

Зміст

ВСТУП	6
1. ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз поставленого завдання	8
1.1.1 Огляд існуючих теоретичних і практичних рішень	8
1.2 Вибір варіанту конструкції	13
1.3 Удосконалення конструкції маніпулятора	16
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Аналіз кінематичної схеми маніпулятора	21
2.2 Опис кінематичної схеми	23
2.3 Розрахунок для вибору двигунів	25
2.3.1 Розрахунок моменту	25
2.3.2 Вибір двигунів	26
2.4 Розробка алгоритму переміщення ланок маніпулятора	29
2.4.1 Аналіз розрахунку кута повороту маніпулятора	29
2.4.2 Аналіз систем програмного керування для маніпулятора	30
2.4.3 Принцип розімкненого керування	31
2.4.4 Принцип керування по збуренню	32
2.4.5 Принцип керування по зворотньому зв'язку	32
2.5 Розробка алгоритму керування роботом-маніпулятором	34
2.5.1 Цикловий режим програмного керування	34
2.5.2 Основні режими роботи	35
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	39
3.1 Методи керування кроковими двигунами	39

3.1.1 Повнокроковий режим без перекриття фаз.....	39
3.1.2 Повнокроковий режим з перекриттям фаз	40
3.1.3 Напівкроковий режим.....	40
3.1.4 Мікрокроковий режим.....	44
3.2 Опис схеми функціональної.....	47
4.БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Значення охорони праці та аналіз потенційно небезпечних факторів.....	48
4.2 Заходи з техніки безпеки при виготовленні деталей.....	47
4. Особливості заходів електробезпеки	52
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Стрімкий розвиток технологій як у виробничих так і у невиробничих сферах людської діяльності вимагає гнучкості від методів та засобів вирішення різних задач. Спостерігається зміна у способах взаємодії людей з технікою для вирішення задач в різних сферах людської діяльності, ця тенденція також виявляється в розвитку рук маніпуляторів, які стають все більш важливими в контексті автоматизації та оптимізації процесів у різних галузях. Рука маніпулятор є передовим інженерним рішенням, що базується на синергетичному поєднанні електромеханічних компонентів, сенсорів та алгоритмів. Завдяки вдосконаленій механіці та системі приводів, ця система забезпечує високу точність та швидкість у виконанні маніпуляційних операцій.

Рука маніпулятор відкриває перед нами безмежні можливості в різноманітних галузях. У виробництві вона забезпечує точність та швидкість при виконанні завдань з маніпулюванням предметами, що раніше вимагали людського втручання.

Застосування руки маніпулятора широко використовуються в індустріальних аспектах, наприклад для перевірки обладнання, для спеціалізованих місій, які можуть бути небезпечними для людського життя. Застосування робо-руки маніпулятора в різних сферах є досить різноманітним і відображається у її унікальних можливостях та технічних характеристиках.

1. Виробництво та промисловість:

- **Автоматизоване виробництво:** Робо-рука маніпулятор допомагає у виконанні повторюваних завдань, таких як підйом, переміщення та складування виробів на виробничих лініях.
- **Монтаж та збирання:** Вона може бути використана для автоматизації процесу монтажу та збирання складних виробів, забезпечуючи високу точність та ефективність.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Обробка матеріалів:** Робо-рука маніпулятор використовується у процесах обробки матеріалів, таких як фрезерування, свердління та різання, де вона забезпечує стабільність та точність рухів.

2. Медицина:

- **Хірургічні операції:** Робо-рука маніпулятор допомагає хірургам виконувати хірургічні втручання з великою прецизією та мінімальними травмами для пацієнтів.
- **Діагностика та лікування:** У вирішенні діагностичних та лікувальних задач, вона може використовуватися для маніпуляції зразками, інструментами або обладнанням з великою точністю.

3. Космічні дослідження:

- **Сервіс та обслуговування космічного обладнання:** Робо-рука маніпулятор використовується для виконання обслуговування та ремонту обладнання на борту космічних апаратів.
- **Підтримка міжнародних космічних місій:** Вона стає невід'ємною частиною міжнародних космічних місій, де здійснює різноманітні завдання в умовах мікрогравітації та вакууму.

Робо-рука маніпулятор демонструє свою вибірково універсальність та адаптивність, що робить її незамінною технологічною інновацією в різних галузях, де потрібна висока точність, ефективність та безпека.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз поставленого завдання

1.1.1 Огляд існуючих теоретичних і практичних рішень

У даному розділі ми детально розглянемо різноманітні аналоги руки маніпулятора, що використовуються у різних галузях та сферах застосування. Рука маніпулятор - це ключовий елемент в сучасних технологіях автоматизації та робототехніки, і вибір правильного аналога може значно вплинути на ефективність та результативність роботи в конкретному застосуванні.

Кожен аналог має свої унікальні характеристики, переваги та обмеження, які варто розглянути перед вибором оптимального рішення для конкретного завдання. У цьому розділі ми проаналізуємо різні типи конструкцій, технічні характеристики, а також застосування кожного з аналогів у виробництві, медицині, космічних дослідженнях та інших галузях. Такий огляд допоможе отримати повну картину про існуючі можливості та обмеження різних рук маніпуляторів, а також спростить процес вибору найбільш підходящого аналога для конкретного використання.

Рука Маніпулятор повинен мати хоча б три ступені рухливості, необхідні для переміщення. Так, як різниця у кількості осей та ступенів вільності визначає механічні можливості руки маніпулятора та її гнучкість у виконанні різних видів задач. Кожна ступінь рухливості руки маніпулятора виконується індивідуальним приводом, в результаті чого виконавчий орган отримує спрямований певний рух. В сучасних маніпуляторах використовують електромеханічні, гідравлічні, пневматичні або комбіновані приводи. Існує велика кількість схем маніпуляторів, найбільш поширеними в промисловості є наступні види:.

Декартовий тип:

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Декартовий тип [рис. 1.1] конструкції маніпулятора – це один зі стандартних варіантів у робототехніці. Названий на честь математика Рене Декарта, цей тип конструкції базується на системі координат, що відповідає прямокутній (декартовій) системі координат. Ось детальний опис декартового типу конструкції:

- Структура: Декартова конструкція зазвичай складається з трьох основних компонентів: вертикального зв'язку (осі Z), горизонтального зв'язку (осі X) та горизонтального переміщення (осі Y). Ці компоненти дозволяють робо-руці маніпулятора рухатися вздовж трьох осей прямокутної системи координат.
- Рухи: Робо-рука декартової конструкції може виконувати рухи вздовж осей X, Y та Z для переміщення у просторі. Крім того, вона може також виконувати рухи обертання навколо кожної з цих осей для зміни орієнтації кінцевого ефектора.
- Застосування: Декартові робо-руки маніпулятори зазвичай використовуються у виробництві та автоматизованих процесах, де потрібно точне розміщення та переміщення об'єктів у тривимірному просторі. Вони також застосовуються у сферах, де потрібно точно контролювати орієнтацію об'єктів або інструментів.



Рисунок 1.1 – Маніпулятор декартового типу переміщення

Переваги: Декартовий тип конструкції дозволяє ефективно керувати рухами робо-руки маніпулятора в просторі, що робить його досить універсальним та ефективним для багатьох видів завдань. Він також досить інтуїтивний у програмуванні та керуванні.

Недоліки: Одним з можливих недоліків декартової конструкції є обмеженість у виконанні рухів, зокрема, в області, де потрібно виконання складних криволінійних або кутових рухів. Також може бути обмеження у доступі до об'єктів під кутами.

Декартовий тип конструкції робо-руки маніпулятора є надзвичайно корисним та широко використовуваним в різних галузях, де потрібно точне та контрольоване переміщення об'єктів у тривимірному просторі.

Циліндричний тип:

Циліндричний тип [рис. 1.2] конструкції робо-руки маніпулятора є одним зі стандартних та широко використовуваних варіантів у робототехніці. Ця конструкція отримала назву за своєю схожістю з циліндром, адже має здатність виконувати рухи вздовж циліндричної системи координат. Ось детальний опис циліндричного типу конструкції:

- **Структура:** Ця конструкція зазвичай складається з серії сегментів (або ланцюгів), які з'єднані між собою. Кожен сегмент має власну ось обертання, що дозволяє рухатися вздовж циліндричних координат.
- **Рухи:** Робо-рука циліндричної конструкції може виконувати рухи вздовж осі (зазвичай зазначеної як "Z") та обертатися навколо цієї осі. Крім того, вона може мати також вільність руху вздовж радіуса (зазвичай зазначеної як "R") для виконання рухів вздовж поверхні циліндра.
- **Застосування:** Циліндричні робо-руки маніпулятори використовуються там, де необхідно виконувати рухи вздовж довгих вісей, таких як переміщення вздовж трубопроводів, обробка валів або робота в областях з обмеженим простором, де потрібні циліндричні координати.

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Маніпулятор циліндричного типу переміщення

Переваги: Циліндрична конструкція дозволяє роботі ефективно працювати у вузьких або обмежених просторах, де потрібно виконувати рухи вздовж вісі та обертатися. Вона також ефективна для виконання завдань, пов'язаних з переміщенням по кривих траєкторіях.

Недоліки: Одним з можливих недоліків є обмежені можливості виконання рухів у трьох просторових напрямках, оскільки циліндрична конструкція надає обмеженість рухів у вертикальному та горизонтальному напрямках.

В цілому, циліндрична конструкція робо-руки маніпулятора є ефективним та важливим інструментом у робототехніці, особливо там, де необхідно виконання рухів вздовж циліндричних траєкторій.

Сферичний тип:

Сферичний тип [рис. 1.3] конструкції робо-руки маніпулятора базується на можливості виконання рухів у сферичній системі координат. Ця конструкція дозволяє роботу рухатися в будь-якому напрямку та в будь-якому куті, що робить її дуже гнучкою і універсальною у багатьох видах застосувань. Ось детальний опис сферичного типу конструкції:

- Структура: Сферична конструкція робо-руки маніпулятора має кілька зчленувань або сегментів, які дозволяють рухатися вздовж кількох осей. Кожен з цих сегментів може обертатися навколо відповідної вісі, що надає робо-руці можливість виконання рухів у будь-якому напрямку у сферичній системі координат.
- Рухи: Сферична конструкція дозволяє робо-руці маніпулятора виконувати рухи в будь-якому напрямку та в будь-якому куті відносно центральної точки. Вона може обертатися навколо трьох осей - X, Y та Z - або виконувати комбіновані рухи для досягнення потрібного положення та орієнтації.
- Застосування: Сферичні робо-руки маніпулятори широко використовуються у галузях, де потрібно точне та гнучке керування рухами в просторі. Вони можуть застосовуватися у виробництві, медицині, дослідженнях, а також у космічній промисловості, де потрібна висока ступінь гнучкості та точності.

Переваги: Сферична конструкція дозволяє робо-руці маніпулятора виконувати рухи в будь-якому напрямку без обмежень у куті, що робить її дуже універсальною та ефективною для виконання різноманітних завдань у тривимірному просторі.

Недоліки: Один з можливих недоліків сферичної конструкції - це складність програмування та керування, оскільки кожен рух відбувається у сферичних координатах, що може вимагати додаткових обчислень та алгоритмів керування.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

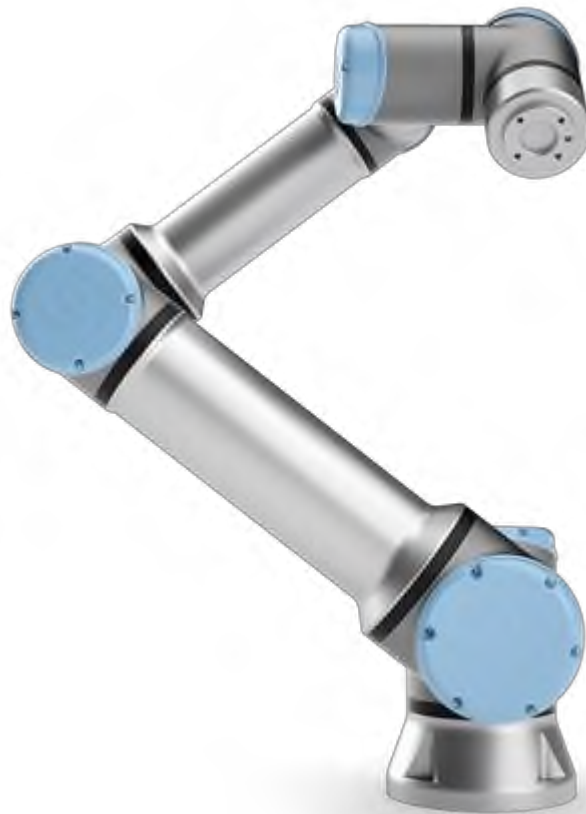


Рисунок 1.3 – Маніпулятор сферичного типу переміщення

У цілому, сферичний тип конструкції робо-руки маніпулятора є потужним інструментом для точного та гнучкого керування рухами в просторі та застосовується у багатьох сферах промисловості та науки.

1.2 Вибір варіанту конструкції

Для вибору типу конструкції руки маніпулятора переглянемо основні переваги і недоліки.

Декартовий тип конструкції.

Переваги:

- Проста та інтуїтивно зрозуміла конструкція.
- Легко програмований та керований.
- Ефективний у точних та лінійних рухах.

Недоліки:

- Обмеженість у виконанні криволінійних та кутових рухів.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Може бути складним у виконанні рухів у просторі з обмеженим доступом.

Сферичний тип конструкції.

Переваги:

- Можливість виконувати рухи у будь-якому напрямку та в будь-якому куті.
- Гнучкість та універсальність у роботі у тривимірному просторі.
- Ефективний у завданнях, де потрібно точне позиціонування.

