot 12} = 20000 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат за електроенергію.

Вихідні дані:

1. Потужність, яку споживає персональний комп'ютер: 400 Вт.
2. Потужність, яка споживається системою освітлення: 70 Вт.
3. Вартість кВт*г на 2025 рік 4.62.
4. Тривалість робочої зміни 8 годин.

Визначимо витрати на електроенергію за одну зміну:

$$C_{el} = (P_{ПК} + P_o) \cdot C_{кВт} \cdot t_{зм}, \quad (4.3)$$

де: $P_{ПК}$ - потужність, яку споживає персональний комп'ютер; P_o - потужність, яка споживається системою освітлення; $C_{кВт}$ - Вартість кВт*г; $t_{зм}$ - тривалість робочої зміни.

$$C_{el} = (0,4 + 0,07) \cdot 4,62 \cdot 8 = 28,46 \text{ грн.}$$

За 1 місяць розробки робота плата за електроенергію становитиме 7541,9 грн.

4.3 Розрахунок заробітної плати

У період розробки та виготовлення прототипу робота-маніпулятора оклад провідного фахівця становив 8000 грн. на місяць.

Основна заробітна плата провідного спеціаліста без районного та північного коефіцієнта за 12 місяців склала:

$$C_{ЗП} = C_{ЗП.місячна} \cdot n, \quad (4.4)$$

де: $C_{ЗП.місячна}$ - місячна заробітна плата; n - кількість місяців роботи.

$$C_{ЗП} = 8000 \cdot 12 = 96000 \text{ грн}$$

4.4 Кошторис витрат на розробку робота

При проведенні розрахунків враховувалось річне навантаження, Так як

процес розробки складається з багатьох етапів було враховано тільки затрати на проектування.

Таблиця 4.3

Витрати на розробку та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора.

Найменування витрат	Сума витрат, грн.
Витрати обладнання	150000
Транспортні витрати	3000
Монтажні витрати	37500
Витрати програмне забезпечення	116470
Витрати на комплектуючі	56450
Електроенергія	7541,9
Амортизація	36667
Заробітна плата	96000
Разом	503628,9

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було вирішено важливе науково-прикладне завдання, що стосується розробки конструкції та дослідження режимів роботи універсального маніпулятора, спрямоване на підвищення ефективності автоматизованих виробничих процесів.

Було проведено аналіз та обґрунтування конструкцій існуючих маніпуляторів, що дозволило сформулювати технічні вимоги до універсальної моделі.

На основі цього розроблено оригінальну конструктивну схему маніпулятора. Обґрунтовано вибір високомоментних гідравлічних двигунів для забезпечення високої точності та жорсткості системи.

Проведено динамічний аналіз розробленої конструкції. Побудовано динамічну модель маніпулятора з урахуванням інерційних навантажень та сил тертя.

Створено математичну модель руху маніпулятора, що включає модель приводів та модель системи керування.

Практична значущість роботи полягає у створенні технічно обґрунтованої бази для впровадження нового покоління універсальних маніпуляторів. Розроблена конструкція вирізняється покращеним співвідношенням вантажопідйомності до власної маси та кінематичною гнучкістю. Визначені оптимальні режими роботи можуть бути безпосередньо інтегровані в системи керування, що забезпечить підвищення продуктивності виробничих ліній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Роботи в сільському господарстві. Що нас чекає у майбутньому [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/roboty-v-silskomu-gospodarstvi-shho-nas-chekaye-u-majbutnomu/>
2. Роботи KRN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rnd.knrsys.com/english/view.html?id_no=24&PHPSESSID=c07323cef9b371930572a442a7105ce1
3. Трет'як А.В. Основи робототехніки: навчальний посібник для студентів спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А.В. Трет'як, А.М. Кльон.– Полтава, видавництво національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 135 с.
4. С.О. Кошель. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: Навчальний посібник / С.О. Кошель, Ю.А. Ковальов, О. П. Манойленко. – К., Центр навчальної літератури, 2019. – 256 с.
5. Міщук Д. О. Проектування і конструювання робототехнічних систем: Навчальний посібник / Д. О. Міщук. – К.: 2020. – 185 с.
6. Міщук Д. О. Роботи і маніпулятори: Підручник / Д. О. Міщук. – К.: 2020. – 268 с.
7. Міщук Д. Дослідження динамічної моделі гідравлічного циліндра об'ємного гідроприводу / Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – Вип. 87. – С. 74-81.
8. Пелевін Л. Є. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: підручник / Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко, Д. О. Міщук, І.В. Русан. – К: ТОВ “НВП “Інтерсервіс””, 2016. – 258 с.
9. Невлюдов І. Ш. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв, С. П. Новоселов,

Н. П. Демська– Х.: 2022. – 427 с.

10. ДСТУ 2879-94 Маніпулятори, автооператори, роботи промислові та системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення.
11. Eugene Kagan, Nir Shvalb, Irad Ben-Gal. Autonomous Mobile Robots and Multi-Robot Systems. John&Son Ltd. 2020. P. 319.
12. Robotique agricole: repenser la mécanisation agricole. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.entraid.com/articles/robotique-agricole-opportunité-repenser-mécanisation-agricole>
13. Robot Più Strani Ed Utili Mai Costruiti. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.smartweek.it/10-robot-piu-strani-ed-utili-mai-costruiti/6/>
14. Boston Dynamics. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bostondynamics.com/>
15. Роботи KUKA Roboter. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kuka.com>
16. Роботи FANUC. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.fanucrobotics.com/Products/Robots/Atoz.aspx>
17. Роботи Kawasaki [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.kawasakirobotics.com/products/?page=robots>
18. Роботи АВВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.abb.ru/product/us/9AAC100735.aspx>
19. Зварні роботи МОТОМАН [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.motoman.com/products/robots/arc-welding-robots.php>
20. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» Наказ Держнагляд охорон праці України 09.01.98 N 4 ДНАОП 0.00.1.1-98.
21. Правила користування і випробовування засобів захисту, які використовуються в електроустановках.
22. ДСТУ 73-93 ССВП. Пожежна техніка. Терміни та визначення.
23. ДСТУ 93-93 ССВП. Охорона праці. Терміни та визначення.
24. ДСТУ 708-99. Метрологія. Повірка засобів вимірювання. Організація

і порядок проведення.

