

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“ Розробка алгоритму керування роботизованим
маніпулятором на базі апаратно-програмних систем ”**

Виконав: студент II курсу групи Акт-22сп
Спеціальності 151 „Автоматизація
та комп’ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва)

Роман ТРОСТЯНСЬКИЙ

(Ім’я та прізвище)

Керівник: Олексій ШВЕЦЬ

(Ім’я та прізвище)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

“ ____ ” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Тростянському Роману Ігоровичу

1. Тема роботи: **“ Розробка алгоритму керування роботизованим маніпулятором на базі апаратно-програмних систем”**

Керівник роботи: Швець Олексій Петрович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року

3. Вихідні дані: літературні джерела за тематикою автоматизованих процесів виробництв; технічні характеристики маніпуляторів; характеристики приводів роботизованих машин; програмні продукти автоматичного керування; методика визначення економічної ефективності впровадження новітнього обладнання.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз маніпуляторів та сфер їх застосування у виробничих процесах.

2. Системи управління маніпуляторами.

3. Розробка керуючої програми маніпулятором.

4. Охорона праці.

5. Розрахунок економічних затрат на впровадження нового обладнання у виробництво.

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

Ілюстраційний матеріал подається у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада Консультанта | Підпис, дата | | Відмітка про виконання |
|---------|---|-------------------|---------------------|------------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв | |
| 1,2,3,5 | Швець О.П. к.т.н., в.о. доц. кафедри машинобудування | | | |
| 4 | Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри УПБВ | | | |

7. Дата видачі завдання:

30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Відмітка про виконання |
|--------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1. | <i>Виконання розділу: Аналіз маніпуляторів та сфер їх застосування у виробничих процесах.</i> | 23.01.23- 17.02.23 | |
| 2. | <i>Виконання другого розділу: 2. Системи управління маніпуляторами.</i> | 20.02.23- 17.03.23 | |
| 3. | <i>Виконання третього розділу: 3. Розробка керуючої програми маніпулятором.</i> | 20.03.23- 19.05.23 | |
| 4. | <i>Виконання розділу: 4. Охорона праці»</i> | 22.05.23- 03.06.23 | |
| 5. | <i>Виконання розділу: 5. Розрахунок економічних затрат на впровадження нового обладнання у виробництво.</i> | 05.06.23- 16.06.23 | |
| 6. | <i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i> | 19.06.23- 23.06.23 | |

Студент _____ Роман ТРОСТЯНСЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Олексій ШВЕЦЬ
(підпис)

УДК 621.0

Розробка алгоритму керування роботизованим маніпулятором на базі апаратно-програмних систем.

Тростянський Р.І. - Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023.

76 с. текст. част., 32 рис., 4 табл., 18 джерел.

Проведено аналіз використання маніпуляторів в умовах різних виробництв. Проаналізовано їх конструктивні особливості, визначено їх переваги та програмне забезпечення, яке використовується для управління маніпуляторами та роботизованими системами. Розглянуто конструкцію маніпулятора ангулярного типу, особливості основних рухомих вузлів та рух робочих органів. Розроблено керуючу програму для лабораторного зразка маніпулятора на базі системи Arduino. Проаналізовано стан охорони праці під час роботи маніпуляторів та розроблено заходи щодо її покращення. Розраховано затрати на використання маніпулятора на вантажних роботах та здійснено порівняльний аналіз техніко економічних показників з гідравлічно-керованим маніпулятором.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 6 |
| 1 АНАЛІЗ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА СФЕР ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ | 7 |
| 1.1 Типи та класифікація маніпуляторів | 7 |
| 1.2 Приклади застосування промислових маніпуляторів у виробничих процесах | 19 |
| 1.3 Короткий теоретичний аналіз роботи маніпуляторів | 27 |
| 1.4 Аналіз руху маніпуляційних систем | 34 |
| 2 СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ | 40 |
| 2.1 Загальні відомості про системи управління | 40 |
| 2.2 Програмні середовища для управління маніпуляторами | 41 |
| 3 РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ МАНІПУЛЯТОРА | 47 |
| 3.1 Опис конструкції маніпулятора | 47 |
| 3.2 Розробка коду для керування маніпулятором | 55 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ | 58 |
| 4.1 Аналіз вимог безпеки праці під час роботи автоматизованих і роботизованих систем | 58 |
| 4.2 Розробка схем формування небезпечних подій | 62 |
| 4.3 Рекомендації щодо покращення безпеки праці | 63 |
| 5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ | 65 |
| 5.1 Визначення капітальних витрат | 65 |
| 5.2 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності і якості машиногодин роботи маніпуляторів за рік | 66 |
| 5.3 Розрахунок річних поточних витрат | 68 |
| 5.4 Визначення економічного ефекту | 72 |
| ВИСНОВКИ | 74 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА | 75 |

ВСТУП

Промислові маніпулятори є важливими компонентами сучасної виробничої автоматизації, які забезпечують ефективне маніпулювання об'єктами у просторі. Знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, де точність, швидкість і безпека маніпуляційних операцій є вирішальними факторами. Вони є невід'ємною частиною виробничих ліній, робочих кліток та монтажних станцій у різних галузях промисловості, включаючи автомобільну, електронну, харчову, фармацевтичну, машинобудівну та інші.

У цій дипломній роботі проводиться комплексний аналіз промислових маніпуляторів, зокрема їх типів, класифікації та систем управління. Досліджується важливість рухової системи маніпуляторів із забезпеченням точного та керованого руху об'єктів маніпулювання. Також розглядається процес розробки керуючої програми для маніпулятора з використанням відповідних програмних середовищ.

1 АНАЛІЗ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА СФЕР ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ

1.1 Типи та класифікація маніпуляторів

У цьому розділі ми розглянемо основні типи маніпуляторів [1] та їх характеристики, а також проведемо їх класифікацію залежно від функцій, конструкційних особливостей та застосування.

Визначення різних типів маніпуляторів та їх систематична класифікація відіграють важливу роль у розумінні та аналізі роботи технічних систем. Розглядання різних типів маніпуляторів дозволяє встановити спільні риси та особливості їх функціонування.

Також звернемо увагу на параметри, що визначають вибір певного типу маніпулятора для конкретної задачі. Аналізуючи різні типи та їх класифікацію, ми отримаємо глибше розуміння функціональних можливостей та характеристик маніпуляторів, що є необхідним для розробки та вдосконалення автоматизованих систем у різних сферах.

Є широкий спектр типів маніпуляторів, але нижче я наведу сім найпоширеніших із них:

На рисунку 1.1 представлений маніпулятор декартового типу, він складається з трьох лінійних пристроїв, що рухаються паралельно координатним осям X , Y та Z . Такий маніпулятор також відомий як маніпулятор XYZ або маніпулятор лінійного типу.

У маніпулятора декартового типу рух по кожній з осей (X , Y , Z) може бути незалежним один від одного, що дозволяє рухати об'єкт у просторі в будь-якому напрямку. Координати (X , Y , Z) визначають положення кінцевого ефектора маніпулятора, який може бути оснащений засобами для захоплення та переміщення об'єктів.

Основними перевагами маніпулятора декартового типу є простота управління та точність позиціонування. Вони здатні виконувати рухи прямолінійного переміщення об'єктів у тривимірному просторі з високою точністю.

Маніпулятори декартового типу широко застосовуються у промислових роботах технічних системах, автоматизованих виробництвах та медичних пристроях, де точність, простота та стабільність є важливими факторами.

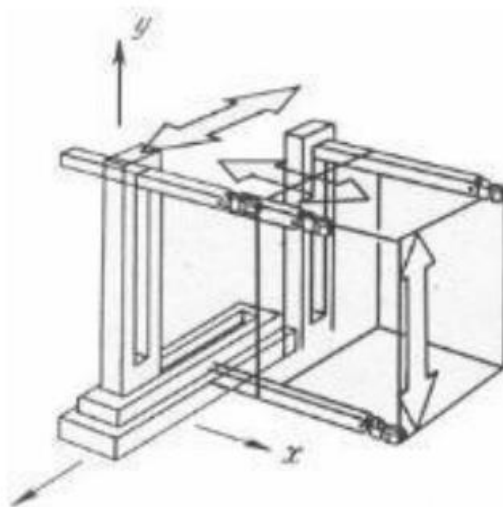


Рисунок 1.1 - Маніпулятор декартового типу

Циліндричний тип. На рисунку 1.2 зображений маніпулятор циліндричного типу є одним з типів роботизованих маніпуляторів. Він складається з двох основних рухових елементів: лінійного переміщення вздовж осі Z та обертання навколо осі Z . Це дозволяє маніпулятору виконувати рухи вздовж осі Z та обертатись навколо цієї осі.

Маніпулятор циліндричного типу отримав свою назву через схожість з циліндричною координатною системою. Він здатний рухатись по вказаній осі Z і обертатись навколо неї, що дозволяє йому забезпечувати гнучкість в роботі з об'єктами у циліндричних координатах.

Маніпулятори циліндричного типу використовуються в різних галузях, включаючи автоматизоване виробництво, монтажні лінії, обробку матеріалів та

інші сфери, де необхідні рухи вздовж осі Z та обертання навколо неї. Цей тип маніпуляторів дозволяє ефективно керувати положенням та орієнтацією об'єктів у тривимірному просторі, забезпечуючи точність та гнучкість у роботі.

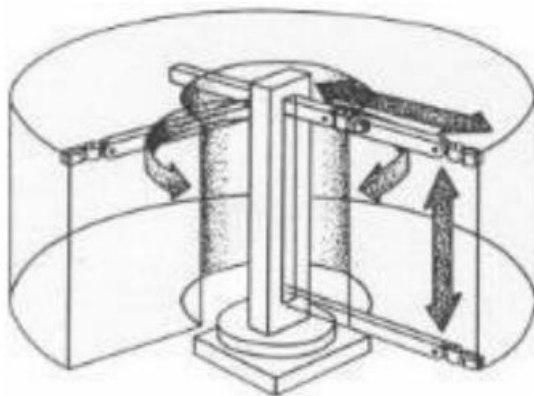


Рисунок 1.2 - Маніпулятор циліндричного типу

Сферичний тип. На малюнку 1.3 показано Маніпулятор сферичного типу є одним з видів роботизованих маніпуляторів. Він має можливість рухатись у трьох основних рухах: обертання навколо осі Z , обертання навколо осі Y та обертання навколо осі X . Ці рухи дозволяють маніпулятору здійснювати обертання у всіх трьох осях, що надає йому гнучкість у роботі з об'єктами у сферичних координатах.

Маніпулятор сферичного типу може переміщати кінцевий ефектор об'єкту в будь-якій точці у просторі і забезпечувати його орієнтацію у будь-якому напрямку. Це робить його ефективним для роботи з об'єктами, які мають сферичну форму або потребують руху у всіх трьох напрямках.

Маніпулятори сферичного типу широко використовуються у промислових застосуваннях, включаючи монтажні роботи, робототехнічні системи, дослідження та інші області, де необхідна гнучкість руху та точність позиціонування об'єктів у тривимірному просторі.

Маніпулятори сферичного типу забезпечують широкий діапазон рухів і гнучкість у роботі, що дозволяє їм виконувати складні завдання, пов'язані з позиціонуванням та орієнтацією об'єктів у тривимірному просторі.

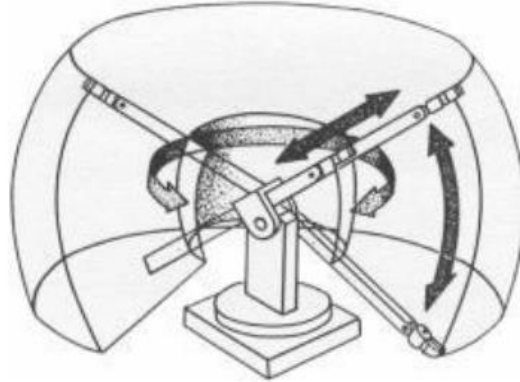


Рисунок 1.3 - Маніпулятор сферичного типу

Ангулярний тип. На рисунку 1.4 зображений маніпулятор ангулярного типу, є одним з видів роботизованих маніпуляторів. Такий маніпулятор може обертатись навколо осі Z та навколо осі Y , що дозволяє йому змінювати положення та орієнтацію об'єкта у просторі. Цей тип маніпулятора добре підходить для завдань, де необхідно керувати кутовими рухами, такими як збирання, сортування або позиціонування об'єктів, що мають ангулярні характеристики.

Маніпулятори ангулярного типу застосовуються у різних галузях, включаючи виробництво, лабораторні дослідження, медицину та інші сфери, де необхідні керування кутовими рухами об'єктів. Вони дозволяють точно управляти положенням та орієнтацією об'єктів у тривимірному просторі. Вони надають гнучкість та точність у керуванні кутовими рухами, що робить їх важливими компонентами в робототехнічних системах, де необхідна прецизійна обробка, монтаж або маніпулювання об'єктами з ангулярними параметрами.

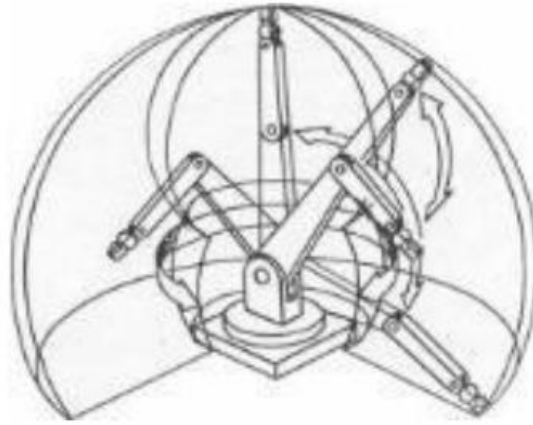


Рисунок 1.4 - Маніпулятор ангулярного типу

Тип SCARA. На рисунку 1.5 зображено маніпулятор типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) є одним з популярних видів роботизованих маніпуляторів. Він складається з двох лінійних осей, що рухаються горизонтально (паралельно площині роботи), а також з осі вертикального підйому та обертання навколо осі Z.

Основною особливістю маніпулятора SCARA є його здатність до обмеженого гнучкого згину або комплаєнсу у вертикальному напрямку, що дозволяє йому пристосовуватись до невеликих зміщень або ударів. Цей тип маніпулятора часто використовується у завданнях збирання, монтажу та обробки, де важливо забезпечити точну позиціювання об'єктів у горизонтальній площині. Він широко застосовуються в промислових сферах, таких як автоматизоване виробництво, монтажні лінії, упаковка, електроніка та інші області, де потрібна висока швидкість, повторюваність і точність рухів. Їх компактний дизайн і здатність до прецизійного позиціонування роблять їх ефективними в багатьох завданнях, що вимагають швидкої та прецизійної роботи з об'єктами у горизонтальній площині.

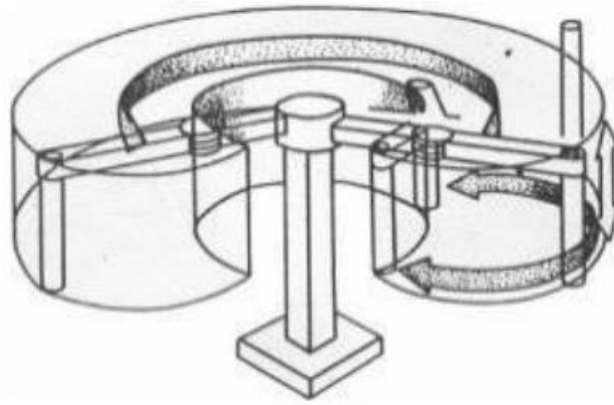


Рисунок 1.5 - Маніпулятор типу SCARA

Маніпулятор типу Spine (або маніпулятор з хребтом) - це тип роботизованого маніпулятора, який надає гнучкість і подібність до структури хребта. Він складається з послідовно з'єднаних ланок або сегментів, які можуть гнутися або повертатися один відносно іншого. Цей тип маніпулятора дозволяє забезпечити гнучкість рухів та адаптацію до неправильних форм або контура об'єктів.

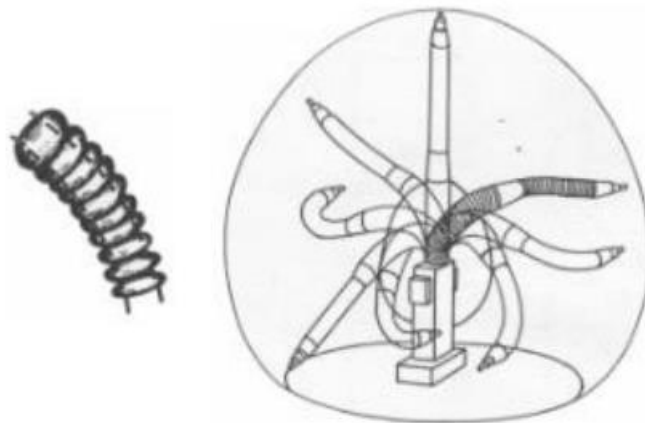


Рисунок 1.6 - Маніпулятор Spine типу

Маніпулятори типу Spine використовуються у різних додатках, таких як хірургічні роботи, монтажні роботи, обробка матеріалів та інші завдання, де потрібна гнучкість і адаптивність рухів до складних умов. Вони можуть

підганятися під форму об'єктів та забезпечувати точне розташування та маніпуляцію з ними.