Недоліки:

- Складність програмування та керування, особливо для складних рухів.
- Потребує додаткових обчислень та алгоритмів для керування.

Циліндричний тип конструкції.

Переваги:

- Здатність виконувати рухи вздовж циліндричної системи координат.
- Ефективний у виконанні рухів у довгих вісех та обертанні навколо них.
- Підходить для завдань, де потрібно точне переміщення вздовж трубопроводів, валів тощо.

Недоліки:

- Може бути обмежений у виконанні рухів у трьох просторових напрямках.
- Складність у виконанні криволінійних рухів у порівнянні з сферичним типом.

Враховуючи переваги та недоліки кожного типу, сформуємо вимоги до вибору конструкції.

1. **Навантаження:** Максимальна маса, яку рука може піднімати або тримати. Важливо вибрати руку, яка може ефективно працювати з потрібним навантаженням.

2. **Радіус роботи:** Максимальна довжина, на яку рука може витягнутися. Ця характеристика важлива для роботи з великими або далеко розташованими об'єктами.
3. **Точність:** Здатність руки до точного позиціонування об'єктів у просторі. Це особливо важливо для завдань, де потрібна висока точність, наприклад, у медичній або мікроелектронній промисловості.
4. **Швидкість:** Швидкість переміщення руки в просторі. Вона може бути вирішальною для задач, де необхідно виконати швидкі рухи, наприклад, у виробництві.
5. **Гнучкість та кількість ступенів вільності:** Це визначає рівень гнучкості та складність рухів, які може виконати рука. Більше ступенів вільності дозволяють робити складніші та більш різноманітні рухи.
6. **Вартість:** Вартість придбання, встановлення та обслуговування руки маніпулятора. Важливо вибрати руку, яка відповідає бюджету та вимогам проекту.
7. **Керованість та інтеграція:** Зручність у програмуванні, керуванні та інтеграції руки з існуючою автоматизованою системою.
8. **Надійність та технічна підтримка:** Наявність гарантійного обслуговування та технічної підтримки від виробника, а також інформація про історію надійності та відгуки користувачів.

Отже з врахуванням всіх недоліків і переваг кожного типу конструкцій рук маніпуляторів і виходячи з сформованих вимог вибираємо за основу циліндричний тип конструкції руки маніпулятора через його здатність ефективно виконувати завдання, що вимагають точного переміщення вздовж довгих вісей та обертання навколо них. Ось кілька ключових причин, які підтримали наш вибір:

1. **Універсальність у виробництві:** Циліндричний тип руки маніпулятора дозволяє ефективно працювати з різноманітними об'єктами та виконувати рухи вздовж довгих вісей, що робить його ідеальним варіантом для виробничих задач.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. **Простота програмування та керування:** У порівнянні з сферичним типом конструкції, циліндричний робить процес програмування та керування більш простим і менш витратним.
3. **Ефективність у просторі з обмеженим доступом:** Оскільки циліндричний маніпулятор не має об'ємної сферичної конструкції, він може бути більш ефективним у просторах з обмеженим доступом, що дозволяє легше і точніше маневрувати в складних умовах.
4. **Підходить для наших конкретних потреб:** Враховуючи, що ми часто працюємо з деталями, які потребують точного переміщення вздовж довгих вісей, циліндричний тип конструкції ідеально підходить для наших потреб.

Отже, ці причини демонструють, що циліндричний тип конструкції руки маніпулятора відповідає нашим потребам та забезпечить нам ефективність, точність та стабільність у виконанні різноманітних завдань у виробничому середовищі.

1.3 Удосконалення конструкції маніпулятора

Маніпулятор має дві рухомі осі обертання, що забезпечує обертання навколо вертикальної вісі, та має можливість переміщуватись на лінійних направляючих ліворуч та праворуч. Робот-маніпулятор облаштований захватом для утримання, та фіксації деталей при переміщенні в межах робочої зони.

В основі конструкції для приводу вздовж осі переміщення по лінійних направляючих використовується кроковий двигун, для інших осей сервоприводи, які забезпечують відпрацювання заданих кутів.

Для обмеження робочої ділянки та забезпечення безпечного режиму роботи, маніпулятор облаштований кінцевими давачами для осі на лінійних направляючих. На початку роботи виконується початкова ініціалізація системи керування. При цьому виконується тестовий запуск крокового двигуна і фіксується спрацювання кожного кінцевого давача, якщо всі давачі

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрацювали, то пристрій переходить в режим керування, а саме очікування команд від користувача.

На рис. 1.4 показано зовнішній вигляд маніпулятора.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд удосконаленої конструкції маніпулятора

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення керування маніпулятором достатньо розробити програму для керування окремими ланками. В якості команд керування при використанні стандарту G-коду достатньо сформувати відповідну послідовність і передавати її на виконавчу плату.

Для розробки програмного забезпечення потрібно визначити кінематичну схему, а саме залежність ланок керування та формування відповідних кутів переміщення. Для цього потрібно визначити функціонал пристрою, розробити та представити його математичну модель, визначити і скоригувати габаритні розміри конструкції та робочу область.

На рис. 1.5 показано ескіз конструкції маніпулятора.

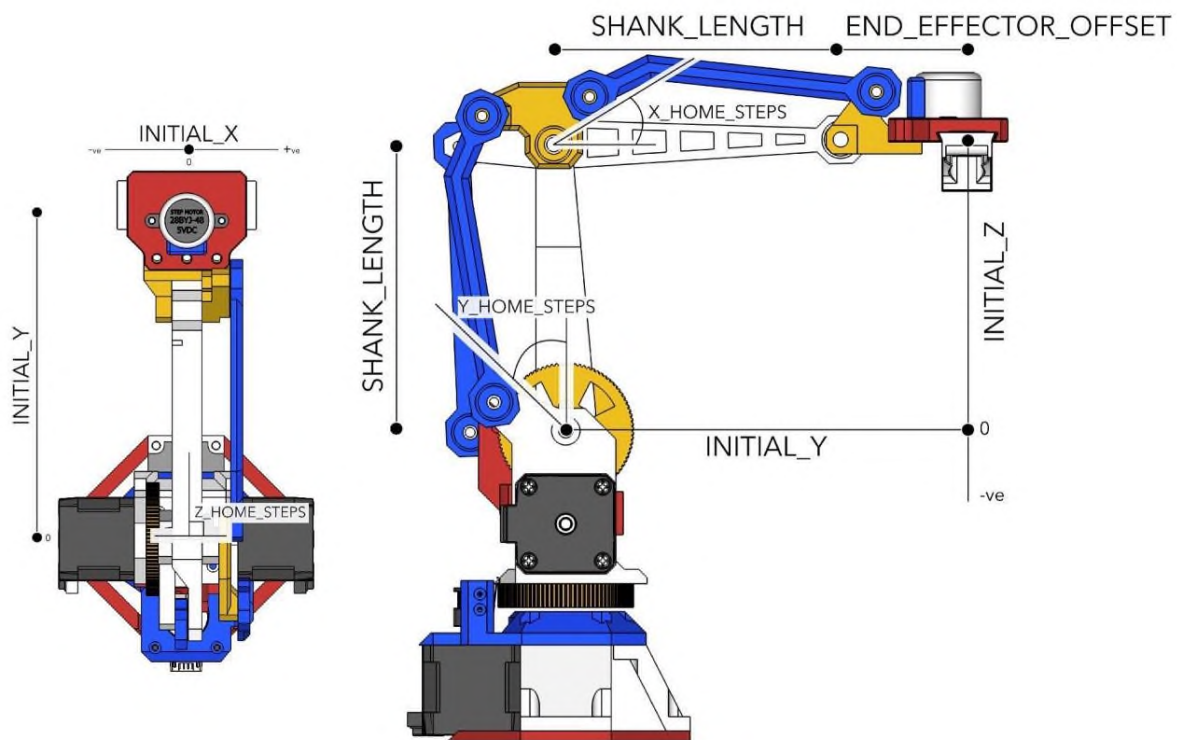


Рисунок 1.5 – Ескіз конструкції маніпулятора

Конструкція, що використовується в роботі має такі розміри:

- LOW_SHANK_LENGTH (нижнє плече): 140 мм;
- HIGH_SHANK_LENGTH (верхнє плече): 140 мм;
- END_EFFECTOR_OFFSET (відстань від місця кріплення інструменту до його кінцевої точки): 55мм;

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- INITIAL_X (початкова координата X): 0, 0;
- INITIAL_Y (початкова координата Y): HIGH_SHANK_LENGTH + END_EFFECTOR_OFFSET = 195 мм;
- INITIAL_Z (початкова координата Z): дорівнює розміру LOW_SHANK_LENGTH, та становить 140 мм.

На рис. 1.6 показано просторові зони досяжності маніпулятора.

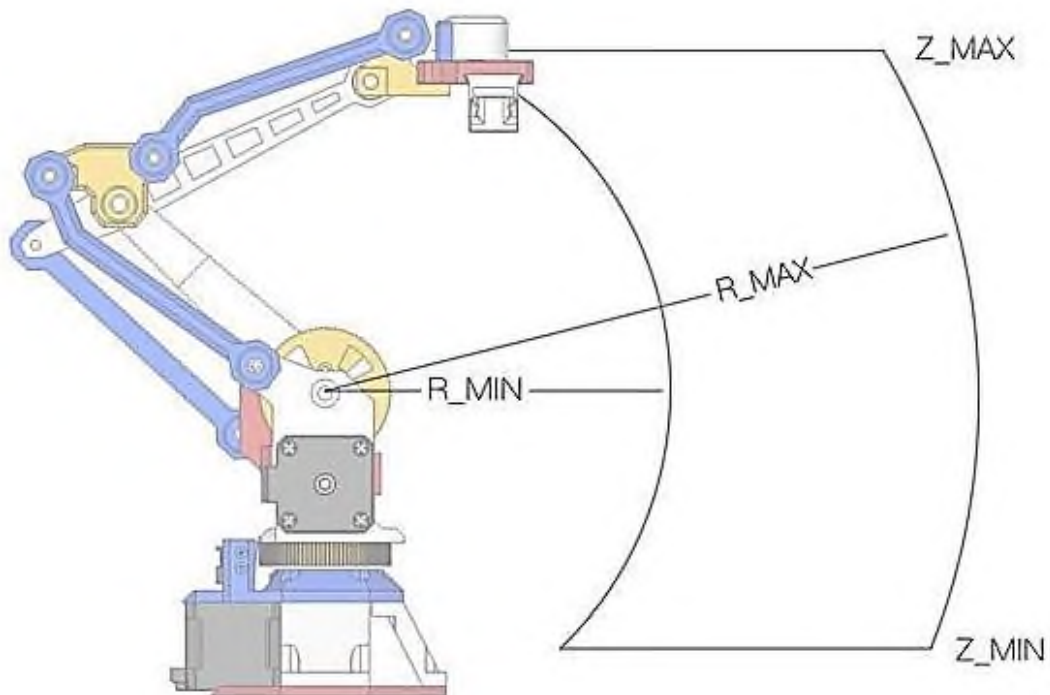


Рисунок 1.6 – Просторові зони досяжності маніпулятора у вертикальній площині

Просторова зона дії маніпулятора в вертикальній площині обмежена конструктивними особливостями пристрою та на рис. 1.6 представлена радіусами R_MIN, R_MAX, та поверхнею Z_MIN, та Z_MAX.

В горизонтальній площині рух маніпулятора обмежений радіусами R_MIN, RMAX.

Таким чином, ми маємо множину координат, що розташовані в межах зони досяжності маніпулятора, що можна представити наступним чином (1.1):

$$M_{xyz} \in \{R_{xyz \min}, R_{xyz \max}, Z_{xyz \min}, Z_{xyz \max}\} \quad (1.1)$$

На рис. 1.7 показано ескіз зони досяжності маніпулятора у горизонтальній площині.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

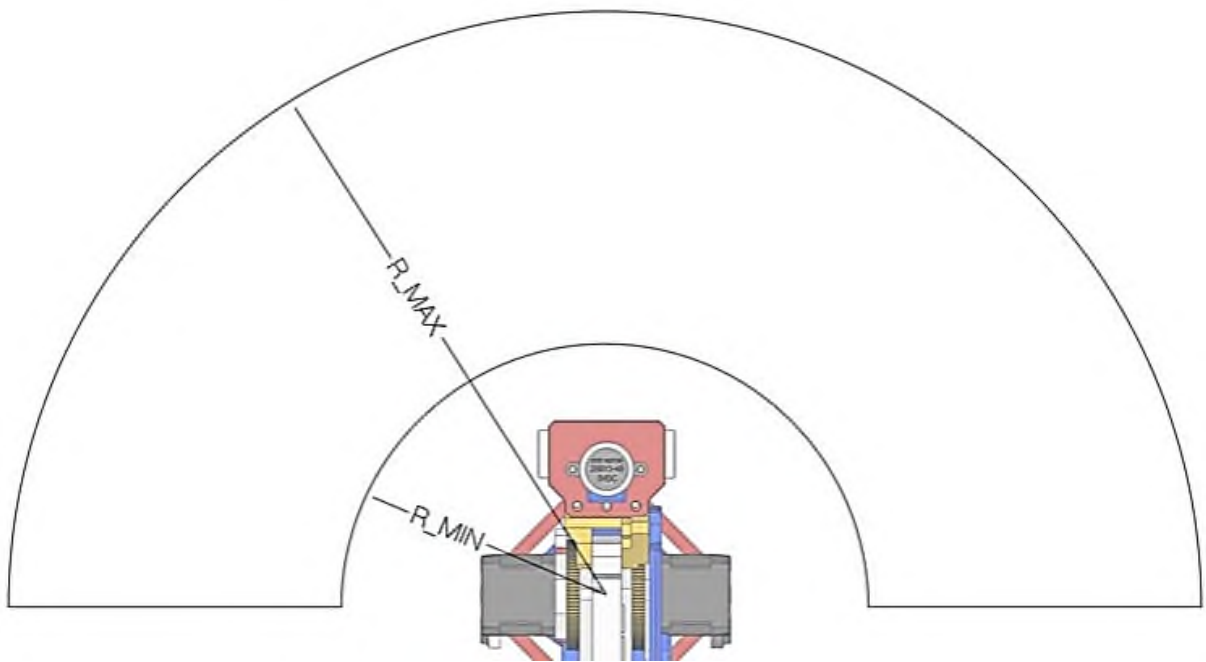


Рисунок 1.7 – Просторові зони досяжності маніпулятора у горизонтальній площині

Для переміщення маніпулятора вліво та вправо спроектовано механізм лінійного переміщення на основі лінійних направляючих та привода з кроковим двигуном.

