

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедри Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка функціональної моделі маніпулятора на базі ABB ROBOT STUDIO  
(тема)

Виконала:

Студентка 4 курсу, групи АКТСІ-20-3  
Бендеберя Марія Олександрівна  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Бронніков А.І.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

2024 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедри Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма системна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Бендебері Марії Олександрівні

(прізвище, ініціали)

1. Тема роботи Розробка функціональної моделі маніпулятора на базі ABB  
ROBOT STUDIO

Затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 545 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 07.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Комп'ютерне моделювання

Кінематичне моделювання переміщення

Модель робота ABB

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі аналіз сучасного стану  
інтеграції маніпуляторів у виробничі процеси; вибір та обґрунтування платформи,  
моделі робота; розробка кінематичної моделі, проектування та написання  
програмного забезпечення для керування маніпулятора; оформлення роботи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій слайди у форматі Power Point у кількості 11 слайдів з розширенням .pptx

6. Консультанти розділів роботи

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	20.04.2024	виконано
2	Опрацювання літератури за темою роботи.	22.04.2024	виконано
3	Виконання розділу 1 Аналіз літератури за темою	25.04.2024	виконано
4	Виконання розділу 2 Вибір та обґрунтування технічних засобів	01.05.2024	виконано
5	Виконання розділу 3 Розробка функціональної моделі маніпулятора	05.05.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2024	виконано
7	Оформлення презентації	28.05.2024	виконано
8	Подання роботи на рецензію	07.06.2024	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	12.06.2024	виконано
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	13.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 11.05.2024 р.

Студентка \_\_\_\_\_ Бендеберя М.О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Бронніков А.І.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 с., 33 рис., 5 табл., 18 джерел за переліком посилань, 2 додатка

### ABB, ROBOT STUDIO, МАНІПУЛЯТОР, РОБОТ, ВИРОБНИЦТВО, КІНЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Об'єкт розробки – управління промисловим роботом, що використовується для створення автоматизованої системи.

Предмет розробки – функціональна модель маніпулятора, яка включає в себе алгоритми керування, побудову траєкторії рухів і взаємодію з виробничим середовищем на базі ABB ROBOT STUDIO.

Методи розробки засновані на використанні методів математичного аналізу та теорії автоматичного керування для моделювання роботи промислового робота, методи моделювання - для перевірки роботи моделі промислового робота в середовищі ABB ROBOT STUDIO.

Метою роботи є симуляція функціональної моделі маніпулятора, яка дозволить ефективно виконувати дії в реальному часі, використовуючи проведені математичні розрахунки та програмне забезпечення ABB ROBOT STUDIO.

У роботі було проведено аналіз сучасного стану інтеграції маніпуляторів у виробничі процеси, а також обрано та обґрунтовано платформу розробки та модель робота, була виконана розробка кінематичної моделі та згодом проектування та написання програмного забезпечення для керування маніпулятора.

## ABSTRACT

Explanatory note: 77 p., 33 figures, 5 tables, 18 sources according to the list of references, 2 appendices

ABB, ROBOT STUDIO, MANIPULATOR, ROBOT, PRODUCTION OF MANUFACTURING, KINEMATIC MODEL

Object of development - the control of an industrial robot used to create an automated system.

Subject of development - a functional model of the manipulator, which includes control algorithms, trajectory planning, and interaction with the production environment based on ABB RobotStudio.

Development methods are based on the use of mathematical analysis and automatic control theory for modeling the operation of an industrial robot, and simulation methods for verifying the robot model's performance in the ABB RobotStudio environment.

The aim of the work is to simulate a functional model of the manipulator that can effectively perform actions in real-time, using the mathematical calculations and ABB RobotStudio software.

The purpose of the work is to develop a model and software module of a functional manipulator robot based on ABB Robot Studio. The work involves analyzing the current state of integration of manipulators into production processes, selecting and justifying the development platform and the robot model, developing a kinematic model, and subsequently designing and writing the software for controlling the manipulator.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	7
Вступ .....	8
1 Аналіз літератури за темою .....	10
1.1 Аналіз використання маніпуляційних роботів на виробництві .....	10
1.2 Методи керування маніпуляційними роботами .....	18
1.3 Розгляд аспектів кінематики промислових роботів .....	23
2 Вибір і обґрунтування технічних засобів .....	27
2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення та моделі робота для подальшої розробки .....	27
2.2 Розрахункова частина .....	34
3 Розробка функціональної моделі маніпулятора .....	46
3.1 Опис ідеї проекту .....	46
3.2 Розробка виробничої середовища .....	467
3.3 Розробка функціональної моделі .....	488
3.4 Охорона праці .....	60
Висновки .....	62
Перелік джерел посилання .....	64
Додаток А Код програми .....	66
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	70

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- БАР – Британська Асоціація Роботів;  
ДХ – параметр Денавіта-Хартенберга;  
ЄД – електродвигун;  
МЧ – механічні частини;  
СУ – система управління.

## ВСТУП

Виробничий процес стрімко змінюється з часом. Багато чинників впливають на бажання покращити лінії продукції. На сьогодні відкривається багато нових підходів до реалізації виробництва, що призводить до підвищеного інтересу до тем автоматизації, роботизованих систем. При відкритті нового виробничого процесу фабрики відповідно будуть аналізувати виробничі ринки, наповнювати системи кращими доступними продуктами.

Впровадження роботизованих систем у виробництво стало можливим завдяки низці важливих факторів. Збільшення потужності комп'ютерів та розвиток спеціалізованого програмного забезпечення дозволили створювати більш складні та ефективні роботизовані системи. Також як і використання сенсорів та алгоритмів штучного інтелекту дозволило роботам сприймати навколишнє середовище, аналізувати дані та краще підлаштовуватися під відповідні задачі яких ми прагнемо досягти.

Варто бути уважним стосовно економічних чинників, що надають нам все більше можливостей. Як ми знаємо, потреба в збереженні конкурентоспроможності змушує підприємства впроваджувати новітні технології, включаючи роботизовані системи. З часом, вартість роботів і супутнього обладнання значно зменшилася, що зробило їх доступними для більшості підприємств, а за рахунок використання роботизованих систем із плином часу, проявляється можливість зменшити витрати на виробництво та підвищити продуктивність.

Прагнення підприємств покращити процес з'являється не в усіх випадках із моменту відкриття виробництва, таким чином, з плином часу постає питання щодо покращення процесу та продукту, розширення можливостей, у ці моменти з'являються думки щодо автоматизації системи чи покращення окремих її частин. Таким чином, постає питання, як краще встановити автоматизовані ділянки таким чином, щоб не зупиняти виробничий процес, покращити його ефективність та

зробити це все у вигідні умови й з можливістю контролювати у майбутньому перебіг виробництва загалом.

Метою роботи є симуляція функціональної моделі маніпулятора, яка дозволить ефективно виконувати дії в реальному часі, використовуючи проведені математичні розрахунки та програмне забезпечення ABB ROBOT STUDIO.

Об'єкт розробки – управління промисловим роботом, що використовується для створення автоматизованої системи.

Предмет розробки – функціональна модель маніпулятора, яка включає в себе алгоритми керування, побудову траєкторії рухів і взаємодію з виробничим середовищем на базі ABB ROBOT STUDIO.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів керування виробничого процесу;
- провести підбір елементної бази;
- розробити модель робота та програмний модуль для нього;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1].

Дана атестаційна робота пройшла апробацію у журналі ADED-2023(2) [2] та ADED-2024(1) [3].

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

### 1.1 Аналіз використання маніпуляційних роботів на виробництві

Створення робота – це міждисциплінарний процес, який включає в себе розрахунки та аналізи засновані на вивченні механічної інженерії, електроніки, програмування, робототехніки та інших предметів. Важливо враховувати потреби та обмеження конкретного завдання, на якому базується створення робота, для досягнення бажаних результатів. Саме поняття індустріального робота описала Британська Асоціація Роботів (БАР), та зазначила: “Індустріальний робот – це програмований девайс який створений щоб здійснювати маніпуляцію та пересування певних об’єктів, інструментів або спеціальних мануфактурних елементів застосовуючи при цьому програмовані рухи розроблені за для досягнення поставлених задач” [4]. На сьогодні роботи можуть виконувати багато різних функцій та можуть бути застосовані у більшості сфер нашого життя та побуту. Роботи можуть бути як запрограмовані на виконання певних дій, так і наділені штучним інтелектом за допомогою якого вже будуть надаватися команди та буде виконуватися опрацювання певних цілей та задач. В залежності обраної сфери в яку ми хочемо помістити роботизовану систему ми обираємо потрібні нам параметри та аналізуємо усі необхідні характеристики виробників щоб отримати бажаний результат.

Різні аспекти застосування промислових роботів розглядаються, як правило, в рамках типових проектів промислового виробництва: виходячи з наявних вимог, вибирається оптимальний варіант, в якому конкретизований необхідний для даної задачі тип роботів, їх кількість, а також вирішуються питання інфраструктури харчування (силові підводки, подача охолоджуючої рідини – у разі використання рідинного охолодження елементів оснащення) та інтеграції у виробничий процес (забезпечення заготовками/напівфабрикатами і повернення готового продукту в автоматичну лінію для передачі наступній технологічній операції). Промислові

роботи у виробничому процесі здатні виконувати основні і допоміжні технологічні операції. До основних технологічних операцій належать операції безпосереднього виконання формоутворення, зміни лінійних розмірів заготовки та ін. До допоміжних технологічних операціям ставляться транспортні операції в тому числі операції з завантаження та вивантаження технологічного обладнання. Серед найпоширеніших дій, виконуваних промисловими роботами, можна назвати наступні:

- завантаження/розвантаження технологічних машин, верстатів;
- маніпулювання деталями (наприклад: укладання, сортування, транспортування і орієнтація);
- переміщення деталей і заготовок від верстата до верстата або від верстата до систем змінних піддонів ;
- зварювання швів і точкове зварювання;
- збірка механічних і електричних деталей;
- збірка електронних деталей;
- фарбування;
- укладка кабелю;
- виконання операцій різання з рухом інструменту по складній траєкторії та інші [5].

Таким чином, в залежності від поставленої задачі загалом формуються методи, засоби та системи виконання поставленої задачі. В нашому випадку, будуть розглядатися промислові системи для роботів маніпуляторів для переміщення об'єктів із однієї виробничої лінії на іншу, або ж на фасування для фінального пакування.

Аналізуючи достатньо великий перелік прикладів застосування систем роботів ми можемо прийти до висновку, що такі системи є популярними у використанні та дають можливість полегшувати для промислових робіт цілий перелік задач, виконуючи його автоматично або з можливістю безпосередньо заданого методу керування. Такий вид робіт завжди буде актуальним, оскільки не

залежно від сфери використання, роботизовані системи зможуть підлаштовуватися автоматично, залежно від запиту.

З впровадженням новітніх сенсорних технологій та штучного інтелекту промислові роботи здатні виконувати складні маніпуляційні завдання, які раніше були неможливими. Технологічні досягнення суттєво розширили можливості роботів у виробничих процесах. Завдяки вдосконаленим сенсорам роботи можуть точно визначати положення і стан об'єктів, що дозволяє їм маніпулювати з високою точністю та надійністю. Штучний інтелект, у свою чергу, забезпечує роботам здатність адаптуватися до змінних умов, вчитися з досвіду і приймати рішення в реальному часі. Ці можливості роблять роботів незамінними у складних виробничих завданнях, таких як складання, сортування, пакування та інші маніпуляційні операції. Інтеграція цих передових технологій не тільки підвищує ефективність виробництва, але й покращує якість продукції, знижує витрати на робочу силу і підвищує загальну безпеку виробничих процесів. Таким чином, використання маніпуляційних роботів, оснащених сучасними сенсорами та інтелектуальними системами, стає критично важливим для досягнення конкурентоспроможності та інноваційності в сучасній промисловості [6].

У сучасних виробничих середовищах робототехнічні системи відіграють ключову роль у виконанні різноманітних завдань, таких як складання, обробка матеріалів і пакування. Інтеграція промислових роботів від провідних виробників, таких як АВВ, суттєво покращила продуктивність, якість і безпеку на виробництві. Роботи АВВ широко використовуються в різних галузях промисловості завдяки їхній надійності, гнучкості та можливості виконувати складні маніпуляційні операції. У книзі Куберо підкреслюється, що роботи АВВ здатні адаптуватися до змінних умов виробництва, що робить їх незамінними у сучасних виробничих середовищах. Це дозволяє підприємствам швидко реагувати на зміну вимог ринку та забезпечувати високу якість продукції. Завдяки впровадженню новітніх сенсорних технологій та штучного інтелекту, маніпуляційні роботи АВВ здатні виконувати завдання з високою точністю і надійністю. Сем Куберо зазначає, що ці технологічні досягнення значно

розширили можливості роботів у виробничих процесах. Сенсори дозволяють роботам точно визначати положення і стан об'єктів, що дозволяє їм маніпулювати з високою точністю. Штучний інтелект забезпечує роботам здатність адаптуватися до змінних умов, вчитися з досвіду і приймати рішення в реальному часі [7].

Ще з початку 2001 року, технологічний університет Наньянг почав використовувати модульні роботизовані системи (рис. 1.1). Метою цього проекту став розвиток модульної роботизованої робочої клітини, яка здатна виконувати різноманітні завдання, такі як збірка деталей, передача матеріалу та легка механічна обробка (шліфування, полірування та видалення задирок), шляхом швидкої заміни багаторазових компонентів робочої клітини. У цій системі робочі елементи складаються зі стандартних взаємозамінних модульних компонентів, таких як приводи, жорсткі ланки, інструменти для кінців рукоятки, світильники та датчики. Ці компоненти можна швидко зібрати та конфігурувати.

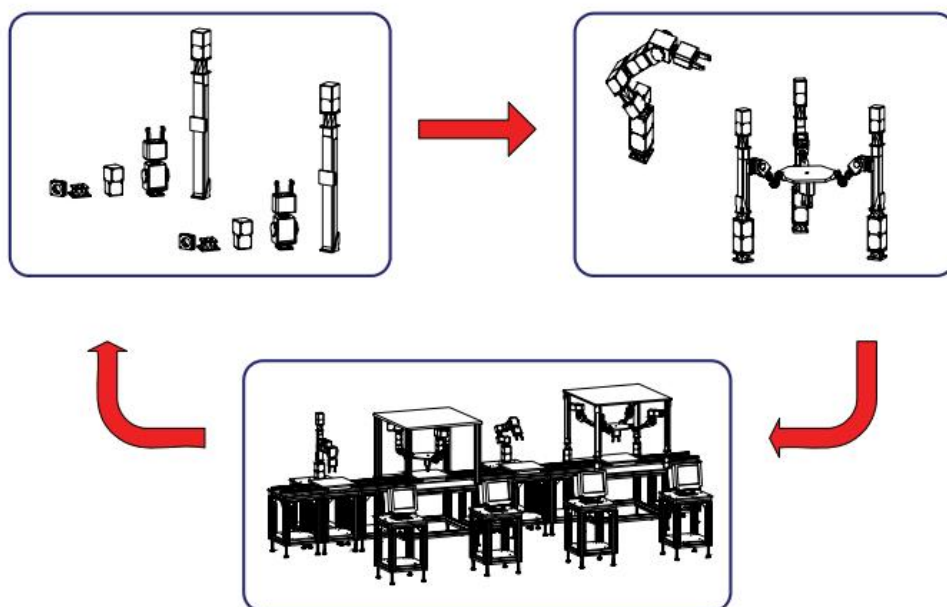


Рисунок 1.1 – Комплектація роботизованої системи

Робоча клітина зазвичай збирається для виконання конкретного виробничого завдання або процесу. Відповідні компоненти програмного забезпечення для інтелектуального керування та моделювання потім

переконфігуруються відповідно до зміни конфігурації робочої клітини. Технічне обслуговування і оновлення системи спрощуються шляхом заміни несправних або застарілих компонентів. Перетворення виробничої лінії з одного продукту на інший може бути дуже швидким, щоб не відставати від ринку, що швидко змінюється (рис. 1.2).