Маніпулятор маятникового типу - це тип роботизованого маніпулятора, який складається з ланцюга, що має один або більше маятників. Ці маятники можуть бути використані для керування рухом маніпулятора, забезпечуючи стабільні рухи та контрольовані коливання.

Маніпулятори маятникового типу використовуються в різних додатках, таких як маятникові кранівниці, стабілізатори камери, роботизовані руки та інші системи, де необхідна стабільність руху, а також можливість керувати коливаннями. Вони дозволяють забезпечити контрольований рух, стійкість та точність у роботі з об'єктами.

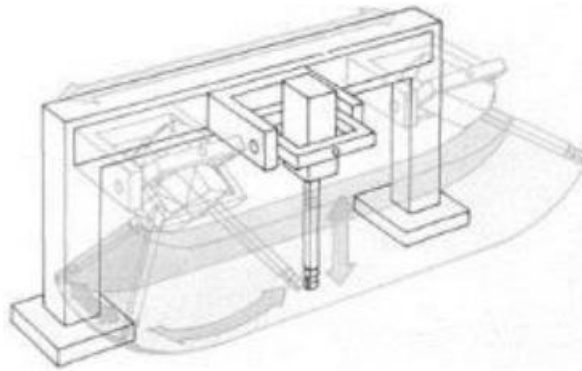


Рисунок 1.7 - Маніпулятор маятникового типу

Маніпулятори є одним з основних типів роботів і зазвичай представляють значну частку в їх загальній кількості.

За ступенем універсальності роботи поділяються на:

1) Спеціалізовані роботи: Роботи з фіксованою конфігурацією, обмеженим набором функцій і спеціалізованими завданнями.

2) Універсальні роботи: Роботи з широким спектром застосувань і здатністю виконувати різноманітні завдання у різних галузях.

3) Колаборативні роботи: Роботи, що співпрацюють з людьми безпосередньо та виконують спільні завдання.

За швидкістю рухів:

1) Швидкі роботи: Роботи, які можуть виконувати швидкі рухи, швидко переміщатися або виконувати швидкі технологічні операції.

2) Середні роботи: Роботи з помірною швидкістю рухів, які можуть працювати у середньому темпі відносно вимог завдань.

3) Повільні роботи: Роботи з обмеженою швидкістю рухів, які працюють у повільному темпі, що може бути важливим для точних або докладних завдань.

Системи промислових маніпуляторів складаються з таких компонентів:

1) Механічна структура: Включає маніпулятор або робочу руку, яка складається з ланок, суглобів та елементів конструкції. Це основна механічна частина робота, яка забезпечує рухи та маніпуляції.

2) Актуатори: Відповідають за надання сили та керування рухами маніпулятора. Це можуть бути гідравлічні циліндри, пневматичні приводи, електричні мотори або інші пристрої, які перетворюють енергію у рух.

3) Сенсори: Використовуються для збору інформації про навколишнє середовище, положення робочої руки, силові впливи та інші параметри. Сенсори можуть включати датчики руху, силоміри, датчики відстані, візуальні камери тощо.

4) Керуюча система: Відповідає за управління рухами маніпулятора та обробку інформації з сенсорів. Включає мікроконтролери, програмне забезпечення, алгоритми керування та інші компоненти, які забезпечують координацію та контроль рухів робота.

5) Комунаційна система: Використовується для обміну даними з іншими системами або оператором. Це може бути дротове або бездротове з'єднання, протоколи передачі даних та інші елементи зв'язку.

Також, маніпулятори поділяються на інші типи, зокрема:

Автоматичні пристрої. В цю категорію такі типи маніпуляторів:

1) Програмні маніпулятори - це тип роботів, які використовуються для виконання завдань, що вимагають програмної обробки та аналізу даних. Основна особливість програмних маніпуляторів полягає в тому, що вони базуються на алгоритмах та програмному забезпеченні для керування своїми діями.

2) Адаптивні маніпулятори - це роботи, які можуть пристосовуватися до змін у своєму оточенні. Вони використовують сенсори, щоб збирати інформацію про середовище, та алгоритми для аналізу цих даних і внесення коректив у свою роботу. Це дозволяє їм пристосовуватися до змін у формі, розмірі, положенні об'єктів, уникати перешкод та забезпечувати більш точне та ефективно взаємодію з оточенням.

3) Маніпулятори, що навчаються, роботи які використовують методи машинного навчання для здобуття знань та вдосконалення своїх навичок. Вони можуть навчатися на основі даних, виконувати аналіз отриманих інформації та адаптувати свою роботу відповідно до нових умов. Це дозволяє маніпуляторам стати більш гнучкими, ефективними та здатними виконувати складні завдання з високою точністю.

4) Інтелектуальні маніпулятори, роботи які поєднують в собі високий рівень штучного інтелекту і функції маніпуляції. Вони здатні аналізувати оточення, приймати рішення на основі складних алгоритмів та взаємодіяти із навколишнім середовищем інтуїтивно. Ці маніпулятори мають вбудовані сенсори, які дозволяють їм сприймати оточуючий світ і здійснювати адаптивну поведінку. Вони можуть навчатися з досвіду, самостійно вирішувати проблеми та підлаштовуватися під змінні умови. Інтелектуальні маніпулятори знаходять широке застосування в автономних системах, розумних фабриках, медичній діагностиці та інших галузях, де потрібні роботи зі здатністю до складного аналізу та прийняття рішень.

Біомеханічні промислові роботи складаються з трьох видів: командних, копіюючих і напівавтоматичних.

1) Командні роботи, роботи які виконуються під контролем оператора. Оператор надає команди роботу за допомогою пульта управління або комп'ютерного інтерфейсу, і робот виконує вказані дії. Вони використовуються в ситуаціях, коли потрібна пряма людська взаємодія та точне керування роботом.

2) Копіюючі роботи, роботи які повторюють рухи або дії людини. Вони використовуються для відтворення точних рухів або процесів, що потребують великої міри досліджень та контролю. Ці роботи можуть бути програмовані для повторення заданих шаблонних рухів або виконання певних послідовностей операцій.

3) Напівавтоматичні роботи, роботи які поєднують автоматичну та людську інтервенцію. Вони можуть виконувати автоматизовані процеси, але також потребують втручання оператора в окремих ситуаціях. Ці роботи використовуються в завданнях, де потрібне поєднання автоматичної ефективності та людського експертного впливу.

Класифікувати роботів також можна за наступними параметрами:

- 1) За рухливістю маніпулятора:
 - а) Стаціонарним, яка визначається відсутністю пристрою переміщення.
 - б) Рухливим, яка визначається наявністю пристрою переміщення.
- 2) Кількістю ефекторів, може бути від одного до п'яти ефекторів.
- 3) За вантажопідйомністю робота поділяється на: надлегку (до 1 кг), легку (від 1 до 10 кг), середню (10-200 кг), важку (200-1000 кг), надважку (понад 1000 кг).
- 4) За типом приводу робота, може бути: пневматичним, гідравлічним, електричним.

5) Відповідно до призначення існують: пилозахисні, звичайні, вологозахисні, термозахисні, вибухобезпечні тощо.

б) Залежно від способу розміщення: стаціонарними, підлоговими (рухаються по монорейсу), підвісними, вбудовуваними

Класифікуються роботи і від способу управління:

- 1) Із програмним управлінням.
- 2) Із інтелектуальним керуванням.
- 3) Із адаптивним керуванням.

Також основою для класифікації роботів є точність рухів:

- 1) Із низькою точністю руху, де похибка становить 1 мм або більше.
- 2) Із середньою точністю руху, де похибка становить від 0,1 до 1 мм (найчастіше використовують роботи саме з цією похибкою).
- 3) Із високою точністю руху, де похибка менша за 0,1 мм.

Інтерактивні промислові роботи включають автоматизовані, супервізорні і діалогові роботи, які забезпечують взаємодію з оператором або користувачем.

1) Автоматизовані роботи - це роботи, що виконуються повністю без участі оператора. Вони працюють за попередньо заданими програмами та алгоритмами, виконуючи завдання автоматично. Ці роботи здатні працювати безперервно, забезпечуючи високу швидкість та ефективність у виконанні завдань.

2) Супервізорні роботи - це роботи, які працюють під наглядом оператора. Оператор контролює та надає команди роботу в режимі реального часу, відстежуючи його дії та втручаючись при необхідності. Ці роботи використовуються, коли потрібна гнучкість та точність роботи, яку може забезпечити оператор.

3) Діалогові роботи - це роботи, що взаємодіють з оператором або користувачем за допомогою діалогових інтерфейсів. Вони можуть розпізнавати голосові команди, відповідати на запитання або надавати інформацію за запитом. Ці роботи забезпечують зручну та ефективну взаємодію між користувачем та системою.

Переваги використання промислових роботів:

- Підвищена продуктивність: Роботи здатні працювати безперервно, без втоми, що дозволяє підвищити продуктивність виробничих процесів.

- Покращена якість виробів: Роботи забезпечують високу точність та повторюваність рухів, що сприяє отриманню високоякісних виробів.

- Зменшення витрат: Роботи можуть замінити людську працю в рутинних та важких операціях, що дозволяє знизити витрати на робочу силу та підвищити ефективність виробництва.

- Підвищена безпека: Використання роботів може знизити ризик для людей у виробничому середовищі, особливо в небезпечних або важкодоступних зонах.

- Гнучкість та масштабованість: Роботи можуть бути програмовані та переналаштовуватись для виконання різних завдань та виробничих процесів, що дозволяє швидко адаптуватись до змінних потреб виробництва.

Недоліки використання промислових роботів:

- Високі витрати на встановлення та обслуговування: Розгортання та підтримка промислових роботів може бути витратним процесом, включаючи витрати на придбання, налаштування та технічне обслуговування.

- Складність програмування: Налаштування та програмування роботів може вимагати спеціалізованих знань та навичок, що ускладнює їх впровадження та зміну.

-Обмеження в завданнях: Роботи можуть бути ефективними лише в обмеженому спектрі завдань та процесів, що потребує додаткових зусиль для автоматизації складних або незвичайних операцій.

-Вразливість до помилок: Несправність або помилка в роботі може мати серйозні наслідки, особливо якщо роботи працюють поруч з людьми або обробляють вразливі матеріали.

-Втрата робочих місць: Автоматизація за допомогою роботів може призводити до зменшення кількості робочих місць для людей, що вимагає соціального врахування та перекваліфікації працівників.

У виробничому середовищі необхідно ретельно враховувати переваги та недоліки використання промислових роботів та здійснювати обґрунтований підхід до їх впровадження та управління.

1.2 Приклади застосування промислових маніпуляторів у виробничих процесах

Застосування промислових маніпуляторів у великих галузях дозволяє підвищити автоматизацію, якість, продуктивність та безпеку виробничих процесів. Вони сприяють ефективному використанню ресурсів, зменшенню виробничих помилок та підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Завдяки маніпуляторам, компанії можуть досягати більшої ефективності та успіху на ринку. Ось кілька таких прикладів:

1)Застосування промислових маніпуляторів у вантажних роботах. Має великий потенціал для автоматизації та оптимізації процесів переміщення та розміщення вантажів. А саме:

Автоматизоване піднімання та переміщення вантажів. Здатні піднімати важкі вантажі з великою точністю та безпекою. Також можуть бути обладнані спеціальними захоплювальними пристроями, такими як магнітні затискачі, пневматичні хвати або присоски, що дозволяють надійно фіксувати вантажі

різних форм та розмірів. Маніпулятори контролюють рухи та розміщення вантажів на задані місця, що сприяє точності та ефективності вантажних операцій.

Розміщення вантажів у високих регалах. Можуть бути використані для автоматизованого розміщення вантажів у високих регалах або на полицях у складах. Завдяки своїм рухомих механізмам, маніпулятори здатні підніматись уверх та дотягуватись до потрібного рівня, щоб забезпечити розміщення вантажів на великій висоті. Це дозволяє ефективно використовувати простір у складських приміщеннях та забезпечує зручний доступ до вантажів.

Сортування та розподіл вантажів. Можуть використовуватись для автоматизованого сортування та розподілу вантажів на основі певних критеріїв, таких як розмір, вага або призначення. Вони можуть виконувати такі завдання, як вибір вантажів зі спільної зони, розподіл їх на окремі лінії або палети, а також маркування та класифікація вантажів для подальшого переміщення.

Безпека та зменшення ризику пошкодження вантажів. Застосування у вантажних роботах дозволяє зменшити ризик пошкодження вантажів. Вони ретельно контролюють сили, які діють на вантажі під час піднімання та переміщення, що дозволяє уникнути непередбачуваних пошкоджень або зрушень вантажу. Крім того, вони можуть бути програмовані для виконання додаткових перевірок, наприклад, на виявлення пошкоджених або неправильно розміщених вантажів.

Підвищення продуктивності та зниження витрат. Автоматизація вантажних робіт за допомогою маніпуляторів призводить до підвищення продуктивності та зниження витрат. Маніпулятори працюють швидше та ефективніше, ніж люди, що дозволяє зменшити час, необхідний для виконання вантажних операцій, та знизити витрати на робочу силу.

Застосування промислових маніпуляторів у вантажних роботах виявляється дуже корисним для різних галузей, де потрібно ефективно та точно

переміщення вантажів. Вони сприяють автоматизації, покращують продуктивність та забезпечують безпеку вантажних операцій.

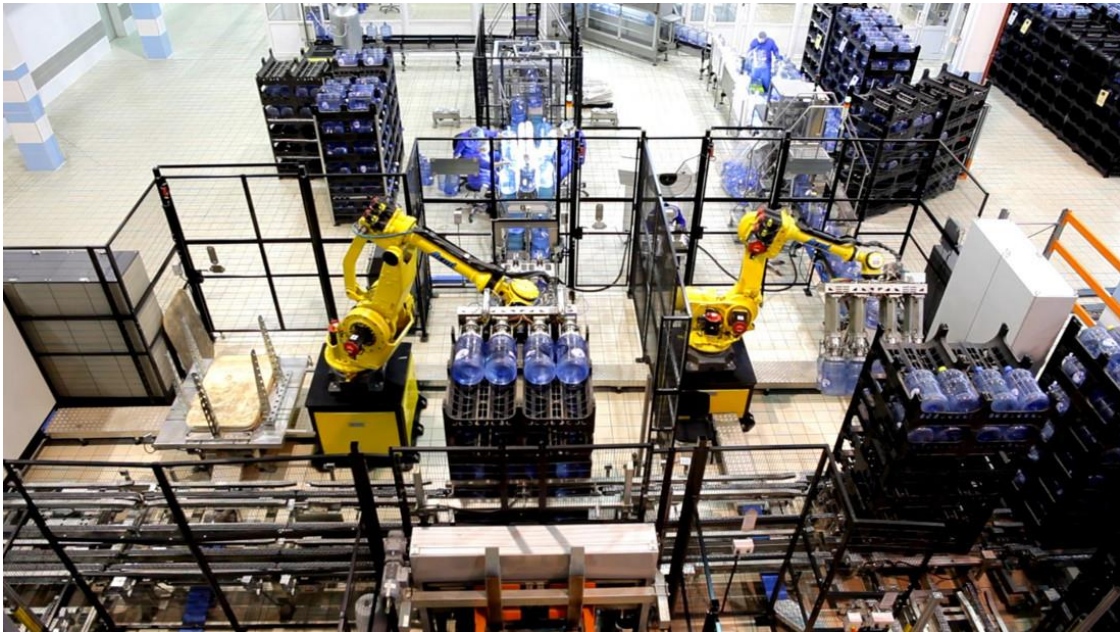


Рисунок 1.8 – Використання маніпуляторів на вантажних роботах

2)Складальне виробництво є однією з галузей, де промислові маніпулятори знаходять широке застосування. Вони допомагають автоматизувати процеси збирання та монтажу виробів, що призводить до підвищення ефективності, точності та продуктивності. Ось кілька функцій застосування маніпуляторів у складальному виробництві:

- збирання компонентів. Можуть використовуватись для автоматизованого збирання компонентів, необхідних для виробництва кінцевого виробу. Вони можуть точно виявляти, взаємодіяти та переміщувати різні деталі, комплектуючі та елементи, що необхідні для збирання виробу. Маніпулятори забезпечують швидкість та повторюваність при розміщенні компонентів, що дозволяє ефективно виконувати складальні операції.