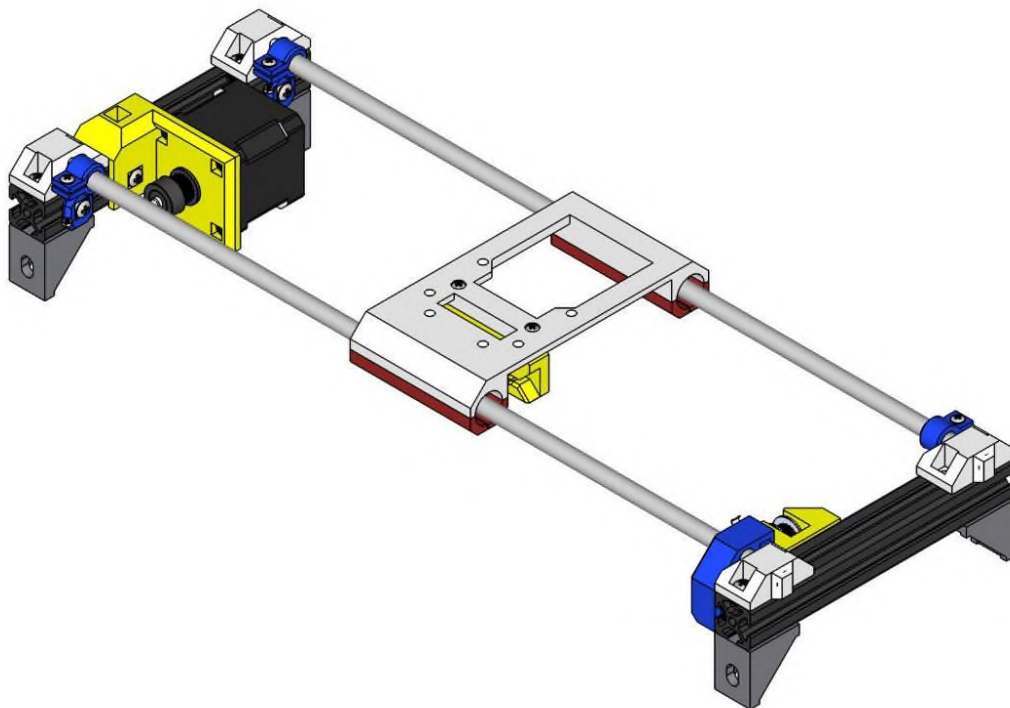


Рисунок 1.8 – 3D-модель конструкції механізму лінійного переміщення маніпулятора

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз кінематичної схеми маніпулятора

Обраний маніпулятор має дві поєднані ланки, що утворюють елементарну складову механізму – кінематичну пару. Послідовність попарно пов'язаних ланок складає кінематичний ланцюг. Кінематичний ланцюг може бути розімкненим або замкнутим. Ланки і зчленування маніпулятора нумеруються за збільшенням від основи до робочого органу. Нульова ланка сполучена з нерухомою основою, а до останньої ланки прикріплений робочий орган (захват).

Кінематична схема маніпулятора показана на рисунку 2.1.

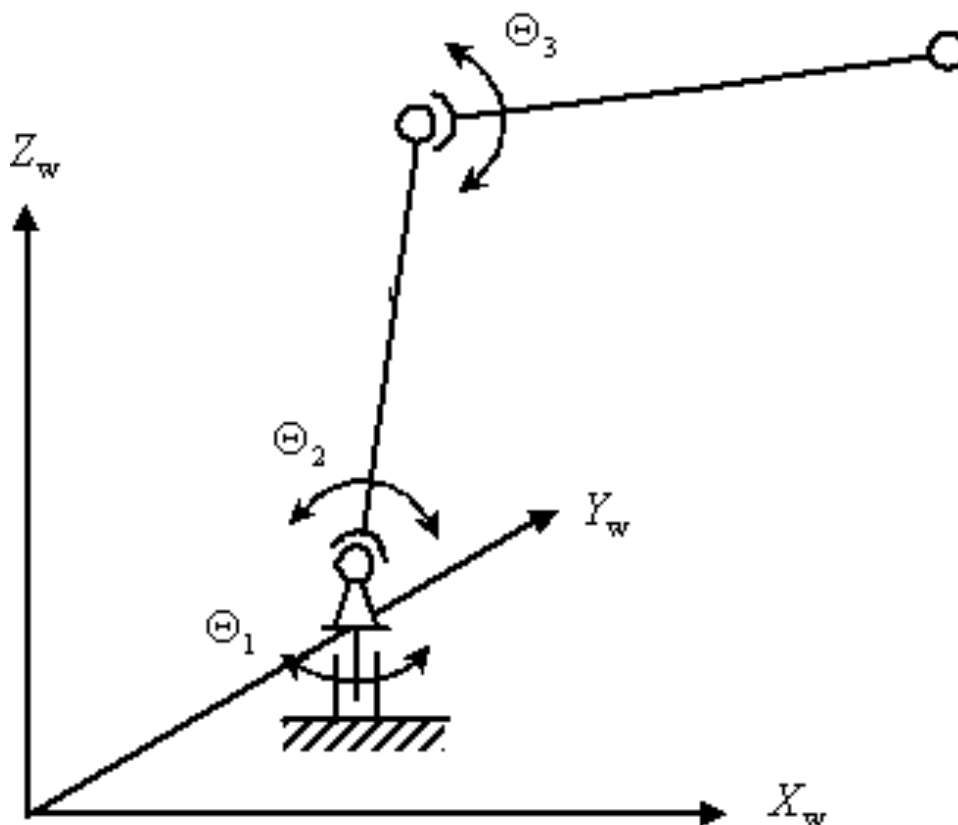


Рисунок 2.1 – Кінематична схема маніпулятора

Кожне зчленування переміщає відповідну ланку, тому у нумерації і-тій ланці передуює і-те зчленування. Ланки маніпулятора беруть участь у відносному русі, в результаті якого досягається певне положення і орієнтація

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочого органу. Переміщення ланок в просторі здійснюється за допомогою приводів, розташованих, як правило, в зчленуваннях. Кожна пара, що складається з ланки і зчленування, має один ступінь свободи, отже, маніпулятор з n парами «ланка- зчленування» має n ступенів свободи. Таким чином, маніпулятори можуть розрізнятися послідовностями і комбінаціями обертальних і поступальних зчленувань, тобто кінематичними схемами, які визначають характер основних рухів і робочої зони маніпулятора. Кінематична схема маніпулятора є послідовністю і комбінаціями обертальних і поступальних зчленувань.

На рисунку 2.2 показано орієнтацію ланок маніпулятора.

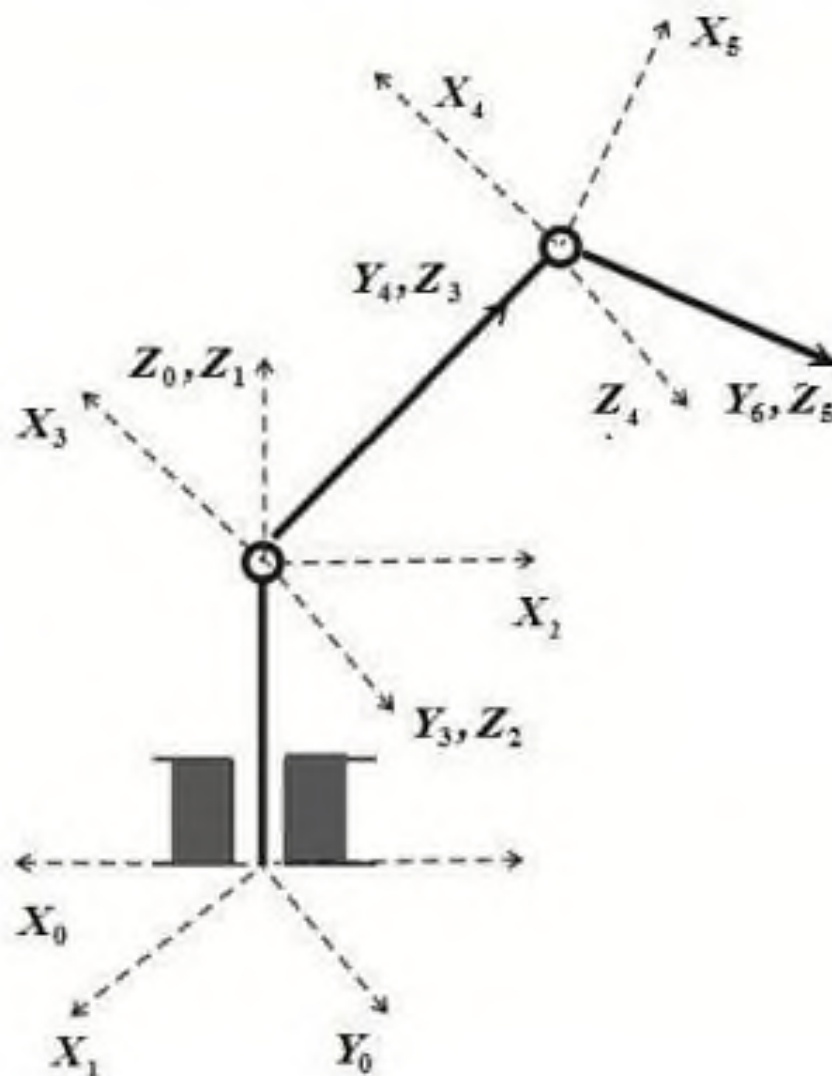


Рисунок 2.2 – Орієнтації ланок маніпулятора

Для роботи маніпулятора, що складається з сукупності ланок, як правило, необхідно визначити його просторову конфігурацію з урахуванням положення

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

усіх ланок. Конфігурація може бути визначена шляхом послідовного опису взаємного розташування сусідніх ланок маніпулятора. Для виконання переміщення захоплення маніпулятора в задану точку нам необхідно здійснити вибір орієнтації ланок маніпулятора. Для цього необхідно виконати наступні пункти:

- побудувати абсолютну системи координат;
- побудувати ортогональну систему координат $X_0Y_0Z_0$, направивши Z_0 уздовж осі першого зчленування у напрямі схвата;
- побудувати Z_i . Направити вісь Z_i уздовж осі $(i+1)$ -го шарніра. При $i=N$ (тобто для схвата) виберемо вісь Z_N у напрямі осі $Z_N - 1$;
- визначити геометричні параметри маніпулятора;
- виставити координати кожної ланки у відповідне положення;
- визначення початкових значень кутів повороту кожної ланки.

2.2 Опис кінематичної схеми

У даному розділі ми розглянемо опис кінематичної схеми руки маніпулятора. Метою є надання ґрунтовного розуміння структури, принципу роботи та основних компонентів цього типу маніпулятора. У розділі розглядаються основні кінематичні пари, ступені свободи, а також типові рухи, що здійснюються маніпулятором. Це забезпечить основу для подальшого аналізу, моделювання та вдосконалення циліндричних маніпуляторів у контексті їх використання в автоматизованих системах.

Розуміння кінематичної схеми є критично важливим для інженерів та фахівців у галузі робототехніки, оскільки дозволяє не тільки проектувати ефективні маніпулятори, але й забезпечувати їх надійну роботу в реальних умовах. Описана схема допоможе глибше зрозуміти взаємодію різних компонентів та їх роль у забезпеченні необхідних рухів і функцій маніпулятора.