25. ДСТУ 301-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення.

26. ДСТУ 330-95. Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення.

27. ДСТУ 9004-1-95. Управління якістю та елементи системи якості.

28. ДСТУ 3816-98. Керівні вказівки щодо розроблення настанов з якості.

29. Термометрія. Терміни та визначення. Зміна 1: ДСТУ 3518-97. – [Чинний від 01.10.2019]. – Київ: Держстандарт України, 2019 – 97 с. – (Національні стандарти України).

30. Закон України «Про ринок електричної енергії». В редакції від 29 грудня 2019 року, підстава №394-IX. Відомості Верховної Ради, 2017, № 27–28, ст.312.

31. Закон України «Про енергозбереження». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, №15, ст.126).

32. Закон України №555-IV від 20.02.2003 р. «Про альтернативні джерела енергії».

33. ДБН А.2.2. –3 – 2012 Склад та зміст проектної документації

34. ДБН В.2.5-27-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд

35. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. 7-ме видання, перероблене та доповнене. – К.: Міненерговугілля України, 2022. – 794 с.

36. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 91 від 13.02.2012 та № 905 від 16.11.2012) Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 березня 2012 р. за № 350/20663.

37. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Держнаглядохоронпраці від 09. 01. 98 № 4. Зареєстровано

в Міністерстві юстиції України 10. 02. 98 за № 93/2533.

38. Петрик В.Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі: навчальний посібник / В.Ф. Петрик, А.Г. Протасов. – Київ: НТУУ ”КПІ”, 2015. – 266 с.

39. Серіков Я. О., Білецький І. В., Калюжний Д. М. Охорона праці в галузі електроенергетики: підручник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 247 с.

40. Tavner P., Ran L., Crabtree C. Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines. 3rd Edition. London: IET, 2020. 432 p.

41. Mathematical Modelling and Numerical Analysis in Electrical Engineering / Ed. by A. M. El-Nobi. Basel: MDPI, 2024. 208 p. (Reprint of the Special Issue published in Mathematics).

42. Chengchao Bai; Jifeng Guo; Hongxing Zheng. (2019). Three-Dimensional Vibration-Based Terrain Classification for Mobile Robots. IEEE Access. Volume: 7. Page(s): 63485 – 63492. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2916480

43. Prabin Kumar Panigrahi, Sukant Kishoro Bisoy. (2021). Localization strategies for autonomous mobile robots: A review. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. DOI: 10.1016/j.jksuci.2021.02.015

44. Толок В.А. Метод кінцевих елементів: теорія, алгоритми, реалізація / В.А.Толок. – Київ: Наук. думка, 2003. – 316 с.

45. Протасов А.Г. Моделювання задач теплового неруйнівного контролю з використанням комп’ютерних технологій / А. Г. Протасов // Методи та прилади контролю якостю – 2014. – № 1(32). – С. 14-17.

46. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

47. Seyed Mojtaba Shafaei, Hossein Mousazadeh. (2021). Development of a mobile robot for safe mechanical evacuation of hazardous bulk materials in industrial confined spaces. Jurnal of Field Robotics. First published: 16 November 2021. DOI:

10.1002/rob.22047.

48. Kim, Changwon, Junho Suh, and Je-Heon Han. (2020). Development of a Hybrid Path Planning Algorithm and a Bio-Inspired Control for an Omni-Wheel Mobile Robot. *Sensors*. 20, no. 15: 4258. DOI:10.3390/s20154258.

49. Luis A. Mateos; Wei Wang; Banti Gheneti; Fabio Duarte; Carlo Ratti; Daniela Rus. (2019). Autonomous Latching System for Robotic Boats. *The International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 20-24 May. Montreal, QC, Canada. DOI: 10.1109/ICRA.2019.8793525.

50. Pons, P., Jaen, J. (2020). Interactive spaces for children: gesture elicitation for controlling ground mini-robots. *J Ambient Intell Human Comput*. Volume: 11. P. 2467–2488. DOI:10.1007/s12652-019-01290-6.

51. Hoang VuPhan, Hoon CheolPark. (2020). Mimicking nature’s flyers: a review of insect-inspired flying robots. *Current Opinion in Insect Science*. Volume 42, Pages 70-75. DOI: 10.1016/j.cois.2020.09.008.

52. Pop, Cornel Vlad; Tătar, Mihai Olimpiu. (2021). Studies and Research on the Locomotion of Mobile Robots Inspired By Biosystems. *Robotica & Management*. Vol. 26 Issue 2, P. 35-42.

53. Mobile manipulator FETCH [Type of medium]. Available: <https://robosklep.com/en/mobile-manipulators/119-mobile-manipulator-fetch-.html>

54. Mobile manipulator XL-GEN [Type of medium]. Available: <https://robosklep.com/en/mobile-manipulators/196-mobile-manipulator-xlgen.html>