- монтаж виробу. Можуть бути програмовані для виконання різних монтажних операцій. Вони можуть поєднувати компоненти та деталі, встановлювати кріплення, з'єднання та елементи фіксації, що необхідні для

створення кінцевого виробу. Маніпулятори дозволяють забезпечити точність та надійність при виконанні монтажних операцій, знижуючи ризик помилок та забезпечуючи високу якість готового виробу.

- контроль якості. Можуть бути обладнані додатковими сенсорами та системами контролю, що дозволяють здійснювати перевірку якості виробів під час складального процесу. Вони можуть проводити вимірювання, візуальну інспекцію та перевірку допустимих параметрів, щоб переконатись у правильному збиранні та якості кожної деталі. Це допомагає виявити потенційні проблеми та забезпечити виробництво високоякісних виробів.

- змінність. Відрізняються своєю змінністю. Вони можуть бути програмовані для виконання різних складальних операцій та адаптуватись до різних типів виробів. Маніпулятори можуть змінювати своє положення, конфігурацію та рухи, щоб відповідати потребам конкретного виробу або виробничої лінії. Це дозволяє швидко переключатись між різними видами виробів та забезпечує гнучкість у виробничому процесі.



Рисунок 1.9 – Використання маніпуляторів і складальному виробництві

Зниження витрат та збільшення продуктивності. Застосування призводить до зниження витрат та підвищення продуктивності. Вони працюють швидше та ефективніше, ніж люди, дозволяючи скоротити час, необхідний для збирання та

монтажу виробів. Крім того, вони забезпечують більшу точність та уніформність при виконанні операцій, що сприяє зниженню відхилень та виробничих браків.

Застосування промислових маніпуляторів у складальному виробництві значно полегшує та прискорює процеси збирання та монтажу виробів. Вони забезпечують точність, ефективність та якість у складальних операціях, сприяючи покращенню виробничих показників та задоволенню потреб споживачів.

3)Зварювання є однією з основних областей застосування промислових маніпуляторів. Вони використовуються для автоматизації та поліпшення процесу зварювання, що дозволяє забезпечити високу якість, ефективність та безпеку. Ось детальніше про застосування маніпуляторів у зварюванні:

Позиціонування деталей. Використовуються для точного позиціонування деталей, які підлягають зварюванню. Вони можуть переміщати та утримувати деталі у необхідних положеннях, забезпечуючи оптимальний доступ для зварювального пристрою. Це допомагає забезпечити правильну геометрію зварювального шва та уникнути відхилень, що можуть виникнути при ручному зварюванні.



Рисунок 1.10 – Використання маніпуляторів у зварювальному виробництві

Автоматичне зварювання. Маніпулятори можуть бути програмовані для автоматичного здійснення зварювальних операцій. Вони можуть рухатись вздовж заздалегідь визначених траєкторій та виконувати зварювання з високою точністю та повторюваністю. Це дозволяє знизити вплив людського фактору та забезпечити однакову якість зварювання для кожної деталі.

Зварювання складних структур: Маніпулятори дозволяють зварювати складні структури, що вимагають точного позиціонування та багатошарового зварювання. Вони можуть керувати швидкістю, температурою та потужністю зварювального пристрою, щоб забезпечити оптимальні умови для формування міцного та якісного зварювального шва. Маніпулятори також можуть використовувати додаткові датчики та камери для виявлення дефектів та автоматичного коригування процесу зварювання.

Зварювання в небезпечних умовах: Промислові маніпулятори забезпечують безпеку операторів під час зварювання в небезпечних умовах. Наприклад, вони можуть використовуватись для зварювання у високотемпературних середовищах, під водою або в зоні високої радіації. Це дозволяє здійснювати зварювання в обставинах, які були б небезпечними або недосяжними для людей.

Моніторинг та контроль якості: Маніпулятори можуть бути обладнані системами моніторингу та контролю якості зварювання. Вони можуть використовувати сенсори для вимірювання температури, розмірів, швидкості та інших параметрів зварювання. Це дозволяє виявляти дефекти та недоліки у реальному часі, що допомагає попередити виробничі браки та забезпечує високу якість зварювання.

Застосування промислових маніпуляторів у зварюванні допомагає автоматизувати процес, підвищує якість та ефективність зварювання, а також забезпечує безпеку для операторів. Вони дозволяють зварювати складні структури, виконувати роботу в небезпечних умовах та забезпечувати високу якість зварювальних швів

4)Виробництво електроніки є ще однією важливою галуззю, де промислові маніпулятори мають широке застосування. Вони забезпечують автоматизацію та поліпшення процесу виготовлення електронних компонентів та пристроїв.

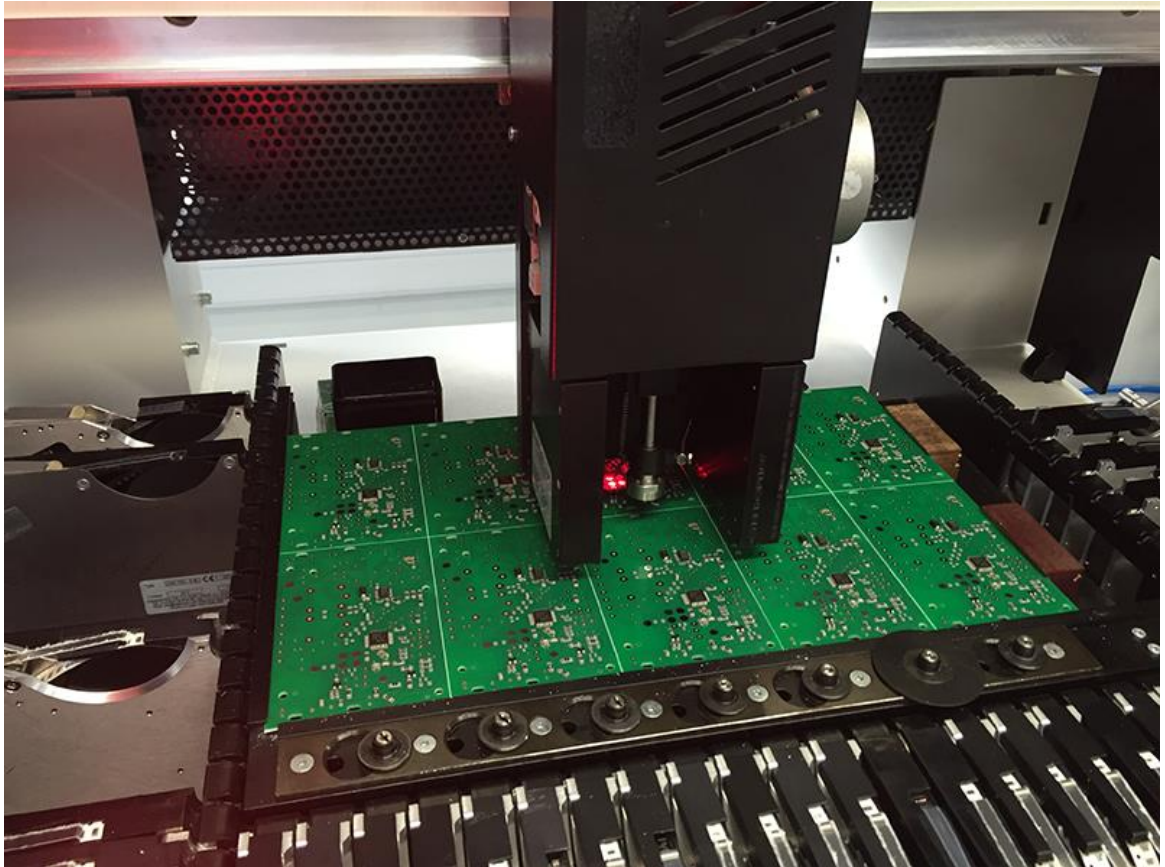


Рисунок 1.11 – Використання маніпуляторів під час виробництва електронних плат

Ось наведемо які функції може використовувати маніпулятор при застосування у виробництві електроніки:

Монтаж компонентів: Промислові маніпулятори використовуються для автоматичного монтажу компонентів на печатні плати. Вони можуть брати компоненти зі спеціальних лотків або стрічок, позиціонувати їх у відповідних місцях на платі та закріплювати їх. Це дозволяє виробляти велику кількість електронних пристроїв швидко та з високою точністю.

Тестування та якість контроль: Маніпулятори використовуються для автоматичного тестування електронних пристроїв та компонентів. Вони можуть підключати пристрої до тестових систем, виконувати різні тестові процедури та аналізувати результати. Це дозволяє виявляти дефекти та несправності, забезпечувати високу якість продукції та підвищувати надійність електронних пристроїв.

Робота з дрібними компонентами: Виробництво електроніки часто вимагає роботи з дрібними та дрібнішими компонентами. Маніпулятори можуть бути обладнані спеціальними захоплювачами, які здатні утримувати й переміщувати надзвичайно малі компоненти, такі як чіпи, резистори, кіндюки тощо. Це допомагає забезпечити акуратне та безпечне оброблення таких компонентів під час процесу виробництва.

Розташування та сортування: Маніпулятори можуть використовуватись для розташування та сортування електронних компонентів та матеріалів. Вони можуть класифікувати компоненти за розміром, типом, значенням та іншими характеристиками. Це сприяє організації та ефективності процесу виготовлення електроніки.

Управління виробничими лініями: Промислові маніпулятори можуть використовуватись для управління виробничими лініями у виробництві електроніки. Вони можуть координувати рухи різних робочих станцій, розподіляти завдання та матеріали, контролювати процеси та моніторити продуктивність. Це дозволяє підвищити ефективність та швидкість виробництва.

Застосування промислових маніпуляторів у виробництві електроніки допомагає підвищити автоматизацію, якість та ефективність процесу виготовлення. Вони дозволяють швидше та точніше монтувати компоненти, забезпечують тестування та контроль якості, спрощують роботу з дрібними компонентами та поліпшують управління виробничими лініями.

Отож, галузей де застосовуються маніпулятори є набагато більше, і щораз більше зростає їхнє застосування, наприклад в медицині, або навіть в ресторанній справі, з розвитком науково-технічного прогресу, їх точності, рухливості, простоті використання, тощо, ситуація тільки покращуватиметься.

1.3 Короткий теоретичний аналіз роботи маніпуляторів

Відповідно до своєї функціональної призначеності, промисловий робот-маніпулятор призначений для надійного переміщення вихідної ланки разом з об'єктом маніпулювання по попередньо заданій траєкторії в просторі та з встановленою позицією.

Для досягнення цієї мети, механізм головної руки маніпулятора має мати принаймні шість керованих рухів. Промисловий робот з такими шістьма рухами представляє собою складну автоматизовану систему, яка потребує виконання складних процесів виробництва та експлуатації.

Оскільки це представляє певні труднощі, реальні конструкції промислових роботів часто використовують механізми з меншою кількістю рухів. Простіші маніпулятори можуть мати три або навіть два рухи, що дозволяє знизити вартість їх виготовлення та експлуатації.

Проте, такі маніпулятори вимагають особливої конфігурації робочого середовища, оскільки необхідно точно визначити положення об'єкта маніпулювання відносно робота. Тому важливо розташовувати обладнання у потрібній орієнтації відносно робота.

Як ілюстрацію можна взяти структурно-функціональну схему промислового маніпулятора, де головний механізм складається з фіксованої ланки 0 і трьох рухомих ланок 1, 2 і 3.

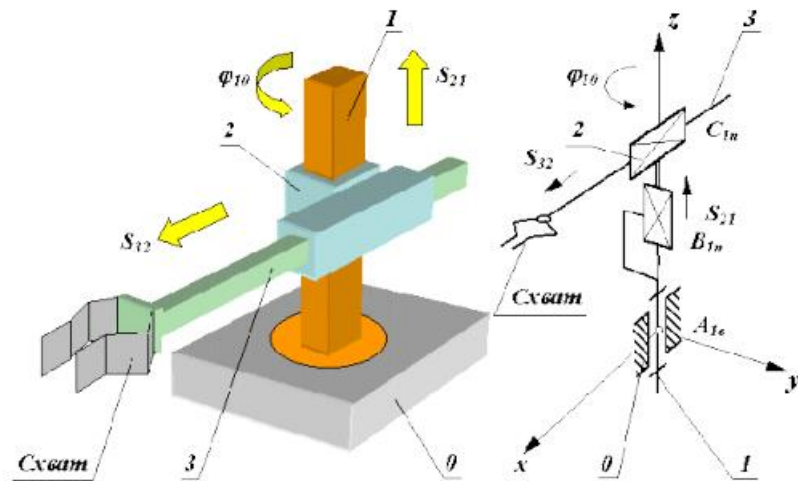


Рисунок 1.12 – Схема аналізу руху ланок маніпулятора

Механізм цього маніпулятора працює в циліндричній системі координат, де ланка 1 може здійснювати обертання відносно ланки 0 (кутове переміщення j_{10}), ланка 2 може рухатися вертикально відносно ланки 1 (лінійне переміщення S_{21}), а ланка 3 може рухатися горизонтально відносно ланки 2 (лінійне переміщення S_{32}).

У кінці ланки 3 розташований захватний або затискний пристрій, який призначений для захоплення та утримання об'єкта під час роботи маніпулятора. Ланки основного важільного механізму маніпулятора утворюють три одномоментні кінематичні пари (один обертовий рух А та два поступальних рухи В і С), що дозволяють забезпечити переміщення в просторі без необхідності контролювати орієнтацію об'єкта.

Для кожного з трьох відносних рухів в маніпуляторі використовується двигун з редукторним приводом і системою датчиків зворотного зв'язку. Функціональна схема промислового робота показана на рисунку 1.13.

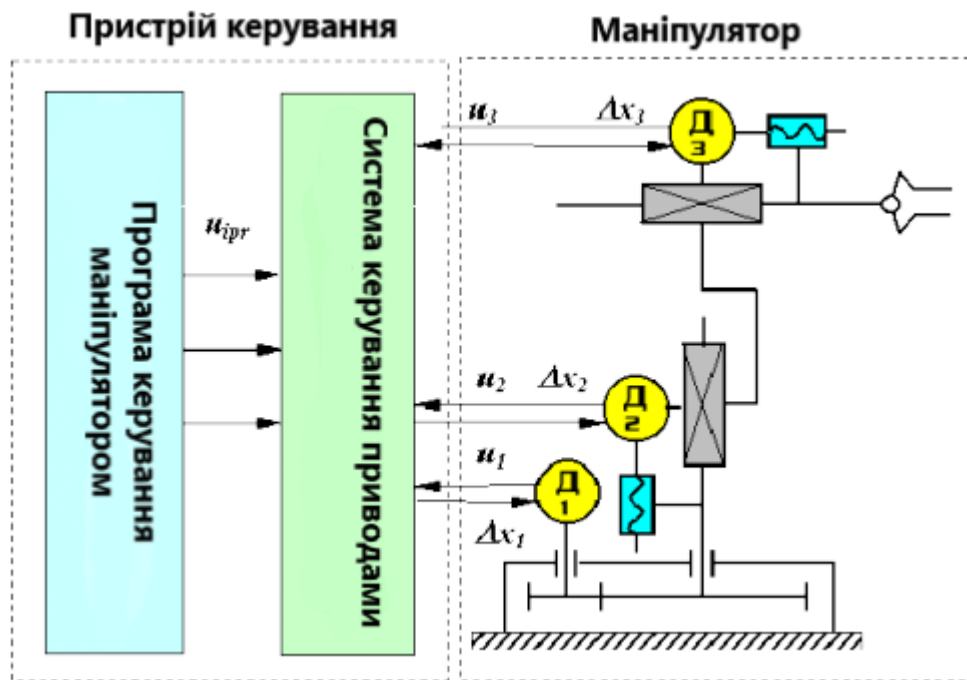


Рисунок 1.13 - Функціональна схема промислового робота

Математичний запис структурної схеми маніпулятора включає інформацію про кількість рухів, типи кінематичних пар і орієнтацію відносно осей фундаментальної системи координат, пов'язаної з нерухомою ланкою.

Рухи, що забезпечуються маніпуляторами, можна класифікувати на наступні типи:

Глобальні рухи (для маніпуляторів з рухомою основою): Це рухи стійки маніпулятора, які великим чином перевищують розміри самого механізму. Вони включають переміщення маніпулятора в просторі, зміну його позиції та орієнтації.