Опис кінематичної схеми руки маніпулятора зображено на рис. 2.3.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

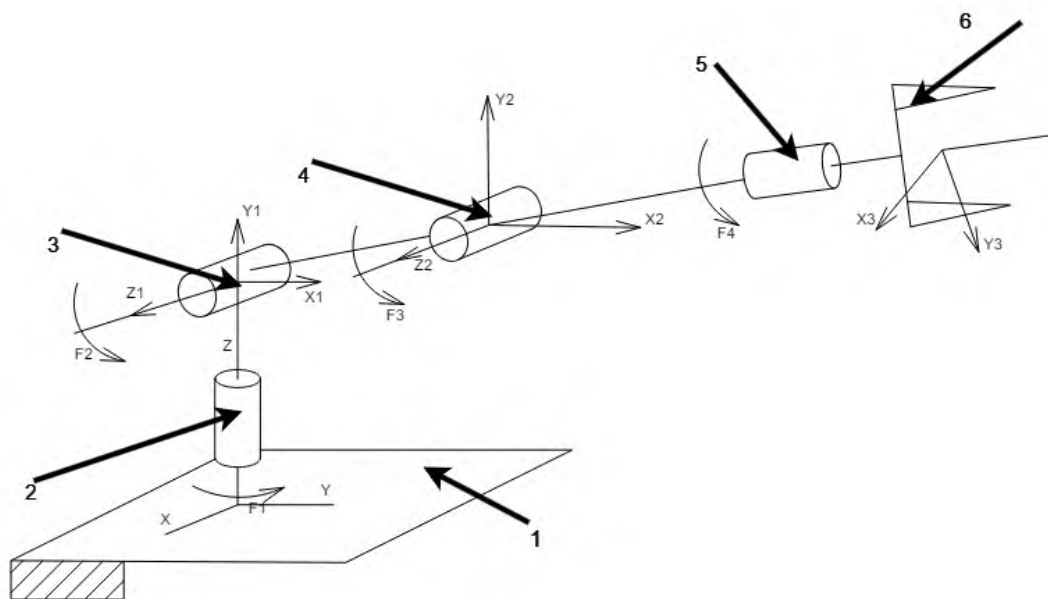


Рисунок 2.3 – Кінематичної схеми руки маніпулятора

Основні компоненти маніпулятора:

- **1** – Основа (база): Служить для фіксації маніпулятора на робочій поверхні. Вона забезпечує стійкість і підтримку для всіх інших частин робота.
- **2** – Обертова колона (плече): З'єднана з базою і може обертатися навколо вертикальної осі (вісь Z). Це дозволяє маніпулятору здійснювати горизонтальні обертання $F1$.
- **3** – Верхнє плече (передпліччя): Прикріплене до обертової колони **2**, воно може рухатися по осі $X(X1)$ і $Y(Y1)$, забезпечуючи вертикальні рухи $F2$.
- **4** – Передпліччя (передня секція): З'єднане з верхнім плечем **3** і також може переміщатися вгору і вниз по осям $X(X2)$ і $Y(Y2)$, збільшуючи радіус дії маніпулятора $F3$.
- **6** – Захватний механізм (маніпулятор): Прикріплений до рухомої платформи **5**, забезпечує обертання навколо своєї осі $F4$ та захват об'єктів по осям $X(X3)$ і $Y(Y4)$.

Кінематичні пари і ступені свободи. Обертання навколо вертикальної осі (F1): Обертова колона 2 з'єднана з базою 1 через обертову пару, що забезпечує горизонтальне обертання маніпулятора. Підйом (F2) верхнього плеча 3: Верхнє плече з'єднане з обертовою колоною через шарнір, що дозволяє йому переміщуватися вертикально. Підйом (F3) передпліччя 4: Передпліччя 4 з'єднане з верхнім плечем 3 через ще один шарнір (F3), що забезпечує додатковий вертикальний рух. Рух захватного механізму 6 (маніпулятор) має можливість обертатися навколо своєї осі 5 (F4), а також відкриватися і закриватися для захоплення об'єктів.

2.3 Розрахунок для вибору двигунів

Для вибору двигунів для роботизованого маніпулятора необхідно врахувати декілька ключових параметрів, таких як момент інерції, максимальне навантаження, довжина важелів та кутове прискорення. Розрахунки будуть проведені для кожного суглоба окремо.

Довжина важелів

Верхнє плече :

$$L_1 = 150\text{мм} = 0,15\text{м}$$

Передпліччя:

$$L_2 = 150\text{мм} = 0,15\text{м}$$

Максимальне навантаження на захватний механізм:

$$F = 0.3\text{кг}$$

Враховуючи $g \approx 9.81 \text{ м/с}^2$:

$$F \approx 2.9\text{Н}$$

Максимальне кутове прискорення :

$$a \approx 2 \text{ рад/с}^2$$

2.3.1 Розрахунок моменту

Момент на плечі:

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуємо масу передпліччя та захватного механізму разом з корисним навантаженням. Нехай маса передпліччя та захватного механізму становить

$$m_2 = 0.1 \text{ кг. Тоді загальне навантаження } M_2 = \left(m_2 + F/g \right) * L_2$$

Розрахунок моменту:

$$M_2 = (0,1\text{кг} + 0,3\text{кг}) * 0,15\text{м} * 9.81 \text{ м/с}^2$$

$$M_2 = 0,4\text{кг} * 0,15\text{м} * 9.81 \text{ м/с}^2$$

$$M_2 \approx 0.58\text{Нм}$$

Момент на передпліччі:

Враховуємо лише корисне навантаження, яке діє на кінець передпліччя:

$$M_1 = F * L_1$$

Розрахунок моменту:

$$M_1 = 2.9\text{Н} * 0,15\text{м}$$

$$M_1 \approx 0,435\text{Нм}$$

2.3.2 Вибір двигунів

Двигуни для кожного суглоба повинні мати достатній момент, щоб забезпечити рух при максимальному навантаженні. Також слід враховувати коефіцієнт запасу для надійності (зазвичай від 1.5 до 2).

Для (суглоба F2) верхнього плеча:

Необхідний момент:

$$M_{F2} \approx 0,58\text{Нм} * 1,5 \approx 0,87\text{Нм}$$

Для (суглоба F3) передпліччя:

Необхідний момент:

$$M_{F3} \approx 0,435\text{Нм} * 1,5 \approx 0,65\text{Нм}$$

Виходячи з розрахунків, підбираємо двигуни з відповідними характеристиками. Двигуни повинні мати максимальний момент, вищий за розрахований, і працювати на необхідних обертах.

Приклад відповідних моделей:

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Для верхнього плеча:
 - Двигун для верхнього плеча повинен бути з моментом не менше 0,9Нм. Наприклад, серводвигун MG996R [рис. 3.1], який має момент 1.08 Нм при 6В, підходить для цього завдання. Характеристики двигуна показані в таб.2.1.
 - Таблиця 2.1 характеристики серводвигуна MG996R

Назва	Параметр
Кут повороту (градусів):	180
Робоча швидкість сек / 60 градусів при живленні 4.8 вольт (без навантаження):	0.17
Робоча швидкість сек / 60 градусів при живленні 6 вольт (без навантаження):	0.13
Пусковий момент кг / см при живленні 4.8 вольт:	9,4
Пусковий момент кг / см при живленні 6 вольт:	11
Робоча напруга:	4.8 - 7.2
Робоча температура середовища :	0 ~ +55 °C
Розміри мм:	40.7 x 19.7 x43
Маса грам:	50

•



Рисунок 2.4 – Серво двигун MG996R

- Для передпліччя:
 - Двигун для передпліччя повинен бути з моментом не менше 0.65 Нм. Наприклад, серводвигун MG995 [рис. 3.2], який має момент 0,98 Нм при 6В, має достатній запас моменту для цього завдання. Характеристики двигуна показані в таб.2.2.
 - Таблиця 2.2 характеристики серводвигуна MG995

Назва	Параметр
Кут повороту (градусів):	180
Робоча швидкість сек / 60 градусів при живленні 4.8 вольт (без навантаження):	0.17
Робоча швидкість сек / 60 градусів при живленні 6 вольт (без навантаження):	0.13
Пусковий момент кг / см при живленні 4.8 вольт:	8.5
Пусковий момент кг / см при живленні 6 вольт:	10
Робоча напруга:	4.8 - 7.2

Робоча температура середовища :	0 ~ +55 °C
Розміри мм:	40.7 x 19.7 x43
Маса грам:	50

•



Рисунок 2.5 – Серво двигун MG9952

2.4 Розробка алгоритму переміщення ланок маніпулятора

2.4.1 Аналіз розрахунку кута повороту маніпулятора

Відомо, що точки, по яких переміщається ланка маніпулятора, розташовані на колі з центром в точці опори ланки і радіусом рівним довжині самої ланки. Тоді для визначення кута повороту маніпулятора скористаємося існуючими формулами при перетині двох кіл і усіма відомою теоремою Піфагора, як показано на рис. 2.6.

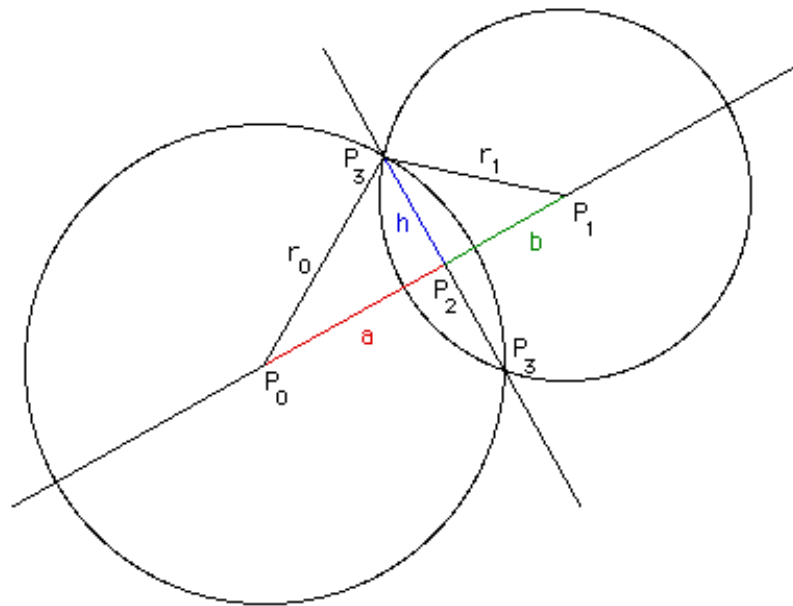


Рисунок 2.6 – Перетин двох кіл

Знайдемо відстань між центрами пересічених кіл, рисунок 2.1. $d = |P_1 - P_0|$. Якщо $d > r_0 + r_1$, тоді рішень немає: круги лежать окремо. Аналогічно у разі

$d < |r_0 - r_1|$ – тоді немає рішень, оскільки одне коло знаходиться усередині іншої.

Розглянемо два трикутники $P_0P_2P_3$ і $P_1P_2P_3$. Маємо

$$a^2 + h^2 = r_0^2$$

$$b^2 + h^2 = r_1^2$$

Використавши $d = a + b$, можемо виконати рішення відносно a :

$$a = (r_0^2 - r_1^2 + d^2) / (2d)$$

У разі зіткнення кіл, це перетвориться на r_0 , оскільки:

$$d = r_0 + r_1$$

Виконаємо рішення відносно h , підставивши в перше рівняння

$$h^2 = r_0^2 - a^2$$

Таким чином,

$$P_2 = P_0 + a (P_1 - P_0) / d$$

Отже, отримуємо координати точок $P_3 = (x_3, y_3)$:

$$x_3 = x_2 + h (y_1 - y_0) / d$$

$$y_3 = y_2 - h (x_1 - x_0) / d$$

Для того, щоб отримати кут повороту базової ланки маніпулятора необхідно скористатися тригонометричними функціями і в результаті отримаємо остаточної формулу кута повороту ланки.

$$\alpha = \arccos(a/r_0)$$

Аналогічно можемо отримати кут розвороту інших ланок.

2.4.2 Аналіз систем програмного керування для маніпулятора

Терміном керування в техніці зазвичай називають процес автоматичної реалізації сукупності дій, що додаються до деякого об'єкту, або з метою підтримки його функціонування на заданому рівні, або з метою зміни у бажаному напрямі його регульованих параметрів.

Робот, як об'єкт управління, є складною системою, що включає багатоланкову механічну конструкцію з виконавчими пневмо-, гідро- чи електроприводами, що активно взаємодіє з довкіллям і характеризується сукупністю параметрів, що змінюються в часі.

Виділяють три ієрархічні рівні автоматизації роботизованого устаткування:

- погоджене керування роботом з одиницею промислового устаткування, при якому команди управління роботом подає обслуговувана ним технологічна машина;

- керування роботом і декількома одиницями технологічного устаткування, при якому поведінка робота визначається запитами від обслуговуваних їм машин;

- керування розподіленими роботами, одиницями устаткування, складами, транспортними засобами від ПК з метою виконання замовлень, що поступають.

Модуль керування приймає сигнали від давачів і ПК, після чого виробляє команди на виконавчі пристрої відповідно до записаної програми. Модуль керування роботом повинен додатково: регулювати положення і швидкості

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення приводів ланок; враховувати стан обслуговуваних одиниць устаткування.

Зазвичай в системах управління використовуються три основні принципи: розімкненого керування, керування по збуренню (принцип компенсації збурень) і принцип зворотного зв'язку.

2.4.3 Принцип розімкненого керування

Принцип розімкненого керування реалізується тільки на основі бажаного алгоритму поведінки керованого об'єкту і не враховує можливість появи зовнішніх збурюючих дій, здатних викликати неконтрольовані відхилення в процесі функціонування об'єкту.

Наприклад, швидкість обертання вихідного валу електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням пропорційна напрузі, прикладеній до якоря, рис. 2.7.

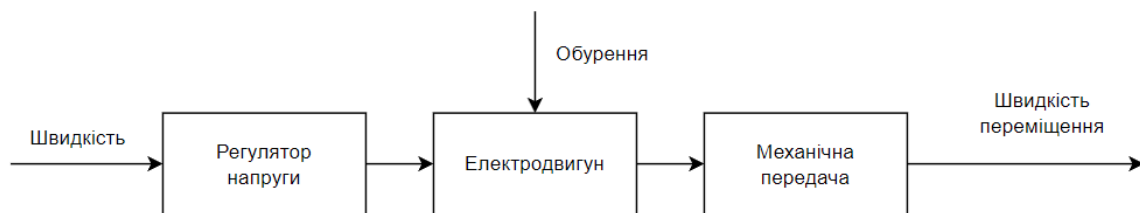


Рисунок 2.7 – Схема розімкненого керування

Подаючи на двигун напругу бажаної величини, керують швидкістю обертання його вихідного валу і, як наслідок, швидкістю переміщення ланки робота, сполученого з цим двигуном.

Проте, якщо на цю ланку діють зовнішні сили, наприклад, статичний момент сили тяжіння ланки, що змінюється за величиною залежно від кутового положення міри рухливості, то швидкість обертання електродвигуна істотно відрізнятиметься від заданої і, крім того, змінюватиметься у функції від кута повороту ланки робота.