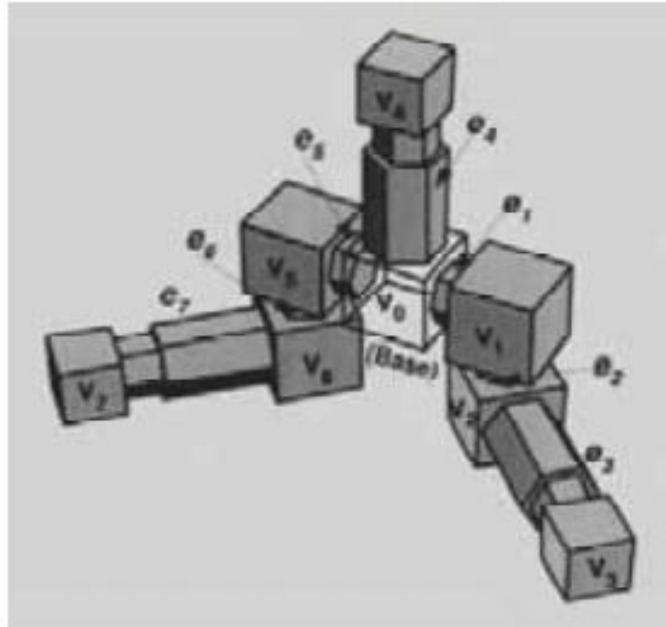


Рисунок 1.2 – Модульні роботи

Таким чином, модульні процеси стали запорукою для майбутніх розробок у світі компонування та обробки нових з'єднань для кращої роботи роботів. Використання модульних з'єднань стало дуже легким у використанні, оскільки програмування і його розрахунки вимагали б лише зосередження на основних ротаційних елементах. Переходячи з цього, можна бачити на рисунку 1.3, що модульні з'єднання поєднуються відповідно і можуть бути контрольовані кінематичними зв'язками та ротаційними елементами координат.

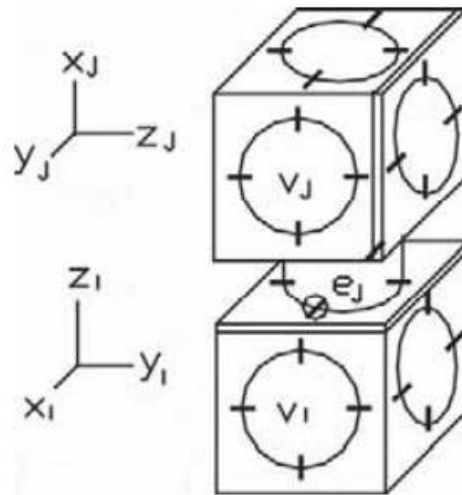


Рисунок 1.3 – Модульні з'єднання

Такі системи можуть бути відображені у багатьох варіаціях і приймати відповідно вражаючі системи, що можуть бути підлаштовані до необхідної нами задачі. Компонування теоретичних зв'язків при правильній побудові може формувати робота, що буде набагато ефективніше впливаючи із даного метода розробки (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Модульні з'єднання робота

Як приклад, відображаючи складовими елементами та розрахунковими ротаціями один із фінальних варіантів (рис. 1.5), ми завжди спираємося на те, що нам необхідно буде в подальшій розробці. Відображення необхідних елементів дасть нам змогу координувати роботів набагато легшим для нас методом [8].

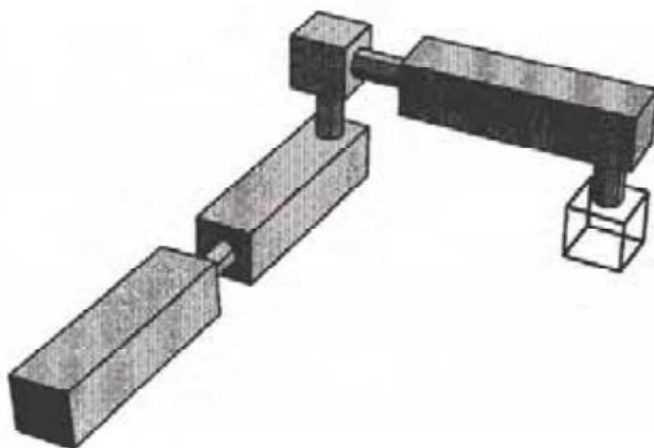


Рисунок 1.5 – Можливі з'єднання фінальних положень робота

На сьогодні, цей процес виходить набагато легше, базуючись на вже відтворених оптимальних варіантах, але для нас все-одно залишається важливим аналіз ротаційних елементів, для кращого розуміння системи і вибору необхідного для задачі робота, підстановки до нього правильних артикуляцій (рис. 1.6) [9].

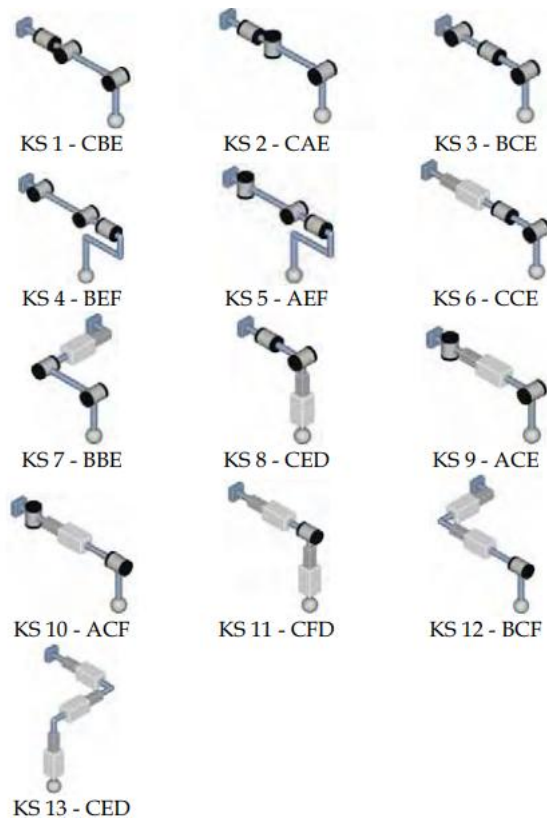


Рисунок 1.6 – Відтворені моделі артикуляцій робота

Як приклад важливості прийняття правильних рішень щодо вибору робота, ми можемо представити рисунок 1.7. На цьому рисунку відображені запрограмовані переміщення роботів, що є можливим, лише при правильному підборі орієнтації, моделі робота та правильній компоновці системи. Такі комплексні ідеї можуть бути використані не лише у легких керуваннях за допомогою двох роботів, а й за допомогою трьох (рис.1.8), чотирьох, тощо [10].

В таких випадках постає питання, а як тоді краще зкомпонувати та запрограмувати їх, щоб переміщення відбувалося синхронно. На жаль, в таких випадках, пульти управління та компоновані часткові переміщення не є влучними рішеннями для обробки задачі. Оцінюючи складність співпрацювання та важливість точності, для нас найкращим вирішенням буде побудова наміченого шляху. ABB Robotics дуже швидко просунулася у цьому шляху, використовуючи новітні системи для гармонійного поєднання систем виробництва та послідовної роботи роботів (рис. 1.9).

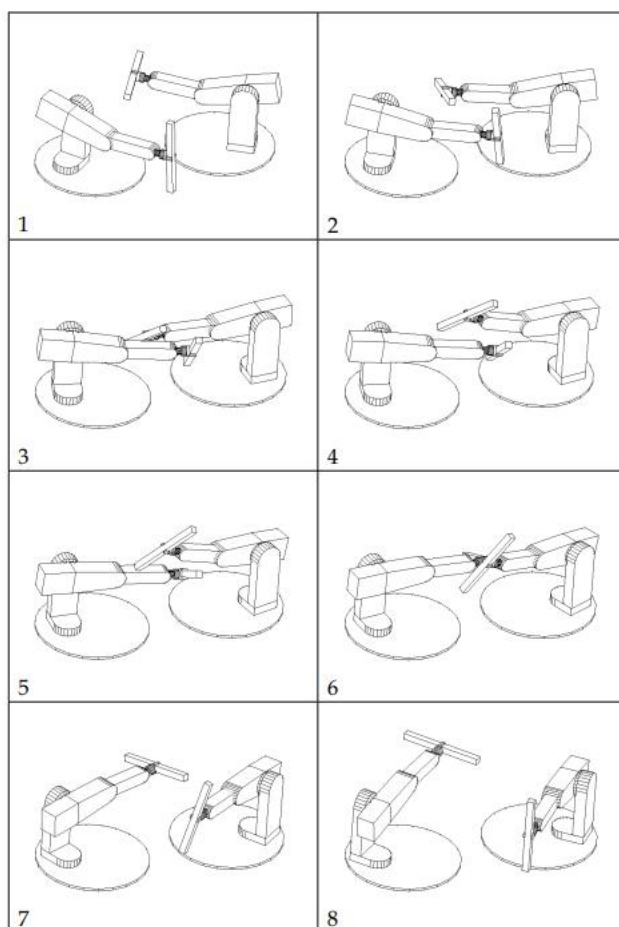


Рисунок 1.7 – Приклади співпраці двох роботів

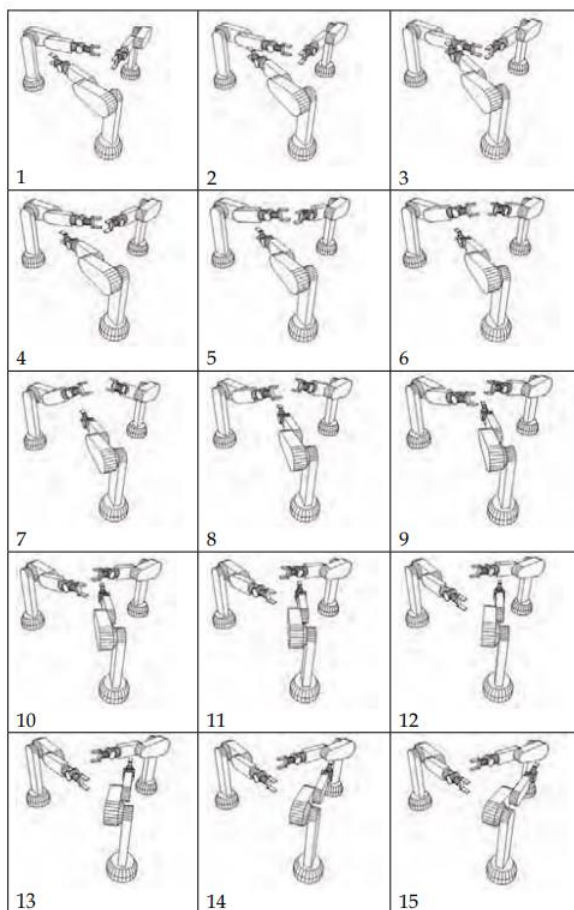


Рисунок 1.8 – Приклади співпраці трьох роботів

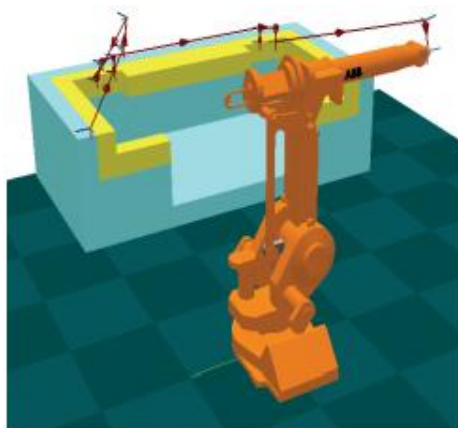


Рисунок 1.9 – Приклади співпраці трьох роботів

## 1.2 Методи керування маніпуляційними роботами

До основних методів керування роботів відносять:

– некерований, (для приведеного в рух робочого органу машини);

- керований, (для приведенного в рух робочого органу машини зі змінною швидкістю або з різними значеннями постійної швидкості);
- програмно-керований, (для керування виконавчим органом по заданій програмі);
- слідкуючий (що автоматично відпрацьовує переміщення робочого органу з певною точністю у відповідності довільної зміни сигналом, що задає);
- адаптивний (привід, параметри якого пристосовуються до змінених умов роботи).

Структурну схему електромеханічного привода розглянемо на прикладі замкненої схеми (рис. 1.10) [11].

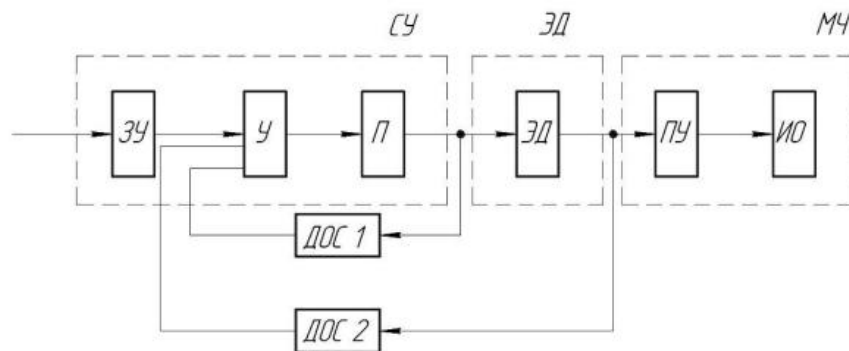


Рисунок 1.10 – Система замкненого електромеханічного привоу

Замкнений електромеханічний привід включає: систему управління (СУ), що складається із пристрою, що задає (ЗУ), підсилювача (У) і перетворювача (П), електродвигуна (ЭД) і механічної частини (МЧ), що полягає з передатного пристрою (ПУ) – редуктора виконавчого органу й датчиків зворотного зв'язку (ДОС 1) і (ДОС 2).

Таким чином, варто враховувати побудову системи, можливості обраного середовища розробки та робота для кращого сприйняття можливостей застосування того чи іншого методу керування.

Розглядаючи представлені методи можна побачити, що кожен із них в більшості випадків обирається керуючись на поставлену задачу. Відповідно, некерований тип роботів підходить для випадків, коли необхідно простий,

безперервний рух робочого органу машини, як у випадку транспортерів або конвеєрів. Керований тип керування використовується там, де потрібно змінювати швидкість руху робочого органу або мати різні значення постійної швидкості, наприклад, у випадку рухомих робочих органів зі змінними режимами виробництва. Програмно-керований метод застосовується для автоматизованого виконання роботи за певною програмою, що дозволяє точно керувати рухом робочого органу. Слідкуючий метод керування забезпечує автоматичне відпрацювання переміщення робочого органу з високою точністю відповідно до змін сигналу. Адаптивний привід, у свою чергу, має параметри, які автоматично пристосовуються до зміни умов роботи, що дозволяє підтримувати ефективність при зміні зовнішніх умов. Такий розгляд методів керування роботами допомагає обрати належний метод в залежності від конкретних потреб та умов виробництва.

Використання програмно-керovanого методу керування має кілька важливих переваг, які обумовлюють його необхідність у деяких виробничих сценаріях і виділяють посеред інших:

- можна досягти високої точності у виконанні операцій, оскільки кожен крок руху робочого органу визначається програмою і задається відповідно до помічених зон;

- програмно-керований метод дозволяє швидко змінювати параметри роботи згідно з поточними вимогами без необхідності фізичного переналаштування обладнання. Це робить його ідеальним для виробництва змінних чи персоналізованих продуктів;

- може повністю автоматизувати виробничий процес, що дозволяє зменшити витрати на працю та збільшити ефективність виробництва;

- технологія програмного керування дозволяє легко інтегрувати роботів у виробничі лінії разом з іншими автоматизованими системами, такими як системи моніторингу, аналізу даних та управління, що сприяє створенню комплексних та інтелектуальних виробничих середовищ.

Важливою проблемою у світі роботизованих систем є те, що не завжди роботи пасують під вже відтворені системи, тож автоматизація виробничих процесів у даному випадку займає набагато більше ресурсів, енергії та часу. Таким чином, варто розглядати існуючі системи з гнучкими можливостями підлаштування, що приводить нас до досить вузького ринку розробки. Варто також враховувати, що більшість ринків постачання із закордону навіть якщо і існують, то не на усі робочі елементи та простори, що дає нам можливість щодо розширення проектів та горизонтів шляхом аналізу світового ринку.

Варто звернути увагу на ABB RobotStudio – це потужна програмна платформа для офлайн-програмування, моделювання та оптимізації роботів. Вона надає користувачам можливість створювати, тестувати та вдосконалювати робототехнічні програми без необхідності зупинки виробничого процесу. Методи контролю в ABB RobotStudio відіграють ключову роль у забезпеченні точності, ефективності та безпеки робототехнічних операцій. Ось деякі з основних методів контролю:



Рисунок 1.11 – Система замкненого електромеханічного приводу

– оффлайн-програмування дозволяє користувачам створювати та тестувати робототехнічні програми на комп'ютері з можливістю прямої комунікації із реальним роботом (рис. 1.11);

- RobotStudio забезпечує високоякісну 3D-візуалізацію та симуляцію роботи роботи. Це дозволяє користувачам бачити, як робот буде виконувати свої завдання, виявляти потенційні проблеми та вносити необхідні корекції до початку реального виробництва, таким чином реалізуючи показники фізичних моделей і підлаштовуючись під них;
- оптимізація траєкторій дозволяє визначити найефективніші маршрути руху для робота, знижуючи час виконання завдань та підвищуючи продуктивність. Це особливо важливо для складних виробничих процесів, де кожна секунда має значення (рис. 1.12);

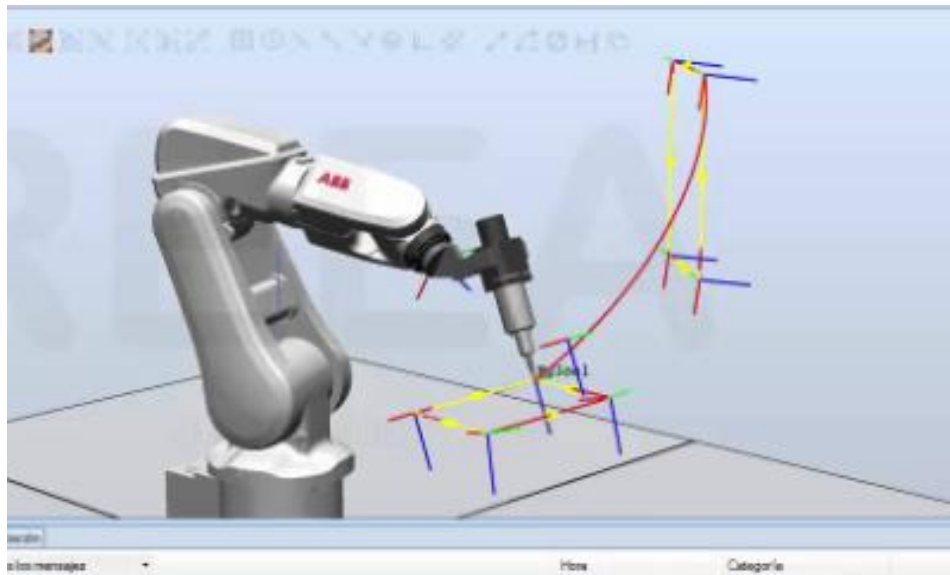


Рисунок 1.12 – Система замкненого електромеханічного приводу

- віртуальні інструменти, такі як віртуальні датчики та пристрої захоплення, дозволяють імітувати різні аспекти робототехнічних систем за допомогою використання онлайн контролерів можна чітко розглянути процес контролю над роботом який буде виконуватися на реальній моделі. Це полегшує тестування та налагодження програм без необхідності в фізичних компонентах (рис. 1.13);

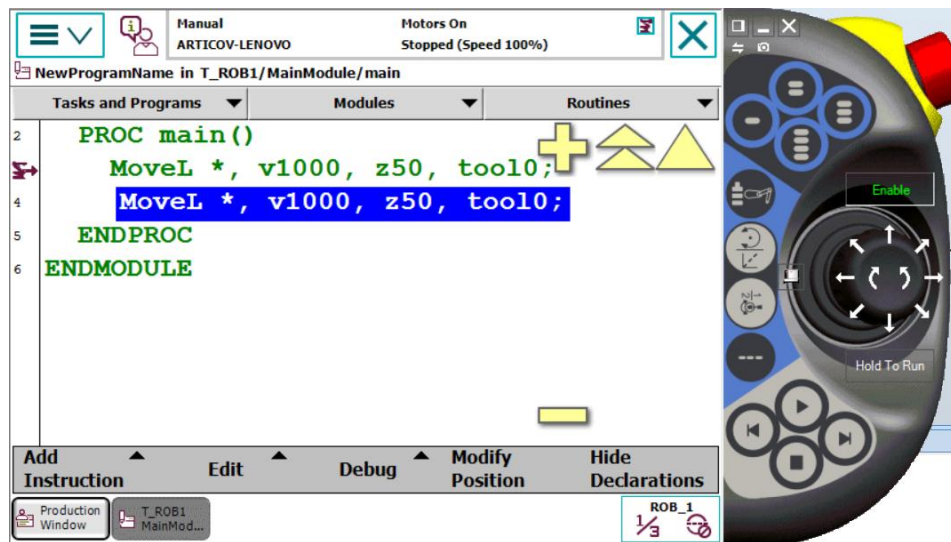


Рисунок 1.13 – Система замкнутого електромеханічного приводу

– також є можливим використання віртуальних моделей за допомогою AR візуалізації та корекції в реальній проекції елементів для точного інтегрування в процесі (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Система замкнутого електромеханічного приводу

### 1.3 Розгляд аспектів кінематики промислових роботів

Кінематика промислових роботів є ключовим аспектом їхнього функціонування, оскільки вона визначає можливість та точність їхніх рухів у робочому просторі. Розглянемо основні концепції та моделі, пов'язані з

кінематикою промислових роботів, зокрема кінематику пряму та зворотню, а також параметри Денавіта-Хартенберга (ДХ). Наскільки нам відомо, кінематика роботів вивчає його рух відносно системи відліку без урахування задіяних сил. Таким чином, кінематику цікавить аналітичний опис просторового руху робота як функція часу, і зокрема, зв'язки між положеннями і орієнтацією кінцевого положення робота зі значеннями, які приймають його спільні координати. Надалі розглянемо основні дві фундаментальні проблеми, які необхідно вирішити в кінематиці робота:

– пряма кінематика визначає, як координати та кутові положення кінця робочого органу (End-Effector) залежать від координат та кутових положень кожного з активних елементів робота. Вона використовується для розрахунку кінцевої позиції робота в просторі на основі його конфігурації.

Якщо декартові координати та координати Ейлера були обрані для представлення положення та орієнтації кінця робота з шістьма ступеням свободи, розв'язок було б задано співвідношеннями представленими у формулі 1.1.

$$\begin{aligned}
 x &= f_x(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 y &= f_y(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 z &= f_z(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \phi &= f_\alpha(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \theta &= f_\beta(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\
 \psi &= f_\gamma(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6)
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

– Зворотня кінематика, навпаки, дозволяє визначити значення кутових положень кожного з активних елементів робота на основі відомих координат та кутових положень кінця робочого органу. Вона є важливою для планування траєкторій та управління рухом промислового робота.

При розв'язанні оберненої кінематики набагато доцільніше знайти замкнутий розв'язок. Тобто явне математичне співвідношення представлене у формулі 1.2.

$$\begin{aligned} q_k &= f_k(x, y, z, \phi, \theta, \psi) \\ k &= 1..n(GDL) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Як альтернативу для вирішення тієї ж задачі можна вдатися до прямого маніпулювання рівнями, що відповідають прямій кінематичній задачі. Тобто, місце в якому він встановлює зв'язок, як це проілюстровано у формулі 1.3.

$$\begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [t_{ij}] \quad (1.3)$$

Виходячи з цього, Денавіт і Хартенберг запропонували систематичний метод для опису та представлення просторової геометрії елементів кінематичного ланцюга, зокрема робота, відносно фіксованої систему відліку. Цей метод використовує однорідну матрицю перетворення для опису просторового відношення між двома сусідніми жорсткими елементами, зводячи пряму кінематичну задачу до пошуку однорідної матриці перетворення, яка пов'язує просторове розташування кінця робота відносно системи координат його основи.

Якщо ми поглянемо з іншого боку, кінематика робота також намагається знайти співвідношення між швидкостями руху суглобів і кінцевих. Це співвідношення задано диференціальною моделлю на (рис. 1.15) ми можемо побачити як її вираженою через матрицю Якобіана [12].



Рисунок 1.15 – Схема зв'язку між прямою та зворотною кінематикою

Таким чином, ми можемо побачити повну картину щодо кінематичних аспектів промислових роботів та прямий вплив на їх функціонування. Описані концепції та моделі є важливими для подальшого розуміння та аналізу промислових роботів у різних виробничих сценаріях.

## 2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення та моделі робота для подальшої розробки

У своїй роботі я націлилися на організацію виробництва та розподільчого процесу, що не вимагає від робота бути наділеним штучним інтелектом чи виконувати багато функцій. Найкращими показниками будуть: низька ціна, легка вага, пересувна основа, стійкість та можливість оперувати великою вагою, маніпулятивні кінцівки для легшого виконання процесів. Для організації систематичного пересування об'єктів з однієї площини на іншу достатньо буде програмного керування, як було описано раніше, що задовільняє умови створення циклічної системи задання послідовного виконання. Задання програмного керування включає в себе створену заздалегідь програму для керувального пристрою або пульта, що базується на створенні ряду команд в певній послідовності що може бути основою як навколо предметів роботи, так і навколо предметної області на яку будуть розташовуватися деталі або об'єкти. Важливо розуміти, що коли задаються відповідні координати переміщень для технологічного процесу, можливо зазвичай змінювати цикли рухів або послідовність переміщення, позиційні данні залишаються незмінними при цьому. Переміщення між призначеними пунктами зазвичай регулюються фіксованими упорами, а швидкість виконання і дистанційне змінення – системами регулювання систем живлення приводів. Такий тип робіт може використовуватися в основному при компонуванні деталей, розвантаженні – завантаженні, транспортних та складських роботах. Під параметри добре підходять роботизовані системи АВВ.

ABB Robotics, як один із провідних постачальників робототехніки та систем автоматизації машин, є єдиною компанією з комплексним та інтегрованим портфоліо, що охоплює роботи, AMR та рішення для автоматизації машин,

розроблені та організовані спеціальним програмним забезпеченням [13]. Таким чином використовуючи подане програмне забезпечення можна не тільки підлаштувати робота до відповідної середовища функціонування заздалегідь, а й розробити експериментальні практики для відображення можливостей та контролю відповідно у віртуальній площині. Такий метод розробки дає нам можливість і на майбутнє у разі вдосконалення системи проводити дослідження без втручання безпосередньо у систему робота.

Варто зазначити, що при розробці робота важливо враховувати вихідний базис, враховуючи застосування програмного забезпечення ABB – RobotStudio, нам необхідно визначити на якій моделі буде засновано нашого робота, для цього нам варто скласти та проаналізувати таблицю моделей для того щоб з'ясувати яка із них підійде на більше.

RobotStudio – це програмне забезпечення для оффлайн симуляцій роботи роботів, дозволяє відтворювати програмування використовуючи комп'ютер без зупинки роботи робота, а також здатна виконувати тренування, оптимізацію та програмування без втручання. Згодом лише оновити оптимізовані налаштування і відтворити хід роботи автоматично [14]. У цій програмі можна проводити інтеграції з будь-якою моделлю яка доступна у реальному часі, тож за основу аналізу я взяла найменші початкові моделі – IRB 1090, IRB 1100, IRB 1200 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Аналіз моделей роботів ABB

Характеристики\найменування	IRB 1090	IRB 1100	IRB 1200
Розміри робота	160*172 мм	160*172 мм	210*210 мм
Вага робота	21 кг	21 кг	52 кг
Вагова можливість підняття	3.5 кг	4 кг	5-7 кг
Максимально досяжна дистанція	0.58 м	0.58 м	0.7 м
Максимальна швидкість оперування 1 кг грузу обхвату по колу	0.76 с	0.42 с	0.4 с
Кількість артикуляцій	6	6	6

За даними таблиці можна сказати що не дивлячись на те, що модель IRB 1200 є більшою за розміром та важчою за моделі цієї категорії її характеристики дистанції, витримки та швидкості вражають, тож у порівнянні з іншими моделями, використання IRB 1200 є найбільш доречним. Таким чином, використовуючи цю модель як базу створення повноцінного робота з кінцівками для маніпуляції, пересувною основою та алгоритмічно-функціональним програмуванням є остаточним варіантом для подальшого створення та опрацювання.

Звичайно, можна розглядати і більші форми, різні моделі роботів для того щоб опрацьовувати різні типи робіт, але при нашому запиті збірки та переміщення деталей, більші моделі не будуть використовувати своїх характеристики.

Розглянувши модель робота IRB 1200 можемо виділити наступні ключові характеристики: цей робот може працювати з широким спектром застосувань, встановлюватися під будь-яким кутом, конструкція також включає безпечне планування для використання робота для роботи з харчовою продукцією, данна модель робота не має зміщення по другій осі, що призводить до довшого ходу ніж у інших малих роботів, що дозволяє також розміщувати робота ближче до продукції та забезпечувати більш компактну установку. Робочий діапазон робота можна побачити на рис. 2.1, таким чином ми можемо побачити що для робота доступна повна оборотність як по осі x, так і по осі y (за винятком окремих зон зміни осі чи ротації).

Створюючи робота дуже важливо врахувати його середовище майбутнього застосування, адже це прямим чином буде впливати на його морфологію. Важливо перед початком роботи визначитися із ідеєю застосування робота, спираючись на це, можна додавати необхідні структурні елементи які будуть підпорядковуватися під визначені рамки. Таким чином, нам важливо звертати увагу на поглиблене вивчення матеріалів та практичне дослідження основних складових робота.

Базою будь-якого робота будуть: механічна структура, трансмісія, система приводу, сенсорна система, система керування, а також кінцеві елементи [15].

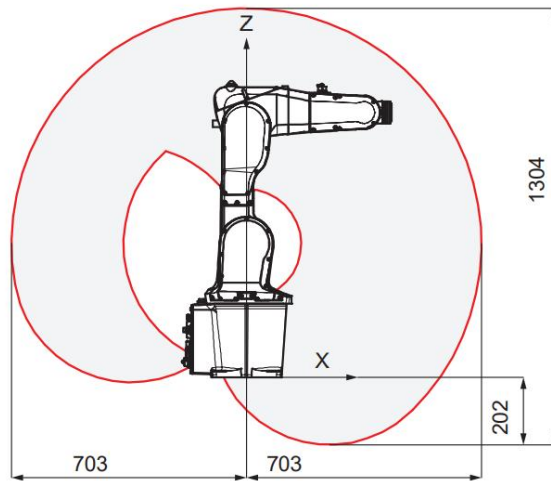


Рисунок 2.1 – Робочий діапазон робота IRB 1200

Розглянувши кожний із елементів базової побудови робота ми зможемо відтворити покроковий план щодо реалізації побудови системи. Таким чином, починаючи із механічної структури створення робота, звернемо увагу на те, що у даному підрозділі розглядаються лише первинні ротації та структурні видовження. Описуючи первинну модель необхідно відтворити її у плановому просторі із вказанням бажаних для нас елементів рухомості – вказуючи кількість подовжень та ротаційну градусну здатність [16]. Проведені розрахунки дають можливість візуально усвідомити зони досяжності робота (рис.2.2). У нашому випадку ми зможемо керуватися на модель робота IRB 1200, враховуючи 3 основних видовження та 3 основні ротації, що розвинені на максимальну градусну досяжність у зоні здібності.

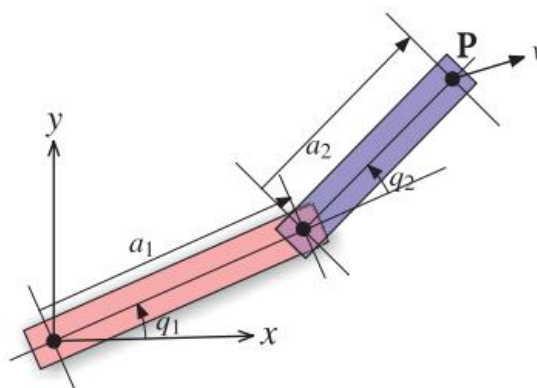


Рисунок 2.2 – Приклад схематичного відображення системи

Надалі розглянемо трансмісію (табл. 2.2). Наскільки ми знаємо, трансмісія допомагає нам розподіляти навантаження на рухові елементи для того щоб забезпечити оптимальні параметри руху для конкретного типу робота або завдання [17]. Таким чином трансмісії також допомагають нам контролювати перебіг рухів із кругового в лінійний або навпаки. В даному підрозділі ми маємо ознайомитися із можливими системами трансмісії роботів.

Таблиця 2.2 – Типи трансмісії

Вхід-вихід	Складові	Переваги	Недоліки
Круговий - круговий	Шестерні	Високі пари	Зазори
	Зубчатий ремінь	Велика відстань	-
	Ланцюг	Велика відстань	Шум
	Паралелограм	-	Обмежений оберт
	Кабель	-	Деформативність
Круговий - лінійний	Шнек	Малі зазори	Тертя
	Рухома шестерня	Середні зазори	Тертя
Лінійний - круговий	Паралельна артикуляція	-	Важке керування
	Шестерня	Середні зазори	Тертя

Таким чином, проаналізувавши надану таблицю ми можемо зрозуміти, що надійнішим буде використання змішаної системи для робота, що буде перерозподіляти навантаження рівномірно. Якщо ми звернемо увагу на трансмісію обраної бази для нашого майбутнього робота, вона як раз відповідає нашим вимогам.

Завдання приводів полягає у генеруванні рухів елементів робота згідно з командами, їх можна порівняти згідно наступним характеристикам:

- потужність;
- керованість;
- вага і об'єм;
- точність;

- швидкість;
- технічне обслуговування;
- вартість.

Порівнюючи пневматичні приводи, у яких в двигунах обертовий рух вала досягається за допомогою повітря під тиском або на використанні циліндрів, поршні яких з'єднані з рейкою; гідроприводи, які використовують мінеральні масла під тиском та електроприводи, що мають двигуни постійного струму, двигуни змінного струму та крокові двигуни, можна сказати що серед усіх перелічених – електричні приводи є найбільш використовуваними та найбільш надійними [13]. Звичайно, ми можемо звернути увагу на те, що гідроприводи є більш точними та найкраще справляються із безперервним управлінням, що дозволяє їм здійснювати роботу під високим робочим тиском та розвивати більш високі сили, крутні моменти набагато легше чим наприклад у пневматичному приводі. Але варто звернути увагу і на те, що пневматичні та гідроприводи є набагато складнішими установками та вимагають додаткових систем охолодження, фільтрації, керування розподілом, що значно змінює відношення до системи та підвищує її вартість на декілька позицій у зв'язку із спеціальними умовами догляду. Тож обираючи систему приводів, я опираюся на електричні.

Розглянемо датчики (табл. 2.3), що є невід'ємною частиною роботів, для легшого орієнтування у просторі та роботі з елементами. Датчики можна описати за наступними принципами:

Таким чином ми виявляємо відповідність датчиків до обраної нами системи і призначимо відповідно роботу з ними.

Для системи керування роботами у нашому випадку ми будемо використовувати спеціальну програму – RobotStudio (рис. 2.3), яка також може бети переведена на програмний контролер, який у свою чергу буде виконувати задані команди. У цій програмі ми спроекуємо відповідні нам системи взаємозв'язку та розглянемо на окремому прикладі повну систему виконання процесів.

Таблиця 2.3 – Типи датчиків

Виміри	Типи датчиків
Виявлення присутності	<ul style="list-style-type: none"> <li>– індуктивний датчик</li> <li>– конденсаторний датчик</li> <li>– датчик Холла</li> <li>– датчик реле</li> <li>– оптичний датчик</li> <li>– ультразвуковий датчик</li> <li>– контактний датчик</li> </ul>
Аналогові положення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– потенціометри</li> <li>– розв'язувальний датчик</li> <li>– синхронний датчик</li> <li>– ЛДПЗН</li> </ul>
Цифрова позиція	<ul style="list-style-type: none"> <li>– цифрові сенсори</li> <li>– абсолютні енкодери</li> <li>– інкрементальні енкодери</li> <li>– оптична лінійка</li> </ul>
Виміри швидкості	<ul style="list-style-type: none"> <li>– тахогенератор</li> </ul>

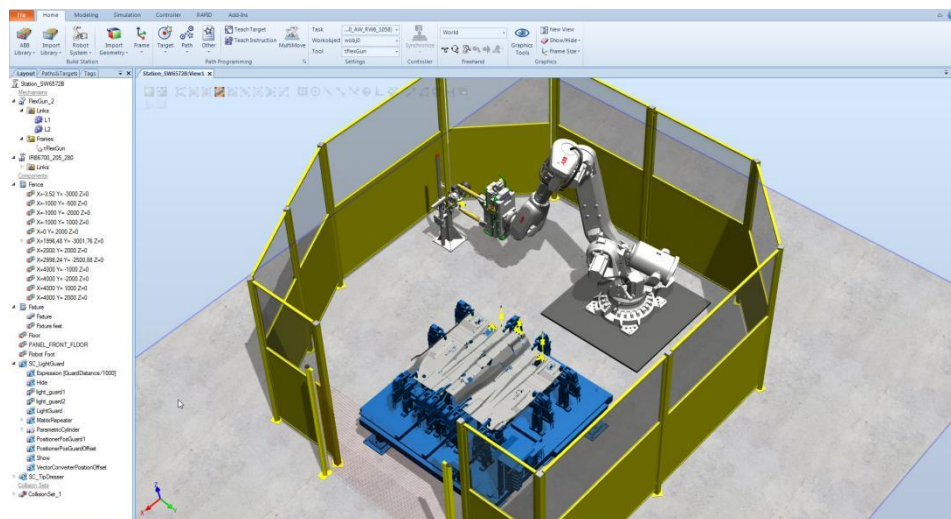


Рисунок 2.3 – Симуляція роботи промислового робота

До кінцевих елементів можуть входити додаткові насадки на кінцеві позиціювання роботів, що можуть варіюватися в залежності від робота, системи та можливостей проекту. У своїй роботі я розглянула можливість відтворювати нові кінцівки у створеному робочому середовищі для відтворення максимальних можливостей взаємодії системи управління роботами з поставленою задачею. Перед нами була поставлена задача з керування об'єктами та їх переміщенням, таким чином було обрано кінцівку-маніпулятор у вигляді клішень, що могли б з легкістю пересувати та контролювати об'єкти.

### 2.3 Розрахункова частина

Важливими моментами наших розрахунків буде виявлення систематичної цілісності та доцільності використання саме обраної системи. Надалі розглянемо необхідні показники та відповідно розрахуємо послідовно необхідні для нас елементи для загального розуміння принципів застосування об'єкта відповідно до показників.

Почнемо із планового схематичного відображення робота та проектування координат спрямування кожного функціонального елемента. Як ми можемо побачити на рис. 2.4 було визначено 6 артикуляцій та їх 5 фіксованих трансляцій. Побудова координат та оборотних процесів буде базуватися на функціональній залежності робота відповідно, що було зображено на рис. 2.5. На рисунках також було зображено артикуляції та видовження що дорівнювали:

$$d_1 = 399, a_2 = 350, a_3 = 42, d_4 = 351, d_6 = 82$$

$$q_1 (+170/-170), q_2 (+135/-100), q_3 (+70/-200), q_4 (+270/-270),$$

$$q_5 (+130/-130), q_6 (+360/-360) \tag{2.1}$$

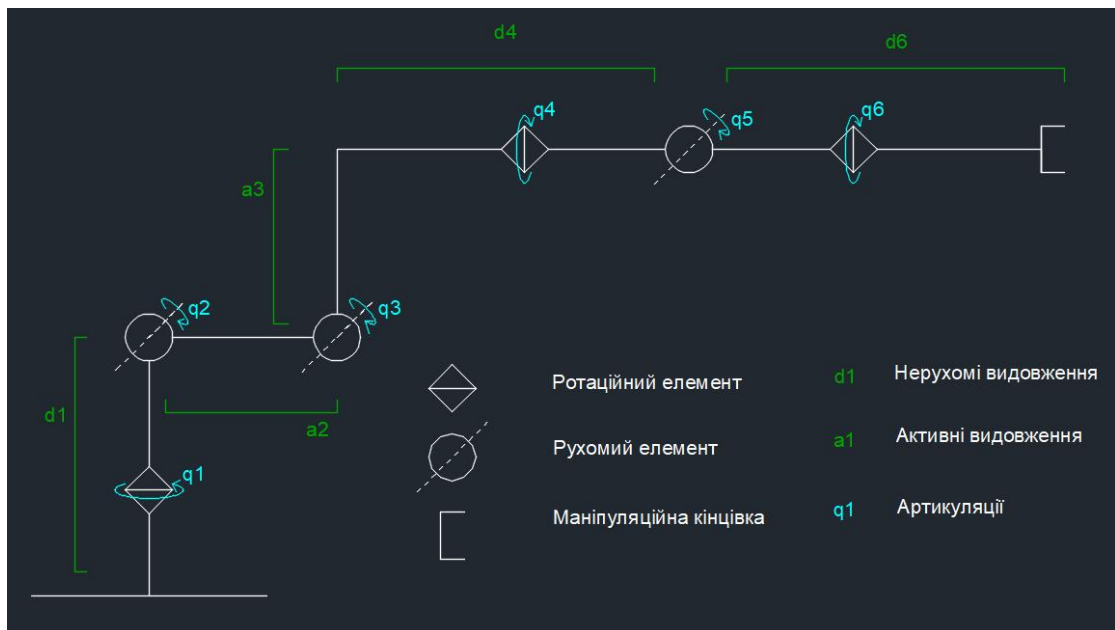


Рисунок 2.4 – Схематичне відображення кінематики робота

Проаналізувавши параметри зображені на проектувальних рисунках ми можемо відтворити таблицю параметрів ДХ, як один із варіантів відпрацювання для обчислення прямої кінематики, враховуючи до уваги параметри моделі робота IRB 1200. Результати були внесені до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри ДХ моделі робота IRB 1200

	$\alpha$ (градуси)	$d$ (мм)	$a$ (мм)	$q$ (градуси)
1	-90	$d1$	0	$q1$
2	0	0	$a2$	$q2-90$
3	-90	0	$a3$	$q3$
4	+90	$d4$	0	$q4$
5	-90	0	0	$q5$
6	0	$d6$	0	$q6-180$

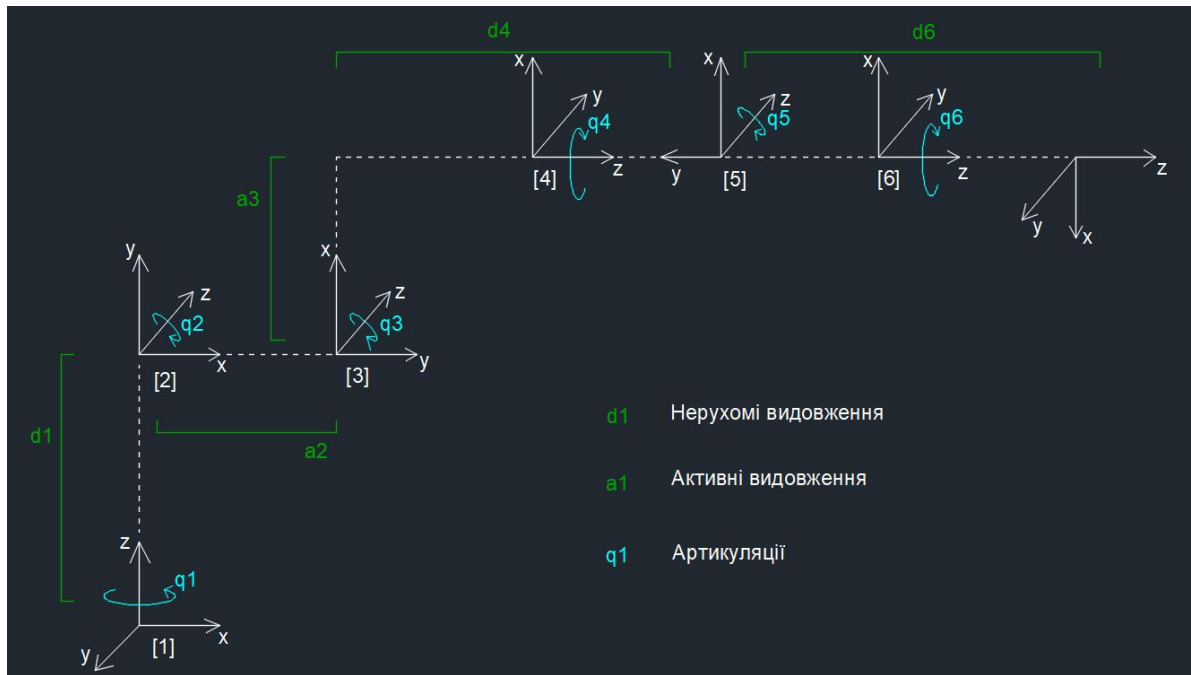


Рисунок 2.5 – Схематичне відображення кінематики робота

Надалі визначимо показники прямої та зворотної кінематики відповідно до наведеної таблиці. Дотримуючись визначеними нами правилами обчислення елементів. Трансформації матриці для прямої кінематики можуть бути отримані наступним чином:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} Cq_i & -Sq_i C\alpha_i & Sq_i C\alpha_i & \alpha_i Cq_i \\ Sq_i & Cq_i C\alpha_i & Cq_i S\alpha_i & \alpha_i Sq_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Дотримуючись наведеної формулі виводимо матриці трансформації для кожної з визначених артикуляцій. Отримавши результати для кожної з артикуляцій ми розраховуємо загальну матрицю  $T$ , яка вказує розташування системи, пов'язаної із кінцем робота, відносно системи відліку бази робота, що проінформує нас про точне положення згідно з прямою кінематикою. Формула загального положення виглядає наступним чином:

$$T = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Матриці артикуляцій:

$$\begin{aligned} {}^0T_1 &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^1T_2 &= \begin{bmatrix} S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ C_2 & S_2 & 0 & -a_2 C_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^2T_3 &= \begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & a_3 C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & a_3 S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^3T_4 &= \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^4T_5 &= \begin{bmatrix} C_5 & 0 & -S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & C_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ {}^5T_6 &= \begin{bmatrix} -C_6 & S_6 & 0 & 0 \\ -S_6 & -C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Обчислення для загальної матриці T:

$$\begin{aligned}
 n_x &= (S_6(S_4(C_1C_2S_3 + C_1C_3S_2) - C_4S_1) - C_6(C_5(S_1S_4 + C_4(C_1C_2C_3 + C_1C_3S_2))) + S_5(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3)) \\
 n_y &= (S_6(S_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) + C_4C_1) - C_6(C_5(C_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) - C_1S_4) + S_5(C_2C_3S_1 - S_1S_2S_3)) \\
 n_z &= -C_6(S_5(C_2S_3 - C_3S_2) - C_4C_5(S_2S_3 + C_2C_3)) - S_4S_6(S_2S_3 + C_2C_3) \\
 o_x &= C_6(S_4(C_1C_2S_3 + C_1C_3S_2) - C_4S_1) - S_6(C_5(S_1S_4 + C_4(C_1C_2C_3 + C_1C_3S_2))) + S_5(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3) \\
 o_y &= C_6(S_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) + C_1C_4) - S_6(C_5(C_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) - C_1S_4) + S_5(C_2C_3S_1 - S_1S_2S_3)) \\
 o_z &= -S_6(S_5(C_2S_3 - C_3S_2) - C_4C_5(S_2S_3 + C_2C_3)) - C_6S_4(S_2S_3 + C_2C_3) \\
 a_x &= C_3(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3) - S_5(S_1S_4 + C_4(C_1C_2S_3 + C_1C_3S_2)) \\
 a_y &= C_5(C_2C_3S_1 - S_1S_2S_3) - S_5(C_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) - C_1S_4) \\
 a_z &= C_5(C_2S_3 - C_3S_2) + C_4S_5(S_2S_3 + C_2C_3) \\
 p_x &= C_1a_2S_2 + d_6(C_5(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3) - S_5(S_1S_4 + C_4(C_1C_2S_3 - C_1C_3S_2))) + d_4(C_1C_2C_3 - C_1S_2S_3) + \\
 &+ C_1C_2a_3C_3 + C_1S_2a_3C_3 \\
 p_y &= S_1a_2S_2 + d_6(C_5(C_2C_3S_1 - S_1S_2S_3) - S_5(C_4(C_2S_1S_3 + C_3S_1S_2) - C_1S_4)) + d_4(C_2C_3S_1 - S_1S_2S_3) + \\
 &+ C_2S_1a_3C_3 + S_1S_2a_3C_3 \\
 p_z &= a_2C_2 + d_1 - C_2a_3C_3 + d_4(C_2S_3 - C_3S_2) - S_2a_3C_3 + d_6(C_5(C_2S_3 - C_3S_2) + C_4S_5(S_2S_3 + C_2C_3))
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Попередні рівняння відображають значення положення  $(p_x, p_y, p_z)$  та орієнтації  $(n, o, a)$  кінця робота, як функцію координат суглобів  $q$ .

Надалі розглянемо зворотню кінематику. Щоб налаштувати положення та орієнтацію кінцевого механізму робота, досягти цільового об'єкта, найбільш потрібно віднайти значення зворотної кінематики. Для даного положення кінцевого ефектора кути з'єднання, які переводять кінцевий ефектор у вказане положення, визначаються зворотною кінематичною моделлю. Іншими словами, враховуючи наданий  ${}^0T_6$  як шістнадцять числових значень, зворотнє кінематичне рішення є відповідними артикуляціями  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ . Надалі кінематичне рішення розглядається чисто алгебраїчно з прямих кінематичних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 p_x &= p_x - d_6a_x = C_1C_{23}d_4 + a_3C_1S_{23} + C_1a_2S_2 \\
 p_y &= p_y - d_6a_y = S_1C_{23}d_4 + a_3S_1S_{23} + S_1a_2S_2 \\
 \frac{p_y}{p_x} &= \frac{S_1(C_{23}d_4 + a_{31}S_{23} + a_2S_2)}{C_1(C_{23}d_4 + a_{31}S_{23} + a_2S_2)}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Таким чином,  $q_1$  описується як:

$$q_1 = \tan^{-1} \left( \frac{p_y}{p_x} \right) \quad (2.7)$$

Також приймаючи і перемножуючи наступні показники ми отримаємо:

$$\begin{aligned} p_z &= p_z - d_6 a_z = -S_{23} d_4 + a_3 C_{23} + a_2 C_2 + d_1 \\ \frac{(p'_z)^2 + (p'_y)^2 + (p'_z - d_1)^2 - d_4^2 - a_3^2 - a_2^2}{2a_2} &= a_3 C_3 - d_4 S_3 \\ a_3 C_3 - d_4 S_3 &= K \end{aligned} \quad (2.8)$$

де 
$$K = \frac{(p'_x)^2 + (p'_y)^2 + (p'_z - d_1)^2 - d_4^2 - a_3^2 - a_2^2}{2a_2} .$$

$$\begin{aligned} d_4 &= \delta \cos \phi \\ a_3 &= \delta \sin \phi \\ \delta &= (\sqrt{d_4^2 + a_3^2})^2 \\ \phi &= \tan^{-1} \left( \frac{a_3}{d_4} \right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} S_\phi C_3 - S_3 C_\phi = \sin(\phi - q_3) &= \frac{K}{\delta} \\ \cos(\phi - q_3) &= \pm \sqrt{1 - \frac{K^2}{\delta^2}} \\ \phi - q_3 &= \tan^{-1} \left( \frac{K}{\pm \sqrt{a_3^2 + d_4^2 - K^2}} \right) \\ q_3 &= \phi - \tan^{-1} \left( \frac{K}{\pm \sqrt{a_3^2 + d_4^2 - K^2}} \right) \\ q_3 &= \tan^{-1} \left( \frac{a_3}{d_4} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{K}{\pm \sqrt{a_3^2 + d_4^2 - K^2}} \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Таким чином, два рішення для  $q_3$  будуть здобуті шляхом перемноження  ${}^0T_6$  з  $\bar{n}, \bar{o}, \bar{a}$  та позиційним форматом з  ${}^0T_3^{-1}$ , як результат ми отримаємо диференційну матрицю Якобіана з елементами у вигляді функції що будуть містити тільки відомі нам значення для розрахунків.

$$\begin{aligned}
{}^0T_3^{-1} \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} &= {}^3T_6 \\
{}^0T_3 &= {}^0T_1 T_2 T_3 T = \begin{bmatrix} C_1 S_{23} & S_1 & C_1 C_{23} & a_3 C_1 S_{23} + a_2 C_1 S_2 \\ S_1 S_{23} & -C_1 & S_1 C_{23} & a_3 S_1 S_{23} + a_2 S_1 S_2 \\ C_{23} & 0 & -S_{23} & a_3 C_{23} + a_2 C_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^0T_3 &= \begin{bmatrix} {}^0R_3 & {}^0P_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^0T_3^{-1} &= \begin{bmatrix} {}^0R_3^T & -{}^0R_3^T & {}^0P_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
{}^0T_3^{-1} &= \begin{bmatrix} C_1 S_{23} & S_1 S_{23} & C_{23} & -a_3 - a_2 C_3 - d_1 C_{23} \\ S_1 & -C_1 & 0 & 0 \\ C_1 C_{23} & S_1 C_{23} & -S_{23} & a_2 S_3 + d_1 S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.11}
\end{aligned}$$

Також спробуємо відобразити точний центр робота з врахуванням його точних координат, які відображені у описі робота. Знаходження центра робота допоможе нам з'ясувати параметри по яким ми зможемо орієнтуватися на те як краще розміщувати точки опори і переміщення. Таким чином, робот буде збалансованим і зможе витримувати максимальну вагу, за допомогою якої малий за розмірами робот зможе переміщувати вагу досить конкурентну і досить сприйнятливую для малих виробництв або виробництв з легкими матеріалами та невеликою досяжністю. Такий робот може бути спрямований на процеси автоматизації із швидким виробництвом та малою економічною здібністю. Дуже

рекомендується для приватних підприємств з малим обсягом роботи для повної автоматизації та легшого контролю.

Тож для опрацювання розрахунків встановимо наступні данні:

- $d1 = 290$  мм,  $d4 = 302$  мм,  $d6 = 72$  мм;
- $a2 = 360$  мм,  $a3 = 70$  мм;
- $q1 = q2 = q3 = q4 = q5 = q6 = 0$ ;

Встановлення показників  $q$  відбулося до 0 у зв'язку з тим, що ми оцінюємо положення робота у початкових координатах з нульовими значеннями, що впливає прямо на точний розрахунок усіх положень та середини опори робота. Виходячи з цього, ми отримуємо оновлену таблицю ДХ (табл. 2.4) з точними координатами і даними, що допоможуть нам для поточних розрахунків.

Таблиця 2.3 – Параметри ДХ моделі робота IRB 1200

	$\alpha$ (градуси)	$d$ (мм)	$a$ (мм)	$q$ (градуси)
1	-90	290	0	0
2	0	0	360	0-90
3	-90	0	70	0
4	+90	302	0	0
5	-90	0	0	0
6	0	72	0	0-180

Надалі будемо робити розрахунки притримуючись спочатку розрахунків кожної ланки в системі координат бази робота, а згодом обчислення кінцевої позиції за допомогою матриць перетворення для кожної ланки.

Далі буде описано кінцеві координати для нульових кутів артикуляцій по ланкам та їх сполученням відповідно.

$$P_1 = A_1 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 290 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$



Як результат кінцевих координат порахуємо остаточні координати положення робота та його середніх координат. Для цього перемножимо покроково матриці.

$$T = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \quad (2.18)$$

Обчислимо перемноження на матрицю A2:

$$(A_1 \cdot A_2) : A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 360 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 360 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Обчислимо множення результату на A3:

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 70 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$(A_1 \cdot A_2) \cdot A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 360 \\ -1 & 0 & 0 & -70 \\ 0 & -1 & 0 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Обчислимо множення результату на A4:

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -302 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$((A_1 \cdot A_2) \cdot A_3) \cdot A_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 58 \\ -1 & 0 & 0 & -70 \\ 0 & 0 & 1 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Обчислимо множення результату на A5:

$$A_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

$$(((A_1 \cdot A_2) \cdot A_3) \cdot A_4) \cdot A_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 58 \\ -1 & 0 & 0 & -70 \\ 0 & -1 & 0 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Обчислимо множення результату на A6:

$$A_6 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 72 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$((((A_1 \cdot A_2) \cdot A_3) \cdot A_4) \cdot A_5) \cdot A_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 130 \\ -1 & 0 & 0 & -70 \\ 0 & -1 & 0 & 290 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Остаточні точки положення робота:

$$P_6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 130 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Таким чином, остаточні координати точки положення кінцевої ефекторної точки робота IRB 1200 з усіма нульовими кутами артикуляції будуть:

$$(x, y, z) = (130, -70, 290) \text{ мм} \quad (2.30)$$

Як результат, ми розглянули питання прямої та зворотної кінематики, використовуючи параметри ДХ та диференційної матриці Якобіана. Результати описувалися через матричне значення та виражалися як точні координати положення кінцівок та тіла робота. Відображення положення в зоні робота дає нам висновки щодо правильності розрахунків і вірності виконання побудови робота. Таким чином, ми можемо продовжувати реалізацію нашої роботи та аналіз її виконання.

## 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ МАНІПУЛЯТОРА

### 3.1 Опис ідеї проекту

Оскільки ми визначилися із основними компонентами, нам необхідно відтворити безпосередньо ідею проекту та наміри його використання. У проекті буде використано робота маніпулятора компанії ABB, моделі IRB 1200, що буде виконуватися на платформі Robot Studio відповідно до впровадженого компанією програмного застосунку.

Головною задачею робота буде підлаштування під імовірний робочий процес вже існуючого потоку виробничої системи. Таким чином, задамо промисловий устрій, що складається з двох оперативних позицій – постачання кінцевого продукту у пластикових контейнерах та початкового відділення для опрацювання поданих деталей. Оскільки ці виробничі ділянки не об'єднанні між собою нашою задачею буде відтворити робота, що зможе спеціально підлаштованими кінцівками переносити пластикові контейнери з місця постачання для подальшої обробки на конвеєрну стрічку.

Систематизація даного процесу надасть нам можливість не приручати людину до відповідного автоматизованого процесу та відповідно робити це з точністю та концентрацією на можливостях обробки деталей та зосередженого контролю швидкості виробництва. Зрозуміло що при програмному керуванні відповідні показники як швидкість, кількість деталей для переміщення або ж їх розмір, позиціонування можна буде задавати відповідно у кодї програми, тому це робить систему контрольованою та піддатливою до будь-яких параметрів які нам можуть бути необхідні.

Варто зауважити, що відповідно поданий процес будується на фокусі лише на специфічні деталі, але при правильній подачі робота є можливим проектування різних кінцівок для переміщення робота у інші виробничі процеси або ж для заміни типу виробничих деталей.

### 3.2 Розробка виробничої середи

Як було описано раніше, нашою метою буде саме підлаштувати робота у вже існуючу віртуальну виробничу середу. Для цього нам необхідно відобразити стандартний процес із постачання елемента – пластикових контейнерів у виробничу ділянку. Припустимо, що у нас є виробничий процес медикаментів, що потребують окремої обробки перед пересуванням на виробничу лінію. Попередньо постачання відбувалося шляхом розвантаження продуктової машини робітником А, переміщення продукту відповідно на два конвеєри для попередньої обробки, що співвідносяться кольорам продукту та відповідна дезінфекція розчинами. Робітником Б було створене пересування вже оброблених продуктів на лінію.

Як ми бачимо, система функціонує добре за винятком того, що робітник Б контактує із вже обробленими продуктами, таким чином, підставляючи під загрозу себе та, відповідно, продукти, таким чином, було б набагато ефективніше в данній ситуації автоматизувати саме процес пересування оброблених продуктів на виробничу лінію. Виходячи з цього, припустимо, що ця система містить:

- три конвеєрні стрічки;
- блоки з дезінфекційною обробкою елементів (функціонують окремо);
- пластикові бокси рожевого кольору;
- пластикові бокси синього кольору.

Як результат, ми можемо сформувати систему на наш погляд так, щоб вона виглядала доцільно та комплексно сформованою. Результат зображений на рис.3.1.

Сформувавши початкову виробничу систему слід розбити надалі автоматизацію цього процесу на логічні пункти відтворення. Відповідно, ми отримаємо план втілення робота маніпулятора під відповідну систему:

- формуємо маніпулятивні кінцівки робота, відповідно до існуючих пластикових контейнерів, програмуємо їх, як активний інструмент для взаємодії;
- встановлюємо робота у виробничу систему та підлаштовуємо межі взаємодії відповідно, приєднуємо кінцівки;

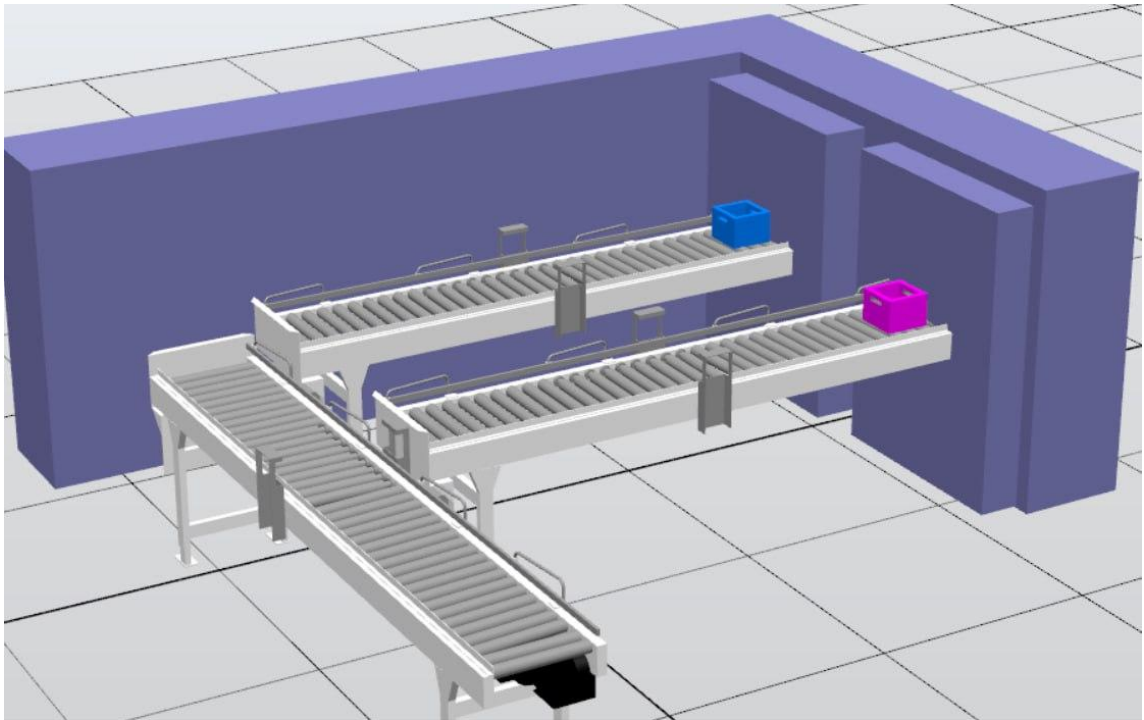


Рисунок 3.1 – Початкова виробнича система

- встановлюємо сенсори для керування конвеєрними доріжками;
- встановлюємо сенсори для маніпулятивних кінцівок;
- програмуємо переміщення деталей та взаємодію маніпулятора із ними;
- програмуємо послідовність процесу, розподіляємо тайм менеджмент та перевіряємо як функціонує система.

### 3.3 Розробка функціональної моделі

Перш ніж почати відтворювати модель робота спробуємо встановити передатну функцію двигуна IRB 1200. Вона може бути знайдена, аналізуючи його математичну модель. Розглянемо основні етапи для отримання передатної функції та перевірки на стійкість. Для електродвигуна постійного струму ми будемо використовувати основні рівняння, що описують його динаміку:

- рівняння електричного контуру;

$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + E(t) \quad (3.1)$$

– рівняння зворотної ЕРС;

$$E(t) = k_e \omega(t) \quad (3.2)$$

– рівняння моменту.

$$T(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (3.3)$$

Для обчислення передатної функції двигуна припускаємо, що напруга  $V(t)$  є вхідною величиною, а кутова швидкість  $\omega(t)$  – вихідною величиною. Використовуючи рівняння, отримаємо загальну сформовану передатну функцію. Для цього спробуємо виразити розв'язок для струму за формулами 3.4, 3.5. Та підставити струм в рівняння моменту для обчислення фінальної передатної функції за формулою 3.12.

$$V(s) = (Ls + R)I(s) + k_e \Omega(s) \quad (3.4)$$

$$I(s) = \frac{V(s) - k_e \Omega(s)}{Ls + R} \quad (3.5)$$

$$T(s) = k_T I(s) = k_T \frac{V(s) - k_e \Omega(s)}{Ls + R} \quad (3.6)$$

$$J \frac{d\Omega(s)}{dt} + B\Omega(s) = T(s) \quad (3.7)$$

$$(Js + B)\Omega(s) = k_T \frac{V(s) - k_e \Omega(s)}{Ls + R} \quad (3.8)$$

$$(Js + B)(Ls + R)\Omega(s) + k_T k_e \Omega(s) = k_T V(s) \quad (3.9)$$

$$\Omega(s) [(Js + B)(Ls + R) + k_T k_e] = k_T V(s) \quad (3.10)$$

$$\Omega(s) = \frac{k_T}{(Js + B)(Ls + R) + k_T k_e} V(s) \quad (3.11)$$

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{k_T}{(Js + B)(Ls + R) + k_T k_e} \quad (3.12)$$

Для перевірки на стійкість використовуємо критерій Рута-Гурвіца, для цього порівнюємо знаменник передатної функції:

$$(Js + B)(Ls + R) + k_T k_e = J L s^2 + (JR + LB)s + (BR + k_T k_e) \quad (3.13)$$

Для стійкості необхідно, щоб всі коефіцієнти характеристичного рівняння були додатними, і щоб всі елементи головної діагоналі таблиці Рута-Гурвіца також були додатними.

$$J L s^2 + (JR + LB)s + (BR + k_T k_e) = 0 \quad (3.14)$$

Для стійкості ми отримаємо наступні показники:

$$\begin{aligned} J L &> 0 \\ J R + L B &> 0 \\ B R + k_T k_e &> 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Для аналізу передатної функції та перевірки стійкості двигуна робота IRB 1200, нам необхідно використовувати стандартні параметри двигуна. Наведемо стандартні значення параметрів для електродвигуна постійного струму:

- індуктивність обмотки:  $L = 0.5 \text{ Н}$ ;
- опір обмотки  $R = 1 \text{ }\Omega$ ;
- момент інерції ротора  $J = 0.01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- коефіцієнт в'язкого тертя  $B = 0.1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ ;
- константа зворотної ЕРС  $k_e = 0.01 \text{ В} \cdot \text{с}/\text{рад}$ ;
- константа моменту  $k_T = 0.01 \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{А}$ ;

Для розрахунку передатної функції підставимо стандартні параметри в передатну функцію:

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{k_T}{(Js + B)(Ls + R) + k_T k_e} \quad (3.16)$$

Передатна функція приймає вигляд:

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{0.01}{(0.01s + 0.1)(0.5s + 1) + (0.01 \times 0.01)} = \frac{0.01}{0.005s^2 + 0.11s + 0.1001} \quad (3.17)$$

Характеристичне рівняння у цьому випадку матиме вигляд:

$$0.005s^2 + 0.11s + 0.1001 = 0 \quad (3.18)$$

Критерій стійкості Рута-Гурвіца відобразить для нас необхідні елементи для підбиття підсумків, тож коефіцієнти характеристичного рівняння як ми бачимо є додатніми:

- $a_0 = 0.005$ ;
- $a_1 = 0.11$ ;
- $a_2 = 0.1001$ ;

Тож, зараз, ми можемо визначити перший елемент діагоналі матриці Рута-Гурвіца:

$$\begin{aligned} a_0 &> 0 \\ a_1 &> 0 \end{aligned} \quad (3.19)$$

дискримінант  $\Delta = a_1^2 - 4a_0a_2$

$$\Delta = (0.11)^2 - 4(0.005)(0.1001) = 0.0121 - 0.002002 = 0.010098$$

$$\Delta > 0 \quad (3.20)$$

Отже, всі коефіцієнти додатні, і дискримінант додатній. Це означає, що всі корені характеристичного рівняння мають від'ємну дійсну частину, і система є стійкою. Таким чином, передатна функція двигуна IRB 1200 відповідає критеріям стійкості за стандартними параметрами.

Затвердивши наші розрахунки ми можемо перейти безпосередньо до складеного плану і притримуватись його виконанню. Перш за все, сформуємо кінцівку для робота, яка відповідно буде побудована базуючись на попередньо сформованій коробці. Маніпулятивна кінцівка буде обумовлена мінімальністю деталей для спрощення роботи робота. Для легкої ваги деталі зробимо виїмки у середніх частинах для кращої взаємодії, зменшення тертя та кращої витримки коробок шляхом зміни навантаження на кінцеві блоки. Результати відображені на рис. 3.2.

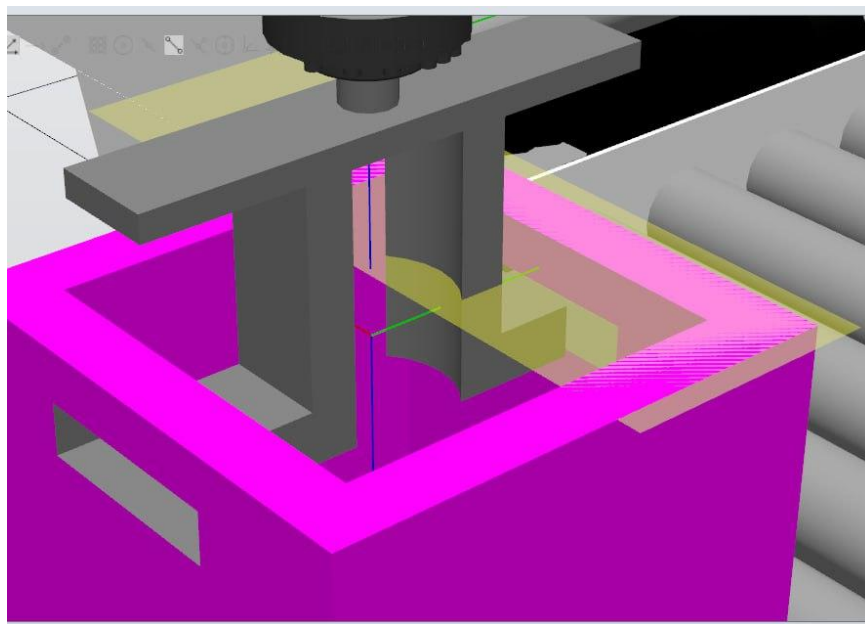


Рисунок 3.2 – Проектування маніпулятивних кінцівок

Додатково, проведемо оцінку розміру коробки і маніпулятивної кінцівки робота для подальшого аналізу витримки робота.

Розміри коробки дорівнюють:

- ширина: 200 мм;
- висота: 150 мм;
- довжина: 200 мм.

Таким чином, для обхвату коробки маніпулятивна кінцівка повинна підлаштуватися під саму коробку, тому розрахунки її частин можна побачити на рисунку 3.3.

Щодо оцінки ваги коробки, враховуючи розміри та зміст наповнення – живильні трави, коробка не буде перебільшувати 3 кілограми, оскільки, враховуючи матеріал коробки – пластмаса, вага буде складати приблизно 1.5 – 2 кілограми. Враховуючи додатково трави, що будуть, припустимо, на одну третину заповнювати коробку, і додавати до припустимої ваги максимум 1– 1.5 кілограми, загальна вага не буде перебільшувати 3 кілограми.

Для розрахунку сили будемо вживати загальну формулу 3.1, що допоможе нам обчислити необхідну для підняття коробки силу, що буде відображена у формулі 3.2. Відповідно, якщо буде необхідність перевести модель робота у реальний режим, навантаження буде відображатися відповідно у контролері і буде підпорядкований до контролю і оцінки здібностей.

$$F = m \cdot g \quad (3.1)$$

$$F = 3\text{кг} \cdot 9,81\text{м/с}^2 = 29,43\text{Н} \quad (3.2)$$

Враховуючи параметри робота, максимально можливе значення підняття матеріалів – 7 кілограм, таким чином, ми зможемо розрахувати максимально допустиму вагу підняття шляхом обчислення сили за прикладом формули 3.1 і відображаючи отриманий результат у формулі 3.3.

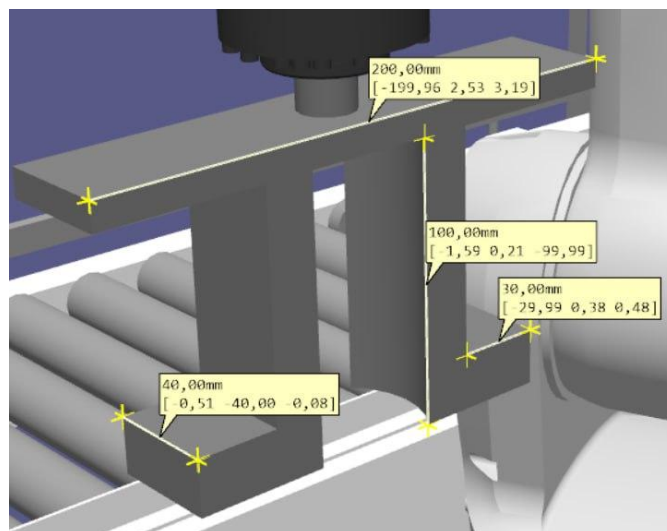


Рисунок 3.3 – Розрахункові деталі маніпуляційної кінцівки

Оскільки розрахована сила для підняття коробки є меншою ніж максимально допустима сила підняття, тоді ми можемо сказати що робот витримає підняття коробки.

$$F = 7\text{кг} \cdot 9,81\text{м/с}^2 = 68,67\text{Н} \quad (3.3)$$

Підлаштовуючи робота IRB 1200\_5\_90\_STD\_03 та контролера IRB1200\_5\_90 у вже існуючий процес, ставимо його на підставку, встановлюючи більший радіус взаємодії із конвеєрами (рис. 3.4). Що в результаті буде дорівнювати:

- ширина: 500 мм;
- довжина: 500 мм;
- висота: 600.

Такі параметри для підставки були встановлені відповідно до висоти самої конвеєрної стрічки, що сягає 750 мм. Із врахуванням статистичної підставки робота, фінальна висота робота компенсується і в результаті дорівнює оптимальному розміщенню робота у просторі. Приєднуємо маніпулятивну кінцівку, відповідно, і встановлюємо параметри взаємодії, отримуючи готову модель робота (рис. 3.5)

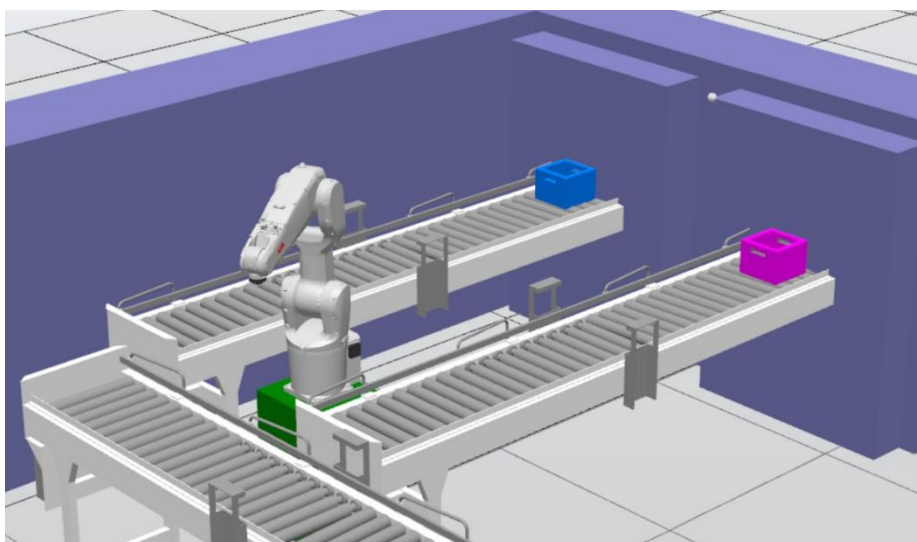


Рисунок 3.4 – Розміщення робота в системі

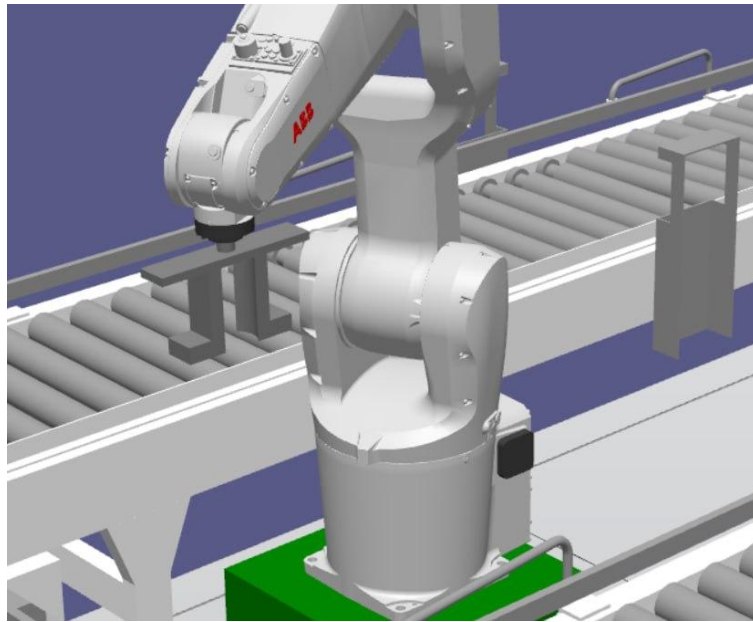


Рисунок 3.5 – Кінцевий вигляд моделі робота

Задамо надалі покрокові методи функціонування конвеєрів. У цій роботі я буду використовувати саме одну із нових функціональних рішень Robot Studio – SmartComponent, що дозволяє нам швидко і якісно регулювати функціональні об'єкти. SmartComponent є однією з ключових функцій в програмному забезпеченні RobotStudio, яке використовується для симуляції, програмування та оптимізації роботи промислових роботів АВВ. Ця функція дозволяє користувачам створювати модульні, багатфункціональні компоненти, які можуть бути легко інтегровані у віртуальні середовища для покращення точності та ефективності симуляції.

Загальна система конвеєрів буде складатися із сенсора, лінійного двигуна і елемента відтворення об'єкта. Але конвеєр фінальної лінії буде складатися лише із переміщувача і сенсора, що буде пересувати саме поміщений на конвеєр об'єкт (рис. 3.6-3.8).

Надалі, задаємо вхідні та вихідні сигнали для відтворення процесу (рис.3.9), формуємо блок схему взаємодії робота із об'єктами (рис.3.10), формуємо код послідовних переміщень та регулюємо час відтворення (дод. А).

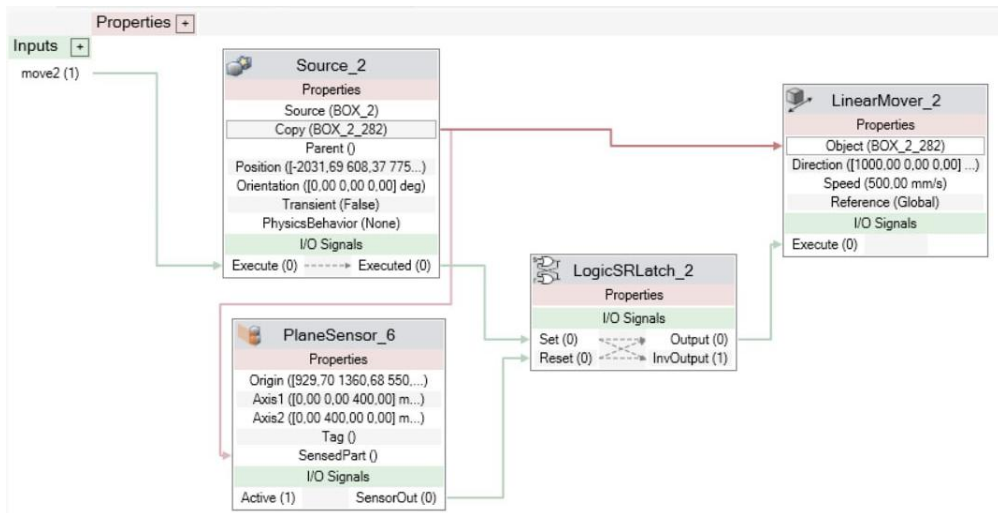


Рисунок 3.6 – Конвеєр обробки рожевих коробок

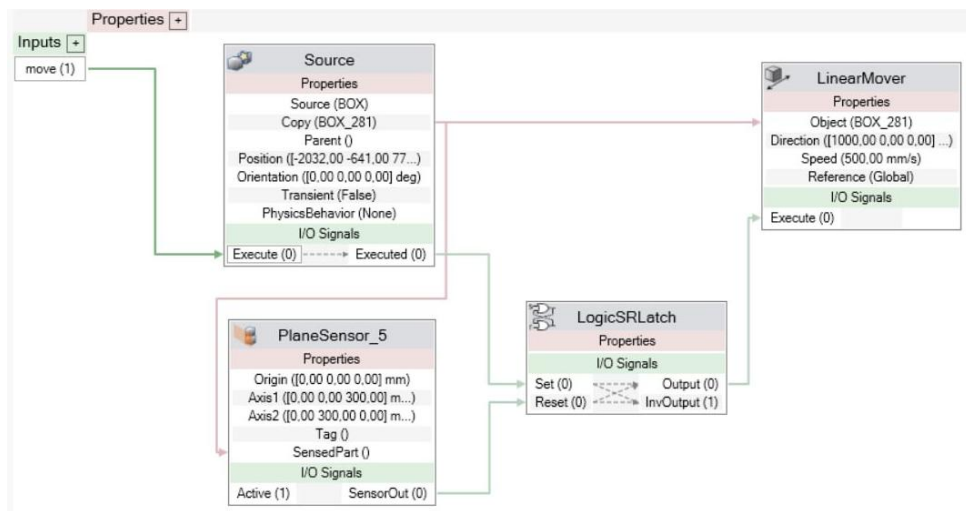


Рисунок 3.7 – Конвеєр обробки синіх коробок



Рисунок 3.8 – Конвеєр фінального переміщення коробок

Вхідні сигнали використовуються для прийому інформації від різних пристроїв і датчиків. Вони забезпечують зворотний зв'язок, який необхідний для

прийняття рішень і коригування дій робота, так само як і вихідні сигнали. Таким чином для нас важливо задавати вхідні та вихідні сигнали для датчиків та контрольованих маршрутів переміщення. Щоб полегшити сприйняття представлених сигналів, є важливим прояснити що більшість представлених сигналів формується за рахунок автоматизованих ланок відбудови сенсорів та схем.

Type	Name	Type of Signal	Assigned to Device	Signal Identification Label	Device Mapping	Category	Access Level	Default Value	Filter Time Passive (ms)
Access Level	AS1	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain(X5:11 to X5:6) and (X5:6 to X5-1)	13	safety	ReadOnly	0	0
Cross Connection	AS2	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain backup(X5:5 to X5:6) and (X5:3 to X5-1)	14	safety	ReadOnly	0	0
Device Trust Level	AUTO1	Digital Input	PANEL	Automatic Mode(X9:6)	5	safety	ReadOnly	0	0
EtherNet/IP Command	AUTO2	Digital Input	PANEL	Automatic Mode backup(X9:2)	6	safety	ReadOnly	0	0
Industrial Network	CH1	Digital Input	PANEL	Run Chain 1	22	safety	ReadOnly	0	0
Route	CH2	Digital Input	PANEL	Run Chain 2	23	safety	ReadOnly	0	0
Signal	DRV1BRAKE	Digital Output	DRV_1	Brake-release coil	2	safety	ReadOnly	0	N/A
Signal Safe Level	DRV1BRAKEFB	Digital Input	DRV_1	Brake Feedback(X3:6) at Contactor Board	11	safety	ReadOnly	0	0
System Input	DRV1BRAKEOK	Digital Input	DRV_1	Brake Voltage OK	15	safety	ReadOnly	0	0
System Output	DRV1CHAIN1	Digital Output	DRV_1	Chain 1 Interlocking Circuit	0	safety	ReadOnly	0	N/A
	DRV1CHAIN2	Digital Output	DRV_1	Chain 2 Interlocking Circuit	1	safety	ReadOnly	0	N/A
	DRV1EXTCONT	Digital Input	DRV_1	External customer contactor (X26) at Contactor Board	4	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1FAN1	Digital Input	DRV_1	Drive Unit FAN1(X10:3 to X10:4) at Contactor Board	9	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1FAN2	Digital Input	DRV_1	Drive Unit FAN2(X11:3 to X11:4) at Contactor Board	10	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1K1	Digital Input	DRV_1	Contactor K1 Read Back chain 1	2	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1K2	Digital Input	DRV_1	Contactor K2 Read Back chain 2	3	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1LIM1	Digital Input	DRV_1	Limit Switch 1 (Q26) at Contactor Board	0	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1LIM2	Digital Input	DRV_1	Limit Switch 2 (Q26) at Contactor Board	1	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1RANCH1	Digital Input	DRV_1	Drive Voltage contactor coil 1	5	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1RANCH2	Digital Input	DRV_1	Drive Voltage contactor coil 2	6	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1PTCEXT	Digital Input	DRV_1	External Motor temperature(X24:1 to X24:2)	8	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1PTCONT	Digital Input	DRV_1	Motor temperature warning(X2:1 to X2:3) at Contactor Board	7	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1SPEED	Digital Input	DRV_1	Speed Signal(X1:7) at Contactor Board	12	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1TEST1	Digital Input	DRV_1	Run chain 1 glitch test	13	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1TEST2	Digital Input	DRV_1	Run chain 2 glitch test	14	safety	ReadOnly	0	0
	DRV1TESTE2	Digital Output	DRV_1	Activate ENABLE2 glitch test at Contactor Board	3	safety	ReadOnly	0	N/A
	DRVOVLD	Digital Input	PANEL	Overload Drive Modules	31	safety	ReadOnly	0	0
	EN1	Digital Input	PANEL	Teachpendant Enable(X10:3)	3	safety	ReadOnly	0	0
	EN2	Digital Input	PANEL	Teachpendant Enable backup(X10:4)	4	safety	ReadOnly	0	0
	ENABLE1	Digital Input	PANEL	Logical Enable signal at Panel board	24	safety	ReadOnly	0	0
	ENABLE2_1	Digital Input	PANEL	ENABLE2 from Contactor board 1(X7:7 to X7:8)	25	safety	ReadOnly	0	0
	ENABLE2_2	Digital Input	PANEL	ENABLE2 from Contactor board 2(X8:7 to X8:8)	26	safety	ReadOnly	0	0
	ENABLE2_3	Digital Input	PANEL	ENABLE2 from Contactor board 3(X14:7 to X14:8)	27	safety	ReadOnly	0	0
	ENABLE2_4	Digital Input	PANEL	ENABLE2 from Contactor board 4(X17:7 to X17:8)	28	safety	ReadOnly	0	0
	ES1	Digital Input	PANEL	Emergency Stop(X10:5 and X10:6)	0	safety	ReadOnly	0	0
	ES2	Digital Input	PANEL	Emergency Stop backup(X10:7 and X10:8)	1	safety	ReadOnly	0	0
	GS1	Digital Input	PANEL	General Stop chain(X5:10 to X5:12) and (X5:8 to X5-7)	16	safety	ReadOnly	0	0
	GS2	Digital Input	PANEL	General Stop chain backup(X5:4 to X5:12) and (X5:2 to X5-7)	17	safety	ReadOnly	0	0
	in	Digital Output		in			Default	0	N/A
	MAN1	Digital Input	PANEL	Manual Mode(X9:7)	7	safety	ReadOnly	0	0
	MAN2	Digital Input	PANEL	Manual Mode backup(X9:3)	9	safety	ReadOnly	0	0
	MANFS1	Digital Input	PANEL	Manual Full Speed Mode(X9:8)	8	safety	ReadOnly	0	0
	MANFS2	Digital Input	PANEL	Manual Full Speed Mode backup(X9:4)	10	safety	ReadOnly	0	0
	MOPNG	Digital Input	PANEL	Motors On Press Button(X9:10)	12	safety	ReadOnly	0	0
	MOTLMP	Digital Output	PANEL	Motors On Lamp(X9:18)	4	safety	ReadOnly	0	N/A
	out	Digital Input		out			Default	0	0
	PANEL24OVLD	Digital Input	PANEL	Overload Panelboard 24V	30	safety	ReadOnly	0	0

Рисунок 3.9 – Вхідні та вихідні сигнали



Рисунок 3.10 – Схема взаємодії робота із об'єктами

Схеми в свою чергу мають тільки вхід, за допомогою якого регулюються як сигнали початку та кінця роботи, без виконання повної системи завжди можна відділити окремі елементи цих схем, а також спробувати запуснути їх самостійно, якщо система буде вимагати цього.

Таким чином, при відтворенні зібраної системи все функціонує згідно з ідеєю роботи, переміщення відбувається загальними детекторами із контролем переключень часу поставки об'єктів на обробку роботом та часом переміщення конвеєрної фінальної стрічки, таким чином, система не перезавантажується та поставляє об'єкти рівномірно для подальшої обробки товарів (рис. 3.11-3.13)

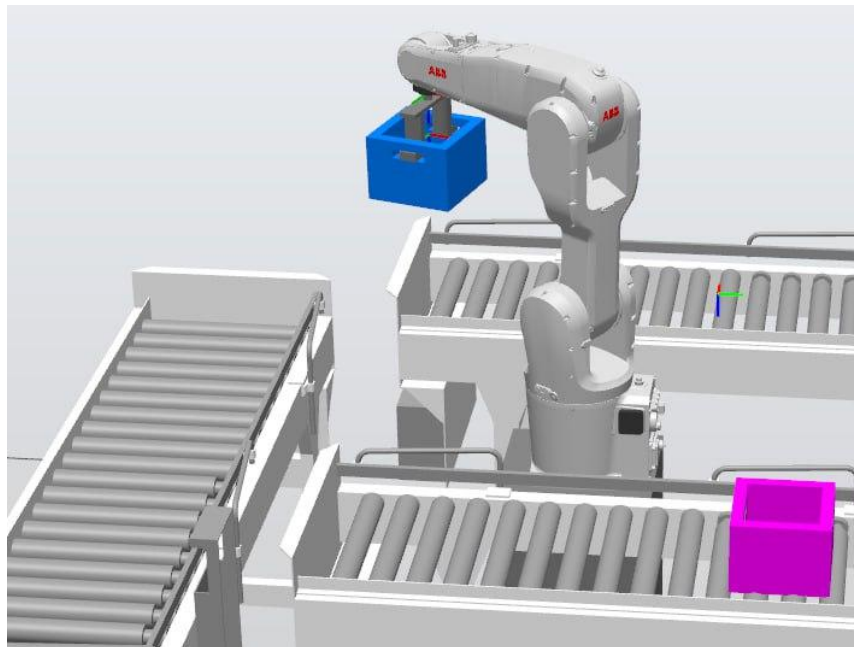


Рисунок 3.11 – Приклади роботи робота

Перестановка об'єктів відбувається за рахунок автоматизованих процесів, але важливо наголосити, що проходження коробок на самі конвеєри відбувається шляхом механічних втручень, ці процеси можна синхронізувати, але під час обробки проекту було виявлено, що найкращим методом буде мати підконтрольний елемент, що відповідно буде допомагати у відпрацюванні системи.

Як ми можемо бачити, робот виконує послідовні кроки і добре підлаштовується під сам виробничий процес. Інтеграція робота-маніпулятора у

виробничу систему вимагає ретельного планування і послідовного виконання ряду кроків.

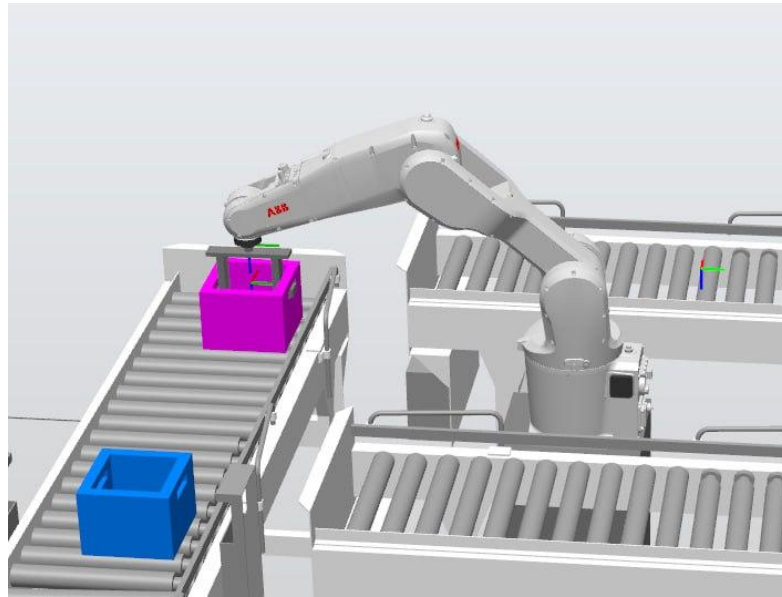


Рисунок 3.12 – Приклади роботи робота

Від розробки маніпулятивних кінцівок до програмування процесів та встановлення сенсорів, кожен етап є критично важливим для забезпечення ефективної і безпечної роботи системи. Виконуючи всі ці кроки, можна досягти високої точності і продуктивності автоматизованої виробничої системи.

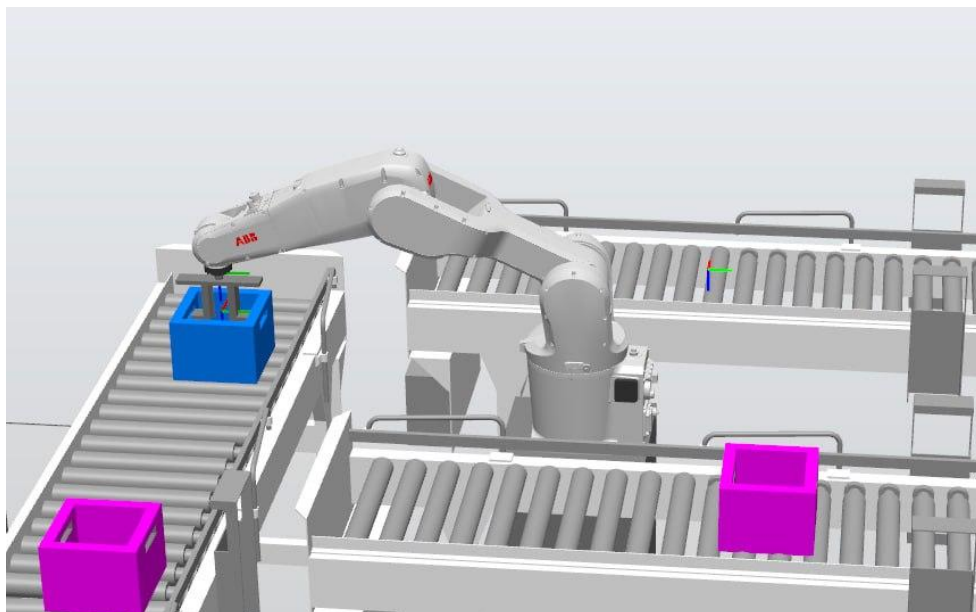


Рисунок 3.13 – Приклади роботи робота

Цей проект може бути розвинений із застосуванням фізичних можливостей розробки і послідовним втіленням в функціональну систему із застосуванням пульта управління фізичної моделі з відтвореною моделлю маніпулятивних кінцівок. Також включаючи пульт управління в систему буде можливим регулювати положення робота на будь-якому із моментів автоматизованого виробництва.

Створений маніпуляційний елемент може бути перенесений у 3-D друк або додаткове виробництво для втілення фізичної моделі у виробництво. Тож загалом, проект має місце для розвитку і майбутнього втілення, враховуючи мінімальне економічне навантаження та великі можливості для збереження коштів у великому проміжку часу, можуть бути використані будь-ким і покращені, пристосовані до відповідних проектів, використовуючи покрокові задачі цієї роботи.

### 3.4 Охорона праці

Безпечне та правильне користування комп'ютером є важливим аспектом охорони праці, що забезпечує збереження здоров'я користувачів та запобігання професійним захворюванням. Недотримання основних правил безпеки при роботі з комп'ютером може призвести до різних негативних наслідків, включаючи зорове напруження, проблеми з опорно-руховим апаратом та психоемоційне перенавантаження. Основні правила безпеки при користуванні комп'ютером описуються дотриманням наступних правил:

- ергономічне робоче місце. Висота столу і крісла повинні бути налаштовані таким чином, щоб ноги користувача стояли на підлозі, а руки лежали на столі під прямим кутом. Екран монітора слід розташувати на рівні очей на відстані 50-70 см від обличчя користувача.

- освітлення. Робоче місце повинно бути добре освітлене, але без прямого попадання світла на екран монітора, щоб уникнути відблисків та

зорового напруження. Використовуйте додаткове освітлення, якщо загальне освітлення недостатнє.

– позиція тіла. Сидіти слід з прямою спиною, з підтримкою попереку. Регулярно міняйте позицію тіла, щоб уникнути статичних навантажень на м'язи та суглоби. Робіть перерви кожні 30-60 хвилин, виконуючи легкі вправи для очей та розтяжку для тіла.

– захист зору. Використовуйте монітори з високою роздільною здатністю та налаштовуйте яскравість і контрастність відповідно до умов освітлення. Вмикайте режим зменшення синього світла або використовуйте спеціальні окуляри для роботи з комп'ютером. Виконуйте вправи для очей, такі як фокусування на віддалених об'єктах кожні 20 хвилин.

– профілактика перенавантаження. Встановлюйте програми для нагадування про перерви. Включайте в розклад робочого дня час для фізичної активності та відпочинку.

– організація робочого простору. Забезпечте достатньо місця для комфортного розміщення робочих матеріалів та обладнання. Тримайте робоче місце в чистоті та порядку, щоб уникнути зайвих відволікань та створення стресових ситуацій.

Дотримання цих простих, але важливих правил допоможе мінімізувати ризики для здоров'я при роботі з комп'ютером, забезпечить комфорт та підвищить продуктивність праці. Важливо регулярно перевіряти своє робоче місце та коригувати його відповідно до змін у робочому навантаженні та фізичному стані [18].

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи була вивчена предметна область впровадження підлаштованого послідовного робота маніпулятора у виробничий процес. Було вивчено існуючі методи впровадження роботизованих систем, виявлені існуючі проблеми даного підходу та змодельований підхід до їх вирішення. Були виконані наступні завдання:

- проведений аналіз методів керування виробничого процесу, детально розглянуті різні методи керування роботизованими системами, включаючи офлайн-програмування, візуалізацію та симуляцію, синхронізацію з реальним обладнанням, оптимізацію траєкторій, аналіз продуктивності, обмін даними;

- проведений підбір елементної бази. Була обрана відповідна елементна база для розробки робота-маніпулятора, враховуючи технічні характеристики та вимоги до продуктивності. Включено компоненти, які забезпечують необхідний рівень точності та надійності для виробничого процесу;

- розроблена модель робота та програмний модуль для нього. Створено модель робота ABB IRB 1200 з урахуванням реальних параметрів та характеристик. Розроблений програмний модуль для керування роботом, що включає в себе алгоритми, що дозволяють адаптуватися до змін у виробничому середовищі та забезпечувати безперервну роботу з мінімальними втручаннями;

- оформлена кваліфікаційна робота. Усі результати дослідження та розробки були систематизовані та оформлені за стандартами.

У результаті було досягнуто основної мети роботи: розроблена модель і програмний модуль для адаптивного виконання виробничого процесу у складі віртуальної моделі робота ABB IRB 1200. Завдяки впровадженню адаптивного робота-маніпулятора вдалося підвищити ефективність виробничого процесу, зменшити час простою та покращити якість продукції. Оптимізація траєкторій та управління колізіями дозволили знизити витрати на обслуговування та експлуатацію робота, що призвело до загального зниження виробничих витрат,

які також зобразяться у довгому використанні. Використання віртуальних інструментів та симуляції допомогло ідентифікувати та усунути потенційні небезпеки на етапі планування та виробничого процесу, що значно покращило безпеку системи. Розроблений програмний модуль дозволяє роботу швидко адаптуватися до змін у виробничому процесі, що забезпечує високу гнучкість і можливість швидкого переналаштування під нові завдання.

Ці результати підтверджують доцільність впровадження адаптивних роботизованих систем у виробничі процеси та відкривають нові перспективи для подальшого розвитку і вдосконалення технологій автоматизації.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. - 29 с.
2. Бендеберя М.О. Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio. ADED-2023(2). 2023. с. 65-67
3. Бендеберя М.О. Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio. ADED-2024(1). 2024. с. 63-65
4. Poole, Harry H. Fundamentals of robotics engineering First Edition / Van Nostrand Reinhold. - New York. - 2019 . -13 p.
5. Промислові роботи [Електронний ресурс]: Використання роботів на промислових підприємствах. Режим доступу : [https://kaf-av.tntu.edu.ua/index.php/mn-abiturient/mn-articles/676-art-industrial-robots#rob\\_prom](https://kaf-av.tntu.edu.ua/index.php/mn-abiturient/mn-articles/676-art-industrial-robots#rob_prom). Дата доступу: 14.11.2023.
6. Куберо С. Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control. – Нью-Йорк, 2019. – 320 с.
7. Нагараджан Р. Introduction to Industrial Robotics. – Нью-Йорк, 2019. – 320 с.
8. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х.:, 2022. – 427 с
9. Євсєєв В. В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi і мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків: 2020. 257 с.
10. Цимбал О. М. Системи адаптації роботів і технологія OpenCV: навч. посіб. / О. М. Цимбал, А. І. Бронніков; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 144 с.: іл. – ISBN 978-966-659-268-5.

11. Системи керування промисловими роботами [Електронний ресурс]: Конспект лекцій. Режим доступу : [https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1083461/mod\\_resource/content/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82\\_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1083461/mod_resource/content/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf).
12. Barrientos A., Penin L.F. Fundamentos de Robotica Secunda Edicion / McGraw-Hill/Interamericana de Espana, S. A. U. - Madrid. - 2017. - 129 p.
13. ABB Robotics [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://new.abb.com/products/robotics>.
14. Alexandra Andrei. Perspectives of virtual commissioning using ABB RobotStudio and Simatic robot integrator environments: a review. Proceedings in Manufacturing Systems, Volume 16, Issue 3, 2021, p. 117-123.
15. Corke, P. Manipulator Velocity in: Robotics, Vision and Control / Springer, Cham. – Brisbane. – 2017. – 229 p.
16. Fettando, F.J. Mercader. Criterios para la seleccion de un reductor de velocidad. Automatica e Instrumentacion, 237, pp. 100-106.
17. Natchigal, C. L., Instrumentation and control. Fundamentals and applications, Wiley-Interscience. – 106 p.
18. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" у випускних роботах ОКР "бакалавр" усіх форм навчання / упоряд.: В. А. Айвазов. Т. Є. Стиценко., Н. Л. Березуцька ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 28 с. – 1,81.