Регіональні (транспортні) рухи: Це переміщення, яке здійснюється першими трьома ланками або руками маніпулятора. Розміри цих рухомих ланок можна порівняти з розмірами самого механізму. Вони дозволяють маніпулювати об'єктами в межах певного регіону або здійснювати транспортування предметів від одного місця до іншого.

Локальні (маршрутні) рухи: Це рухи, що забезпечуються ланками, які утворюють руку маніпулятора. Розміри цих ланок значно менші за розміри механізму в цілому. Вони дозволяють точне маніпулювання об'єктами в обмеженому просторі, виконання різноманітних робочих операцій та контрольоване переміщення об'єктів у малих масштабах.

Згідно з даною класифікацією, у маніпуляторі можна виділити дві частини кінематичного ланцюга з різними функціями:

Механізм маніпулятора: Ця частина маніпулятора відповідає за переміщення точки M , яка є центром захвату. Вона забезпечує локальний рух захвату, тобто переміщення об'єкту в обмеженому просторі. Механізм маніпулятора може складатися з різних ланок та пар, які дозволяють забезпечити необхідні переміщення точки M .

Механізм кисті: Ця частина маніпулятора відповідає за напрямок захвату. Вона складається з ланки або кінематичної пари, яка дозволяє контролювати орієнтацію об'єкта під час захвату. Механізм кисті забезпечує локальний рух захвату, тобто можливість точного направлення та фіксації об'єкта у визначеному положенні.

Така ділянка маніпулятора, яка забезпечує переміщення точки M , і механізм кисті, який відповідає за орієнтацію та захват об'єкта, мають відмінні функції і виконують локальні рухи захвату в рамках загальної системи маніпулятора.

Антропоморфний маніпулятор, що моделює механізм людської руки, має наступну структурну схему (рис. 1.14).

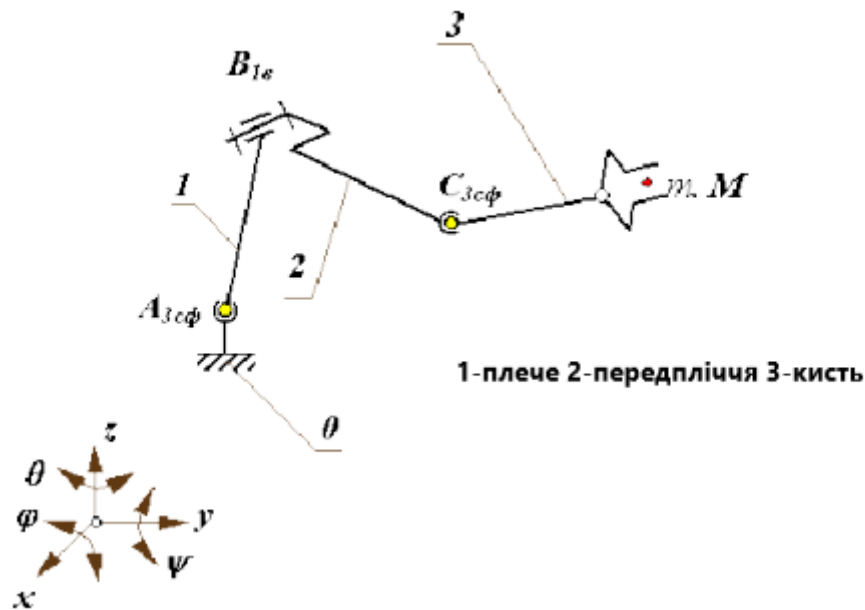


Рисунок 1.14 Схема антропоморфного маніпулятора

Перша кінематична пара ($A3sf$): Це сферична пара, яка дозволяє рухати руку у вертикальній площині. Вона забезпечує рух руки вперед-назад та вгору-вниз.

Друга кінематична пара ($Z3sf$): Це сферична пара, яка дозволяє рухати руку у горизонтальній площині. Вона забезпечує рух руки вбік та обертання навколо вертикальної осі.

Третя кінематична пара ($B1v$): Це обертове тіло, яке дозволяє обертати руку навколо своєї власної осі. Воно дозволяє змінювати орієнтацію руки та рухати її в різних площинах.

Для більш точного опису кінематичних пар маніпуляторів можна використовувати такі позначення:

Назва кінематичної пари: Позначається великою літерою латинського алфавіту, наприклад, А, В, С і т.д. Кожна літера відповідає окремій кінематичній парі в маніпуляторі.

Ланки, що утворюють пару: Позначаються цифрами, наприклад, 0/1, 1/2, і т.д. Ці цифри вказують на номери ланок, які утворюють кінематичну пару. Наприклад, 0/1 означає, що пара складається з ланок 0 і 1.

Відносний рух ланок пари: Описує рух ланок пари відносно одна до одної. Це може бути обертальний рух (A - angular), поступальний рух (L - linear), гвинтовий рух (S - screw) або інший відповідно до специфікацій системи.

Рухливість кінематичної пари: Вказує на кількість ступенів свободи в кінематичній парі. Низька рухливість відповідає 1-3 ступеням свободи, а висока рухливість - 4-5 ступеням свободи.

Орієнтація осі кінематичної пари: Вказує на орієнтацію осі кінематичної пари відносно осі базової або локальної системи координат. Це може бути задано за допомогою відповідних позначень або опису орієнтації.

З використанням цієї номенклатури можна точно ідентифікувати кінематичні пари маніпулятора та їх характеристики.

Робочий простір маніпулятора визначається як область простору, в межах якої робот може виконувати свої рухи та операції. Визначається геометричними обмеженнями, такими як максимальні значення переміщень по кожній осі, кути обертання сегментів робота, а також фізичними обмеженнями, такими як розміри самого робота, обмеження на кутові швидкості та прискорення.

Зона обслуговування маніпулятора - це просторова область, в межах якої маніпулятор може ефективно виконувати свої завдання. Це відстань або простір, до якого робот може досягти та взаємодіяти з об'єктами або виконувати різні операції. Зона обслуговування залежить від геометрії маніпулятора, його робочого простору та обмежень руху.

Рухливість маніпулятора W - число незалежних узагальнених координат, які визначають положення захвата в просторі.

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 (6-i) \cdot p_i, \quad (1.1)$$

або для незамкнутих кінематичних ланцюгів:

$$W = \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i. \quad (1.2)$$

Маневреність маніпулятора M - рухливість маніпулятора при нерухливому захваті.

$$M = W - 6. \quad (1.3)$$

Можливість зміни орієнтації захвата, коли він перебуває в центральній робочій зоні, визначається робочим кутом - кутом повороту y . Цей кут може бути обчислений останньою ланкою маніпулятора (тобто ланкою, на якій закріплений захват), коли захват знаходиться в центральній робочій зоні.

$$\psi = \frac{f_c}{l_{cm^3}} \quad (1.4)$$

де f_c - площа сферичної поверхні, описувана точкою 3 ланки 3,

l_{cm^3} - довжина ланки 3.

Відносна величина $k_y = y/(4p)$ називається коефіцієнтом сервісу. Для маніпулятора, зображеного на рис. 1.14:

- рухливість маніпулятора:

$$W = 6 \cdot 3 - (3 \cdot 2 - 5 \cdot 1) = 7;$$

- маневреність:

$$M = 7 - 6 = 1;$$

- формула будови:

$$W = [q_{10} + j_{10} + y_{10}] + j_{21} + [q_{32} + j_{32} + y_{32}]. \quad (1.5)$$

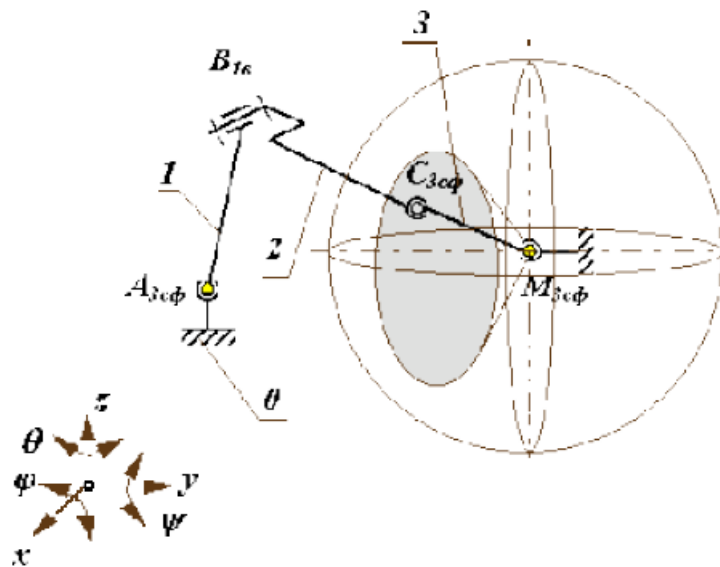


Рисунок 1.15 - Коефіцієнт сервісу

1.4 Аналіз руху маніпуляційних систем

Основним типом маніпуляційної системи [7] є механічний маніпулятор. Він складається з просторових механізмів у вигляді ланцюгів, ланки та приводних систем, які формують кінематичні пари в кутовому або поступальному відносному русі, зазвичай розділені ступенями руху. Робочими органами маніпуляторів є кінці.

За рухливістю маніпулятори можна розділити на два типи: рухливі для переміщення робочого органу в робочій зоні маніпулятора і спрямовані для зміни кута нахилу робочого органу.

Існує мінімальна кількість типів мобільності, необхідних для переміщення робочого органу в межах робочої зони. Зазвичай сучасні маніпулятори мають від чотирьох до шести, а деякі навіть від восьми до дев'яти рухомих частин.

Максимально необхідний кут руху становить 3 градуси. Такі діапазони руху досягаються за рахунок кінематичних пар з кутовим переміщенням, що

обертаються навколо поздовжньої осі маніпулятора і двох інших ортогональних осей.

Аналізуючи кінематичні схеми портативних маніпуляторів, можна виділити три основні форми робочого простору в багатьох роботах: паралелепіпед, циліндр і сфера.

Конструктивна схема маніпулятора показана на рис. 1.16-1.19. Вони показують конструкцію трьох портативних маніпуляторів.

Маніпулятор (рис. 1.16) має робочу зону у вигляді паралелепіпеда. Всі рухи тут є лише поступальними.

Маніпулятори, що працюють в циліндричних координатах (див. рис. 1.17), мають кутовий рух (рух по колу), а також поступальні рухи. Тому їх робоча зона обмежена циліндричною поверхнею.

У сферичній системі координат (див. рис. 1.18) здійснюються два кутових переміщення, і робоча зона обмежена сферичною поверхнею. Маніпулятори з такою системою координат зазвичай складніші, ніж з циліндричною, але компактніші.

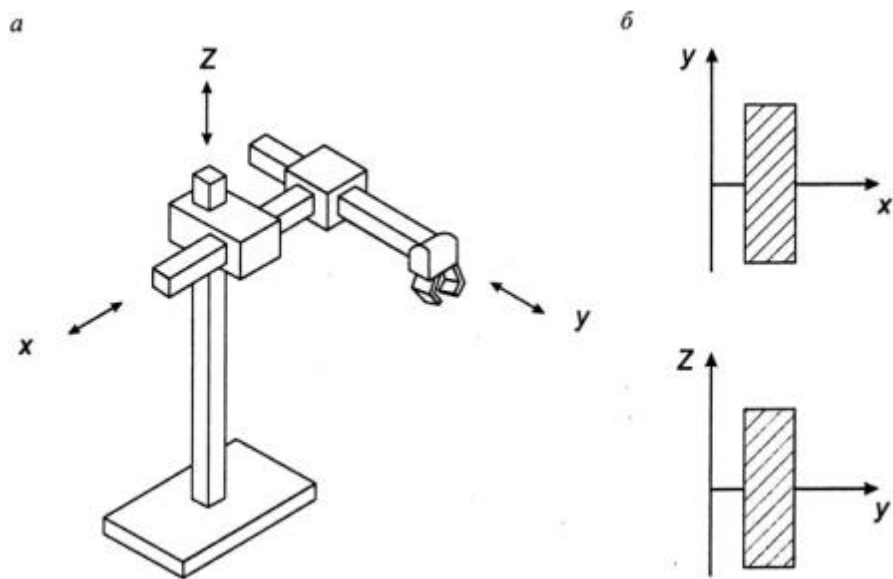


Рисунок 1.16 - Маніпулятор з прямокутною системою координат (а) і його робоча зона (б)

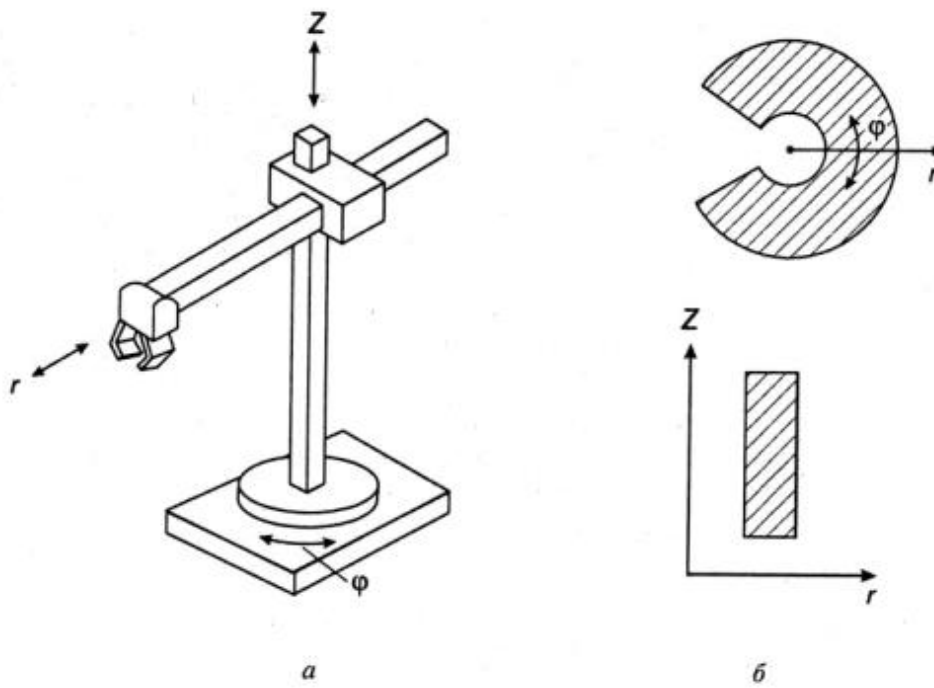


Рисунок 1.17 - Маніпулятор з циліндровою системою координат (а) і його робоча зона (б)

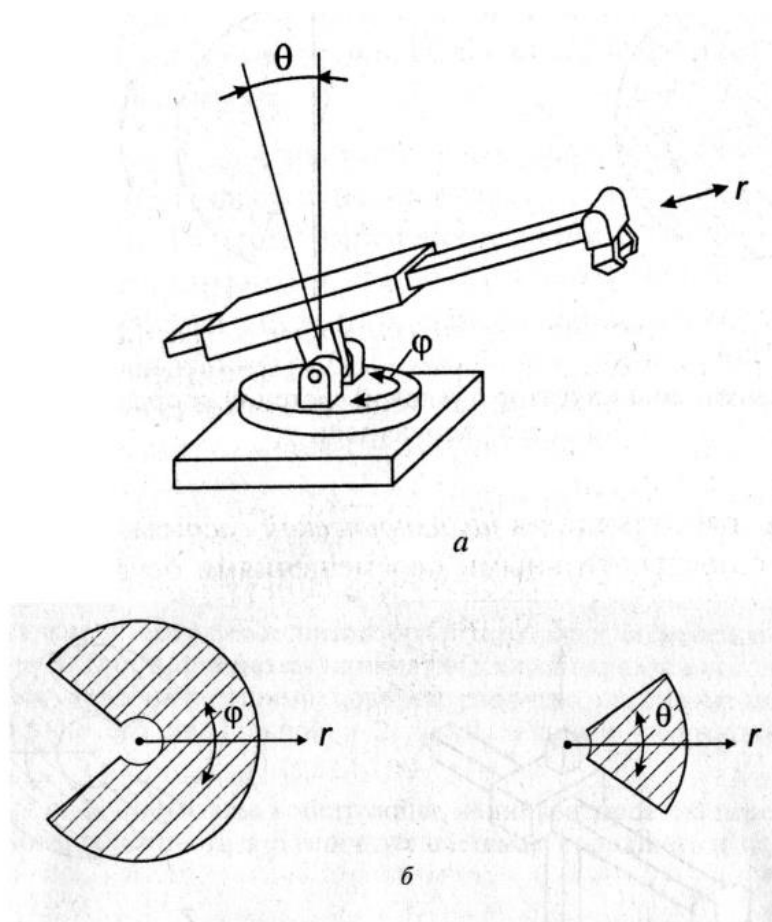


Рисунок 1.18 - Маніпулятор з сферичною системою координат (а) і його робоча зона (б)

Маніпулятор, зображений на рисунку 1.19, це маніпулятор з ангулярною системою координат. Він виконує лише кутові рухи, майже повністю вписується в габарити основи робота, що означає, що всі суглоби є шарнірними. Такі маніпулятори часто називають антропоморфними або шарнірними. Роботи з таким типом маніпулятора є найкомпактнішими, але складнішими в управлінні, оскільки вони можуть рухатися, не виходячи з габаритів основи робота.