2.4.4 Принцип керування по збуренню

Принцип керування по збуренню може використовуватися в системах розімкненого типу, що перебувають під впливом деяких збурюючих дій, для того, щоб компенсувати відхилення регульованого параметра, викликаного домінуючою дією, рис. 2.8.

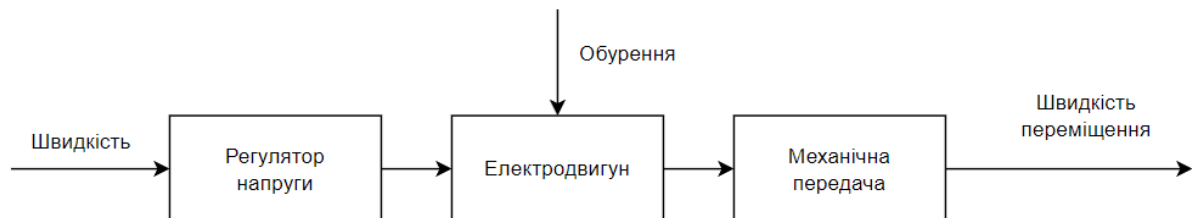


Рисунок 2.8 – Схема управління по збуренню

При керування по збуренню вдається компенсувати небажаний вплив на процес регулювання тільки тієї дії, яка вимірюється давачем, а інші дії як і раніше можуть викликати неконтрольовані відхилення.

2.4.5 Принцип керування по зворотньому зв'язку

Відмітною ознакою систем управління, в яких реалізований принцип зворотного зв'язку, являється вимір регульованого параметра і використання отриманої інформації при формуванні закону керування, рис. 2.9.

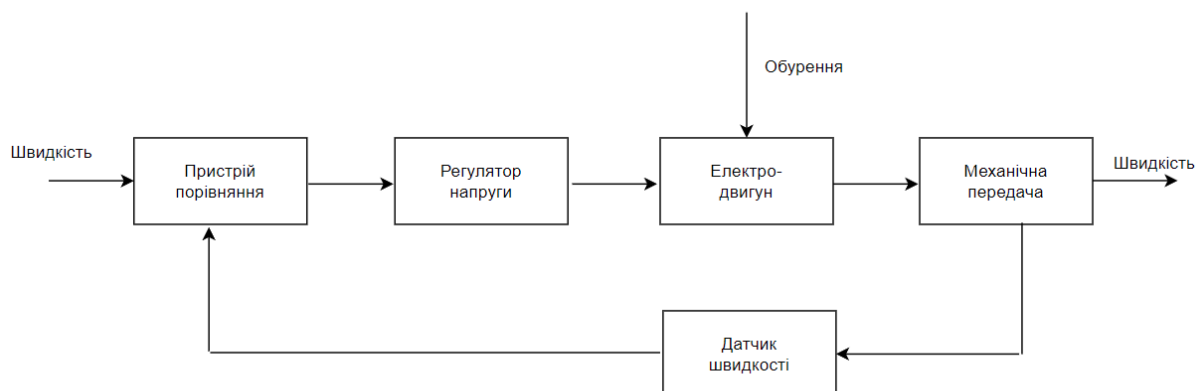


Рисунок 2.9 – Схема керування із зворотним зв'язком

Системи управління, замкнуті по регульованій координаті, мають кращі характеристики в порівнянні з системами, створеними на основі принципу

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління по обуренню, оскільки незалежно від причини, що викликала відхилення цієї координати від заданого значення, величина і знак відхилення можуть бути оцінені і на їх основі можуть бути здійснені дії, що коригують, підвищують міру збігу поточної і необхідної поведінки об'єкту.

У замкнених системах автоматичного регулювання застосовують різні закони управління. Законом управління зазвичай називають математичну залежність, відповідно до якої регулятор формує дію на об'єкт управління в припущенні, що останній є безінерційним.

При проектуванні конкретних робототехнічних систем необхідно враховувати можливість робота по відробітку заданого положення або бажаної траєкторії руху захватного пристрою і вимоги, що витікають з технології виконання того або іншого виробничого завдання.

Наприклад, якщо передбачається автоматизувати операцію завантаження - вивантаження пресу, то не обов'язково оснащувати робот замкнутою системою управління. Досить використати принцип розімкненого управління. Для автоматизації дугового зварювання необхідно управляти з високою мірою точності не лише положенням електроду, але і його швидкістю в умовах значних зовнішніх дій, і, отже, робот, призначений для цієї роботи, повинен мати систему управління, що реалізовує найдосконаліші принципи і закони управління положенням і швидкістю. Системи програмного управління промисловими роботами підрозділяються на системи:

- циклового;
- позиційного;
- контурного управління.

Кожна з них має багато різновидів залежно від характеру операцій, кінематики робота, приводів.

2.5 Розробка алгоритму керування роботом-маніпулятором

2.5.1 Цикловий режим програмного керування

Цикловий режим програмного керування є найбільш простим, рис. 2.10. Він застосовується, як правило, в тих випадках, коли по кожній з n мір рухливості q_i ($i = 1, 2, \dots, n$) робота можливе позиціонування лише в двох крайніх точках $q_{iн}$, $q_{iк}$, де відповідні індекси $Н$, $До$ означає початкове і кінцеве положення відповідних рухливих елементів.

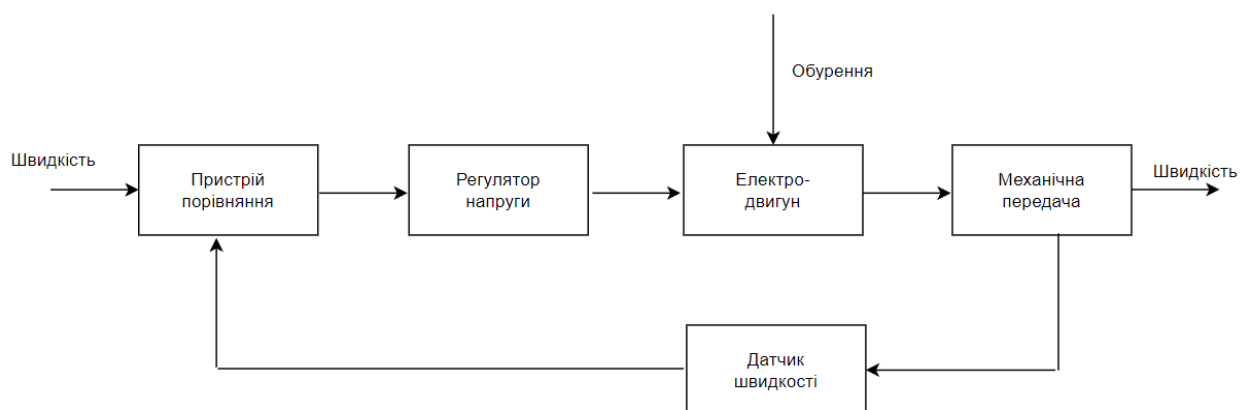


Рисунок 2.10 – Робот з цикловою системою програмного управління

Для перекаду i -ої ланки в стан $q_{iн}$ необхідно на його привід подати нульовий сигнал $U_i = 0$, що управляє. Для перекаду цієї ланки в стан $q_{iк}$ на той же привід необхідно подати сигнал $U_i = 1$. Причому під час переходу робота в новий стан при незмінному керівнику векторі $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ цей стан залишається незмінним.

При організації циклового управління роботом можуть бути використані досить прості автомати, побудовані на елементах цифрової обчислювальної техніки. Такі автомати включають: пам'ять послідовності кодів необхідних станів робота, пам'ять послідовності тимчасових інтервалів, тобто тих інтервалів часу, в яких вектори, що управляють, залишаються незмінними, тимчасовий пристрій і блок управління переходами.

Для побудови подібних автоматів потрібні регістри, дешифратори, лічильники, тригери і тому подібне. Враховуючи, що контролери ПР є

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматами з пам'яттю, при їх розробці можуть бути використані більші вузли обчислювальної техніки, такі, як пам'ять і блоки мікропрограмного керування сучасних мікропроцесорних комплектів.

Для побудови універсальних контролерів доцільно не лише використати окремі вузли мікропроцесорних комплектів, не лише застосовувати в структурі контролерів мікропроцесори, але і самі контролери створювати на основі мікропроцесорів і міні-ПК.

Для введення програми використовують пульт керування, портативний програматор або персональний комп'ютер із спеціальним програмним забезпеченням. Ускладнення програм управління привело до відмови від застосування програматорів, а різноманіття контролерів з власними мовами програмування до появи п'яти технологічних мов програмування: мови сходових діаграм (LD), функціонально-блокових діаграм (FBD), списку інструкцій (IL), діаграм послідовних функцій (SFC), структурованого тексту (ST).

2.5.2 Основні режими роботи

Пульт керування і модулі складають технічні засоби комунікації оператора з мікроконтролером. Модулі введення і виводу призначені для зв'язку мікроконтролера з виконавчими облаштуваннями маніпулятора робота і з технологічним устаткуванням. Модуль послідовного інтерфейсу призначений для обміну інформацією між мікроконтролером і обчислювальним комплексом, що виконує керування від верхнього рівня.

Мікроконтролер виконує наступні режими роботи:

- автоматичне керування за розробленою програмою, записаною в пам'ять робочої програми;
- ручне керування із виконанням команд, поданих з пульта;
- покрокове виконання програми;
- програмування (запис команд в пам'ять робочих програм);

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– перегляд програми (вивід на індикацію вмісту пам'яті робочих програм).

Позиційні системи управління роботами відносяться до загального класу систем автоматичного керування. Основними технічними характеристиками систем керування, що відносяться до цього класу являються: число керованих координат, об'єм пам'яті програм (кадрів), число технологічних команд обміну інформацією із зовнішнім устаткуванням, тип приводу. За способом обробки інформації (послідовна або паралельна) позиційні системи будуються по структурі з центральним обчислювачем і з децентралізованою структурою, коли обчислювач входить до складу кожного координатного блоку. Приклад системи з централізованою структурою показаний на рис. 2.11.

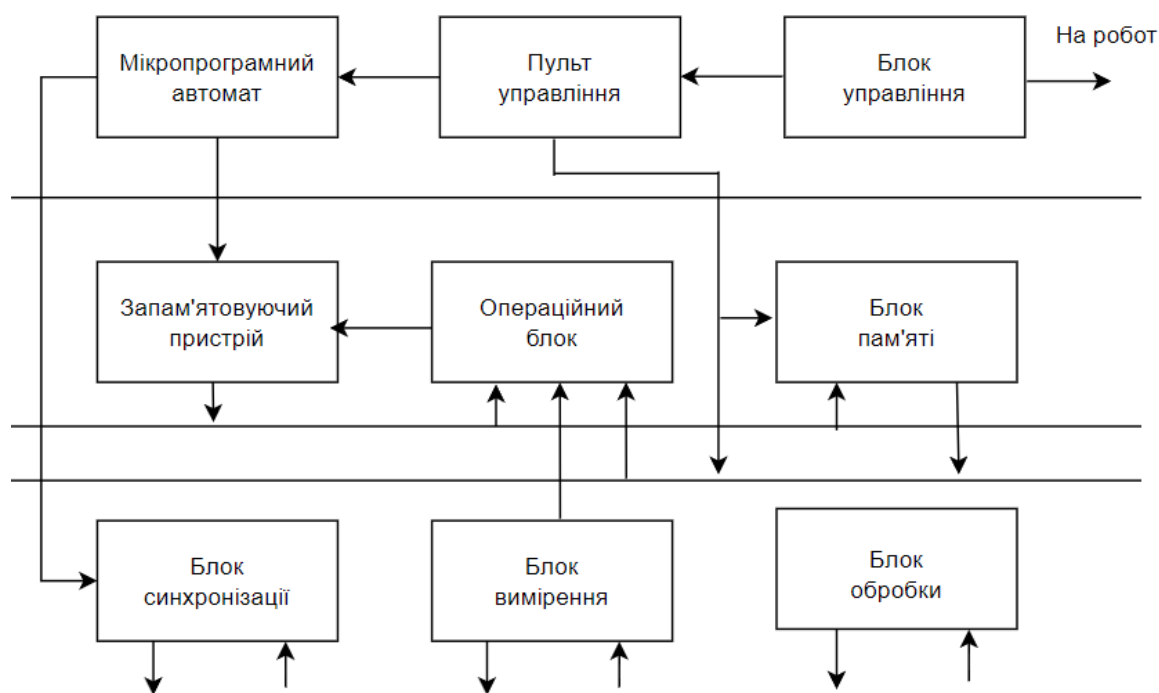


Рисунок 2.11 – Схема централізованої структури позиційної системи програмного управління

Вона побудована за принципом синхронного мікропрограмного автомата (МПА) з кінцевим числом станів і жорстким циклом управління. МПА

призначений для формування мікрокоманд, що управляють, відповідно до алгоритму функціонування позиційного пристрою. Реалізація функцій центрального управління і логічної обробки інформації здійснюється операційно-логічним пристроєм (ОЛП), який разом з МПА є спеціалізованим обчислювачем. Основним носієм програм є накопичувач, який зі своїм блоком управління здійснює прийом, зберігання і видачу за запитом з МПА необхідної програми.

Інформація в накопичувача формується по зонах. В одній зоні може бути записані декілька програм. Зв'язок між зонами здійснюється за допомогою команд умовного або безумовного переходів. У режимі запису і читання інформації обмін йде через ОЗП, який призначений для оперативного зберігання робочої програми, розміщеної в одній зоні, що використовується безпосередньо для автоматичного управління роботом.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Огляд методів керування та режимів роботи крокового двигуна

До основних методів слід віднести наступні:

- повнокроковий режим при якому не забезпечується перекриття фаз;
- повнокроковий режим при якому виконується перекриттям фаз;
- напівкроковий режим для підтримки мінімального переміщення;
- мікрокроковий режим для прецизійного переміщення і підтримки моменту.