Маніпулятори зображені на рисунку 1.16-1.19 має лише три рухомі діапазони руху. Але реальні роботи маніпуляторів мають набагато більшу мобільність і часто застосовують різні варіанти основних типажів системи координат, описаних раніше.

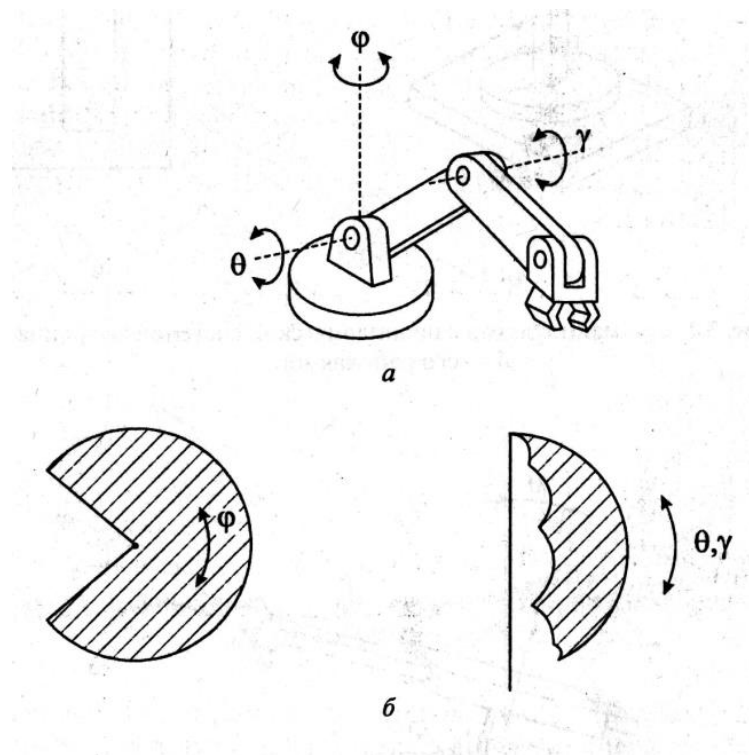


Рисунок 1.19 - Маніпулятор з кутковою системою координат (а) і його робоча зона (б)

Механічна структура сучасних маніпуляторів зазвичай представляє собою відкритий кінематичний ланцюг, який складається з рухомих ланок. Суміжні ланки утворюють кінематичні пари для обертання і поступального руху,

зазвичай з одним ступенем свободи. Також існують маніпулятори з більш складними механізмами, що складаються з паралельних ланок.

На рисунку 1.20 зображений один з варіантів кінематичної схеми з паралельно з'єднаними ланками, який використовується для підвищення жорсткості та маневреності маніпулятора. Рисунок 1.20,б відомий як тип "господиня". Рисунок 1.20,в представляє собою платформу Стюарта, що складається з двох платформ, з'єднаних кількома (щонайменше трьома) парами шарнірів, які можуть обертатися.

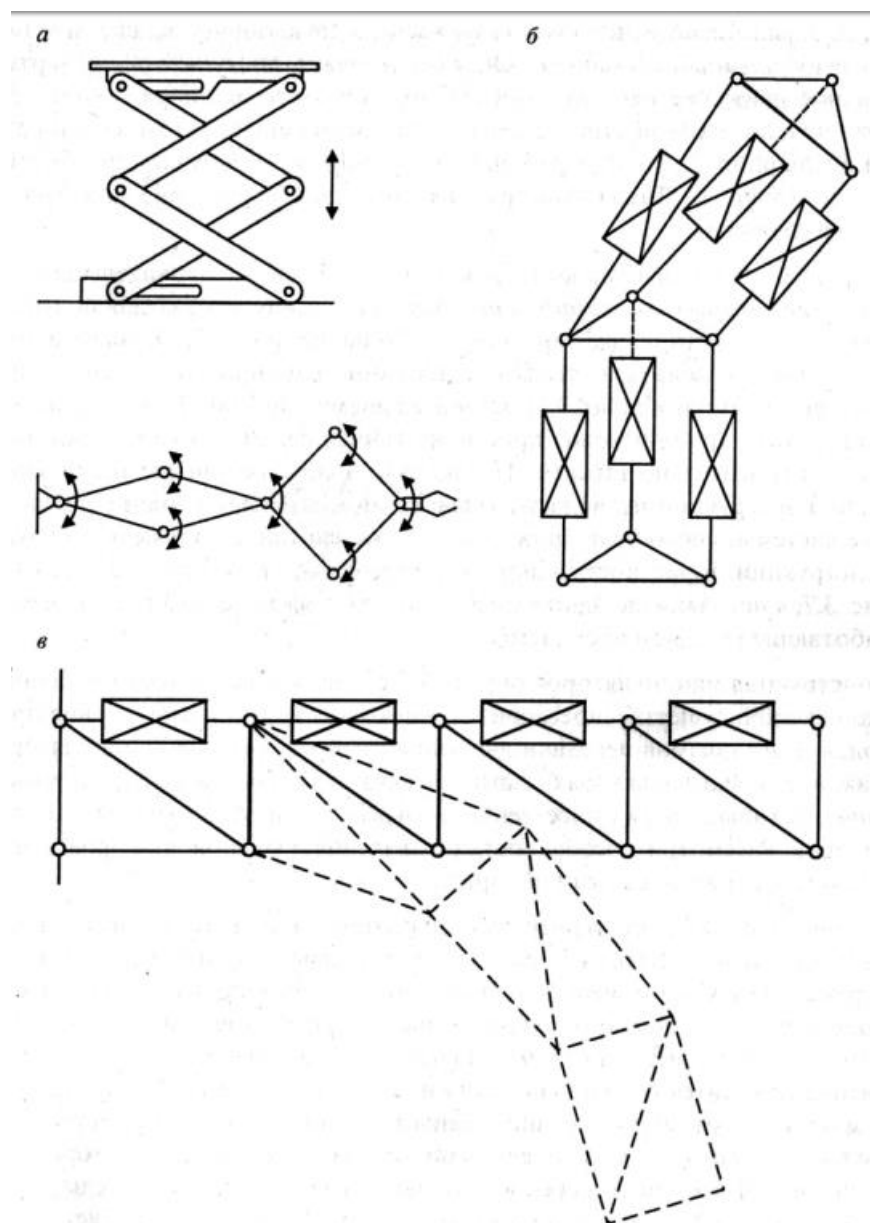


Рисунок 1.20 Варіанти паралельних кінематичних схем

Зміна довжини цих пар впливає на просторовий рух верхньої пластини.

Послідовне з'єднання кількох таких конструкцій дозволяє побудувати багатоступінчасту маніпуляційну систему, яка здатна приймати складні положення. Ці конструкції часто використовуються в верстатних системах для забезпечення складних зупинок. На рисунку 1.20 (в) показано ще один варіант такої кінематичної схеми, яка працює в одній площині. Конструкція маніпулятора визначається головним чином його кінематичним механізмом, а також типом і розташуванням приводного пристрою і механізму передачі руху від приводного пристрою до ланок маніпулятора.

2 СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

2.1 Загальні відомості про системи управління

Усі маніпулятори оснащені системою управління[6], яка використовує різні немеханічні приводи для руху. Система керування маніпуляторів складається з різних підсистем, що виконують різноманітні функції, такі як інформаційна передача, керування, безпека та ін. Існують три основні типи керування: циклічне, позиційне та контурне. Циклічне керування передбачає програмування послідовності рухів та умов їх початку і закінчення. При позиційному керуванні маніпулятор переміщується із однієї точки в іншу, задані програмою, а швидкість руху не контролюється. Контурне керування забезпечує рух вздовж певної траєкторії з заданою швидкістю. Керування контуром широко використовується в технічних процесах. Системи керування можуть використовувати однакові або різні принципи та елементи для циклічного, позиційного та контурного керування. Адаптивне керування, яке автоматично змінює програму керування, має особливе значення. Адаптація або налаштування систем керування полягає у визначенні конфігурації та положення об'єкта за допомогою спеціальних датчиків.

Об'єктом керування є виконавчий механізм (маніпулятор і, за необхідності, мобільний пристрій).

До виконавчих механізмів відносяться приводи. Інші роботизовані пристрої використовуються для формування та передачі керуючих сигналів до виконавчих механізмів маніпулятора. Контролер отримує сигнали та передає їх до виконавчих механізмів маніпулятора. Ручний контролер відіграє важливу роль у взаємодії з контролером. Ручні контролери використовуються для введення програми або налаштування системи. На платформу керування надходять сигнали про виконання різних операцій, відхилення від режиму роботи і можливі несправності. Слід зазначити, що на контролер

часто надходять сигнали від зовнішніх датчиків і систем, пов'язаних з керованим об'єктом (наприклад, системи управління технічним обслуговуванням обладнання). Контролер роботи також може бути підключений до комп'ютера, який координує роботу різних пристроїв, наприклад, всіх пристроїв на технологічній ділянці або лінії. Багаторівнева система управління з комп'ютером на верхньому рівні є типовим рішенням для сучасних гнучких виробничих систем.

2.2 Програмні середовища для управління маніпуляторами

Для керування промисловими маніпуляторами застосовуються різні програмні середовища залежно від конкретних вимог проекту та використовуваної технології. Ось кілька найпоширеніших програмних середовищ:

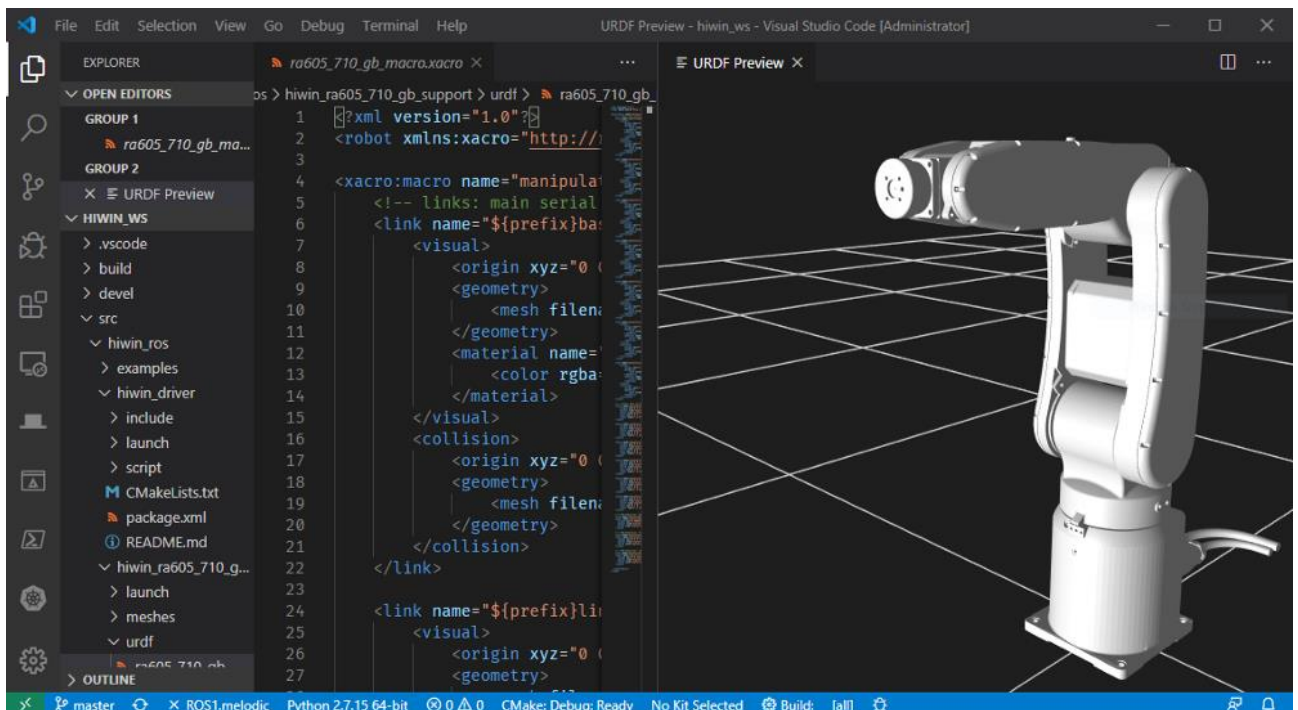


Рисунок 2.1 - Інтерфейс в програмі ROS

1)ROS (Robot Operating System): ROS є відкритою платформою для розробки програмного забезпечення для роботів. Це популярне середовище, що надає набір інструментів та бібліотек для керування роботами, включаючи промислові маніпулятори. ROS дозволяє створювати комплексні системи керування, взаємодіючи з декількома роботами та додатковими сенсорами. Воно надає інфраструктуру для обміну даними між різними компонентами системи та дозволяє легко перевикористовувати код.

2)PLC (Programmable Logic Controller): PLC є промисловим контролером, що використовується для керування автоматизованими системами, включаючи маніпулятори. Його програмування зазвичай виконується за допомогою спеціалізованих мов програмування, таких як Ladder Logic або Structured Text. PLC забезпечує надійне та швидке керування маніпуляторами у виробничому середовищі. Він може бути легко інтегрований з іншими пристроями та системами, що робить його популярним в автоматизації виробничих процесів.

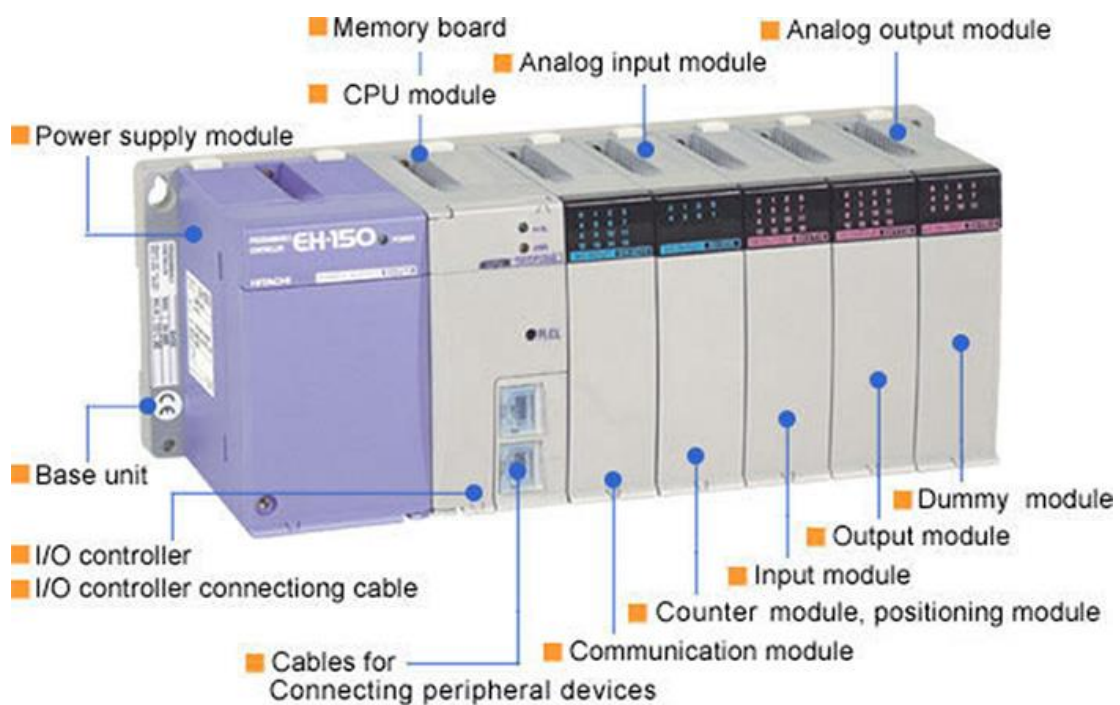


Рисунок 2.2 – Промисловий контролер PLC

3)MATLAB/Simulink: MATLAB і Simulink є потужними програмними середовищами для моделювання, симуляції та керування роботами, включаючи

маніпулятори. MATLAB є високорівневою мовою програмування, яка дозволяє швидко розробляти алгоритми керування. Simulink, з іншого боку, надає графічний інтерфейс для моделювання та симуляції роботів. MATLAB і Simulink дозволяють розробникам використовувати різні методи керування, такі як PID-регулятори, оптимальне керування, алгоритми штучного інтелекту тощо.

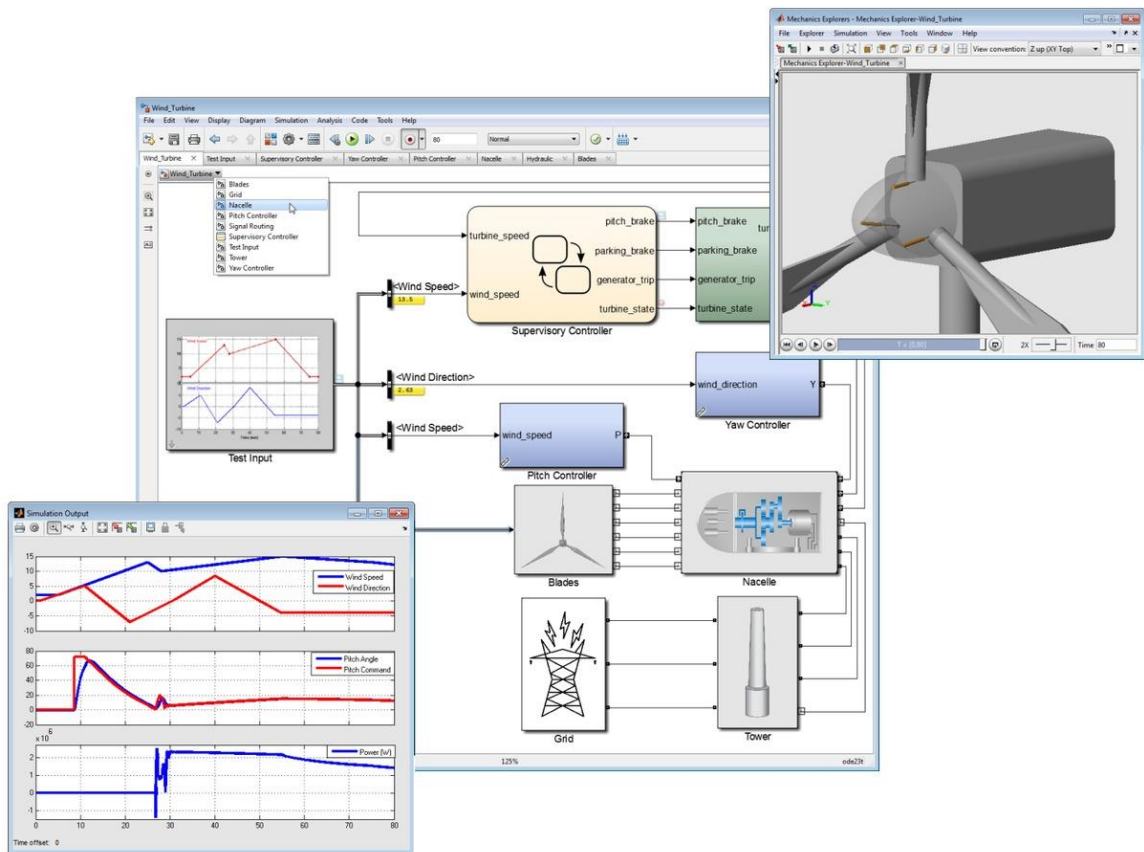


Рисунок 2.3 Інтерфейс у MATLAB/Simulink

4) LabVIEW: LabVIEW є програмним середовищем для розробки систем керування та вимірювальних пристроїв. Його головна особливість - графічне програмування. За допомогою блок-схем та графічного інтерфейсу, розробники можуть легко створювати програми для керування маніпуляторами та взаємодії з іншими пристроями. LabVIEW підтримує різноманітні інтерфейси та протоколи зв'язку, що дає йому гнучкість у виборі обладнання для інтеграції.

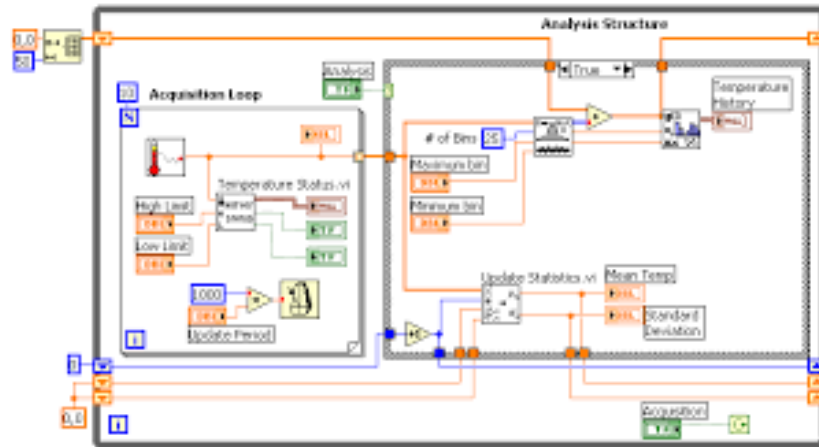


Рисунок 2.4 LabVIEW у вигляді блок-схем

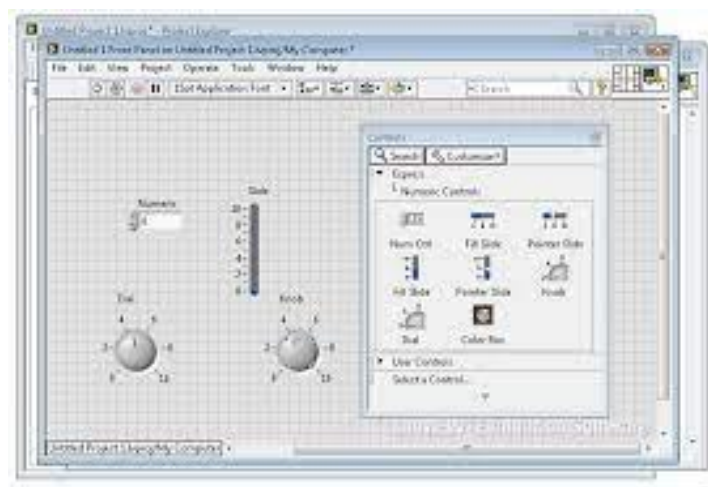


Рисунок 2.5 LabVIEW у вигляді графічного інтерфейсу

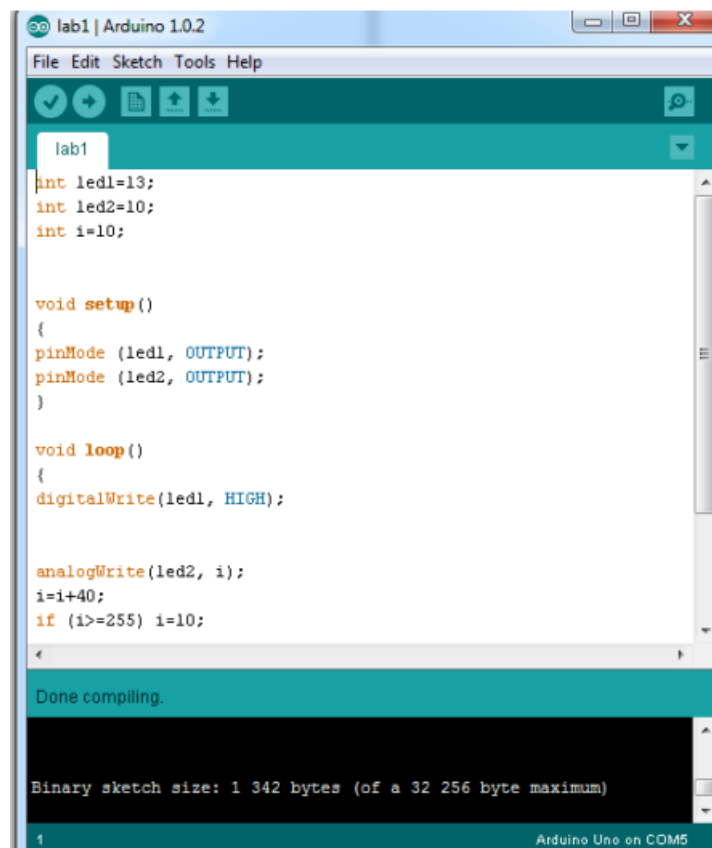
5) Arduino IDE (Integrated Development Environment) є популярним середовищем розробки, спеціально створеним для програмування мікроконтролерів Arduino. Воно є безкоштовним та доступним інструментом, особливо для початківців у світі мікроконтролерів. Arduino IDE використовує спеціальну мову програмування, що базується на мові C/C++. Ця мова є простою для вивчення та розуміння, що робить її добрим вибором для початківців. На ньому і зупинимось.

Arduino IDE має простий інтерфейс, який дозволяє легко створювати, редагувати та керувати проектами. Його основне вікно містить текстовий редактор для написання коду, а також інструменти для завантаження програм на

плату Arduino. Воно також має вбудовані бібліотеки та приклади коду, які спрощують розробку різних проектів. Arduino IDE дозволяє завантажувати скомпільовані програми безпосередньо на мікроконтролер Arduino.

Arduino IDE підтримує багато різних моделей плат Arduino та сумісних мікроконтролерів. Це означає, що розробники можуть вибрати плату, яка найкраще відповідає їх потребам та вимогам проекту. Крім того, Arduino IDE має велику спільноту розробників, яка активно внесла свій внесок у розширення функціональності середовища. Існують різні сторонні плагіни та розширення, які дозволяють розширити можливості Arduino IDE та використовувати його в різних типах проектів.

Середовище розробки Arduino складається із вбудованого текстового редактора програмного коду, області повідомлень, вікна виведення тексту (консолі), панелі інструментів з кнопками команд, що часто використовуються, і декількох меню. Для завантаження програм та зв'язку середовище розробки підключається до апаратної частини Arduino.



```
lab1 | Arduino 1.0.2
File Edit Sketch Tools Help
lab1
int led1=13;
int led2=10;
int i=10;

void setup()
{
  pinMode (led1, OUTPUT);
  pinMode (led2, OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(led1, HIGH);

  analogWrite(led2, i);
  i=i+40;
  if (i>=255) i=10;
}

Done compiling.

Binary sketch size: 1 342 bytes (of a 32 256 byte maximum)

1 Arduino Uno on COM5
```

Рисунок 2.6 Програмне забезпечення Arduino

Arduino IDE - це кросплатформене середовище створене за допомогою мови Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі керуючої програми в МК. Програма, написана в середовищі Arduino, називається скетч.

Основні елементи керування головного вікна Arduino IDE наступні:



- перевірка коректності синтаксису коду;



- перевірка синтаксису та завантаження коду на МК;



- іконки створення нового скетчу, відкриття і збереження відповідно;



- монітор послідовного порта (Serial-інтерфейс).

Загалом, Arduino IDE є потужним інструментом для розробки програмного забезпечення для плат Arduino. Він поєднує простоту використання з розширенням функціональності та підтримкою великої спільноти розробників. Це робить його популярним вибором для початківців та досвідчених розробників, які працюють з маніпуляторами на базі плат Arduino. Саме в ньому ми і будемо розробляти наш код.

Ці середовища можуть використовуватися окремо або в комбінації залежно від потреб проекту та вимог до функціональності.

3 РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ МАНІПУЛЯТОРА

3.1 Опис конструкції маніпулятора

Маніпулятор ангулярного [5] типу є одним з типів промислових маніпуляторів, який використовується для виконання різноманітних завдань у виробничих середовищах. Конструкція маніпулятора ангулярного типу базується на використанні кінематичних ланцюгів, що мають кутові з'єднання між сегментами.

Основні компоненти конструкції маніпулятора ангулярного типу включають:

Основа (Base) - є структурною платформою, на якій розташовані рухомі вісі та сегменти маніпулятора. Вона забезпечує стійкість та опору для всієї системи. Основа може мати різні форми та конструкції, включаючи прямокутну, круглу або вигнуту, залежно від конкретних вимог проекту та умов виробничого середовища. Деякі маніпулятори ангулярного типу можуть мати основу з мобільними колесами або ногами для переміщення по робочій зоні.

Вісі (Joints). Маніпулятор ангулярного типу використовує рухомі вісі для керування рухами сегментів. Вісі дозволяють маніпулятору змінювати положення та орієнтацію сегментів у просторі. Існують різні типи вісей, включаючи ротаційні вісі, що дозволяють обертати сегменти навколо своєї осі, та ковзаючі вісі, які дозволяють переміщати сегменти вздовж лінії. Кількість вісей може варіюватися від однієї до багатьох, залежно від потреб конкретного застосування.

Сегменти (Links) - є рухомими елементами, які з'єднуються між собою за допомогою вісей. Кожен сегмент може мати свою власну довжину, форму та масу. Матеріали, використувані для виготовлення сегментів, можуть варіюватися від металу до композитних матеріалів, залежно від вимог до

міцності та ваги системи. Сегменти можуть мати також вбудовані механізми для розширення функціональності маніпулятора, такі як захвати, інструменти або сенсори.

Ефектор (End Effector) - є кінцевим органом маніпулятора, який виконує функціональну дію на об'єкт або середовище. Він може бути виготовлений з різних матеріалів та мати різні форми, залежно від призначення. Ефектор може бути захватом для підняття, перенесення або фіксації об'єктів, інструментом для виконання різних операцій, таких як зварювання, свердління або фарбування, або сенсором для отримання інформації про оточуюче середовище.

Система керування. Відповідає за керування рухами маніпулятора. Вона може бути реалізована за допомогою спеціалізованого апаратного забезпечення, такого як мікроконтролери або програмованні логічні контролери (PLC), або з використанням комп'ютерних систем. Система отримує команди від оператора або від автоматичних алгоритмів та передає їх до вісей та сегментів маніпулятора за допомогою актуаторів. Вона також може отримувати зворотній зв'язок від сенсорів для контролю положення, сили або інших параметрів роботи маніпулятора.

В цілому, маніпулятор ангулярного типу є гнучким та розширюваним робочим інструментом, який може бути налаштований для виконання різних завдань у промислових середовищах. Його конструкція забезпечує можливість точного позиціонування та руху в тривимірному просторі, що робить його ідеальним для багатьох видів застосувань, включаючи збірку, пакування, монтаж, зварювання та інші завдання виробництва.

Для наглядного прикладу продемонструємо типову збірку маніпулятора зменшеного вигляду. В наш час знайти деталі не вимагає особливих зусиль. Отож він буде складатись з наступних компонентів:

Таблиця 3.1 – Компоненти маніпулятора

| Назва | Кількість, шт. |
|---------------------------------------|----------------|
| 1. Плата мікроконтролера | 1 |
| 2. Сервоприводи | 6 |
| 3. Корпус маніпулятора | 1 |
| 4. Контролер керування сервоприводами | 1 |

Таблиця 3.2 – Характеристика плати мікроконтролера

| | |
|----------------------------------|---|
| Мікроконтролер | ATmega328P |
| Вхідна напруга (рекомендована) | 7-12V |
| Робоча напруга | 5V |
| Аналогові входи | 6 |
| Дискретні (цифрові) входи/виходи | 14 (6 із них можуть використовуватися як ШІМвиходи) |
| Максимальний струм одного вивода | 40 mA |
| Тактова частота | 16 MHz |
| Флеш-пам'ять | 32 KB з яких 0.5 KB використовуються завантажувачем |
| SRAM | 2 KB |
| EEPROM | 1 KB |



Рисунок 3.1 – зовнішній вигляд плати Arduino Uno

Arduino Uno [9] є популярною та доступною платою Arduino, на якій можна використовувати різноманітні корисні пристрої. Вона дозволяє вирішувати більшість аматорських завдань в області мікроконтролерної техніки.

Відмінною особливістю Arduino [2] є наявність плат розширення, які називаються "шілдами" (shields). Ці шілди є додатковими платами, які можна накладати на Arduino, схоже на шари бутерброду, для надання йому нових функцій і можливостей. Наприклад, бувають різноманітні модулі розширення, які використовуються для керування потужними моторами (наприклад, Motor Shield), отримання координат та часу з супутників GPS (наприклад, модуль GPS), підключення до локальної мережі та Інтернету (наприклад, Ethernet Shield) та багато інших функцій.



Рисунок 3.2 - Принцип бутерброда

PCA9685 - це популярний ШІМ контролер, який часто використовується як плата розширення для платформи Arduino та інших мікроконтролерних пристроїв. Він пропонує 16 незалежних каналів ШІМ виходів з високою роздільною здатністю 12-біт, що дозволяє точне керування інтенсивністю світла, швидкістю обертання моторів, положенням сервоприводів та іншими параметрами.

PCA9685 підтримує інтерфейс зв'язку I2C, що дозволяє легко підключати його до Arduino або інших пристроїв через двохканальну шину. Він також має вбудовану можливість генерації внутрішнього тактового сигналу, що спрощує його використання. Завдяки PCA9685 можна забезпечити додаткові ШІМ виходи для керування багатьма пристроями одночасно, що розширює можливості вашої системи. Цей контролер є надійним і добре підтримується спільнотою, що дозволяє швидко почати використовувати його у ваших проектах.

Таблиця 3.3 - ШІМ контролер PCA9685

| | |
|-------------------|-----------|
| Розрядність | 12 |
| Кількість каналів | 16 |
| Частота | 24-1526Гц |

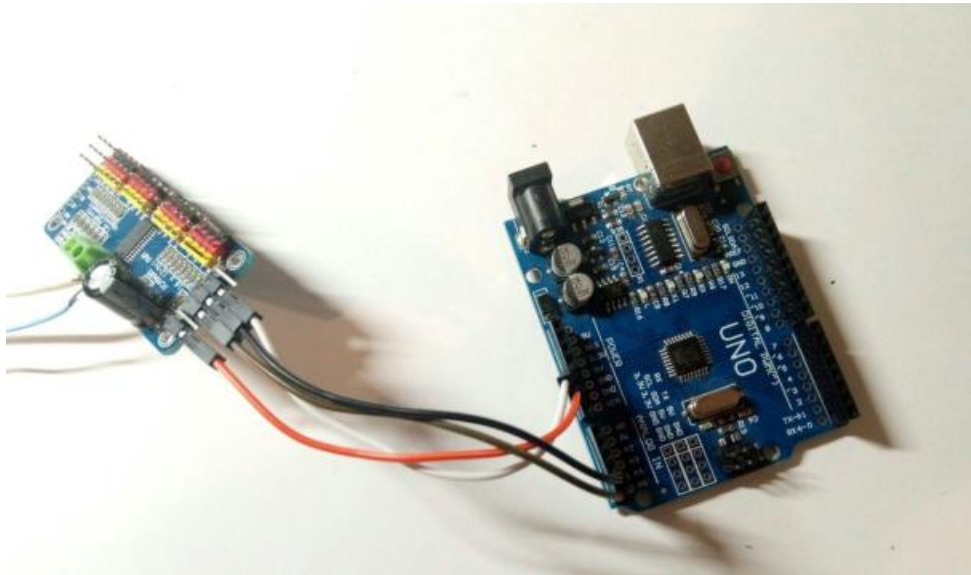


Рисунок 3.3 З'єднання Arduino Uno з PCA9685

Сервопривід (Servo) [8] - це електромеханічний пристрій, який використовується для керування механічними системами та забезпечення точного контролю положення або кута обертання. Він складається з електродвигуна, редуктора та зворотного зв'язку, який дозволяє зчитувати поточне положення вала. Сигнал керування передається за допомогою модуляції ширини імпульсу, де ширина пульсу визначає бажане положення сервоприводу.

Сервоприводи характеризуються великою точністю, стабільністю і простотою у використанні. Вони можуть бути програмно керованими та мають можливість повороту на обмежений кут, зазвичай від 0 до 180 градусів. Це робить їх ідеальними для використання у проектах, де потрібно забезпечити точне керування механізмами.

Таблиця 3.4 - Характеристики сервоприводу MG996R

| | |
|---------------------|------------------|
| Розміри | 40x19x43мм |
| Вага | 55г |
| Швидкість обертання | 0,13сек/60 град |
| Кут повороту | 120 ⁰ |



Рисунок 3.4 – сервопривід MG996R

Корпус і його збірка дуже варіюється адже можна скласти по детально або ж купити готове рішення. Він забезпечує захист внутрішніх компонентів маніпулятора від зовнішніх впливів, таких як пил, волога або механічні пошкодження. Корпус також може виконувати роль рами, яка надає жорсткість і стійкість всій системі маніпулятора. Додатково, корпус може мати вбудовані кріпильні елементи, які дозволяють легко монтувати маніпулятор на робочій поверхні або іншій структурі. Він також може мати відкриті пази або отвори для прокладання кабелів і проводів, що полегшує організацію системи електроживлення та зв'язку.



Рисунок 3.5 - Корпус у розібраному стані



Рисунок 3.6 Складений маніпулятор

3.2 Розробка коду для керування маніпулятором

Написання якісного коду є важливим аспектом розробки програмного забезпечення. Що включає в себе читабельність, супроводжуваність, ефективність та надійність коду. Читабельний код полегшує розуміння та спільну роботу розробників. Супроводжуваний код спрощує розробку та підтримку програми. Ефективний код забезпечує оптимальну продуктивність. Надійний код стійкий до помилок та забезпечує стабільну роботу програми. Написання якісного коду покращує якість проекту та сприяє успішній розробці маніпуляційних систем.

Створюємо код у вже раніше згаданому Arduino IDE, з використанням бібліотеки `iarduino_MultiServo.h` [10].

```
#include <iarduino_MultiServo.h>

iarduino_MultiServo servo;

void setup() {

    servo.servoSet(1, SERVO_SG90); // Встановлюємо тип сервоприводу для
каналу 1

    servo.servoSet(2, SERVO_SG90); // Встановлюємо тип сервоприводу для
каналу 2

    servo.begin();
```

```
Serial.begin(9600); // Ініціалізуємо послідовний порт зі швидкістю  
передачі 9600 біт/с
```

```
setInitialPositions(); // Встановлюємо початкові положення сервоприводів  
}
```

```
void loop() {  
  if (Serial.available() > 0) {  
    String input = Serial.readStringUntil('\n'); // Зчитуємо вхідний рядок до  
символу '\n' (нового рядка)
```

```
    processCommand(input); // Обробляємо вхідну команду  
  }  
}
```

```
void setInitialPositions() {  
  // Встановлюємо початкові положення сервоприводів  
  servo.servoWrite(1, 0); // Канал 1 - 0 градусів  
  servo.servoWrite(2, 90); // Канал 2 - 90 градусів  
  
  delay(1000); // Затримка для стабілізації положення  
}
```

```
void processCommand(String command) {  
  command.trim(); // Видаляємо зайві пробіли з початку і кінця команди
```



```
if (command.startsWith("MOVE")) {  
    int servoNum = command.substring(4, 5).toInt(); // Отримуємо номер  
сервоприводу з команди  
    int targetAngle = command.substring(6).toInt(); // Отримуємо кут  
повороту з команди  
    moveServo(servoNum, targetAngle, 1000); // Рухаємо сервопривід до  
вказаного кута протягом 1 секунди  
}  
}
```

```
void moveServo(int servoNum, int targetAngle, int duration) {  
    int startAngle = servo.servoRead(servoNum);  
  
    for (int i = 0; i <= duration; i += 20) {  
        int angle = map(i, 0, duration, startAngle, targetAngle);  
        servo.servoWrite(servoNum, angle);  
        delay(20);  
    }  
}
```

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз вимог безпеки праці під час роботи автоматизованих і роботизованих систем

Автоматичне управління широко застосовується на складних та небезпечних виробництвах. Сучасне виробниче підприємство - це повністю автоматизовані об'єкти, де всі операції виконуються без участі людини, а оператор лише задає на початку виробничого процесу необхідні параметри і стежить за справністю апаратури. Автоматичні системи управління виробництвом здійснюють безперервний контроль і точне регулювання параметрів процесу, таких як температура в камері, тяга в топці, або швидкість руху стрічкового конвеєра, що забезпечує високу якість продукції, що випускається. Важливу роль також відіграє висока безпека експлуатації обладнання, особливо це стосується обладнання, що працює на газі, адже в більшості нещасних випадків на виробництві головну роль відіграє людський фактор.

Однак в даний час в промислових системах керування спостерігаються дві тенденції: поступовий перехід засобів керування на стандарт Ethernet та протоколів TCP/IP і поява специфічного промислового шкідливого ПЗ, що атакує конкретні типи промислових систем керування. Ця тенденція в індустрії серйозно вплинула на пов'язаність процесів всередині систем керування в бік їх ускладнення. Побудова мереж АСУ ТП за принципом офісних мереж призвела до міграції вразливостей останніх в промисловий IT-контур. ПЛК та інші засоби керування польового рівня, разом з підключенням до Ethernet, стали відкриті до нових джерел загроз, які не було враховано на стадії їх розробки. В результаті серйозно зросла кількість збоїв і простоїв обладнання через наслідки дії шкідливого ПЗ і кібератак.

З одного боку, Ethernet-мережа, що пронизує собою наскрізь всі рівні підприємства, – це гнучкий і зручний інформаційний простір, що дозволяє вивести процеси автоматизації на новий рівень. З іншого боку, шкідливе ПЗ нового типу тепер може втрутитися в виробничий процес і нанести як великі матеріальні збитки діяльності самого підприємства, так і викликати катастрофічні наслідки з людськими жертвами. Це вимагає ретельного вивчення питань забезпечення безпечних умов праці на таких підприємствах.

При розробці промислових роботів, що застосовуються в автоматизованих системах, та засобів захисту працівників та обслуговуючого персоналу повинні враховуватися специфічні властивості залучених у виробничий процес промислових роботів, пов'язані з особливостями конструкції, виконуваних функцій, динаміки та алгоритмів управління переміщенням робочих органів. Якщо ж технологія буде зроблена неправильно, то її корисність у плані безпеки буде дорівнювати нулю і така технологія буде завдавати більше шкоди, ніж користі. Самі засоби захисту повинні бути розроблені з урахуванням необхідності знаходження обслуговуючого персоналу в робочому просторі промислових роботів. Слід врахувати, що обслуговуючий персонал бере участь у включенні, програмуванні, а також обслуговуванні та контролі промислових роботів та автоматизованого виробництва загалом.

Сама ж оцінка безпеки роботизованих та автоматизованих виробництв повинна включати:

- визначення необхідності доступу обслуговуючого персоналу до робочого простору для програмування, обслуговування або контролю за роботою автоматизованих та роботизованих виробництв;
- визначення шкідливих виробничих факторів та джерел їх виникнення при роботі на автоматизованих та роботизованих виробництвах;
- оцінку ступенів ризику виникнення різних небезпечних ситуацій на автоматизованих та роботизованих виробництвах;
- вибір основних методів захисту при розробці промислових роботів;

- проведення комплексної оцінки безпеки та ухвалення рішення про достатність застосованих засобів захисту для забезпечення мінімального ризику для осіб та обслуговуючого персоналу.

Слід врахувати, що є деякі вимоги до конструкції промислових роботів зокрема і до автоматизованих і роботизованих виробництв загалом: Промислові роботи, призначені для експлуатації в умовах підвищеної запиленості та температури повітря (або навколишнього середовища), наявності вибухонебезпечних сумішей та інших несприятливих умов виробничого середовища, повинні мати захисне виконання, що відповідає умовам експлуатації.

До функцій забезпечення безпеки можуть належати:

- обмеження діапазону переміщення
- аварійне та запобіжне відключення
- переміщення промислових роботів на зниженій швидкості
- захисне блокування.

Також слід пам'ятати, що конструкція автоматизованих та роботизованих виробництв повинна унеможлилювати травмування осіб та обслуговуючого персоналу. Якщо ж ця вимога з яких-небудь причин не може бути виконана, необхідно захистити робочий простір захисними огороженнями.

Пульти та органи управління також повинні відповідати деяким вимогам:

- пульти та органи управління повинні відповідати двом документам: Наказ № 62 Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання, та Наказ № 67 Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників

- органи управління повинні мати позначення чи написи, які пояснюють призначення органів управління - органи управління повинні забезпечувати безпомилкову установку необхідного режиму

- будь-який орган управління повинен мати доступний орган аварійного відключення. Ті виробництва, які можуть керуватися на відстані, повинні мати пристрій перемикачів на локальне керування.

Основними причинами, що формують небезпечні, критичні та аварійні ситуації при експлуатації робототехніки та автоматизованих систем є:

- непередбачені рухи виконавчих пристроїв промислових роботів при налагодженні, ремонті, під час навчання та виконання керуючої програми;

- раптова відмова у роботі промислового робота або технологічного обладнання, спільно з яким він працює;

- хибні (ненавмисні) дії оператора або наладчика під час налагодження та ремонту при роботі в автоматичному режимі;

- доступ людини в робочий простір робота, що функціонує в режимі виконання програми;

- порушення умов експлуатації промислового робота або роботизованого технологічного комплексу;

- порушення вимог ергономіки та безпеки праці при плануванні комплексу та ділянки.

Встановлено, що найбільш травмонебезпечною ситуацією є прямий контакт людини з машиною, коли людина виконує такі операції, як перепрограмування, налагодження, ремонт, встановлення, зняття інструменту, монтаж, змащення або чищення, виявлення причин та усунення несправностей. Найбільшого ризику бути травмованими під час виконання вище перелічених операцій піддаються працівники таких професій: слюсарі-монтажники, збирачі, електротехніки, наладчики, майстри дільниць.

4.2 Розробка схем формування небезпечних подій

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону роботи маніпулятора внаслідок відсутності там необхідного огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому на неї діють небезпечні виробничі фактори. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначають, як небезпечну. Вона виникає внаслідок порушення регламентованого режиму роботи обладнання, нормативних вимог охорони праці, норм експлуатації споруд і будівель тощо. Таким чином, внаслідок небезпечних дій працюючий проникає в небезпечну зону, в якій потрапляє у небезпечні обставини та умови.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища, як травми, аварії та катастрофи мають дуже близькі механізми формування та виникнення, їх описують за допомогою схем.

На виробництві, внаслідок конструктивного недоліку, відсутність огороження (HU_1) може призвести до потрапляння робітника в зону переміщення маніпулятора (HU_2), яка, в свою чергу призводить до виникнення аварійної ситуації (зіткнення частин маніпулятора або вантажу з робітником (НС)). Загальний вигляд описаного потоку випадкових небезпечних подій такий:

$$HU_1 \rightarrow HU_2 \rightarrow HC \rightarrow A, T.$$

Існуюча небезпечна умова (або така, що може виникнути) (НУ) може спонукати працюючого до допущення ним помилок у процесі роботи або інших небезпечних дій (НД), внаслідок чого виникне небезпечна ситуація (НС). Потік подій і залежність між ними у цьому випадку можна зобразити у вигляді:

$$HU \rightarrow HD \rightarrow HC \rightarrow A, T.$$

В умовах виробництва можливі такі випадки, коли одна допущена помилка працюючого (оператора) може потребувати вжиття швидких заходів, а якщо знову буде допущена помилка, це призведе до виникнення небезпечної ситуації. Схема потоку випадкових подій має вигляд:

$$\text{НД}_1 \rightarrow \text{НД}_2 \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

або
$$\text{НД}_1 \rightarrow \text{НД}_2 \rightarrow \text{НД}_3 \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

Наслідками таких подій може бути аварія і/або травма. Прикладом виникнення потоку таких подій є робота маніпулятора засобу. Допущена оператором перша помилка - перевищення вантажопідйомності (НД_1), може викликати зміну траєкторії переміщення (НД_2), внаслідок чого виникає втрата стійкості маніпулятора та падіння вантажу (НС). При цьому може бути пошкоджений маніпулятор (А) і/або травмований оператор (Т).

4.3 Рекомендації щодо покращення безпеки праці

Основним принципом забезпечення безпеки автоматичних та автоматизованих виробничих процесів чи виробництв є виключення чи зведення до мінімуму ймовірності (соціально-допустимого ризику) виникнення небезпечних ситуацій, що формують нещасні випадки та інші небажані явища. Іншим, не менш важливим принципом забезпечення безпеки автоматизованих виробництв є принцип економічної доцільності. Враховуючи, що абсолютна безпека - це лише бажаний стан будь-якого виробничого процесу при сучасному рівні розвитку техніки, необхідно обирати такі технології, форми організації робіт та засоби захисту, які б при мінімально можливих витратах на охорону праці досягали необхідного рівня ризику безпеки.

Реалізація зазначених принципів передбачає:

- необхідність використання методу системного аналізу при виявленні НШВФ та небажаних наслідків контакту людини з ними;

- оцінку стану (рівня) безпеки процесу;
- вибір та обґрунтування кількісних показників рівня безпеки проєктованого або експлуатованого виробництва для розробки загальних та спеціальних вимог;
- забезпечення виконання розроблених вимог при проєктуванні та експлуатації.

Для захисту людини від небезпек застосовують два методи:

- забезпечення неможливості проникнення людини в робочу зону за наявності джерел небезпеки;
- застосування спеціальних пристроїв та пристроїв, які безпосередньо захищають людину від будь-якої небезпеки, що становить реальну загрозу для її життя або здоров'я.

Перший метод полягає у розробці, виборі та застосуванні огорожувальних, блокуючих, попереджувальних, сигналізуючих пристроїв або систем, що забезпечують недоступність людини до джерела небезпеки. Другий метод заснований на використанні систем дистанційного керування або пристроїв, що автоматично відключають джерела енергії або зупиняють рух виконавчих механізмів та інших елементів у разі появи людини в межах робочої зони.

Аналіз та правильне використання відомостей про розподіл, динаміку та причини виробничого травматизму при експлуатації автоматичних ліній дозволяють уникнути повторення помилок при проєктуванні, створенні та експлуатації нових автоматичних ліній, комплексів та виробництв.

5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

5.1. Визначення капітальних витрат

Капітальні вкладення включають гуртову ціну техніки, витрати на доставку, монтаж, а також відповідні капітальні вкладення, пов'язані з експлуатацією техніки.

Капітальні вкладення визначаються як:

$$K = C_b + K_c, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де C_b - балансова вартість техніки;

K_c - супутні капіталовкладення, пов'язані з її експлуатацією.

Прийнявши, що $K_c = 0$ отримаємо:

$$C_b = C_{\text{гурт}} \cdot K_b + K_c, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

де $C_{\text{гурт}}$ - гуртова ціна маніпулятора;

K_b - коефіцієнт, який враховує витрати на доставку і монтаж техніки ($K_b=1,1$).

Для порівняння обираємо дві маніпуляційні системи:

- промисловий робот-маніпулятор AR100A-270 ($C_p = 375000$ грн).

- пневматичний кран-маніпулятор з ручним керуванням МСП – 250 ($C_k = 110900$ грн).

$$C_{bp} = 375000 \cdot 1,1 = 412500, \text{ грн.}$$

$$C_{bk} = 110900 \cdot 1,1 = 121990, \text{ грн.}$$

5.2. Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності і якості машиногодин роботи маніпуляторів за рік

Річну експлуатаційну продуктивність порівнюваних варіантів техніки визначають стосовно однакових технологічних процесів. У іншому випадку, при визначенні економічного ефекту розглядається робота обох систем під час перевантаження вантажу в умовах складу. Річну експлуатаційну продуктивність визначається за формулою:

$$П = П_{год} \cdot T_r \cdot K_{пр}, \text{ од. прод/рік} \quad (5.3)$$

де $П_{год}$ - експлуатаційна середня годинна продуктивність;

$K_{пр}$ – коефіцієнт, який враховує простої;

T_r - тривалість роботи техніки в році.

Годинна експлуатаційна продуктивність розраховується за формулою:

$$П_{год} = П_{тг} \cdot K_t \quad (5.4)$$

де $П_{тг}$ - технічна годинна продуктивність;

K_t - коефіцієнт переходу від технічної до експлуатаційної продуктивності ($K_t = 0,7$).

$$P_{ггод} = 300 \cdot 0,7 = 210 \text{ шт/год.}$$

$$P_{кгод} = 180 \cdot 0,7 = 126 \text{ шт/год.}$$

Число машино-годин роботи техніки за рік визначаємо за формулою:

$$T_r = \frac{T_{\phi}}{\frac{1}{t_{зм} \cdot K_{зм}} + D_p + \frac{d_{п}}{T_{об}}} \quad (5.5)$$

де T_{ϕ} - річний фонд робочого часу, дні;

$t_{зм}$ - тривалість зміни, година ($t_{зм} = 8$ год);

$K_{зм}$ - коефіцієнт змінності;

d_p - простої під час ТО і ремонту, які припадають на 1 годину роботи, дні/рік;

d_P - тривалість одного перебазування, дні;

$T_{об}$ - тривалість роботи техніки на одному об'єкті, год.

Кількість ТО і ремонтів визначають по формулі:

$$d_T = \frac{T_p}{t_{pTO}} - 1, \quad (5.6)$$

$$T_p = 5000 \cdot 1,3 = 6500 \text{ год.}$$

$$d_T^p = d_T^{HK} = \frac{6500}{960} - 1 = 6 \text{ днів}$$

$$d_{TO2} = \frac{T_p}{t_{rTO2}} - d_T - 1 \quad (5.7)$$

$$d_{TO2} = \frac{6500}{240} - 6 - 1 = 20 \text{ днів}$$

$$d_{TO1} = \frac{T_p}{t_{rTO1}} - d_T - d_{TO2} - 1 \quad (5.8)$$

$$d_{TO1} = \frac{6500}{60} - 6 - 1 - 20 = 81 \text{ день}$$

Міжремонтний цикл визначається за формулою:

$$T_{\text{ц}} = \frac{T_p}{K_{\text{год}}} \quad (5.9)$$

де, T_p - ресурс до капітального ремонту;

$K_{\text{год}}$ - коефіцієнт переходу мото-годин в машино-години.

$$T_{\text{ц}}^6 = T_{\text{ц}}^H = \frac{6500}{0,525} = 12381 \text{ маш.-год.}$$

Простої в усіх видах технічного обслуговування і ремонтів рівні:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^M (d_{pi} + d_{ni}) \cdot d_i}{T_{\text{ц}}} \quad (5.10)$$

де d_{pi} - тривалість перебування техніки в i -му ремонті або технічному обслуговуванні;

d_{pi} - тривалість очікування ремонту, доставка в ремонт і назад;

d_i - число i -х ремонтів і техобслуговування за міжремонтний цикл;

$T_{ц}$ - міжремонтний цикл;

m - число різновидів ремонтів і техобслуговувань за міжремонтний цикл.

$$D_{pp} = \frac{81 \cdot 0,5 + 20 \cdot 2 + 6(16+10) + 1(35+20)}{12381} = 0,0229 \text{ дні/маш.-год.}$$

$$D_{pk} = \frac{81 \cdot 0,7 + 20 \cdot 1,6 + 6(16+10) + 1(35+20)}{12381} = 0,0249 \text{ дні/маш.-год.}$$

$$T_r^k = \frac{247}{\frac{1}{822} + 0,0249 + \frac{1}{3200}} = 9346 \text{ год.}$$

$$T_r^p = \frac{247}{\frac{1}{822} + 0,0229 + \frac{1}{3200}} = 10111 \text{ год.}$$

$$P^k = 126 \cdot 9346 \cdot 0,6 = 706557,6 \text{ шт/рік;}$$

$$P^p = 210 \cdot 10111 \cdot 0,8 = 1698648 \text{ шт/рік;}$$

Коефіцієнт зміни продуктивності нового крана в порівнянні з базовим:

$$\beta = \frac{1698648}{706557,6} = 2,4$$

5.3. Розрахунок річних поточних витрат

Поточні витрати складаються з суми витрат

$$B = B_a + B_{зп} + B_e + B_{то,тр} + B_{зо} \quad (5.11)$$

де B_a - витрати на амортизацію фондів;

$B_{зп}$ - витрати на заробітну плату оператора;

B_e - витрати на енергоресурси;

Вто,тр - витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт машин;

Взо - витрати на змінну оснастки.

Витрати на амортизацію фондів визначаються за формулою:

$$B_a = \frac{Цб \cdot H_a}{100} \quad (5.12)$$

де Цб - вартість машини;

На - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення;

На = 12%;

На' = 6% - норма амортизаційних відрахувань на реновацію фондів;

На'' = 6% - норма амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт фондів.

$$B'_{ap} = B''_{ap} = \frac{375000 \cdot 6}{100} = 22500 \text{ грн.}$$

$$B'_{ak} = B''_{ak} = \frac{110900 \cdot 6}{100} = 6654 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату операторів:

$$B_{зп} = K_p \cdot \lambda \cdot T_r \cdot \sum_1^N C_{Ti} \quad (5.13)$$

де K_p - середній районний коефіцієнт ($K_p = 1,07$);

λ - коефіцієнт, що враховує премії, ($\lambda = 1,3$);

n - число робітників, зайнятих управлінням машиною в одну зміну, $n = 1$;

C_{Ti} - годинна тарифна ставка робочого VI розряду, ($C_{Ti} = 6$ грн.).

$$B_{зп}^k = 1,07 \cdot 1,3 \cdot 9346 \cdot 6 = 78001,7 \text{ грн}$$

$$B_{зп}^p = 0 \text{ грн}$$

Затрати на енергоресурси $В_e$ включає в себе витрати на всі види енергії, які витрачаються в процесі роботи обладнання. Затрати електроенергію визначаємо за формулою:

$$C_{ен} = \alpha_E \cdot W \cdot Ц_E, \text{ грн} \quad (5.14)$$

де α_E - питомі витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу, кВт · год/кг;

W - витрати електроенергії, кВт · год;

$Ц_E$ - ціна за 1 кВт/год; ($Ц_E = 2,64$ кВт/год.)

Для роботизованого маніпулятора W_p можна приймати рівною 15,5 кВт.

Для крана-маніпулятора W_k можна приймати рівною 12,2 кВт.

Для процесу складування величину α_E можна приймати на рівною 0,3 ... 0,4 кВт · год/шт.

$$В_{ек} = 0,3 \cdot 12,2 \cdot 2,64 \cdot 9346 = 90656,2 \text{ грн}$$

$$В_{ep} = 0,33 \cdot 15,5 \cdot 2,64 \cdot 10111 = 124365,3 \text{ грн}$$

Витрати на усі види ремонтів включають:

- витрати на технічне обслуговування, поточний ремонт;
- витрати на капітальний ремонт.

Оскільки витрати на капітальний ремонт були підраховані вище і вони рівні:

$$В_{кр}^k = 6654 \text{ грн.}, \quad В_{кр}^p = 22500 \text{ грн.}$$

Зробимо розрахунок витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт:

$$В_{то} = C_{зп} + C_{рм} \quad (5.15)$$

де $C_{зп}$ - заробітна плата ремонтних робітників (грн.);

$C_{рм}$ - вартість ремонтних матеріалів і запасних частин, грн.

$$C_{зп} = \frac{T_r}{T_y} \cdot \lambda \cdot C_p \cdot \sum d_i - r_i \quad (5.16)$$

де T_y - тривалість міжремонтного циклу, год;

λ - коефіцієнт преміальних доплат ремонтним робітникам, $\lambda = 1,3$;

C_p - годинна тарифна ставка ремонтних робітників, ($C_p = 5$ грн.);

d_i - кількість і-х ремонтів і технічних обслуговуванні за міжремонтний цикл;

r_i - трудомісткість і-х видів технічних обслуговуванні і ремонтів, люд/год.

$$C_{зп}^б = \frac{9346}{12381} \cdot 1,3 \cdot 5 \cdot (6 \cdot 1260 + 20 \cdot 36 + 81 \cdot 10) = 44601 \text{ грн}$$

$$C_{зп}^н = \frac{10111}{12381} \cdot 1,3 \cdot 5 \cdot (6 \cdot 1260 + 20 \cdot 36 + 81 \cdot 10) = 48252 \text{ грн}$$

$$C_{рм} = C_{зп} \cdot K \quad (5.17)$$

де K - коефіцієнт переходу від заробітної плати до витрат на запасні частини і матеріали ($K = 2$).

Тоді

$$V_{то}^б = 44601 + 44601 \cdot 2 = 133803 \text{ грн.}$$

$$V_{то}^{нб} = 48252 + 48252 \cdot 2 = 144756 \text{ грн.}$$

Витрати на змінне оснащення (до якої відносять матеріали і комплектуючі вироби, які в процесі роботи періодично замінюють і ремонтують) визначаються за формулою:

$$V_{зо} = 0,01 \cdot Ц_б \quad (5.18)$$

де $0,01$ - коефіцієнт переходу від вартості машини до вартості змінного оснащення;

$Ц_б$ - балансова ціна машини, грн.;

$$B_{30}^k = 0,01 \cdot 110990 = 1109,9 \text{ грн}$$

$$B_{30}^p = 0,01 \cdot 375000 = 3750 \text{ грн}$$

Тоді сума витрат буде рівна:

$$B_k = 6654 + 90656,2 + 78001,7 + 133803 + 1109,9 = 310224,8 \text{ грн}$$

$$B_p = 22500 + 124365,3 + 144756 + 3750 = 295371,3 \text{ грн}$$

5.4. Визначення економічного ефекту

Економічний ефект за термін служби визначається як різниця повних приведених витрат по порівнюваних варіантах техніки:

$$E = (Z_y^b - Z_y^h) \cdot B^h \cdot F \cdot A^h \quad (5.19)$$

де Z_y^b , Z_y^h - питомі приведені витрати по порівнюваних варіантах;

B^h - річна експлуатаційна продуктивність;

F - коефіцієнт сумовування річних ефектів за термін служби техніки.

За розрахунковий рік приймаємо річний рік серійного виробництва $F=1,5965$.

A^h - річний обсяг виробництва.

$$Z_y = \frac{B + E_n \cdot K}{\Pi^b(\Pi^h)} \quad (5.20)$$

де B - річні поточні витрати;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_n = 0,15$;

K - капітальні вкладення;

Π_k , Π_p - річна експлуатаційна продуктивність по крану і роботу.

$$Z_y^k = \frac{310224,8 + 0,15 \cdot 110990}{706557,6} = 0,46$$

$$Z_y^p = \frac{295371,3 + 0,15 \cdot 375000}{1698648} = 0,21$$

$$E = (0,46 - 0,21) \cdot 1,5965 \cdot 1698648 = 261968,72 \text{ грн}$$

Економічний ефект від впровадження роботизованого маніпулятора становитиме 261968,72 грн.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі проведено детальний аналіз проблематики промислових маніпуляторів. Було розглянуто типи та класифікацію маніпуляторів, виявлено їх переваги та недоліки в контексті використання у виробничих процесах. Проаналізовано приклади застосування промислових маніпуляторів із акцентом на їх рухову систему.

Досліджено системи управління маніпуляторами, включаючи загальні відомості про такі системи та програмні середовища, що використовуються для керування маніпуляторами. Розглянуто процес розробки керуючої програми для маніпулятора, включаючи опис конструкції маніпулятора та розробку відповідного коду.

В ході дослідження було виявлено, що промислові маніпулятори мають широкі можливості застосування у виробничих процесах, проте їх використання пов'язане з певними викликами. Важливим аспектом є створення системи маніпулятора, яка повинна забезпечувати точний і керований рух об'єктів маніпулювання в просторі залежно від конкретних вимог і обмежень. Тому може використовуватись різна кількість рухів та різна будова самого маніпулятора.

Результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення промислових маніпуляторів, розробки більш ефективних систем управління та розробки програмних середовищ. Керуюча програма, розроблена в рамках даної роботи, є важливим кроком у покращенні функціональності та ефективності маніпуляторів у виробничих процесах.

У майбутньому, подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення рухової системи маніпуляторів, розробку нових алгоритмів управління та програмних засобів, а також впровадження промислових маніпуляторів у широкий спектр виробничих галузей.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Дорохов М.Ю. Конспект лекцій «Роботи та маніпулятори», Донбаська державна машинобудівна академія. Краматорськ, 2019 р., 53 с.
2. Петраков Ю.В. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки / Ю.В. Петраков, П.П. Мельничук // Навч. посібник для студентів. Житомир: ЖДТУ. 2001. 194 с.
3. Кузнєцов Ю.М. Верстати з ЧПК та верстатні комплекси: / Навч. посібник К.: ТОВ «Замок»; Тернопіль, 2001. Т.1. 198 с., Т.2 . 298 с.
4. Дудюк Д.Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, М.М. Мисик / Навч. посібник. Львів: «Магнолія плюс», видавець СГД ФО В.М.Піча, 2005. – 278с.
5. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Вид. ДУ « Львівська політехніка», 2000.- 380 с.
6. О. Бішоп, Книга розробника роботів, Київ, “МК-Пресс”, 2010 о, 400 с.
7. Промислові маніпулятори. - URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Промисловий_робот (дата звернення: 8.05.2023).
8. Будова та принцип роботи сервоприводу. - URL: <https://radiomodel.in.ua/budova-ta-printsip-roboti-servoprivodu/> (дата звернення: 20.05.2023).
9. Офіційний сайт Arduino. - URL: <https://www.arduino.com>. (дата звернення: 11.05.2023).
10. Програмування ардуїно. - URL: <https://doc.arduino.ua/ua/prog/> (дата звернення: 16.05.2023).
11. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Навчальний посібник «Мехатроніка»: Київ, 2012 р., 357 с.

12. ДСТУ 1.5:2015. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів. URL: https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/DSTY_1_5_2015.pdf (дата звернення: 09.06.2023).

13. ДСТУ 3582-97. Інформація та документація. Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила. URL: <https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/dokument2.pdf> (дата звернення: 09.06.2023).

14. Електробезпека [Текст]: підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.

15. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч.І. 620 с.

16. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2015. Ч.ІІ. 224 с.

17. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15#Text>(дата звернення: 09.05.2023).

18. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів: Сполом. 2022. 376 с.