3.1.1 Повнокроковий режим при якому не забезпечується перекриття фаз

При реалізації даного способу комутації обмоток крокового двигуна виконується почергова комутація фаз, при якій в один момент часу струм проходить лише через одну фазу, інші фази залишаються в пасивному стані.

На рис 3.1 відображено переміщення ротора двигуна при повнокроковому режимі.

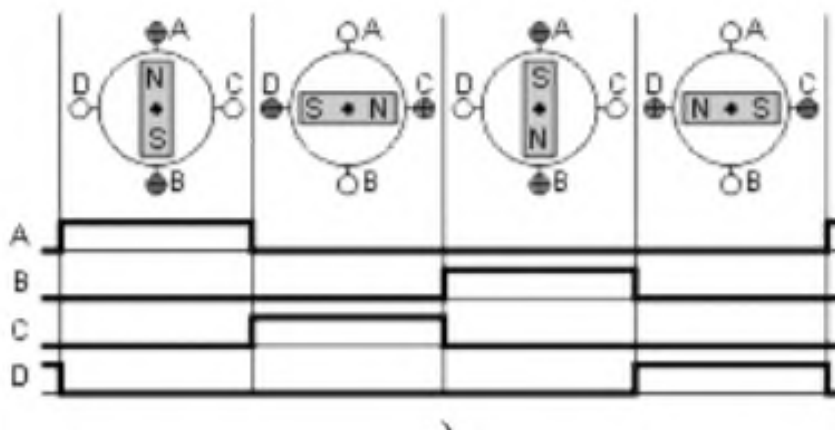


Рисунок 3.1 Повнокроковий режим без перекриття фаз

Ротор двигуна у відповідні моменти часу займає положення навпроти обмотки по якій протікає комутований струм. В табл. 3.1 занесено порядок комутації збудження фаз для реалізації повнокроковому режим при якому не забезпечується перекриття фаз.

Таблиця 3.1 Повнокроковий однофазний режим

Фаза	Початок	1	2	3	4	5	6	7	8
Фаза 1	*			*			*		
Фаза 2		*			*			*	
Фаза 3			*			*			*

Зірочки показують збуджену фазу, а пусті клітинки – фазу в пасивному стані. При такій комутації обмоток двигуна ротор буде обертатися в напрямку за годинниковою стрілкою. Перевагою використання такого способу керування швидкістю обертання та напрямком є простота реалізації та програмного виконання в системі керування. До недоліків можна віднести значене переміщення за мінімальний крок яке регламентується конструктивними особливостями приводу.

3.1.2 Повнокроковий режим при якому виконується перекриття фаз

При такій реалізації методу керування ротор двигуна фіксується в проміжних позиціях, що зменшує величину переміщення.

Даний спосіб керування двигуном забезпечує такий самий кут кроку як і в повнокроковому режимі, однак виконується перекривання фаз, тобто одночасно у відповідні моменти часу задіяно дві обмотки.

Часові діаграми керування зображені на рис 3.2 .

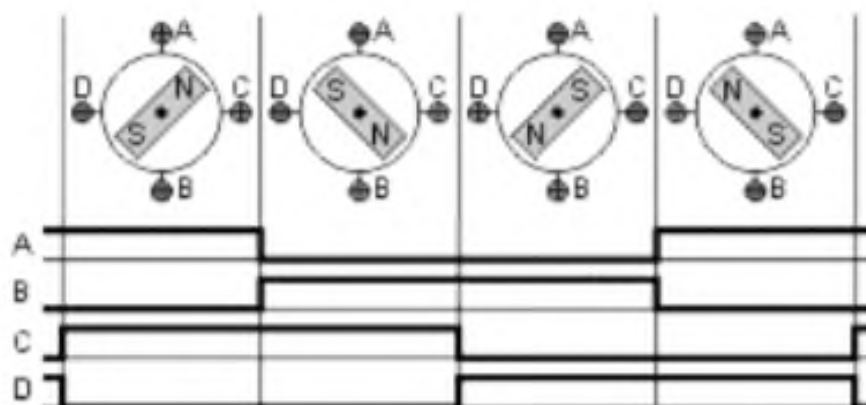


Рисунок 3.2 Комутація фаз двигуна у повнокроковому режимі при якому виконується перекриттям фаз

При керуванні двигуном потрібно враховувати на які обмотки було завершено подання керуючої напруги до моменту відключення системи керування. Оскільки при відкненні не буде відслідковуватися положення ротора і може виникати момент зриву синхронізації або «перестрибування» через крок.

В табл. 3.2 наведено порядок збудження фаз в повнокроковому режимі при якому виконується перекриттям фаз.

Таблиця 3.2 Повнокроковий однофазний режим при якому виконується перекриттям фаз

Фаза	Поч аток	1	2	3	4	5	6	7	8
Фаза 1	*	*		*	*		*	*	
Фаза 2		*	*		*	*		*	*
Фаза 3	*		*	*		*	*		*

3.1.3 Напівкроковий режим для підтримки мінімального переміщення

Напівкроковий режим для підтримки мінімального переміщення - є синтезом описаних вище режимів, тобто ротор переміщується на половину фізичного кроку, така реалізація можлива із використанням інтелектуального керування та програмної реалізації. Такий спосіб забезпечує зменшення кроку в два рази, однак є ризики зриву синхронізації і коливання крутного моменту на вихідному вал. На рис 3.3 зображено комутацію фаз крокового двигуна в напівкроковому режимі для підтримки мінімального переміщення.

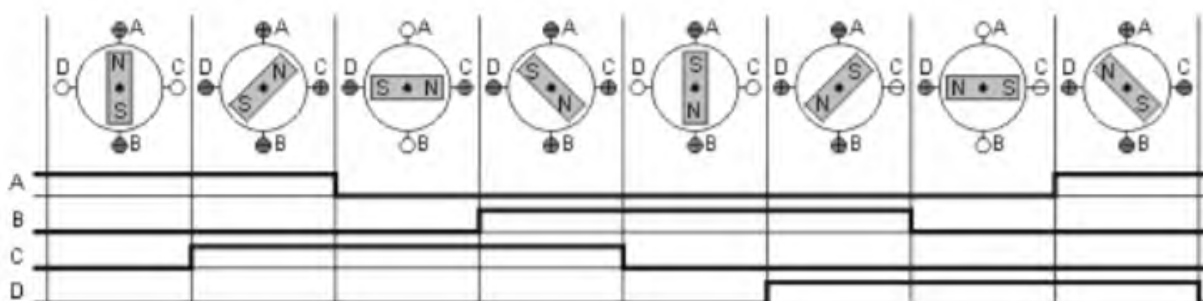


Рисунок 3.3 Комутація фаз двигуна в напівкроковому режимі для підтримки мінімального переміщення

До табл. 3.3 занесено порядок збудження фаз при напівкроковому режимі.

Таблиця 3.3 Напівкроковий режим для підтримки мінімального переміщення

Фаза	Поч аток	1	2	3	4	5	6	7	8
Фаза 1	*	*				*	*	*	
Фаза 2		*	*	*				*	*
Фаза 3				*	*	*			

В результаті такого керування, кутове зміщення ротора складає половину кута кроку для перших двох способів керування. В момент часу, коли струм проходить через одну обмотку двигуна, залежність моменту від кута оберту ротора буде мати форму синусоїди взятої по модулю, що і показано на рис. 3.4.

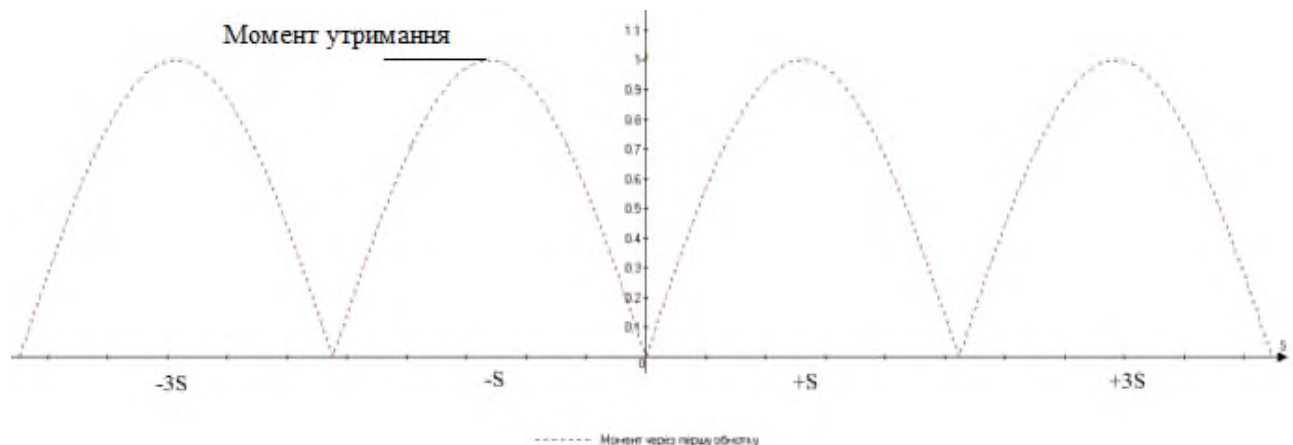


Рисунок 3.4 Залежність моменту від кута повороту ротора при комутації однієї фази

Кут повороту при цьому буде визначатися за наступною формулою :

$$S = \frac{2\pi}{N} \quad (3.1)$$

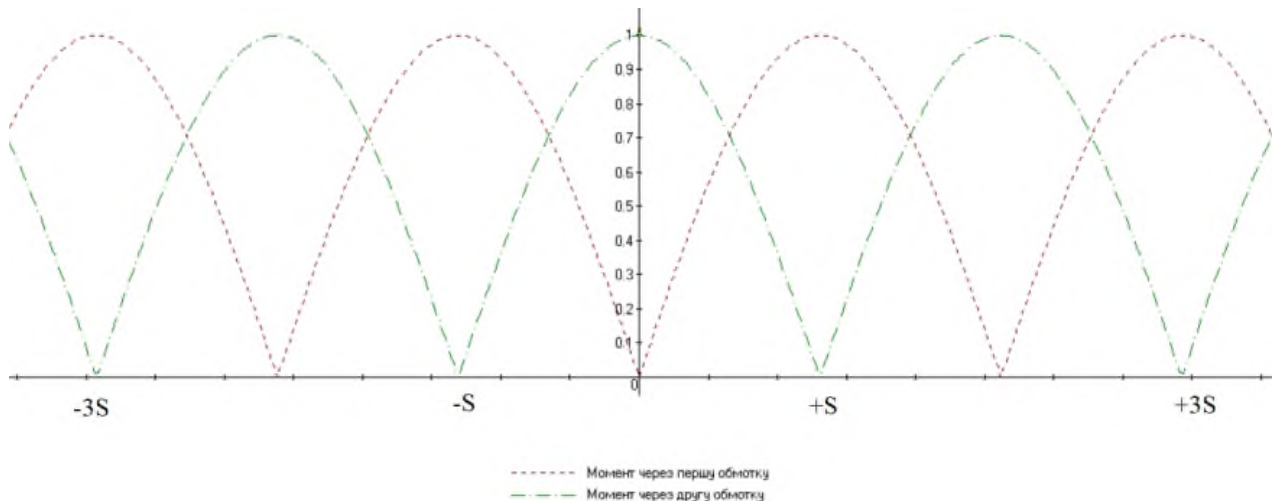
де N - кількість кроків двигуна на один оберт.

На практиці форма характеристики може різнитися, що пояснюється неідеальними розмірами ротора та статора. Для побудови більш точної форми характеристики використовується наступна формула:

$$T = \frac{-T_h \sin((\pi/2)\Phi)}{S} \quad (3.2)$$

де T_h - момент утримання, тобто максимальне значення моменту, T - момент, S - кут кроку, Φ - кут повороту.

Оскільки зсув фаз між обмотками ротора складатиме 90 градусів, то через другу обмотку форма моменту буде зсунута на величину $\pi/2$, що і зображено на рис. 3.5.



Рисунку 3.5 - Залежність моменту від кута повороту ротора при комутації двох фаз двигуна

При проходженні струму через дві обмотки, загальний момент буде становити суму із окремих обмоток двигуна, що і показано на рис 3.6. При умові того, що струми в обмотках будуть однаковими, то максимальне значення моменту утримання зміститься на половину кроку, точка рівноваги також зміститься та значення моменту буде більшим в 2 у порівнянні з комутацією струму через одну обмотку.

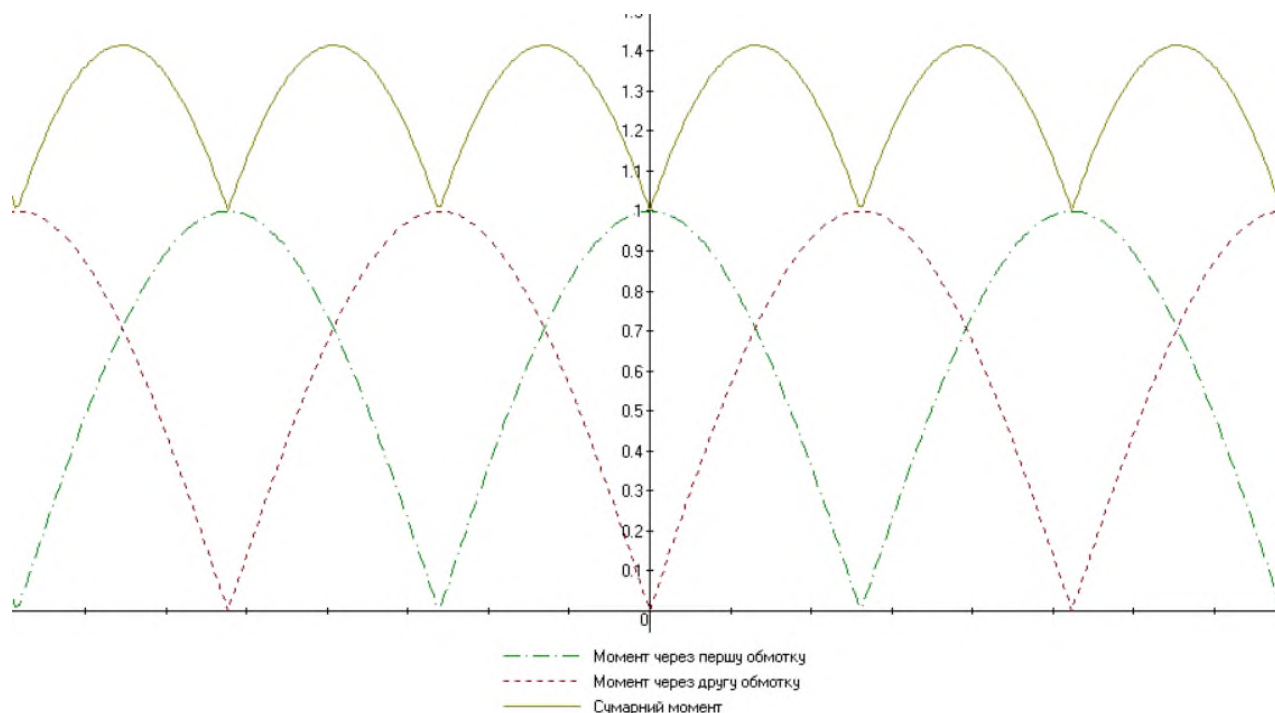


Рисунок 3.6 - Залежність сумарного моменту від кута повороту ротора

Сумарний момент двигуна не є постійним і має певну величину пульсацій, що буде негативно впливати на його роботу. Для того щоб запобігти цьому явищу, слід змінити форму та закон керування струмом для комутації обмоток двигуна.

На рис. 3.7 можна побачити різницю між величиною та можливими напрямками магнітного поля при проходженні струму через одну та через дві обмотки відповідно.

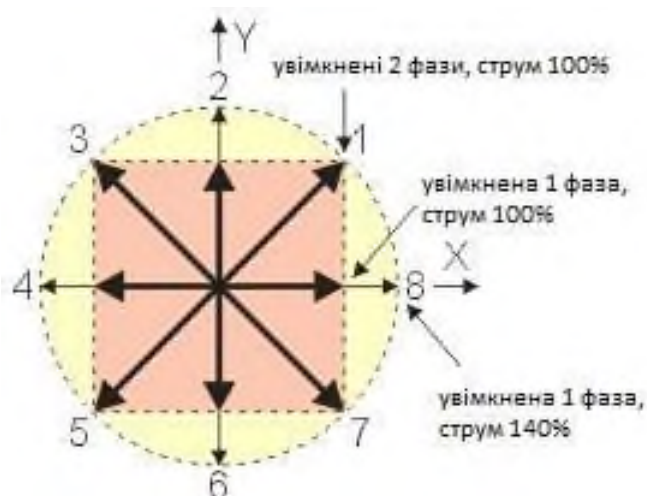


Рисунок 3.7 - Величина моменту та його напрямки при різних режимах живлення фаз

При протіканні струму через одну обмотку, ротор може зайняти положення 1, 3, 5, 7. Коли струм протікає через дві обмотки, то ротор займає положення 2, 8, 6, 4. Якщо ці два режими роботи сумістити між собою, то ротор зможе займати всі положення від 1 до 8. При напівкроковому режимі при резонансі відбувається часткова втрата моменту, навідмінну від повнокрокового режиму, в якому Недоліком покрового режиму є досить значне коливання моменту від кроку до кроку. У тих положеннях ротора, коли живиться одна фаза, момент складає приблизно 70% від повного, коли живляться дві фази. Ці коливання можуть бути причиною підвищених вібрацій і шуму, хоча вони все одно залишаються меншими, ніж в повнокроковому режимі [16].30

3.1.4 Мікрокроковий режим

Мікрокроковий режим - це режим керування кроковим двигуном, при якому при подачі одного керуючого імпульсу кроковий двигун здійснює оборот ротора не менше ніж на половину кроку. При цьому менший кут кроку забезпечує більш точне керування ротором. Для того щоб отримати необхідний напрям магнітного поля, слід обрати не тільки правильне положення струмів в катушках, але і правильне відношення цих струмів. На рис 3.8 зображена залежність моменту від кута повороту ротора у випадку різних значень фаз струму.

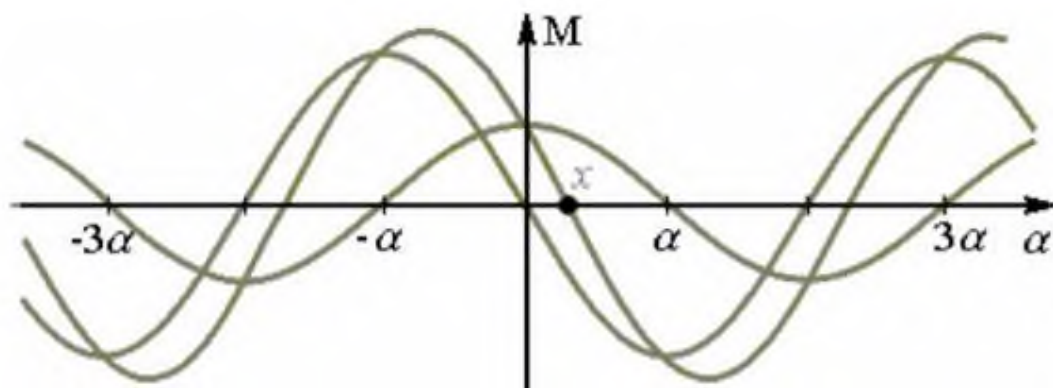


Рисунок 1.8 - Залежність моменту від кута повороту ротора у випадку різних значень фаз струму

З цього можна зробити висновок, що ротор крокового двигуна може знаходитися в будь-якій точці у положенні статичної рівноваги. Це реалізується шляхом правильного підбору відношення струмів в обмотках двигуна.

На практиці при здійсненні кожного кроку двигуна, ротор не одразу зупиняється в новому положенні рівноваги, а здійснює затухаючі коливання вокруг положення рівноваги. Ці коливання не завжди є бажаними, тому як раз з метою позбавлення від них і використовується мікрокроковий режим. На рис 3.9 показані зміщення ротора при роботі в повнокроковому і мікрокроковому режимах.

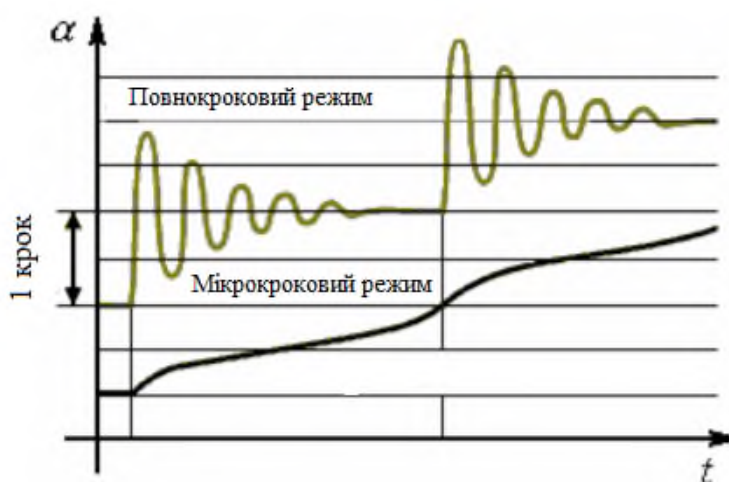


Рисунок 3.9 - Порівняння переміщення ротора в повнокроковому та мікрокроковому режимах

Характер прямої для мікрокрокового режиму є більше лінійним та плавним, без викидів, які присутні в повнокроковому режимі. Якщо через обмотки крокового двигуна протікає струм синусоїдальної форми, то в нього будуть спостерігатися певні коливання швидкості. Це явище пояснюється нестабільністю повітряного проміжку між полюсами ротора і статора, наявністю явища гістерезису, яке веде за собою зміну напрямку магнітного поля та похибку його величини. Тому на практиці положення рівноваги та момент мають відхилення завдяки формі зубців ротора та статора та матеріалу, з яких вони зроблені.

При повнокроковому режимі роботи для більшої точності та максимального моменту утримання застосовуються певні конструктивні

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

рішення , які пов’язані з формою зубців ротора та статора. При такій формі зубців магнітний потік буде сильно зростати. Такий підхід не підійде для мікрокрокового режиму, оскільки точність його роботи стане меншою.

Для покращення точності в мікрокроковому режимі слід використовувати двигуни, у яких момент утримання в знеструмленому стані менше, а полюси ротора і статора мають скошену форму зубців.

3.2 Опис схеми функціональної

Для забезпечення керування виконавчими пристроями руки-маніпулятора, а саме керування сервоприводами для відпрацювання розрахованої траєкторії переміщення та пересування по лінійних направляючих з використанням крокового двигуна розроблена схема функціональна рис.3.10.

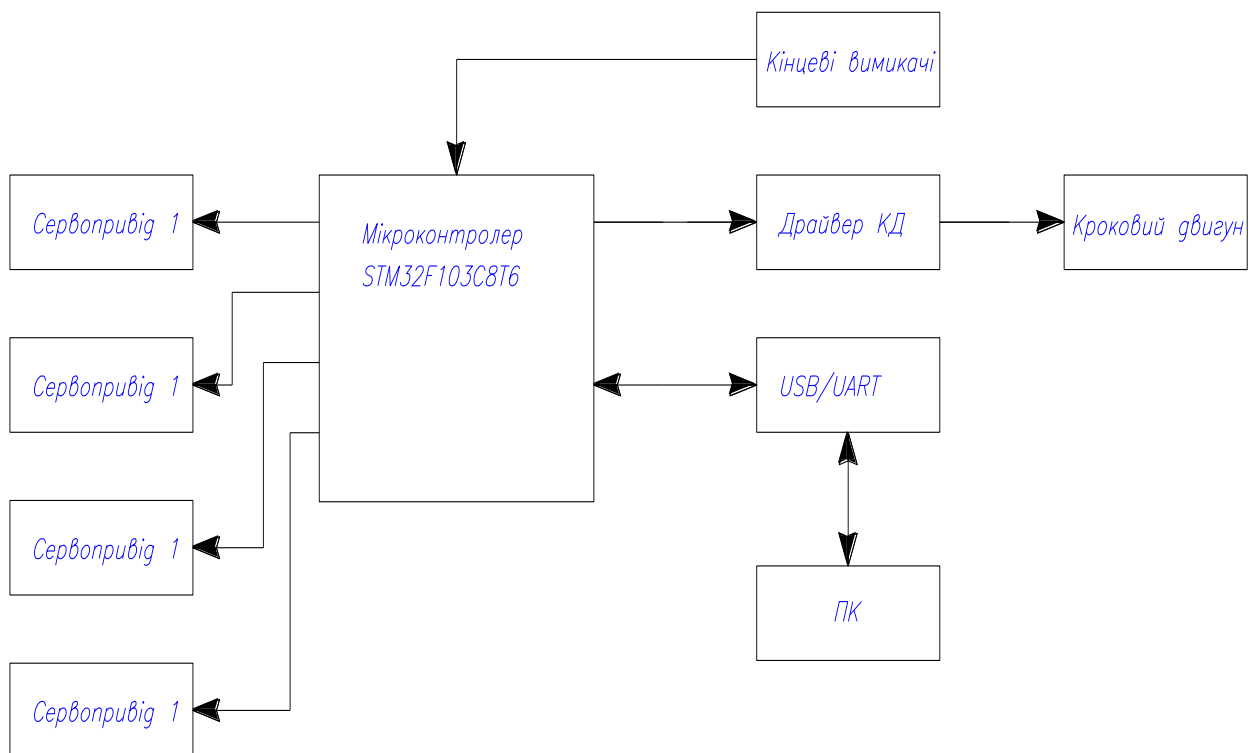


Рисунок 3.10 – Схема функціональнаТТ

Основною складової розробленої схеми є мікроконтролер (STM32F103C8T6), який забезпечує керування виконавчими пристроями, опитування датчиків кінцевого положення і передачу даних на персональний

комп'ютер. Для сервоприводів 1-4 за допомогою вбудований таймерів/лічильнів які працюють в режимі широтно-імпульсної модуляції формуються сигнали для керування кутом положення вихідного валу виконавчого механізму. Оскільки для поздовжнього переміщення руки-маніпулятора використано лінійні направляючі із приводом на кроковому двигуні, то керуючі сигнали для драйвера крокового двигуна формують вбудованим таймером мікроконтролера. Для запобігання переміщенню каретки із рукою маніпулятору за «робочі» межі використано кінцеві вимикачі, які подають сигнали на порти вводу/виводу мікроконтролера і паралельно на входи дозволу роботи драйвера. Для прицевійного керування та переміщення руки-маніпулятора спроектовано ланку для зв'язку із персональним комп'ютером, для цього використано вбудований UART на кристалі мікроконтролера в схему узгодження

USB/UART.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Значення охорони праці та аналіз потенційно небезпечних факторів

Охорона праці має дуже важливе значення в забезпеченні безпечних і здорових умов праці. Тому потрібне створення оптимальних умов охорони, вдосконалення виробничих процесів з врахуванням вимог фізіології, психології і гігієни праці.

Забезпечення безпеки праці, звільнення працівників від надлишкового перенапруження сприяє більш ефективному використанню людських ресурсів, і тим самим збільшенню працездатності.

Складність завдань, що стоять перед охороною праці, вимагають використання досягнень і висновків багатьох наукових дисциплін, що безпосередньо, чи опосередковано зв'язані з задачами створення здорових та безпечних умов праці. В першу чергу це відноситься до соціально-правових наук, а також до досліджень в галузі наукової організації праці, технічної естетики, ергономіки, соціальної та інженерної психології. Так як головним об'єктом охорони праці є, звичайно, людина в процесі праці, то при розробці вимог виробничої санітарії використовують результати досліджень ряду медичних та біологічних дисциплін.

В процесі праці людина вступає у взаємодію з предметами праці, засобами виробництва, іншими людьми. Крім того, на неї впливають різні параметри виробничої обстановки, в якій відбувається праця – температура, вологість, шум, рух повітря, вібрація, інфразвук, дія електромагнітних полів та випромінювання різних типів. Від умов праці в великій мірі залежить здоров'я та працездатність людини, відношення до праці, результат праці. При поганих умовах створюються передумови для виникнення травм і професійних захворювань.

Небезпечним називається виробничий фактор, дія якого на працюючого призводить до травми чи раптового різкого погіршення здоров'я. Якщо

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						484
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		-

виробничий фактор призводить до захворювання чи зниження працездатності, то його вважають шкідливим.

До найважливіших шкідливих фізичних факторів відносять: підвищена запиленість повітря робочої зони, мікроклімат виробничих приміщень, підвищений рівень інфрачервоного випромінювання, підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання, підвищений рівень вібрації, шуму, інфра- та ультразвуку, підвищений або занижений барометричний тиск, підвищений рівень іонізуючого випромінювання, підвищений рівень електромагнітного випромінювання в робочій зоні, підвищений рівень статичної електрики, небезпечний рівень напруги в електричному колі, підвищена чи знижена іонізація повітря, відсутність чи брак природного світла, недостача, чи великі перепади освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, знижена контрастність, пульсація світла.

4.2 Заходи з техніки безпеки при виготовленні деталей

Процес виготовлення деталей на виробництві або в умовах навчального цеху супроводжується переліком небезпек, пов'язаних з роботою обладнання, ручними операціями, а також впливом зовнішніх факторів (шум, вібрація, пил, гострі елементи, напруга тощо).

Організаційні заходи безпеки:

- допуск до роботи тільки навченого персоналу, який пройшов перевірку знань з охорони праці;
- підготовка та оновлення технологічної документації, в якій передбачені заходи безпеки на кожному етапі виробництва;
- регулярні перевірки технічного стану обладнання, проведення ППР (планово-попереджувальних ремонтів);
- контроль з боку посадових осіб за дотриманням працівниками правил безпеки.

Техніка безпеки при роботі з обладнанням:

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- перед запуском верстата необхідно перевірити справність електроживлення, стан заземлення, відсутність механічних пошкоджень;
- працювати дозволяється тільки зі справним інструментом — затуплений або пошкоджений інструмент може спричинити аварію;
- при закріпленні заготовок на верстатах слід використовувати лише штатні пристрої (тиски, патрони, магнітні плити);
- заборонено доторкатися до обертових частин верстата або заготівки під час роботи;
- обробка проводиться лише при наявності захисного огороження, особливо на абразивних та ріжучих верстатах;
- при аварійному зупиненні верстата необхідно вимкнути живлення, викликати відповідального за ремонт та доповісти керівнику;

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисні окуляри або щитки – при обробці матеріалів, що супроводжується утворенням стружки, іскор або пилу;
- навушники або антишумові вкладиші – при тривалій роботі з шумогенеруючим обладнанням (допустимий рівень шуму на робочому місці не має перевищувати 80 дБ);
- рукавиці – при переміщенні заготовок, загострених деталей (за виключенням точних операцій біля обертових частин);
- комбінезони з вогнестійкої тканини – при роботі з термічним або зварювальним обладнанням;
- захисне взуття з металевим носком – для запобігання травм ніг при падінні інструменту чи заготовок;
- індивідуальні респіратори або витяжки – при роботі з пилогенеруючими або токсичними матеріалами (наприклад, при шліфуванні або паянні).

Вимоги до організації робочого місця:

- зручність та раціональність розташування робочого обладнання;
- мінімізацію фізичних зусиль працівника;

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість вільного переміщення;
- відповідність санітарним та гігієнічним нормам;
- відсутність небезпечних та шкідливих факторів, або їх ефективну нейтралізацію.

Просторові характеристики:

- площа на одного працівника в адміністративно-виробничих приміщеннях повинна бути не менше **4,5 м²**;
- об'єм повітря – не менше **15 м³**;
- ширина проходів – не менше **1,0 м**, а в зонах з рухомим обладнанням – **1,5 м** і більше.

Освітлення:

- загальне освітлення: не менше **300 ЛК**;
- локальне освітлення: до **500–1000 ЛК**, залежно від типу завдань;
- використання ламп з природним спектром світла знижує втому очей.

Шум та вібрація:

Відповідно до **Державних санітарних норм ДСН 3.3.6.037-99**, рівень шуму не повинен перевищувати:

- до **80 дБ** – на постійних робочих місцях;
- до **65 дБ** – в офісних приміщеннях;
- при підвищеному рівні – обов'язкове застосування ЗІЗ (антишумові навушники).

Попередження травматизму та дії у разі аварії

- не поспішати при виконанні операцій — більшість травм стається через неуважність.
- повідомляти керівника про будь-які несправності обладнання.
- при нещасному випадку або пожежі негайно викликати швидку допомогу та повідомити службу охорони праці.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- наявність аптечки першої допомоги повинна бути обов'язковою на кожній виробничій дільниці.

4.3 Особливості заходів електробезпеки

Під електробезпекою слід розуміти систему організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання ураженню працівників електричним струмом, а також зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із роботою електроустановок. У нормативно-правовій базі України це питання регулюється рядом документів, серед яких основними є: **Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), ДСТУ EN 50110, ДСТУ ІЕС 60364**, а також внутрішні положення та інструкції кожного конкретного підприємства.

Основними джерелами небезпеки на виробництві є: відкриті струмопровідні частини, пошкоджена або зношена ізоляція, несправне заземлення, іскріння контактів, короткі замикання, недотримання правил експлуатації електропристроїв, недостатня кваліфікація персоналу. У ряді випадків ураження може бути смертельним навіть при дотику до низьковольтного обладнання (220–380 В), особливо за наявності підвищеної вологості, високої температури або металевих підлог.

Технічні заходи включають реалізацію інженерних рішень, що дозволяють унеможливити контакт персоналу з небезпечними елементами

або знизити наслідки можливих аварій. Одним із найважливіших таких заходів є **захисне заземлення**, яке забезпечує автоматичне вимкнення напруги при пробой фазы на корпус. Не менш важливим є застосування **пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) та диференціальних автоматів**, які відключають живлення при витокі струму на землю або корпус. Виробничі приміщення, особливо з підвищеною вологістю, повинні бути обладнані **низьковольтними джерелами живлення**, наприклад 12 В або 24 В, щоб виключити можливість ураження в екстремальних умовах.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До технічних заходів також належать: якісна ізоляція проводів та кабелів, їх захист у трубах, лотках або коробах; наявність чітких маркувань, попереджувальних знаків, блокування, огороження доступу до струмопровідних частин; світлова та звукова сигналізація при вмиканні високовольтного обладнання. Усі електрощити мають бути замкнені, доступ до них дозволяється лише уповноваженим особам.

Важливу роль відіграє застосування **засобів індивідуального захисту** при роботі з електрообладнанням. Працівники повинні використовувати діелектричні рукавички, калоші, килимки, захисні окуляри, інструмент із ізолюючими ручками. ЗІЗ повинні проходити регулярну перевірку на цілісність та відповідність технічним умовам.

Окремо слід розглянути порядок дій у разі аварійних ситуацій. Якщо працівник зазнав ураження електричним струмом, необхідно негайно відключити напругу. Якщо це неможливо — відштовхнути постраждалого від джерела струму за допомогою діелектричних або ізолюючих предметів.

Надання першої медичної допомоги включає штучне дихання та непрямий масаж серця. Після виклику швидкої допомоги обов'язково повідомляється відповідальній особі, а місце події фіксується для подальшого розслідування. Будь-який нещасний випадок має бути належно розслідуваний згідно з вимогами законодавства.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра проведено детальне дослідження та аналіз конструкції руки маніпулятора, що включало декілька основних етапів.

На першому етапі було здійснено всебічний огляд існуючих теоретичних і практичних рішень у сфері робототехніки. Було проведено аналіз аналогів, зокрема розглянуто переваги та недоліки різних типів маніпуляторів, таких як декартові, циліндричні та сферичні конструкції. На основі проведеного аналізу було обрано оптимальний варіант конструкції – циліндричний тип маніпулятора. Цей вибір був обґрунтований його універсальністю, простотою програмування, високою точністю та стабільністю, а також ефективністю у просторі з обмеженим доступом.

На другому етапі було здійснено детальний опис кінематичної схеми пристрою. Кінематична схема руки маніпулятора включає:

- 1 – Основа (база): Служить для фіксації маніпулятора на робочій поверхні. Вона забезпечує стійкість і підтримку для всіх інших частин робота.
- 2 – Обертова колона (плече): З'єднана з базою і може обертатися навколо вертикальної осі (вісь Z). Це дозволяє маніпулятору здійснювати горизонтальні обертання F1.
- 3 – Верхнє плече (передпліччя): Прикріплене до обертової колони 2, воно може рухатися по осі X (X1) і Y (Y1), забезпечуючи вертикальні рухи F2.
- 4 – Передпліччя (передня секція): З'єднане з верхнім плечем 3 і також може переміщатися вгору і вниз по осях X (X2) і Y (Y2), збільшуючи радіус дії маніпулятора F3.
- 6 – Захватний механізм (маніпулятор): Прикріплений до рухомої платформи 5, забезпечує обертання навколо своєї осі F4 та захват об'єктів по осях X (X3) і Y (Y4).

Третій етап включав проведення розрахунків для вибору двигунів, необхідних для приводу маніпулятора. Було визначено основні параметри

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		545

конструкції, такі як навантаження, швидкість та момент сили. На основі цих параметрів було виконано розрахунок моменту, необхідного для кожного з двигунів, що дозволило обрати відповідні моделі сервоприводів. В результаті розрахунків було обрано сервоприводи MG995 та MG996R, які мають достатній запас по потужності та моменту для ефективного виконання завдань маніпулятора.

Проведений аналіз, опис кінематичної схеми та розрахунки для вибору двигунів підтвердили правильність обраного підходу та дозволили розробити ефективну та надійну конструкцію руки маніпулятора. Впровадження цього маніпулятора у виробничий процес забезпечить підвищення ефективності, точності та якості виконуваних робіт. Це позитивно вплине на загальну продуктивність та конкурентоспроможність нашого виробництва, забезпечуючи стабільну та якісну роботу в різних виробничих умовах.

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРБ 089.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. ДЕСТ 25686-85. Маніпулятори, автооператори і промислові роботи. М.: Видавництво стандартів, 1985.
3. Фу К., Гонсалес Р., Лі К. Робототехніка. – М.: Мир – 1989. – 624 с.
4. Фролов К.В. Механіка промислових роботів. Кн. 1: Кінематика і динаміка. – М.: Вища школа – 1988. – 304 с.
5. R. S. Hartenberg and J. Denavit, «A kinematic notation for lower pair mechanisms based on matrices» Journal of Applied Mechanics, vol. 77, pp. 215–221, June 1955.
6. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – 3rd ed. – Pearson Prentice Hall, 2005. – 400 с.
7. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. – 2nd ed. – Springer, 2016. – 2227 с.
8. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. – 5th ed. – Pearson, 2020. – 816 с.
9. Niku S. B. Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications. – 4th ed. – John Wiley & Sons, 2020. – 560 с.
10. Spong M. W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. – John Wiley & Sons, 2006. – 496 с.
11. Universal Robots. UR16e: Technical Specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.universal-robots.com/products/ur16e-robot/>.
12. ABB Robotics. IRB 6700: Technical Specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6700>.
13. MG995 Servo Motor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf.
14. MG996R Servo Motor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf.
15. Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- Brushless Permanent Magnet Motors. // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS,. – С. 292–300.
- 16.ДСТУ EN 50110-1:2014. Експлуатація електроустановок. Частина 1. Загальні вимоги. – \[Чинний від 01.01.2016]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 28 с.
- 17.ДСТУ ІЕС 60364-4-41:2014. Електроустановки будівель. Захист для забезпечення безпеки. Захист від ураження електричним струмом. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 48 с.
- 18.Основи охорони праці : підручник / за ред. М.П. Юрченка. – К. : Основа, 2020. – 368 с.
- 19.Жидецький В.Ц. Охорона праці в галузі : підручник. – Львів : Афіша, 2003. – 349 с.
- 20.Шкляр Б.М. Охорона праці : навч. посіб. – К. : Каравела, 2005. – 336 с.
- 21.Слободян С.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці : навч. посіб. – К. : Центр учбової літератури, 2016. – 208 с.

					<i>КРБ 089.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Керівник: ст.вк.каф. ПВ Наконечний Ю.І.

Норм.контроль: ст.вк.каф ПВ Апостол Ю.О.

Консультант: к.т.н. доц. каф. ПВ Стрембіцький М.О.

Зав. кафедри: д.т.н. проф. Паламар М.І.

Рецензент: