

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний Факультет
Кафедра Виробництва Приладів

«На правах рукопису»
УДК 621.865.1

До захисту допущено
Завідувачем кафедри
Антонюк В.С.
«10» 12 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології виробництва приладів»

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Робот-маніпулятор для сортування пластикових та паперових
виробів»

Виконав:

студент VI курсу, групи ПБ-91мп
Голодний Олександр Сергійович

Науковий керівник:

Доцент, Кандидат технічних наук
Барандич Катерина Сергіївна

Консультант з розробки стартап проекту:

Д.е.н., доцент

Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

Нужаренко О. Н.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

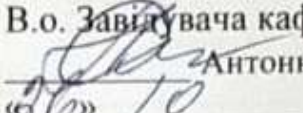
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – **151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Освітньо-професійна програма – «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. Завідувача кафедри

 Антонюк В.С.

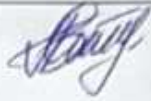
«10» 10 20__ р.

ЗАВДАННЯ

**на магістерську дисертацію студента
Голодного Олександра Сергійовича**

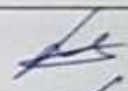
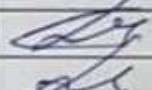
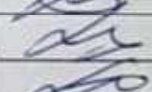
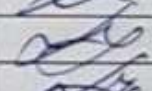
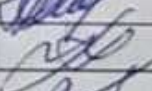
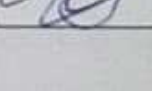
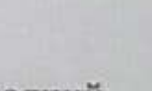
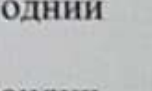
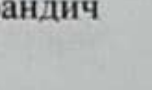
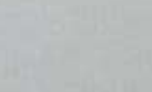
1. Тема дисертації «Робот-маніпулятор для сортування пластикових та паперових виробів», науковий керівник дисертації Барандич Катерина Сергіївна, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від 05.11.2020 р. № 3228-с.
2. Термін подання студентом дисертації «04» грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизації сортування паперових та пластикових виробів
4. Вихідні дані: Сервопривід SG90 та SG995, плата Arduino Uno.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Дослідити проблему сортування пластикових та паперових виробів; 2. Проаналізувати приклади існуючих роботів маніпуляторів; 3. Розробити модель робота – маніпулятора; 4. Інтегрувати функцію розпізнавання виробу. 5. Розробити Start-Up проект та здійснити усі необхідні розрахунки.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Конструкція приладу; 2. Блок-діаграма програми керування; 3. Алгоритм розпізнавання паперу та пластику; 4. Схема сервоприводів SG995 та SG90.
7. Орієнтовний перелік публікацій: статті та тези доповідей на науково-технічних конференціях.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., д. е. н., доцент		

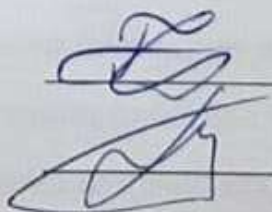
9. Дата видачі завдання: « 30 » вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів дисертації	Примітка
1	Обґрунтування актуальності теми дослідження.	04.09.2020	
2	Формування мети та задач дослідження.	11.09.2020	
3	Огляд існуючих роботів-маніпуляторів.	26.09.2020	
4	Аналіз траєкторій руху робота.	02.10.2020	
5	Розробка та опис керуючої конструкції.	16.10.2020	
6	Програмування плати та сервоприводів.	23.10.2020	
7	Розробка програми керування роботом.	30.10.2020	
8	Розрахунок кута повороту енкодера.	06.11.2020	
9	Розробка стартап-проекту.	20.11.2020	
10	Написання висновків до роботи.	27.11.2020	
11	Оформлення пояснювальної записки.	01.12.2020	

Студент

Науковий керівник дисертації



О.С. Голодний

К.С. Барандич

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 115 сторінки.

Кількість ілюстрацій: 45 ілюстрацій.

Кількість таблиць: 27 таблиць.

Кількість джерел за переліком посилань: 39 джерел.

Актуальність теми.

Актуальність полягає у розробці бюджетного варіанту робота маніпулятора для сортування пластикових і паперових виробів, який буде більш простий у застосуванні і не потребуватиме додаткових приладів та надмірних зусиль. Інтегрування роботів в процес сортування тільки починає зароджуватися. Відомі закордонні роботи для сортування мають високу ціну, адже виготовляються з дорогих матеріалів та використовують в своєму складі камери та датчики, дані з яких використовуються, щоб створити розуміння того, що він «бачить», дозволяючи роботу безпечно виконувати корисні завдання серед людей на виробництві, але в нашій країні це поки не розвинута галузь. Через це і пропонується розробити модель робота, ціна для виготовлення якого була б доступна більшості сучасних підприємств у нашій країні, за рахунок не дорогих матеріалів та апаратного обладнання.

Мета дослідження: розробка робота-маніпулятора з механічною клешнею з інтегруванням в нього функціоналу розпізнавання пластикових та паперових виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. розглянути проблему сортування пластика та паперу;
2. проаналізувати види та різновиди сучасних роботів-маніпуляторів;
3. дослідити програмування робота через плату Arduino Uno;
4. вибрати складові робота та розробити його модель;
5. інтегрувати функціонал розпізнавання пластику та паперу;
6. виконати розрахунок кута повороту енкодера для розпізнавання предмету;

7. розробити Start-Up проект.

Об'єкт дослідження:

Процес автоматизації сортування паперових та пластикових виробів

Предмет дослідження:

Вплив властивостей пластикових та паперових виробів на процес їх сортування.

Наукова новизна одержаних результатів:

Розроблено методику розпізнавання матеріалу виробу робот-маніпулятором, що дозволяє виконати сортування паперових та пластикових виробів.

Практична цінність одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм розпізнавання матеріалу, який підлягає сортуванню.
2. Розроблено електричну схему робота-маніпулятора.
3. Розроблено програму керування роботом на мові C++ з допомогою модуля EV-3.

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень отримані в даній магістерській дисертації були оприлюднені на:

- XVI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 8-9 грудня 2020 р., Україна, м.Київ;
- XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., Україна, м.Київ;

Публікації

1. Голодний О.С. Різновиди траєкторій руху робота маніпулятора / Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та

автоматизація інженерних рішень в приладобудуванні», 8-9 грудня 2020 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2020.- 456 с. — С. 65-67.

2. Голодний О.С. Програмне забезпечення робота маніпулятора / Збірник праць XIII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування » 13-14 травня 2020 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2020.- 395 с. — С. 95-97.
3. Голодний О.С. Використання промислових роботів на виробництві / Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2018.-434 с., С. 93-96
4. Голодний О.С. Конвеєрна лінія як спосіб автоматизації / Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019.-546 с., С. 106-108
5. Голодний О.С. Використання роботів при зварювальних роботах / Збірник праць XII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування » 15-16 травня 2019 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2019.- 488 с. — С. 138-140.

Ключові слова: робот- маніпулятор, сортування, пластик та папір, сервопривод, ультразвуковий датчик, апаратна плата.

ANNOTATION

Scope of work: 115

Number of illustrations: 45.

Number of tables: 27.

Sources of links in the list of links: 39

Actuality of theme

The urgency of using in the developers of the budget version of the manipulator for sorting plastic and paper manufacturers, which will be more experienced in the application and does not require additional tools and excessive effort. Integrating robots into the sorting process is just beginning. Well-known legitimate collaborative works come at a high cost, create expensive materials, and create cameras and sensors whose data is used to create an understanding of who he sees, finds, and is there — enabling the safe use of a useful task among people in the workplace, but in our country it is not a developing industry. Because of this, it is proposed to develop a model of work, the price of which should be affordable to most modern enterprises in our country due to inexpensive materials and hardware.

The purpose of the study:

The development of a robot manipulator with a mechanical claw with the integration of the recognition functionality of plastic and paper products.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. consider the problem of sorting plastic and paper;
2. analyze the types and varieties of modern robotic manipulators;
3. explore robot programming through the Arduino Uno board;
4. select the components of the robot and develop its model;
5. integrate plastic and paper recognition functionality;
6. perform the calculation of the angle of rotation of the encoder for object recognition;
7. develop a Start-Up project.

Object of study:

The process of sorting paper and plastic products

Subject of study:

Determining the material of the product to be sorted by determining the compression clamp work.

Scientific novelty of the obtained results:

A method for recognizing the material of the product by a robot manipulator has been developed, which allows sorting paper and plastic products.

Practical value of the obtained results:

1. An algorithm for recognizing the material to be sorted has been developed.
2. The electric scheme of the robot manipulator is developed.
3. Developed a program to control the robot in C ++ using the module EV-3.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1 Призначення процесу сортування використаних виробів.....	12
1.2 Види роботів-маніпуляторів та їх призначення	18
1.3 Конструктивні особливості роботів та принципи їх роботи	26
1.4 Програмування роботів-маніпуляторів.....	35
Висновок до розділу 1.....	38
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА. ВИБІР СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА	40
2.1 Розробка моделі робота – маніпулятора	41
2.2 Обрання матеріалу для створення робота – маніпулятора	51
Висновок до розділу 2	52
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛУ СОРТУВАННЯ ПАПЕРОВИХ ТА ПЛАСТИКОВИХ ВИРОБІВ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ	53
3.1 Програмування сервоприводів SG90 та MG995.....	54
3.2 Програмування апаратної плати Arduino Uno	59
3.3 Розрахунок кута повороту вала енкодера	67
Висновок до розділу 3	69
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «LIGHT ROBOSORT»	70
4.1 Опис ідеї проекту.....	70
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	71
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	72
4.4 Розроблення ринкової та маркетингової стратегії проекту	83
Висновки до розділу 4.....	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	92
Додатки	96
Додаток А	97

Додаток Б.....	99
Додаток В.....	107
Додаток Г	110
Додаток Д.....	114

ВСТУП

Автоматизоване сортування – це процес сортування предметів, різних кольорів або розмірів, таких як пластик, коробки, листи та одяг, автоматично за допомогою обраної автоматизованої системи. Автоматизована сортувальна система в промисловості використовується замість ручної сортувальної системи, оскільки вона більш надійна, економічна і ефективна. Ручне сортування залежить від персоналу заводу, який візуально ідентифікує і підбирає пластикові пляшки, коли вони переміщуються уздовж конвеєрної стрічки. Потім ці пляшки сортуються у відповідні контейнери. Ручне сортування може виявитися невідповідним варіантом для переробних підприємств з високою пропускною здатністю. Також відомо, що висока плінність кадрів серед працівників сортувальної лінії викликала труднощі в досягненні безперервності роботи сортувальної лінії.

В ході виконання даної магістерської дисертації розроблено робота для сортування пластикових та паперових виробів. Для цього було розглянуто процес сортування та типи промислових роботів, які існують на сьогоднішній день. На базі одного з таких роботів побудовано робота для сортування паперових та пластикових виробів, до його складу інтегровано систему розпізнавання паперових та пластикових виробів, виконано розрахунок даної системи. Надано креслення та специфікацію до робота маніпулятора та описано принцип його роботи.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Призначення процесу сортування використаних виробів

Сортування відходів в останній час стало досить актуальним, оскільки навколишнє середовище стає все більше забрудненим. Вживані речі можна переробити та використати повторно в тій самій, чи вже в інших сферах. З них можна робити вироби, або, наприклад, виробляти енергію, тим самим зменшуючи сміттєзвалища на планеті.

Сміття після переробки може бути перероблене на корисні речі. З макулатури виробляють туалетний і звичайний папір, тканину. Пластик на заводах перетворюють у спеціальні гранули, з яких виготовляють нові пляшки тощо. Скло подрібнюють і змішують з піском та вапном, після чого виплавляють нові предмети. З гумових покриттів створюють нові килимки для підлоги, підошви для взуття й покриття для спортмайданчиків, з батарейок можна отримати цинк, марганець, вуглецеві сполуки, нікель [1]. Актуальність розробки робота-маніпулятора для сортування паперових та пластикових виробів є очевидною, оскільки щороку кількість побутових відходів з цих матеріалів в нашій країні тільки зростає, а досвід деяких Європейських країн, Японії показують, що переробка вже використаних матеріалів є економічно вигідною, як для населення так і для країни, та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

Побутові вироби з пластику та паперу зазвичай є неважкими та невеликих розмірів, тобто робот також може мати відносно не великі розміри, в результаті чого не потрібно витратити великі кошти на його складові частини. Апаратна частина також може коштувати недорого, так як не потрібно застосовувати потужних двигунів. В майбутньому даного робота можна буде вдосконалити та розвинути, що дасть можливість інтегрувати функції сортування скляних та металевих виробів.

Сортування пластику. Побутовий пластик – це переважно порожні пластикові пляшки, контейнери, коробки, плівка та окремі пакети.

Підходять для перероблення: сплюснені пластикові пляшки для напоїв, плівка, пластикові коробки.

Не підходять: брудні пластикові ємності, пляшки з олією, йогуртом, сметаною чи маргарином; іграшки; трубочки та вушні палички, зубні щітки, стаканчики з-під йогуртів, пластикові кришки та одноразовий посуд із маркуванням PET, поліетиленові пакети, фантики, скотч, блістери від таблеток, файли для документів, CD/DVD диски, прокладки, тампони та підгузки, тюбики з-під зубної пасти та блискітки.

Окремі види пластикових виробів є небезпечними для здоров'я людини. На всіх пластикових виробах є відповідне маркування, щоб можна було зрозуміти з якого саме пластику даний виріб та чи підлягає він переробці(рис.1.1). Вироби з матеріалів під номерами 3 (PVC або V — полівінілхлорид) та 7 (O або OTHER) переробленню не підлягають [1].

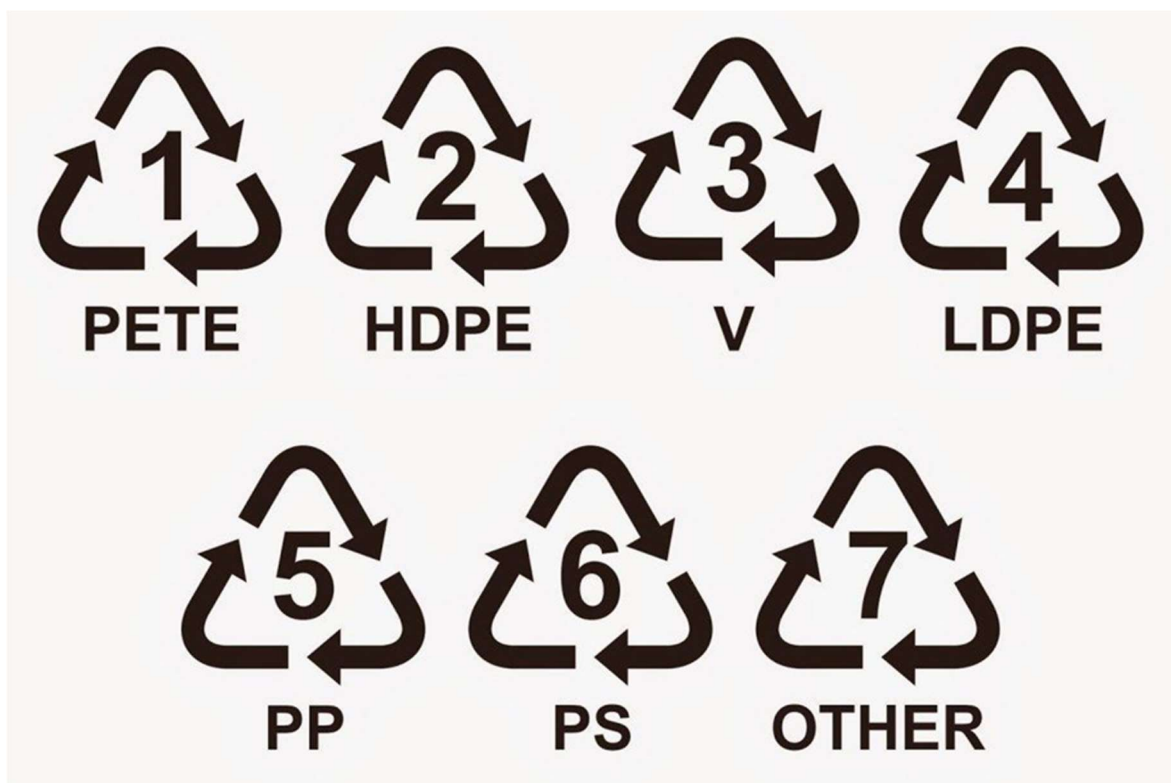


Рис. 1.1. Маркування типу пластику [1]

Щороку українці викидають майже 800 тисяч тонн пластику (сумарна вартість вторсировини — 7.000 грн/т), з якого можна було б отримати 640

тисяч тонн будівельного матеріалу. Наприклад, в Індії з нього будують дороги. Період розкладання таких відходів становить від 400 до 450 років[1].

Сортування паперу та картону. Паперові упакування, картон, газети, журнали, книги, коробки з-під яєць та інші вироби з паперу /картону можна перероблювати 5-7 разів [2]. Спочатку матеріал такого типу збирають на сміттєзвалищах та відправляють на переробні виробництва (рис.1.2). Процес переробки паперових відходів найчастіше включає змішування використаного/старого паперу з водою і хімікатами, щоб подрібнити його.



Рис. 1.2. Відсортовані паперові та картонні вироби [2]

Перероблянню підлягають всі види таких відходів. Але є винятки. Не підходять: мокрий, брудний папір і картон, що містить харчові домішки, чеки, серветки, шпалери, пергамент, ламінований і туалетний папір, коробки з-під піци (через забрудненість жиром), подрібнений папір, термопапір для факсу, кавові стаканчики, подарункові коробки, наклейки.

Вартість паперової вторсировини — 2500 грн/т. За статистикою щороку на українські сміттєзвалища потрапляє 1 мільйон 500 тисяч тонн матеріалу.

До речі, з однієї тонни макулатури можна виготовити 9500 рулонів туалетного паперу, а 100 кг паперової вторсировини рятує одне дерево [1].

На сьогодні процес сортування сміття тільки починає автоматизуватись. Серед прикладів сортування, які зараз використовуються є наявність декількох контейнерів в місцях збору відходів (рис.1.3). Здійснюється вручну в побуті за допомогою схеми роздільного збору до смітєвих контейнерів, або автоматично в місцях відновлення матеріалів або системах механічного біологічного очищення, у місцях переробки сміття.



Рис. 1.3. Контейнери для різних типів відходів [3]

Але не завжди на переробні заводи та підприємства відходи приходять відсортовані, і в такому випадку вже вздовж конвеєрної лінії, по якій переміщується сміття, знаходяться працівники, які вручну сортують відходи, для подальшої їх переробки.

Щодо автоматизації цього процесу, то вже з'являються перші роботи, які вміють сортувати сміття в Китаї та Німеччині. Робота, що сортує сміття, було представлено на другій китайській Міжнародній виставці імпорту (CIE) в Шанхаї. Застосовуючи технології штучного інтелекту та машинного

навчання, робот може сортувати різні види сміття за чотирма категоріями (рис. 1.4) [4].



Рис. 1.4. Китайський аналог робота для сортування сміття [4]

Японські вчені створили робота, який може сортувати сміття, вибираючи пластикові вироби, придатні для переробки.

Цей прилад був розроблений компанією Mitsubishi Electric Engineering Corporation спільно з дослідниками з університету Осаки. Робот оснащений лазерними променями і спеціальними датчиками, за допомогою яких він може вибрати шість видів пластику, які можна відправити на переробку. За допомогою даного пристрою японські фахівці планують підняти рівень переробки пластмасових виробів в країні. В даний час робот проходить випробування. Коли пристрій надійде в продаж, його ціна складе близько 37 тисяч доларів [4].

В лабораторія штучного інтелекту Массачусетського університету створила пристрій, здатний відокремлювати паперове сміття від пластику і металу (рис.1.5).



Рис. 1.5. Аналог робота для сортування сміття розроблений в Массачусетському університеті [4]

Робот-сортувальник називається Recycle, і його головною особливістю є клешні, які завдяки датчикам, легко визначають матеріал предмета і переміщують його у відповідне відро для сміття. Датчик для вимірювання деформації поверхні визначає розмір об'єкта, а прилад для визначення тиску виявляє його крихкість. Завдяки їм робот може розпізнавати м'який папір і більш твердий пластик. Металеві предмети легко ідентифікуються, за допомогою датчиків, які вимірюють провідність матеріалу [4].

Щоб розробити економічно вигідного робота, за допомогою якого можна сортувати відходи, потрібно, перш за все, вияснити, які види роботів бувають та на основі якого можна реалізувати дану ідею.

1.2 Види роботів-маніпуляторів та їх призначення

Промислові маніпулятори або робото-технічні маніпулятори – це машини, які використовуються для маніпулювання предметами або контролю за ним без прямого контакту. Спочатку роботів використовували для маніпулювання радіоактивними або біонебезпечними предметами, які є небезпечними для людей. Але зараз їх використовують у багатьох галузях, для виконання таких завдань, як підйом важких вантажів, безперервне зварювання з хорошою точністю, тощо. Крім промислових галузей, їх також використовують у лікарнях, як хірургічний інструмент. І зараз лікарі досить часто використовують робото-технічні маніпулятори у своїх операціях [5].

Промислові роботи класифікуються за такими ознаками [5]:

1. За характером виконуваних технологічних операцій:
 - технологічні
 - допоміжні
 - універсальні .
2. За видом виробництва:
 - ливарні;
 - зварювальні;
 - ковальсько-пресові;
 - фарбувальні;
 - транспортно-складські тощо.
3. За системою координат руки маніпулятора:
 - прямокутна (плоска та просторова);
 - полярна і циліндрична;
 - сферична;
 - ангулярна (кутова) (плоска, циліндрична та сферична).
4. За вантажопідйомністю:
 - легкі
 - середні
 - важкі

5. За типом силового приводу:

- роботи з електромеханічними приводами;
- роботи з пневматичними приводами;
- роботи з гідравлічними приводами;
- роботи з комбінованими приводами.

Перш ніж розглянути різні типи промислових маніпуляторів, потрібно приділити увагу основному вузлу даних конструкцій, таким є суглоб

Суглоб має дві основні частини. Перша – це звичайний опорний елемент, який є фіксованим. Другий опорний елемент – фрейм, не є фіксованим, і він буде рухатись відносно першого референтного елементу в залежності від суглобового положення (або спільного значення), що визначає його конфігурацію.

Існує два основних типів суглоба, які використовуються у виробництві різних типів промислових маніпуляторів: революційний та призматичний:

1. Революційний суглоб (рис.1.6): має один ступінь свободи і описує обертальні рухи між предметами. Його конфігурація визначається одним значенням, яке представляє величину обертання навколо осі з першого опорного елементу.

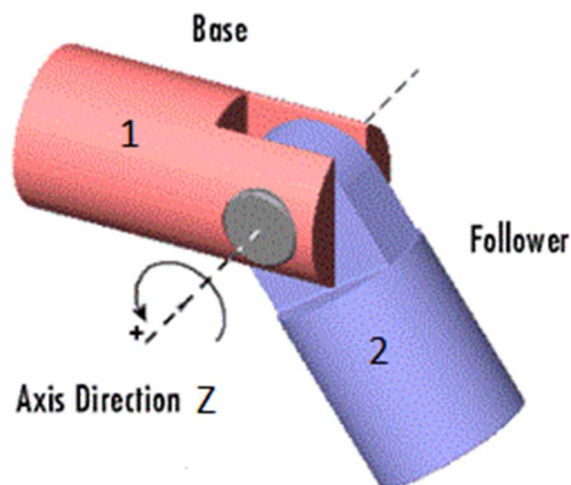


Рис. 1.6. Приклад революційного суглобу [6]

На рис.1.5 представлено революційне з'єднання двох елементів.. В цьому випадку другий елемент може здійснювати обертальний рух навколо своєї основи.

2. Призматичний суглоб (рис.1.7) має один ступінь свободи і використовуються для опису поступальних рухів між предметами. Його конфігурація визначається одним значенням, яке представляє кількість переміщень по осі z першого опорного елемента [6].

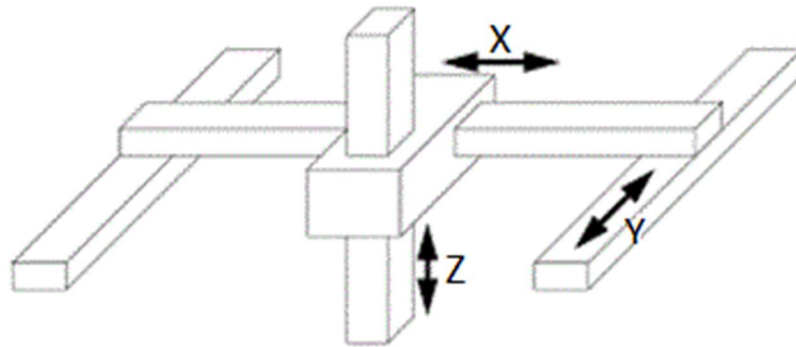


Рис. 1.7. Приклад з'єднаних призматичних суглобів [6]

На рис.1.7 можна спостерігати різні призматичні суглоби в одній системі.

У різних галузях підприємницької діяльності застосовують багато типів промислових маніпуляторів відповідно до вимог виробництва. Загалом роботів поділяють на такі типи (рис.1.8)

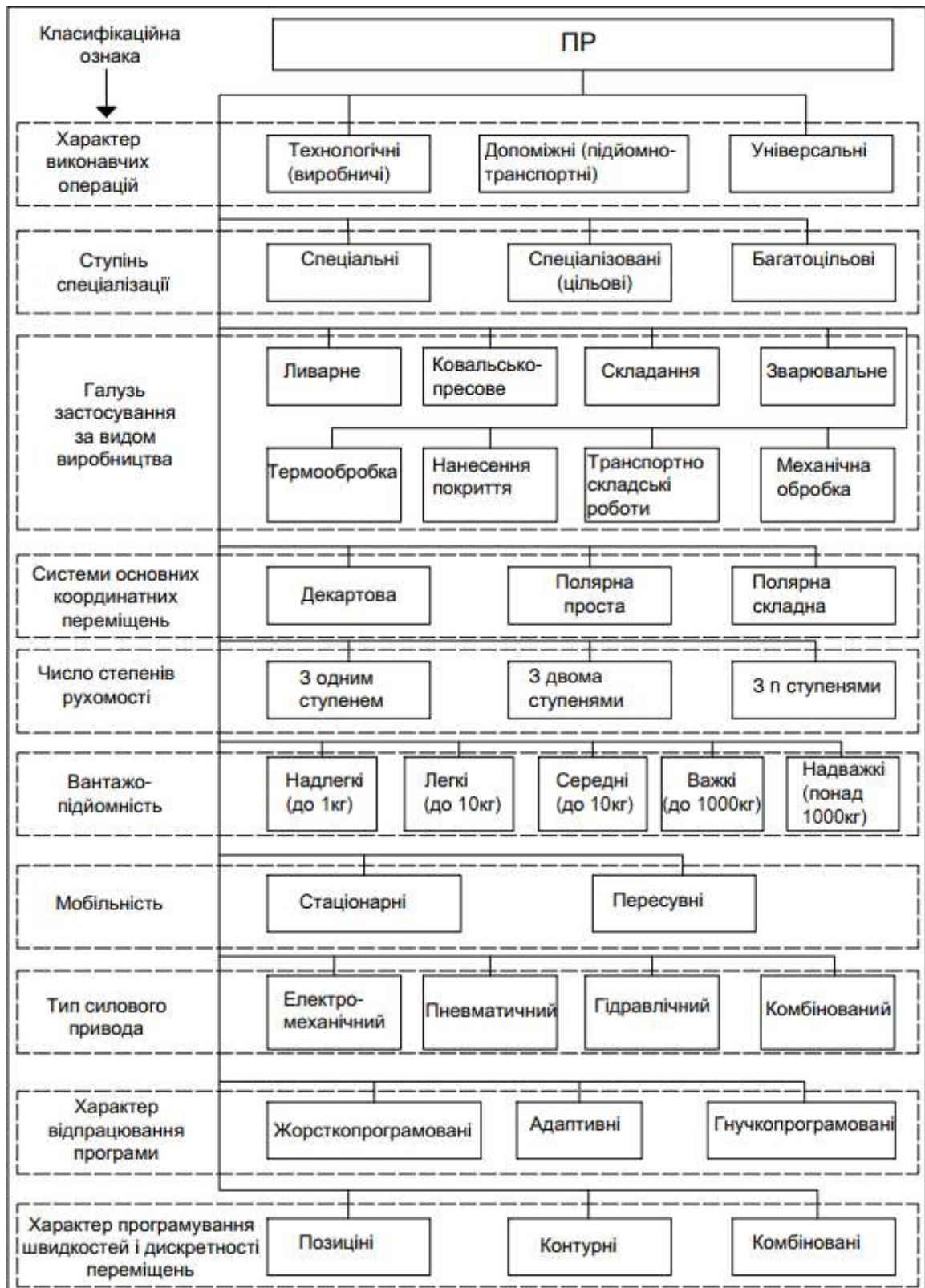


Рис. 1.8. Класифікація промислових роботів [6]

При цьому основними видами промислових маніпуляторів є декартовий координатний робот, робот SCARA, циліндричний робот, робот PUMA та полярні роботи.

У Декартового координатного робота 3 основні осі мають призматичні з'єднання або вони рухаються лінійно один до одного (рис.1.9). Декартові роботи найкраще підходять для нанесення клею, наприклад як у автомобільній промисловості. Основна перевага роботів даного виду полягає в тому, що вони здатні рухатися в декількох лінійних напрямках. А також вони здатні робити прямолінійні переміщення речей і їх легко програмувати. Недоліком декартового робота є те, що він займає занадто багато місця, так як більша частина простору в цьому роботі не використовується [6].

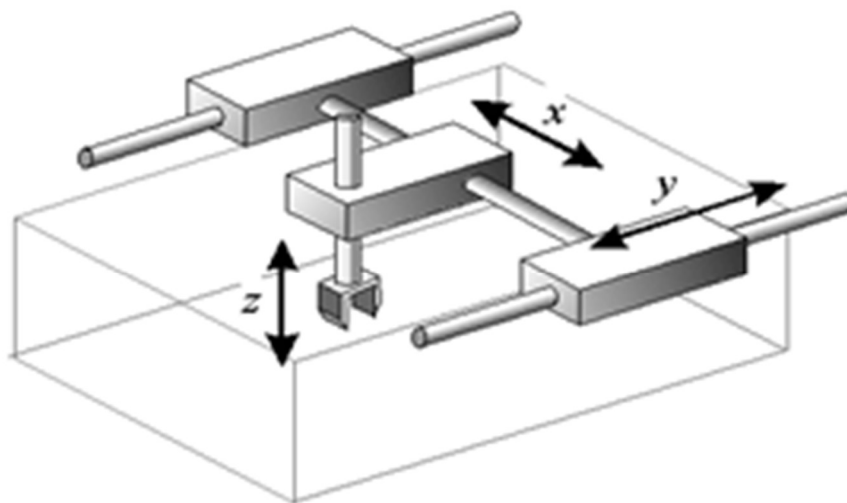


Рис. 1.9. Модель декартового координатного робота [7]

Робот SCARA. Аббревіатура SCARA розшифровується як вибіркова роботизована рука для складання. Рухи робота SCARA, подібні до руху людини. Даний вид робота включає як "плечовий", так і "ліктьовий" суглоб, а також вісь "зап'ястя" та вертикальний рух. Роботи SCARA мають 2 обертових з'єднання і 1 призматичне з'єднання (рис.1.10). Роботи SCARA мають обмежені рухи, але це також є їх перевагою, оскільки вони можуть рухатися швидше, ніж інші види роботів. Такі роботи є дуже міцними і довговічними. Вони в основному використовуються в цільовому застосуванні, яке вимагає швидких, повторюваних і точкових переміщень, таких як палетизація, палетування, машинне завантаження / розвантаження та складання.

Недоліком робота SCARA є те, що він має обмежені рухи і не дуже гнучкий [6].



Рис. 1.10. Модель робота SCARA [8]

Циліндричний робот або робот-рука, який рухається навколо циліндричної основи (рис.1.11). Циліндрична роботизована система має три осі руху – кругову вісь руху і дві лінійні осі: в горизонтальному і вертикальному напрямку руху руки. Таким чином, даний робот має 1 обертальне з'єднання, 1 циліндричне і 1 призматичне з'єднання. Сьогодні циліндричні роботи використовуються дедалі менше і замінюються більш гнучкими і швидкими роботами, але вони займають важливе місце в історії розвитку роботизованих систем, оскільки використовувалися для виконання завдань задовго до того, як були розроблені 6-осьові роботи. Перевага циліндричних роботів полягає в тому, що вони можуть рухатися набагато швидше, ніж декартовий робот, якщо дві точки мають однаковий радіус. Недоліком такого виду роботів є те, що вони вимагають зусиль для перетворення з декартової системи координат в циліндричну систему координат [9].

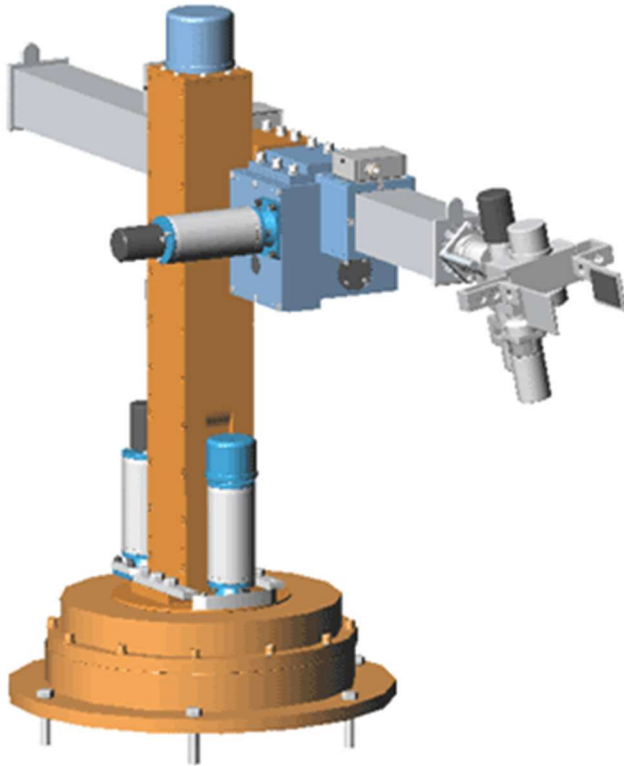


Рис. 1.11. Модель циліндричного робота [9]

PUMA (Програмована універсальна машина для складання, або програмована універсальна маніпуляційна рука) – найбільш часто використовуваний промисловий робот в складальних, зварювальних операціях і університетських лабораторіях (рис.1.12). Даний робот більше схожий на людську руку, ніж на робота SCARA. Робот має велику гнучкість, більшу ніж у робота SCARA, але це також знижує його точність. Тому роботи PUMA використовуються в менш точних роботах. Такий вид роботів має 3 обертових суглобів, але не всі суглоби паралельні, другий суглоб від основи ортогональний іншим суглобам. Це робить PUMA сумісним у всіх трьох осях X, Y та Z. Недоліком є менша точність, тому він не може бути використаний у критично важливих та високоточних роботах [10].



Рис. 1.12. Модель робота PUMA [10]

Полярних роботів також називають сферичними роботами. Це стаціонарні роботи-маніпулятори зі сферичними або майже сферичними робочими оболонками, які можуть бути розташовані в полярній системі координат (рис.1.13). Такі роботи мають більш естетичну оболонку, ніж декартові та роботи SCARA, але принцип управління ними набагато простіший. Дані роботи мають 2 обертових з'єднання і 1 призматичне з'єднання, щоб зробити майже сферичний робочий простір. Їхнє основне застосування полягає в вантажно-розвантажувальних роботах на виробничій лінії [11].

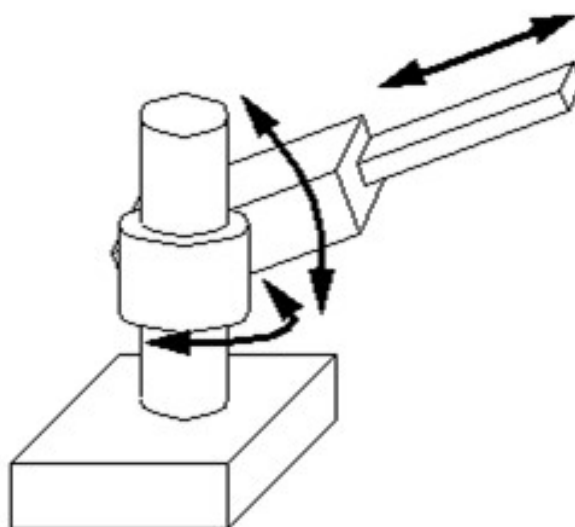


Рис. 1.13. Модель полярного робота [11]

Що стосується дизайну зап'ястя роботів, воно має дві конфігурації:

- Піднімання-Переміщення-Обертання (XYZ), як людська рука.
- Обертання - Піднімання - Обертання, як сферичне зап'ястя.

Сферичне зап'ястя є найбільш популярним, оскільки воно механічно простіше у виконанні. Воно демонструє особливі конфігурації, які можна використати у роботі робота. Компроміс між надійним вузлом та існуванням особливих конфігурацій є підходящим для сферичної конструкції зап'ястя, і це є причиною його успіху.

Проаналізувавши вище вказані типи роботів, було обрано робот типу PUMA. Після вибору оптимальної моделі для реалізації робота маніпулятора, потрібно оптимізувати траєкторію переміщення кінці робота та запрограмувати його.

1.3 Конструктивні особливості роботів та принципи їх роботи

Для роботів маніпуляторів основними рухами є: рух в самостійні формі, рух по лінійній траєкторії та рух по круговій траєкторії.

Розглянуті рухи (MOVEJ, MOVES і MOVEC), які будуть реалізовані в промисловому контролері CompactRio, який можна комбінувати, щоб робот міг виконувати конкретне завдання.

Спільний рух: MOVEJ

Застосування цього руху дозволяє маніпулятору досягти кінцевого положення самостійними рухами суглоба. Це не забезпечує лінійної траєкторії між початковою та кінцевою точками (рис.1.14); тобто кінцевий ефектор рухається від однієї точки до іншої випадковим шляхом [12].

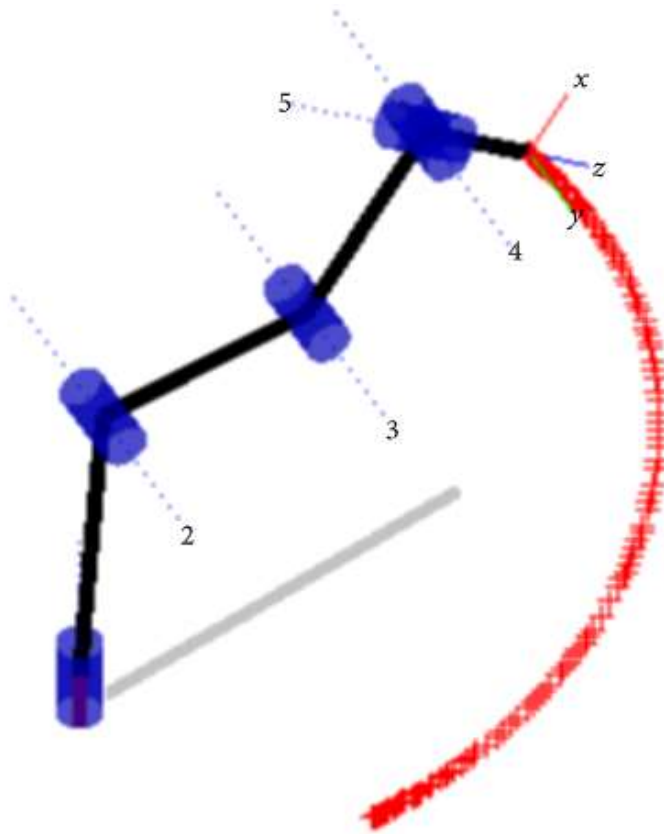


Рисунок 1.14. Траєкторія руху суглоба в самостійній формі [12]

Координати в робочому просторі кінцевого ефектора можна отримати за допомогою прямої кінематичної моделі (DKM), використовуючи спільні значення, що виконуються в команді MOVEJ. Псевдокод можна побачити в алгоритмі 1:

Data: Actual position: $[\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$,

desired position : $[\theta_{1d} \ \theta_{2d} \ \theta_{3d} \ \theta_{4d} \ \theta_{5d}]$,

Result: New position: $q = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$,

- (1) **while** $[\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5] \neq [\theta_{1d} \ \theta_{2d} \ \theta_{3d} \ \theta_{4d} \ \theta_{5d}]$ **do**
- (2) **if** $\theta_1 \neq \theta_{1d}$ **then**
- (3) $\theta_1 = \theta_1 \pm \Delta \theta_1;$
- (4) **end**
- (5) **if** $\theta_2 \neq \theta_{2d}$ **then**
- (6) $\theta_2 = \theta_2 \pm \Delta \theta_2;$
- (7) **end**
- (8) **if** $\theta_3 \neq \theta_{3d}$ **then**

```

(9)           $\theta_3 = \theta_3 \pm \Delta \theta_3;$ 
(10)      end
(11)      if  $\theta_4 \neq \theta_{4d}$  then
(12)           $\theta_4 = \theta_4 \pm \Delta \theta_4;$ 
(13)      end
(14)      if  $\theta_5 \neq \theta_{5d}$  then
(15)           $\theta_5 = \theta_5 \pm \Delta \theta_5;$ 
(16)      end
(17)       $q = [q; \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5];$ 
(18)  end
(19)  New position  $q = [ \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5];$ 

```

Лінійний рух: MOVES

Якщо необхідно дійти до декартового положення, слідуючи за траєкторією по прямій лінії з кінцевим ефектором, використовується команда MOVES. Для цієї команди потрібен вектор із шістьма значеннями; перші три – це декартові змінні (X, Y та Z) бажаного положення в робочому просторі початку системи координат кінцевого ефектора. Наступні три стосуються потрібної орієнтації; ця орієнтація вводиться з кутами Roll(δ) Pitch(β) та Yaw(γ), також відомими як кути RPY [13].

Таким чином, буде лінійний рух, як на рис. 1.15, через шлях, згенерований від поточної точки або від початкової до кінцевої точки (точка, введена командою).

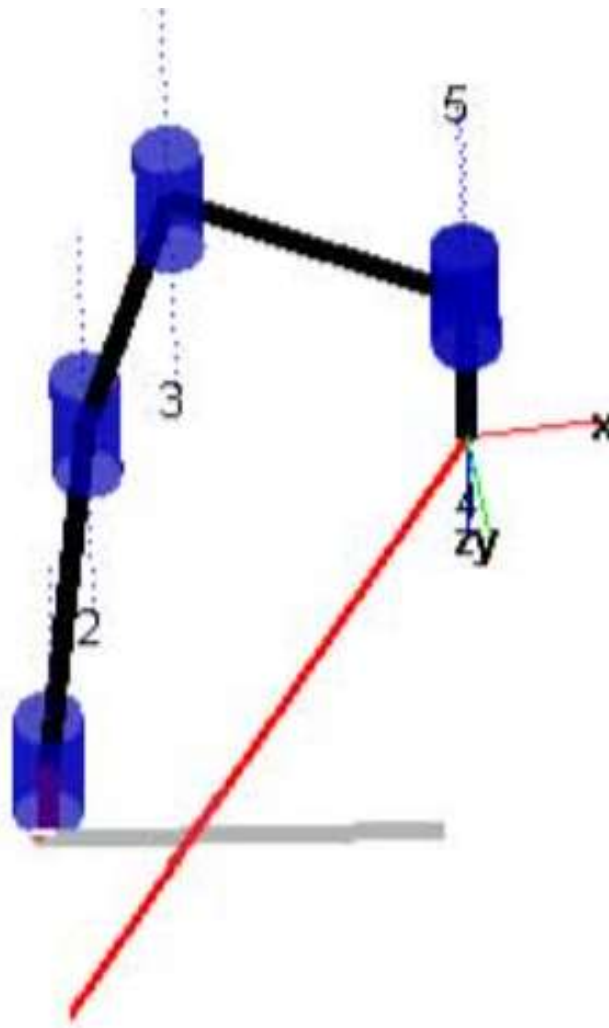


Рисунок 1.15. Траєкторія по прямій лінії з кінцевим ефектором [13]

Для цієї команди необхідно виконати два перетворення. Обробка проводиться по-різному, головним чином тому, що простір переміщень є евклідовим, тоді як простір обертань - ні.

Порівнюючи ці два рухи, переміщення є найпростішою з двох інтерполяцій, оскільки передбачається, що точка $P_0 \in R^3$, що позначається трьома змінними $(x_0, y_0, \text{ і } z_0)$, визначеними в декартовому просторі, переміщається через вектор перекладу $(\Delta x, \Delta y, \text{ і } \Delta z)$.

Інтерполяція орієнтації та обертання здійснюється математичним методом SLERP (сферична лінійна інтерполяція). Для цього орієнтація та обертання спочатку повинні бути представлені в чотирьох вимірах або кватерніонах, а потім інтерпольовані методом SLERP. Цей метод полягає у

виконанні руху з постійною швидкістю по колу на поверхні гіперсфери (рис. 1.16), припускаючи, що положення траєкторій кінцевого ефектора задані між точками P_0 та P_f . Ефектом є рівномірне обертання з кутовою швидкістю навколо фіксованої осі обертання, що гарантує єдиний шлях. Представляє такий рух рівняння:

$$q_m = \frac{q_0 * \sin((1 - t(i)) * \theta) + q_1 * \sin(t(i) * \theta)}{\sin(\theta)}$$

де q_m – кватерніон інтерпольований, q_0 – перший кватерніон, q_1 – другий кватерніон, кут між векторами q_0 і q_1 , а також t – сферична інтерполяція між векторами q_0 і q_1 , зі значеннями між 0 і 1.

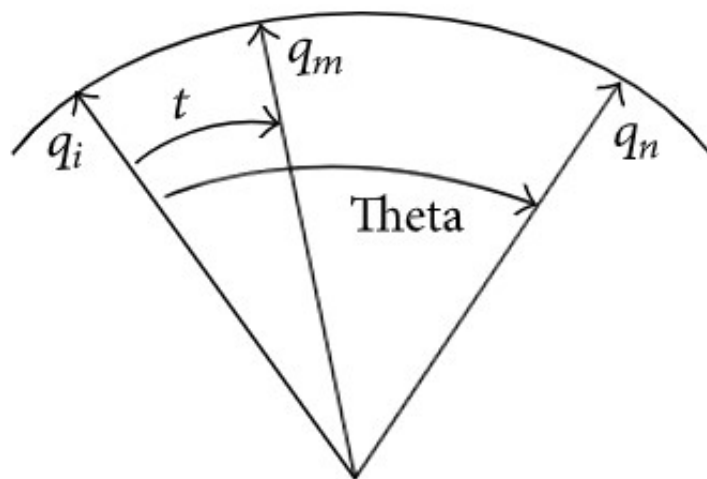


Рисунок 1.16. Рівномірне обертання з кутовою швидкістю [14]

За допомогою цього методу, реалізованого в алгоритмі 2, можна провести будь-яку інтерполяцію кватерніонів, щоб зробити плавний рух обертання об'єкта зі складними обертаннями і орієнтацією одних і тих же. Як тільки інтерпольовані матриці отримані, переходимо до зміни декартових координат на суглобові координати за допомогою зворотної кінематичної моделі (ІКМ) [14].

Data: Transformations Matrix T_0 , T_f

Result: Interpolated positions $[\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$

(1) $p=0:1: (|P_f|-|P_0|)$;

```

(2) N=length(p);
(3) t=0: (0.1(N/(N-1))):N;
(4) Pf= Tf(1:3,4);
(5) P0= T0(1:3,4);
(6) Rf= Tf(1:3,1:3);
(7) R0= T0(1:3,1:3);
(8) for i=1:1: N do
(9)   Pn= P0+ (Pf - P0)·t(i)
(10)  q0 ← R0
(11)  q1 ← R1
(12)  θ=arccos(q0· q1)
(13)  qm= q0·sin((1-t(i) ·Ω/sin (Ω))+ q1·sin(t(i) ·Ω/sin (Ω));
(14)  Rn ← qm
(15)  Tn = [ Rn Pn; 0 0 0 1];
(16) end
(17) Interpolated position q = [ θ1 θ2 θ3 θ4 θ5];

```

Алгоритм 2 показує опис виконання команди MOVES, основну частину реалізації якої показано на рис 1.17.

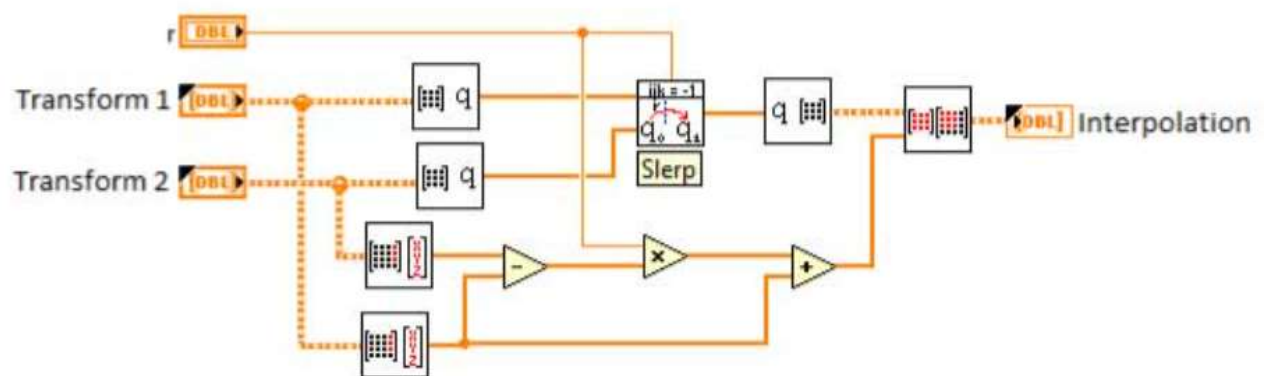


Рисунок 1.17. Реалізація виконання команди MOVES [14]

MOVES: Круговий рух

Для виконання цього руху необхідні три лінійно незалежні точки. Перша це значення X,Y і Z декартової площини, де розташований кінцевий ефектор,

друга-це точка призначення, а третя належить до проміжної точки. Це все, що допомагає у визначенні шляху, по якому повинен ковзати кінцевий ефектор, визначає площину, в якій він буде працювати, як показано на рис. 1.18.

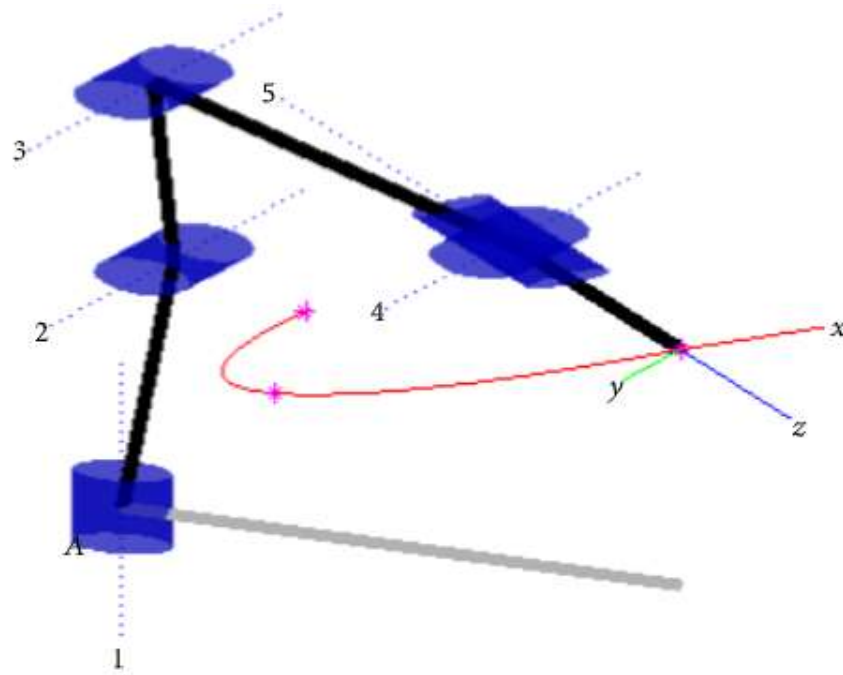


Рисунок 1.18. Кругова траєкторія суглоба [15]

Для здійснення руху визначається орієнтація і напрямок вектора, пов'язаного з системами X_1, Y_1 і Z_1 . Подання проводиться вектором в кадрі, який обертає кут θ навколо X , кут α навколо Y і кут β навколо Z і переміщує відстані a, b і c щодо осей x, y і z ; все це перетворюється в координати системи відліку. На кадрах X_1, Y_1 і Z_1 , три лінійно незалежні точки визначають площину, яка буде містити розподіл точок, що складають криву [15].

Окружність в площині викреслюється з перпендикулярної бісектриси P_0P_y і перпендикулярної бісектриси P_0P_f , де вони будуть розрізані на одну точку, яка є центром кола, що проходить через P_0 , P_y і P_f , так як всі три рівновіддалені від неї (рис. 1.19). З іншої точки зору, можна сказати, що необхідно знайти коло, описане в трикутнику, утвореному трьома точками, центр цього кола виходить через перетин двох бічних бісектрис трикутника.

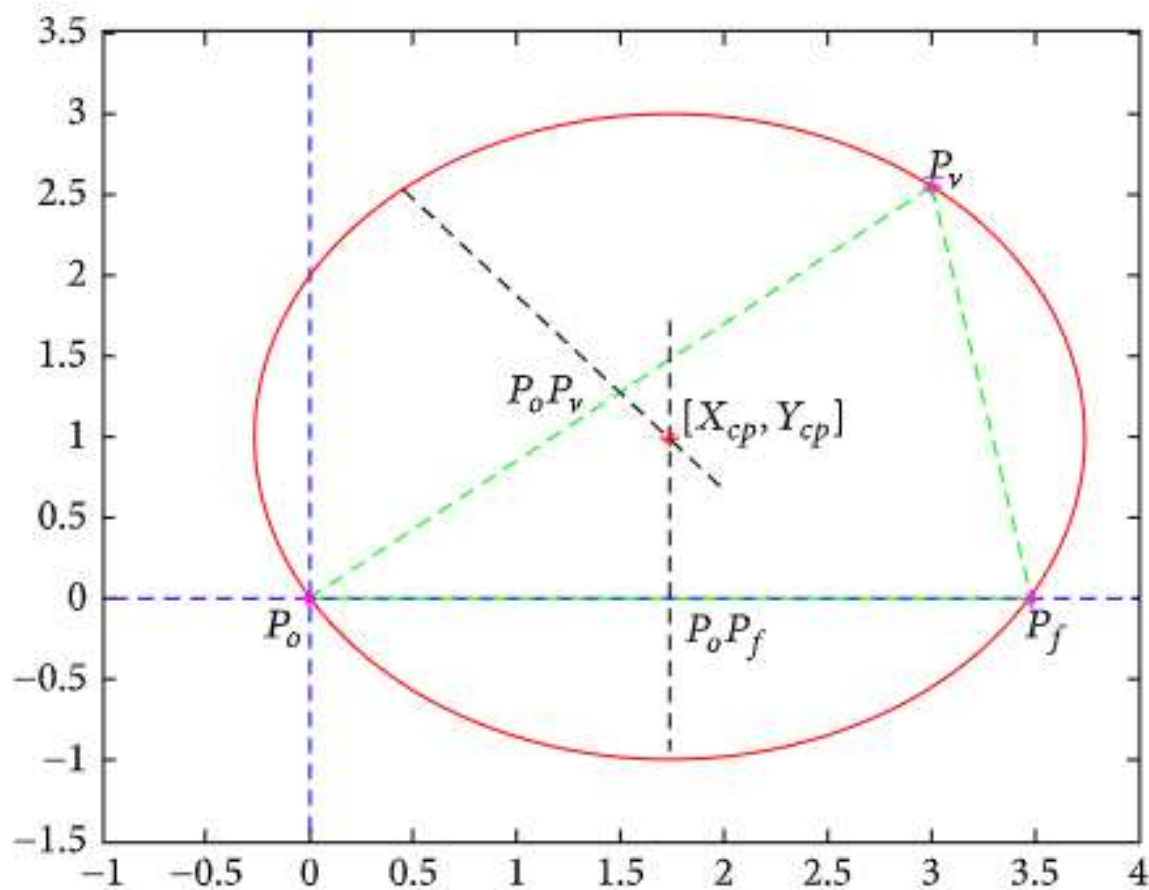


Рисунок 1.19. Графічне представлення команди MOVEC [16]

Аналогічно, якщо потрібно завершити накреслену дугу, щоб сформувати повне коло, необхідно створити інший рух на тій же площині, яке має в якості початкової точки кінцеву точку першої і кінцеву точку, як початкову точку першої команди. Діаметр визначається відстанню між початковою і кінцевою точками і, в свою чергу, повинен бути рівний відстані між двосторонніми точками. Якщо ця пропорція не дотримується, то можна також отримати еліпсоїдальний слід, відстань між висотою і шириною якого може змінюватися в залежності від відстаней початкової і кінцевої точок щодо відстаней шляхових точок (або навпаки). Операції, які вони використовують для реалізації команди MOVEC, визначені в алгоритмі 3.

Data:, P_f, P_v

Result: Interpolated positions $[\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$

(1) Vectors a and $b \rightarrow a = (P_f - P_v) \leftrightarrow b = (P_v - P_o)$;

- (2) $x=a/\text{norm}(a) \rightarrow$ Value in x associated to the system to O_I ;
- (3) $z=\text{cross}(a,b)$;
- (4) $z=z/\text{norm}(z) \rightarrow$ Vector normal to the plane or z associated to the system to O_I ;
- (5) $y=\text{cross}(z,x) \rightarrow$ Value in y associated to the system to O_I ;
- (6) $\theta=\text{acos}(\text{dot}(a,b)/(\text{norm}(a)*\text{norm}(b))) \rightarrow$ Angle between vectors a and b ;
- (7) $x_{vp}=\text{norm}(b) * \cos(\theta)$;
- (8) $y_{vp}=\text{norm}(b) * \sin(\theta)$;
- (9) $X_{fp}=\text{norm}(a)$;
- (10) $m= -x_{vp}/y_{vp}$;
- (11) $x_{cp} = P_{fp}/2 \rightarrow x$ of the center of the circumference;
- (12) $y_{cp} = (y_{vp}/2) + m(x_{cp}-(x_{vp}/2)) \rightarrow y$ of the center of the circumference;
- (13) $r = \text{norm}([X_{fp} \ 0] - [x_{cp} \ y_{cp}])$;
- (14) $\alpha_I = -\text{atan2}(y_{cp}, x_{cp}) \rightarrow \alpha_2 = \pi - \alpha_I$;
- (15) $\sigma = \text{linspace}(\alpha_2, \alpha_I, N)$;
- (16) $y_s = r * \sin(\sigma) + y_{cp} \rightarrow x$ of the center of the circumference;
- (17) $x_s = r * \cos(\sigma) + x_{cp} \rightarrow y$ of the center of the circumference;
- (18) $T = [x \ y \ z \ P_0; 0 \ 0 \ 0 \ 1]$;
- (19) **for** $i=1 : N$ **do**
- (20) $P = T * [x_s(i) \ y_s(i) \ 0 \ 1]$;
- (21) $c = P(1 : 3) - P_0$;
- (22) $x_n = c/\text{norm}(c)$;
- (23) $y_n = \text{cross}(z, x_n)$;
- (24) $Tc = [x_n \ y_n \ z \ P(1:3); 0 \ 0 \ 0 \ 1]$;
- (25) $q = [\text{IKM}(Tc)] \rightarrow$ Inverse Kinematic Model
- (26) **end**
- (27) Interpolated positions $q = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$;

1.4 Програмування роботів-маніпуляторів

Переважає більшість роботів-маніпуляторів зараз програмується за допомогою контролерів. Контролер – це порівняльний пристрій, який приймає вхідний сигнал, порівнює цей параметр з початковим значенням і визначає відповідну кількість вихідного сигналу, необхідного кінцевому елементу управління для забезпечення корекції дії в ланцюзі керування. Електронний контролер використовує електричні сигнали та цифрові алгоритми для виконання своїх сприйнятливих, порівняльних та коригуючих функцій [17].

Модуль EV3 – це програмований електронний контролер, за допомогою якого можна управляти сервоприводами й датчиками (рис.1.20):



Рисунок 1.20. Модуль EV-3 [18]

Технічні характеристики модуля EV3:

- Операційна система – Linux;
- Контролер ARM9 300 МГц;
- Флеш-пам'ять – 16 МБ;
- Оперативна пам'ять – 64 МБ;
- Роздільна здатність екрану модуля – 178x128 / чорно-білий;
- Зв'язок з головним ПК через шину USB 2.0 – до 480 Мбіт / с;

- Bluetooth 2.1;
- 4 порти на вхід і 4 порти на вихід;
- Живлення – 6 батарей типу АА

Спосіб програмування робота-маніпулятора безпосередньо залежить від його призначення. Розглянемо приклад програмування моделі Lego mindstorms EV3 для робота-маніпулятора [18].

Для програмування модуля керування EV-3 компанією LEGO було розроблене спеціальне програмне середовище, в якому є все необхідне для створення програми управління роботом-маніпулятором й налаштування її для потреб кожного користувача.

Середовище програмування з Lego mindstorms EV3 дозволяє обробляти в програмах різні типи даних, такі як: "Текст", "Числове значення", "Логічне значення", "Числовий масив", "Логічний масив". Тип даних "Числове значення" дозволяє виконувати різні математичні операції над числами. Числа в програмі можуть бути як додатними, так і від'ємними, бути цілими значеннями або містити десяткові дробі [19].

Початок роботи з програмування даного модуля починається зі створення нового проекту на вкладці Файл – Новий проект – Програма.

Після виконання цих команд отримуємо вікно запуску нової програми (рис. 1.21).

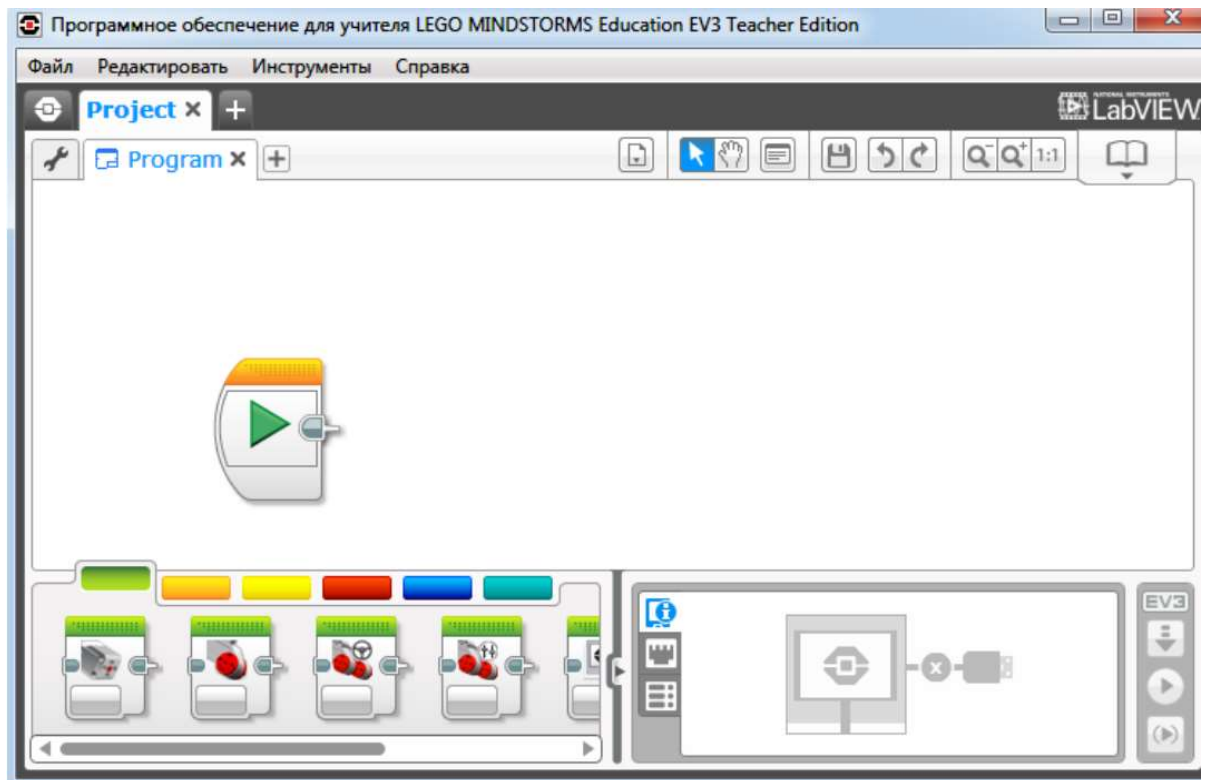


Рисунок 1.21. Стартовое вікно проекту [20]

Далі у зеленій вкладці вибирається блок "Управління моторами" та підключається цей блок – це стартовий блок, який вже створено автоматично. В конфігурації даного блоку є можливість та потреба вибору кількості обертів. Після вибору кількості обертів при натисканні на нього, кількість обертів можна переключити на "Задати кількість градусів". Також робота маніпулятора неможлива без заданої потужності. Потужність двигуна задається вручну [21].

Після здійснення всіх вищесказаних дій, маємо готову програму для запуску роботи маніпулятора, яка показана на рис.1.22.

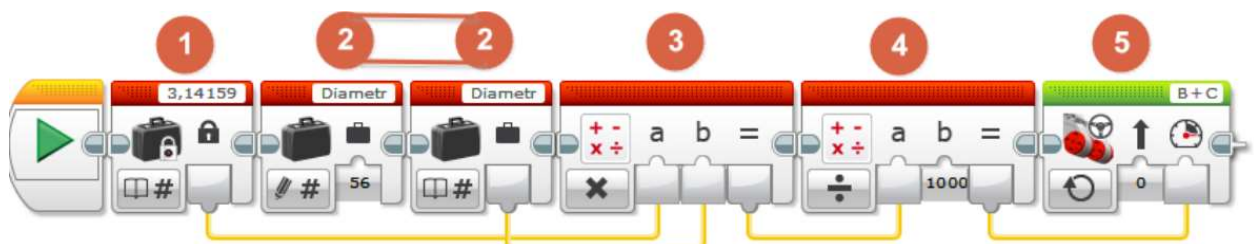


Рисунок 1.22. Готова програма для управління робота-маніпулятора [22]

Однак цих дій недостатньо, щоб почати керувати роботом-маніпулятором. Одним із необхідних кінцевих завдань є перевірка підключення до контролера. Це завдання реалізується за допомогою команди "Port View" на контролері і перевіряє відповідність номерів портів з моторами [23].

Висновок до розділу 1

У даному розділі проаналізовано проблему сортування сміття та способи її вирішення з використанням засобів автоматизації, що дозволило визначити необхідність розробки робота маніпулятора для сортування пластикових та паперових виробів. Проаналізовані роботи аналоги для сортування, розроблені в інших країнах. Розглянуто два основних види суглобів, які використовуються в роботах, та досліджено промислових роботів маніпуляторів, що дозволило визначитися з конструктивними рішеннями для проектного робота. Даною базою став робот PUMA. Проаналізовано три найпоширеніші траєкторії руху клешні робота, що дало можливість обрати кругову траєкторію, яка забезпечує оптимальний шлях переміщення клешні. Проаналізовано програмне забезпечення, що використовується для програмування робота, що дозволило вибрати мову програмування C++ та модуль EV-3.

Отже, метою дисертаційних досліджень є розробка робота-маніпулятора з механічною клешнею з інтегруванням в нього функціоналу розпізнавання пластикових та паперових виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. розглянути проблему сортування пластика та паперу;
2. проаналізувати види та різновиди сучасних роботів-маніпуляторів;
3. дослідити програмування робота через плату Arduino Uno;
4. вибрати складові робота та розробити його модель;
5. інтегрувати функціонал розпізнавання пластику та паперу;

6. виконати розрахунок кута повороту енкодера для розпізнавання предмету;
7. розробити Start-Up проект.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА. ВИБІР СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

На основі аналітичного огляду було розроблено технічне завдання на проектування робота-маніпулятора для сортування паперових і пластмасових виробів.

Для реалізації конструкції робота-маніпулятора було проаналізовано промислові роботи та розроблено кінематичну схему робота (рис.2.1). Робот для сортування було побудовано на основі робота PUMA, в результаті чого гнучкість пристрою є високою, і він з легкістю може переміщувати необхідні предмети до потрібних контейнерів. Суглоби даного робота - призматичні, тобто плечі обертаються навколо осей сервоприводів, в результаті чого даний робот має 6 ступенів свободи переміщення. Дослідивши траєкторії руху клешні, було обрано кругову траєкторію, так як вона є оптимальною при переміщенні предметів клешнею. Даний виріб повинен автоматизувати процес сортування та бути доступним по своїй матеріальній цінності, для більшої кількості спеціалізованих виробництв та підприємств.

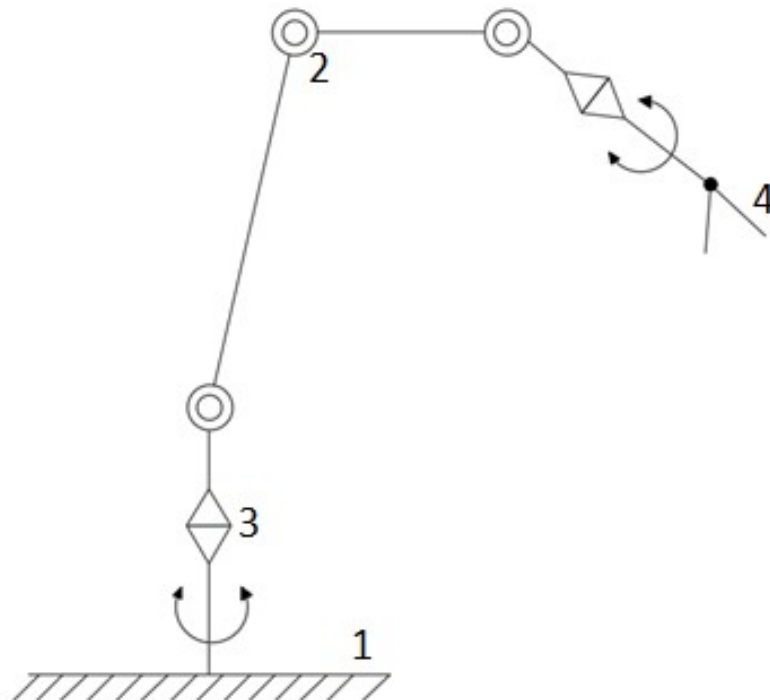


Рис.2.1 – Кінематична схема робота маніпулятора.

На кінематичній схемі рис.3.1 представлено :

- 1 – Опорна поверхня
- 2 – Поворотний вузол
- 3 – Обертний вузол
- 4 – Захват

2.1 Розробка моделі робота – маніпулятора

Для зручності реалізації поставленої задачі було вирішено розділити конструкцію робота-маніпулятора на чотири частини:

- 1) Плече в складі;
- 2) Малий ричаг в складі;
- 3) Великий ричаг в складі
- 4) Стіка в складі.

Робот-маніпулятор складається з 4 складальних одиниць другого рівня, 1 складальної одиниці першого рівня, окремих деталей та готових виробів, що входять до складу приладу.

Вузли другого рівня:

1 – Стійки в складі – складається з Стійок – 2шт, Сервоприводів SG995(- 2шт, Гвинтів – 8шт .

2 – Великий ричаг в складі – складається з Великих ричагів – 2шт, Планки - 1шт, Гвинтів - 2шт.

3 – Малий ричаг в складі – складається з Малих ричагів - 2шт., Планки – 1шт, Гвинтів - 2шт.

4 – Плече в складі– складається з Корпуса захвата в складі, Плеча – 1шт, Клепні лівої – 1 шт, Клепні правої – 1шт, Прокладок – 2шт, Гвинтів – 5шт, Штифтів – 2шт, Сервоприводів SG90 – 2шт.

Вузли першого рівня:

1 – Корпус захвата в складі – складається з Корпуса захвата – 1шт, Кришки захвата – 1шт, Гвинтів – 2шт .

Окремими деталями йдуть: Основа – 1шт, Кришка – 1шт, Прокладка – 1шт, Шестерня – 1шт, Плата – 1шт, Гвинт спеціальний – 1шт, Штифти – 4шт, Гвинти – 16, Гвинти – 14, а також готовими виробами: Двигун – 1шт, Сервоприводи SG995 – 2шт, Сервоприводи SG90 – 2шт, Енкодер -1шт, Ультразвуковий датчик – 2шт.

Даний прилад має в комплектації блок робочої клешні з плечем, два ричага (великий і малий), та основу в якій розміщується двигун з платою, до якої в свою чергу під'єднуються усі сервоприводи, які й приводять в дію кожен вузол.

Для того, щоб була можливість розпізнати матеріал виробу, який підлягає сортуванню, під корпусом захвата встановлений інкрементальний енкодер, на вихідний вал якого встановлюється ліва клешня захвата. Після того як серводвигун SG90 на корпусі захвата виконав обертання вихідного валу, в результаті чого привів в рух праву клешню, ліва клешня в свою чергу також зробить рух навколо своєї осі, за рахунок зубчастої передачі. В результаті чого вал енкодера повернеться на певний кут, і в залежності на скільки саме вал повернеться, отримуємо розуміння, який матеріал стискає клешня. Порівнюючи значення кута повороту енкодера з базовими значеннями кута для пластикових та паперових виробів, отримуємо розуміння з якого матеріалу зроблений виріб, який підлягає сортуванню. Перед тим, як робот почне працювати, його обов'язково потрібно налаштувати, а саме провівши кілька дослідів на стиск пластикових та паперових виробів, в результаті чого отримуємо діапазон кута повороту енкодера при тому чи іншому матеріалі. Але навіть при такому методі, є шанс неточності визначення матеріалу, тому в додаток до інкрементального енкодера, в клешні робота будуть вмонтовані ультразвукові датчики. Так як ультразвук в різних матеріалах поширюється по різному, в результаті чого можна визначити за який час ультразвукова хвиля подолає певну відстань, в тому чи іншому матеріалі.

Модель робота-маніпулятора представлена на рис.2.2.

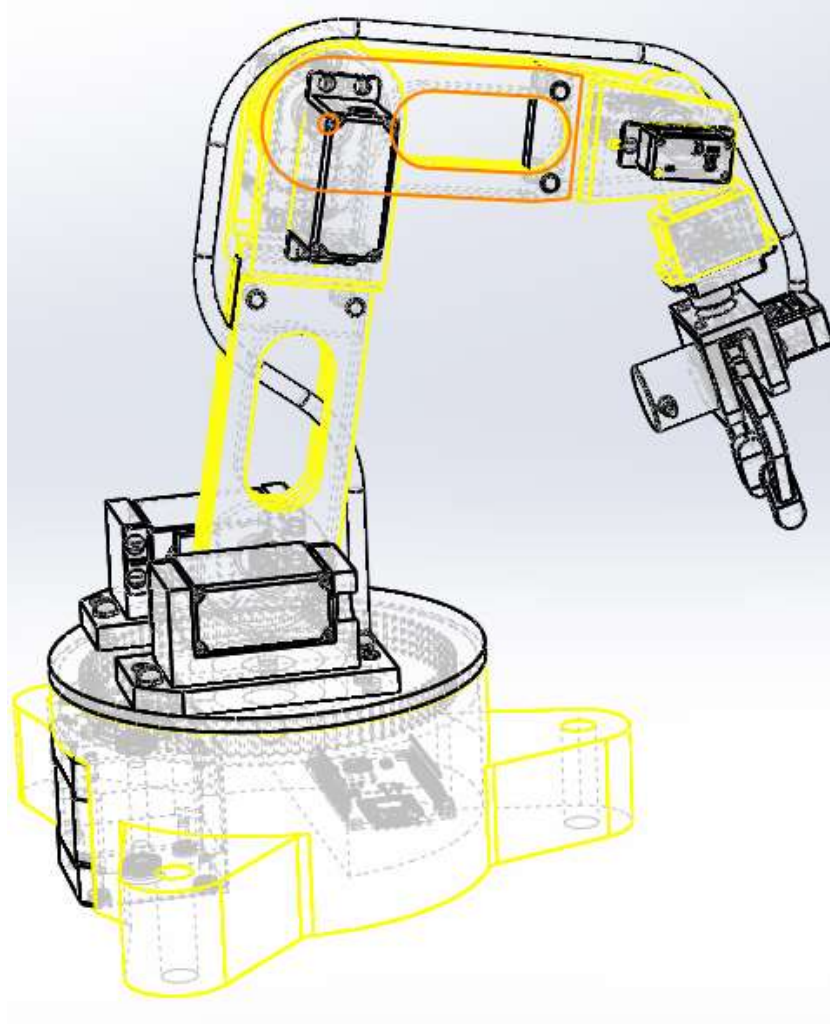


Рис.2.2 – Модель робота маніпулятора.

Технічні характеристики робота є наступними:

- Ступені свободи – 6;
- Вантажопідйомність – 0,3кг
- Сила затиску клешні: 2кгс/см
- Вхідна напруга -220В;
- Максимальна споживча потужність – 4 VA;
- Габаритні розміри, мм – 245 x 232 x 190 мм;
- Маса руки, кг – 0,8кг
- Кут повороту – 180°

Процес складання робота – маніпулятора для сортування паперових та пластикових виробів виконувався в наступній послідовності:

В першу чергу було закріплено двигун в основу за допомогою чотирьох гвинтів, а також встановлено плату Arduino Uno у відповідному місці та закріплено її також на чотири гвинти. Дивитися рисунок 2.3.

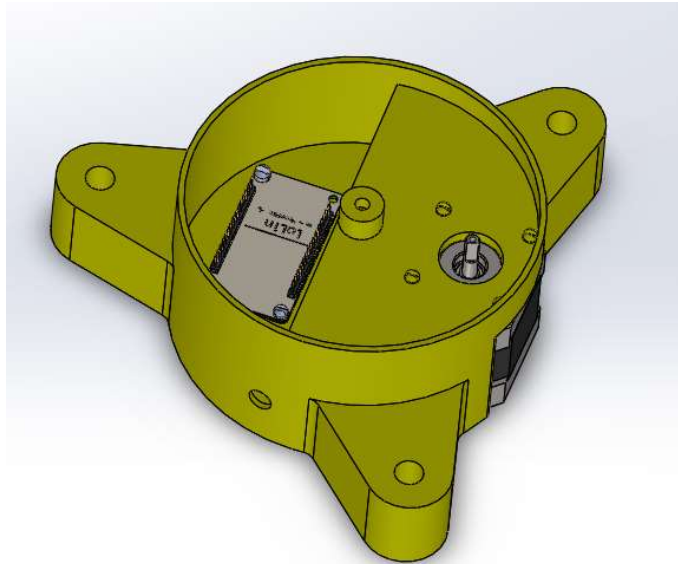


Рис.2.3 – Зібрана основа з двигуном

На рисунку 2.4 представлено двигун який розміщується в основі приладу, та який за допомогою шестерні, яка розміщується на валу двигуна обертає кришку приладу, що дає змогу здійснювати рух навколо осі.

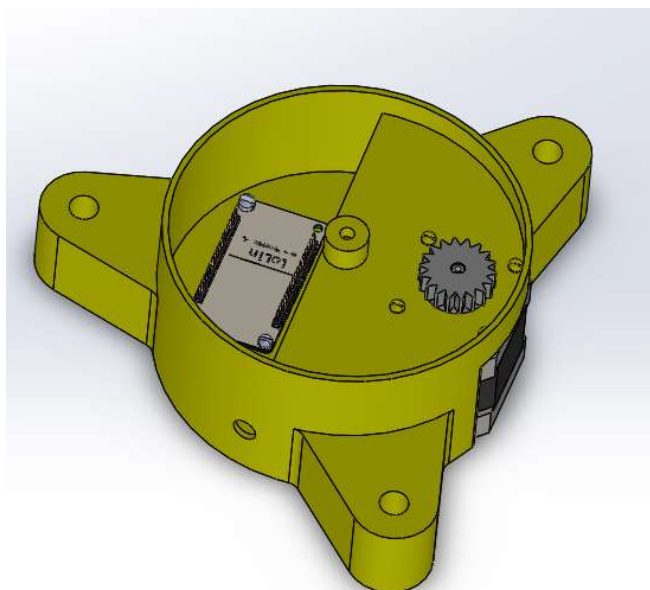


Рис.2.4 – Зібрана основа з двигуном та шестернею.

Після даних операцій було встановлено кришку основи, внутрішня частина якої вже має пази для зчеплення з шестернею двигуна та обертання навколо своєї осі. Дану кришку закріпили спеціальним гвинтом в центральний отвір основи, щоб кришка не мала змоги переміщуватися вертикально, а тільки обертається навколо своєї осі. Дивитися рисунок 2.5.

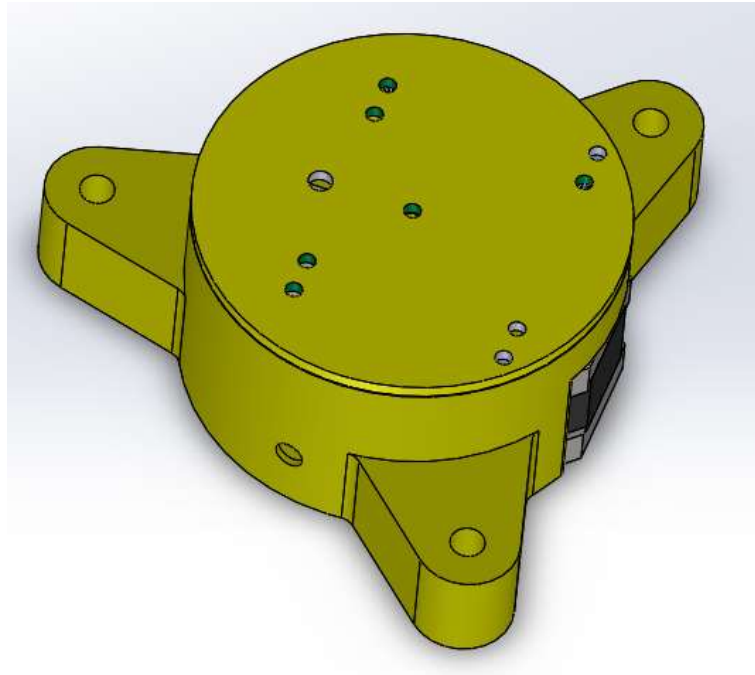


Рис.2.5 – Основа з встановленою на нею кришкою.

Стійки встановлені на кришку та зафіксовані за допомогою двох штифтів та двох гвинтів зображені на рисунку 2.6. Після цього на одну із стійок встановлено сервопривід марки MG995. Даний сервопривід має крутний момент до 10кг/см при живленні в 6В і підходить для виконання поставлених цілей, адже він має металевий привід.

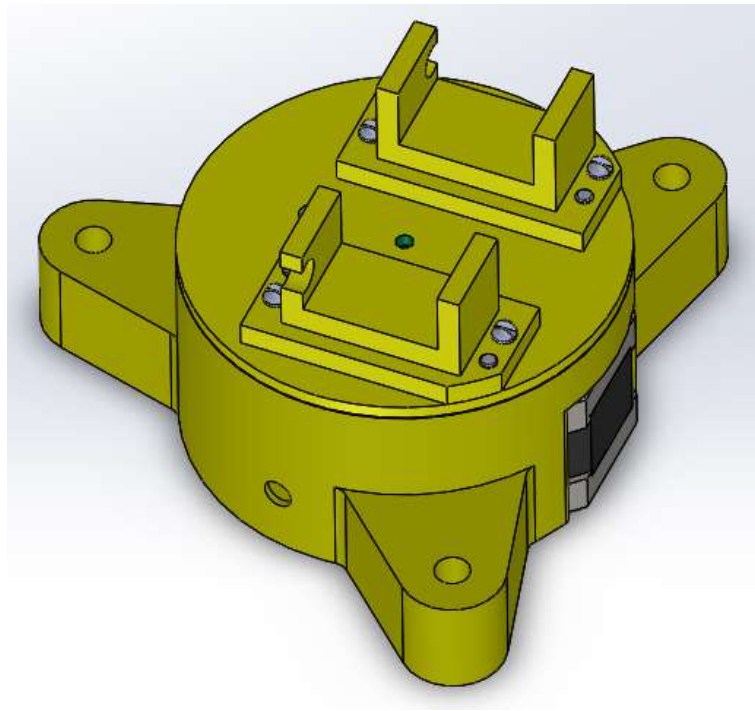


Рис.2.6 – Встановлені стійки на основі маніпулятора.

На рисунку 2.7 представлено зборка двох основних ричагів, які з'єднуються між собою за допомогою планки та двох гвинтів, у їх верхній частині. У місці встановлення ричага на вісь сервоприводу SG995, між ричагами розміщується прокладка для фіксації даних елементів один відносно одного. Прокладка має круглу форму, в результаті чого сам робочий лікоть стає більш безпечним, та на виготовлення даної прокладки витрачається менше матеріалу.

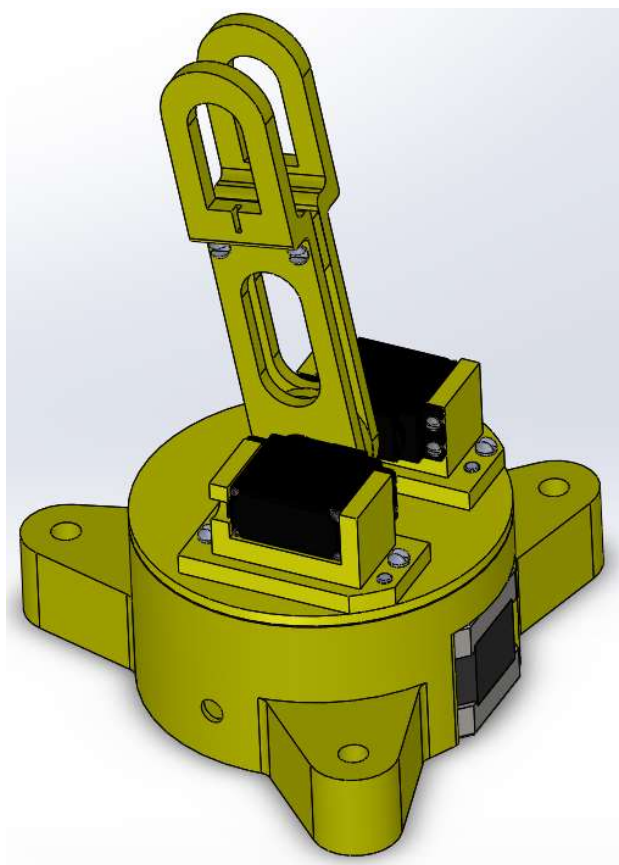


Рис.2.7 – Встановлені стійки на основі маніпулятора.

Після того як великий ричаг в зборі встановлений на вісі сервоприводі, приступили до зборки малого ричага. На рисунку 2.8 зображено зібраний та встановлений малий ричаг в зборі по аналогії з великим ричагом, а саме з'єднаний між собою за допомогою планки та двох гвинтів, і в місці встановлення на вісі сервоприводів розміщується прокладка, також круглої форми. Усі сервоприводи марки SG995 фіксуються до ричага за допомогою чотирьох гвинтів.

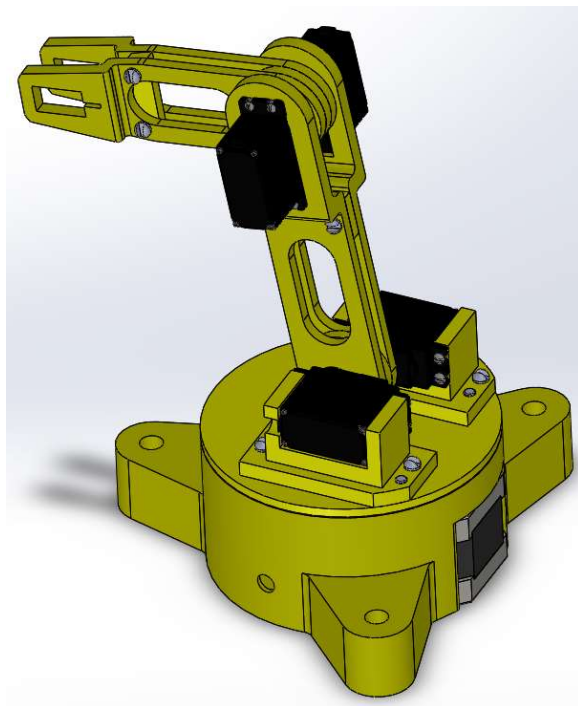


Рис.2.8 – Зібраний та встановлений малий рычаг на вісь сервопривода.

Тепер на зафіксований малий рычаг другим сервоприводом SG995 встановили плече та зафіксували його двома сервоприводами марки SG90. Кожен сервопривід в свою чергу фіксується двома гвинтами до рычага, дивитися рисунок 2.9

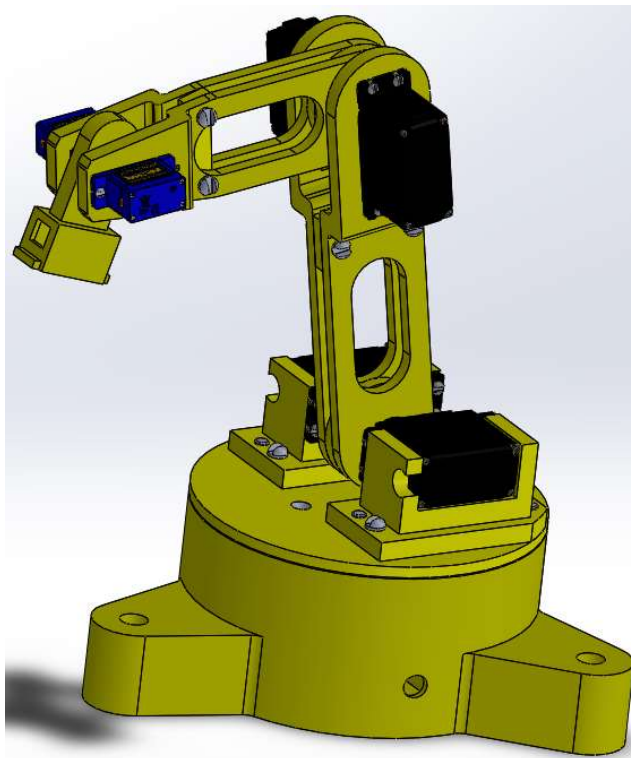


Рис.2.9 – Встановлені стійки на основі маніпулятора.

Сервопривід марки SG90, який буде виконувати функції обертання клешні навколо своєї осі, та який встановлений і закріплений у відповідному йому місці на плечі за допомогою двох гвинтів, зображено на рисунку 2.10.

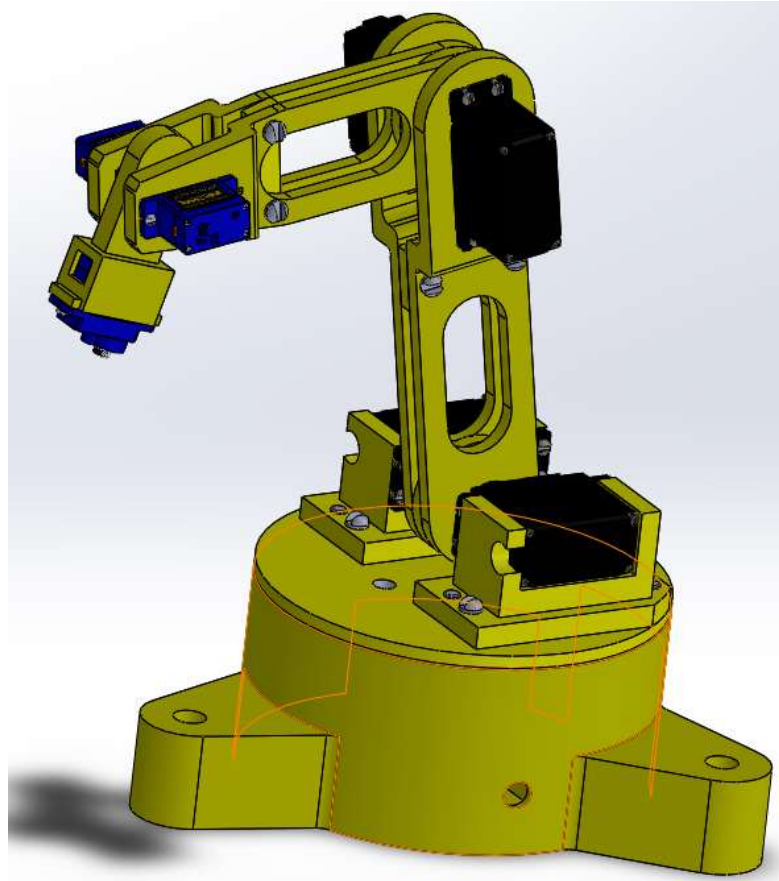


Рис.2.10 – Встановлений сервопривід у плечі робота.

Для того щоб була можливість брати та переносити паперові та пластикові вироби по відповідним контейнерам – під'єднали до вісі сервопривода, який закріплений у плечі робота, кришку та корпус захвата. У самому корпусі було встановлено ліву та праву клешні на штифти та прокладки відповідно. Щоб клешні мали змогу рухатися, також встановлено сервопривід марки SG90 на кришку захвата. Даний привід приводить в рух праву клешню, а вона в свою чергу через зубчасту передачу буде обертати ліву клешню. Знизу під кришкою захвата закріплено енкодер, таким чином, що його вихідний вал розміщується у вісь лівої клешні. Дивитися рисунок 2.11

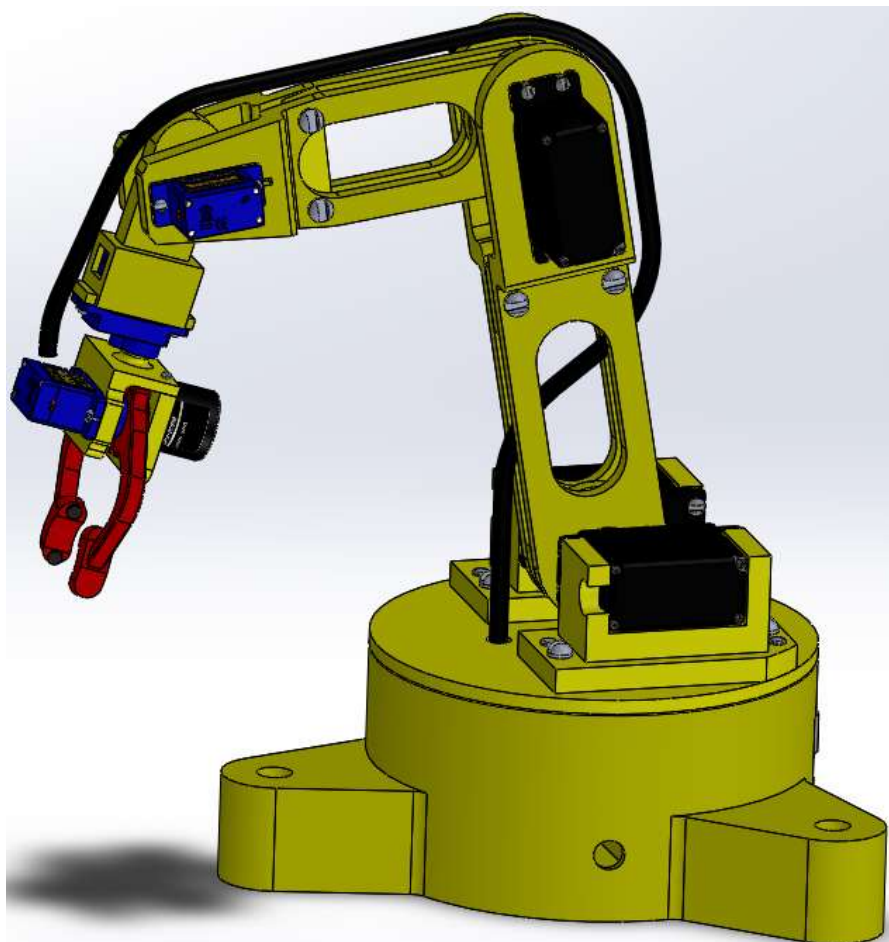


Рис.2.11 – Готова базова модель робота для переміщення легких виробів.

Креслення робота – маніпулятора представлено в Додатку А та специфікація робота в Додатку Б.

Структурна схема складання та технологічна схема складання даного робота – маніпулятора представлені в Додатку В.

Для коректного виконання роботом поставленого завдання, а саме сортування паперових та пластикових виробів, конвеєрна лінія, на якій саме будуть знаходитися предмети для сортування, повинна працювати в кроковому режимі, тобто після того як виріб на лінії перемістився в робочу зону робота, конвеєрна лінія повинна зупинитися, щоб робот мав змогу клешнею взяти предмет, розпізнати матеріал даного виробу та перемістити у відповідний контейнер, і лише після цього лінія може перемістити наступний предмет в робочу зону робота.

2.2 Обрання матеріалу для створення робота – маніпулятора

При виборі матеріалу потрібно враховувати декілька факторів:

- Міцність
- Простота обробки
- Вартість

Проаналізувавши ряд матеріалів, знайдено декілька варіантів, які підходять під наші критерії, а саме : пластик, нержавіюча сталь.

Пластмаси характеризуються низькою щільністю (0,85-1,8 г / см³), вкрай низькою електричною і теплопровідністю, не дуже високою механічною міцністю. Вони нечутливі до вологи, стійкі до дії сильних кислот Твердість пластмас визначається по Брінеллю при навантаженнях 50-250 кгс на кульку діаметром 5 мм. Основною перевагою використання пластмас, є те, що за допомогою пластику марки ABS можна друкувати деталі на 3Д принтері різної складності [24].

Нержавіюча сталь — стійка до корозії в атмосфері та агресивних середовищах сталь із вмістом хрому не менше 11,5 % та малим вмістом вуглецю (0,03...0,20 %). Стійкість досягається легуванням. Основний легуючий елемент нержавіючої сталі — хром (11,5...20 %). Вищий вміст хрому в сталі дає більший опір корозії, сплави з понад 12 % хрому не іржавіють у звичайних умовах та в слабкоагресивних середовищах, понад 17 % — корозієстійкі в агресивних окиснювальних середовищах, зокрема в азотній кислоті концентрації до 50 % [26].

Дослідивши вище вказані матеріали, було прийнято рішення виготовляти деталі маніпулятора з пластику марки ABS, а саме такий пластик задовольняє всі побажання та потреби при виготовленні деталей робота, за допомогою 3Д друку, в результаті чого отримані елементи робота будуть низької вартості та необхідної міцності.

Висновок до розділу 2

В даному розділі на основі кінематичної схеми робота було описано процес створення конструкції моделі робота-маніпулятора. Для коректного виконання свого завдання, було обрано відповідні комплектуючі елементи та надано опис їх застосування у моделі. Також за допомогою системи автоматичного проектування SolidWorks було розроблено 3Д модель приладу, для того щоб в подальшому роздрукувати дані деталі на 3Д принтері. Показано основні вузли робота маніпулятора та описано принцип їх з'єднання та взаємодії.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛУ СОРТУВАННЯ ПАПЕРОВИХ ТА ПЛАСТИКОВИХ ВИРОБІВ РОБОТОМ- МАНІПУЛЯТОРОМ

Відповідно до конструктивних рішень, що описано в розділі 2 розроблено загальну електричну схему робота маніпулятора, яка показана на рис. 3.1.

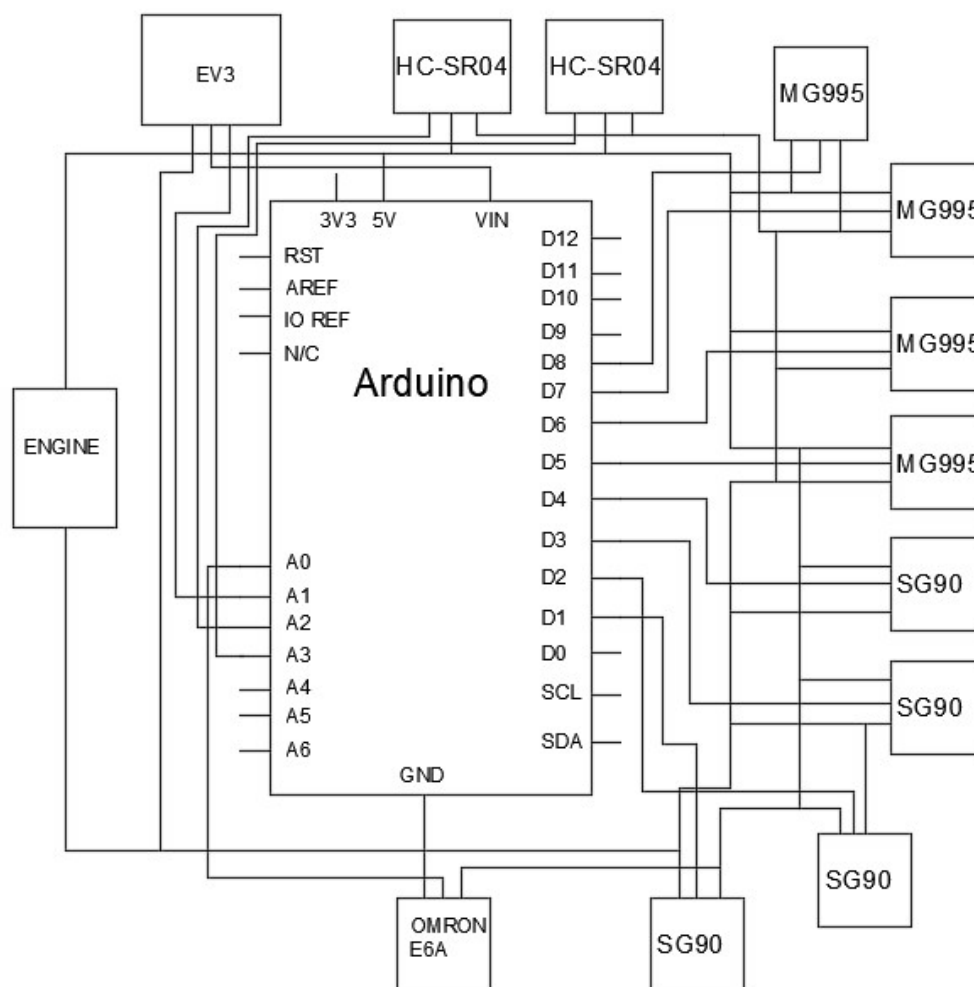


Рис.3.1. Загальна електрична схема робота

На електричній схемі рис.3.1 представлено, що всі електричні елементи робота під'єднані до апаратної плати Arduino Uno, а саме сервоприводи MG995 та SG під'єднані до цифрових входів, до порту живлення 5V та заземлення GND. Двигун під'єднаний тільки до порту живлення 5V й заземлення GND. Інкрементальний енкодер до порту живлення 5V, заземлення

GND та аналогового входу A0, а модуль EV3 до порту VIN, порту живлення 3V та заземлення GND. Ультразвукові датчики під'єднані до порту живлення 5V, заземлення GND та аналогових входів A1 та A2. Сигнал з комп'ютера через модуль EV-3 передається на плату, яка в свою чергу призводить в дію відповідний сервопривід або двигун, для оберту вихідного валу. При зміні положення валу енкодера та при отриманні даних з датчиків, сигнал зчитується і передається через модуль на комп'ютер для подальшої його обробки.

3.1 Програмування сервоприводів SG90 та MG995

Загалом робот-маніпулятор налічує в своєму складі вісім сервоприводів, які підключені до плати, розміщуються на кожному рухомому суглобі і дають змогу здійснювати рух у будь-яку сторону в просторі. Чотири сервоприводи марки MG995 (рис.3.2) розміщуються в місцях осей обертання великого та малого ричага. Технічні характеристики приведені в табл. 3.1



Рис.3.2. Загальний вигляд сервоприводу MG995 [27]

MG995 – це сервомотор, який користується популярністю завдяки своїм характеристикам та низькій ціні. Двигун використовується в багатьох додатках, головним чином, це робототехніка та безпілотники. Сервопривід підходить для проектування робота-маніпулятора у вас же робот-маніпулятор. Будучи металевим, сервопривід має довгий термін експлуатації і може бути встановлений на такій системі, як робот-маніпулятор, коли робота з двигуном

величезна. Потужний серво-мотор з металевим приводом. Крутний момент до 10 кг / см (при напрузі живлення 6В) [27].

Табл.3.1. Характеристики сервоприводу MG995

Характеристика	Значення
Швидкість без навантаження	0.13 сек/60 градусів
Привід	металевий
Температурний діапазон	0...55°C
Пусковий момент	8.5 кг/см при 4.8В
Робоча напруга	4.8 - 7.2 В
Ширина мертвої зони	5 мілісекунд
Кут повороту	160°
Розміри	40.7 x 19.7 x43 мм
Вага	55г

Схема підключення сервоприводу показана на рис. 3.3. Червоний провід підключений до + 5В регульованої потужності, яка може подавати струм до 1А, коричневий провід заземлений, а помаранчевий провід підключений до ШІМ (модуляція ширини імпульсу) мікроконтролера. У мікросхемі, якщо мікроконтролер і сервопривід мають різні джерела живлення, тоді мікроконтролер потрібно заземлити до сервозаземлення [28].

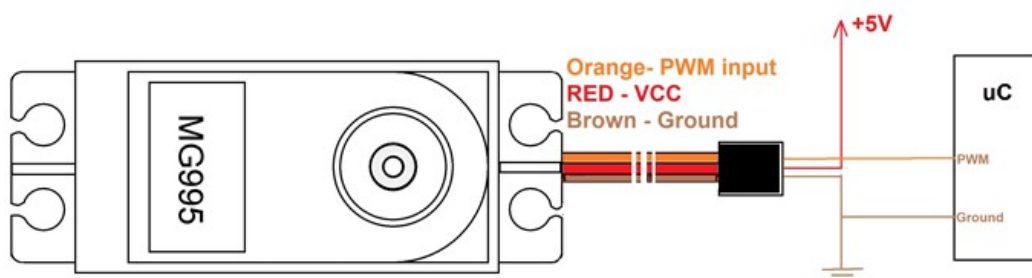


Рис.3.3. Схема підключення сервоприводу MG995 [28]

Частота ШІМ: MG995 приймає ШІМ-сигнал частотою 50 Гц, і будь-яка ШІМ вищої та нижчої частоти призведе до помилки.

Робочий цикл ШІМ: Коефіцієнт ШІМ (або відношення часу включення до загального часу циклу) визначає положення осі сервоприводу. Якщо подається ШІМ-сигнал 0,5 мс, час увімкнення протягом повного циклу 20 мс, вісь сервоприводу переміститься до 0° .

Більшість сервомоторів працюють від 4,8 В до 6,5 В, чим вища напруга, тим більший крутний момент можна досягти, але найчастіше вони працюють при + 5 В. Майже всі сервомотори можуть обертатися лише від 0° до 180° завдяки своєму розташуванню передач. Шестерні в двигунах легко піддаються зносу, тому, якщо застосування вимагає більш міцних і тривалих ходів двигунів, можна використовувати металеві шестерні або просто дотримуватися звичайних пластикових передач.

Ще чотири сервоприводи марки SG90 (рис.3.4) розміщується в осі обертання плеча робота, корпуса захвата та клешні.



Рис.3.4. Загальний вигляд сервоприводу SG90 [30]

Загальнодоступний крутний момент дорівнює 2,5 кг/м, який постачається з двигуном Towerpro SG90. Цей крутний момент 2,5 кг/см означає, що двигун може тягнути вагу 2,5 кг, коли він підвішений на відстані 1 см. Отже, якщо призупинити навантаження на 0,5 см, тоді двигун може

тягнути навантаження 5 кг аналогічним чином, якщо призупинити навантаження на 2 см, тоді може витягнути лише 1,25. Виходячи з навантаження, яке необхідне для розробки даного робота, було й обрано сервоприводи SG90 (рис.3.5).

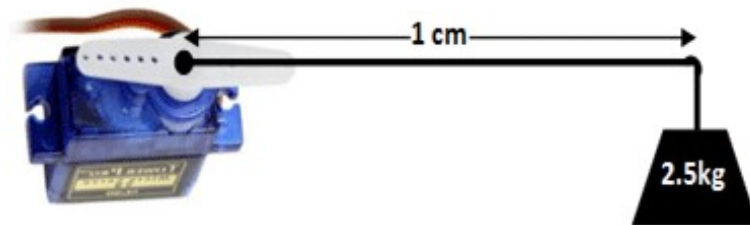


Рис.3.5. Графічне представлення крутного моменту сервопривода SG90 [29]

Сервопривід SG90 – це мотор-редуктор, здатний повертати вихідний вал в задане положення (на заданий кут) і утримувати його в цьому положенні, всупереч опорам і збурень.

Технічні характеристики приведені в табл. 3.2.

Табл.3.2. Характеристики сервоприводу SG90

Характеристика	Значення
Швидкість без навантаження	0.12 сек / 60 град.
Крутний момент	2 кг / см
Температурний діапазон	0...50°C
Ширина мертвої зони	4 мікросекунди
Робоча напруга живлення	3.5-5 В
Споживаний струм в русі	50-80 мА
Споживаний струм в утриманні	5-10 мА
Кут повороту	180°
Розміри	3.3 см x 3 см x 1.3 см
Вага	9г

Сервопривід SG90 складається з двигуна, потенціометра, редуктора та ланцюга управління. Перш за все, використовується редукторний вузол для зменшення частоти обертання та для збільшення крутного моменту двигуна. Скажімо, у початковому положенні вала серводвигуна положення ручки потенціометра таке, що на вихідному порту потенціометра не генерується електричний сигнал. Тепер електричний сигнал подається на інший вхідний термінал підсилювача детектора помилок [30].

Тепер різниця між цими двома сигналами, один надходить від потенціометра, а інший надходить з іншого джерела, буде оброблятися в механізмі зворотного зв'язку, а вихід буде надаватися в терміні сигналу про помилку. Цей сигнал помилки діє як вхід для двигуна, і двигун починає обертатися. Тепер вал двигуна з'єднаний з потенціометром, і коли двигун обертається, потенціометр і він буде генерувати сигнал. Так як кутове положення потенціометра змінюється, його вихідний сигнал зворотного зв'язку змінюється. Через деякий час положення потенціометра досягає такого положення, що вихід потенціометра збігається із поданим зовнішнім сигналом. За цієї умови вихідний сигнал від підсилювача на вхід двигуна не буде, оскільки немає різниці між зовнішнім прикладеним сигналом та сигналом, що генерується на потенціометрі, і в цій ситуації двигун перестає обертатися [31]. Схема підключення сервоприводів до плати показана на рис. 3.6

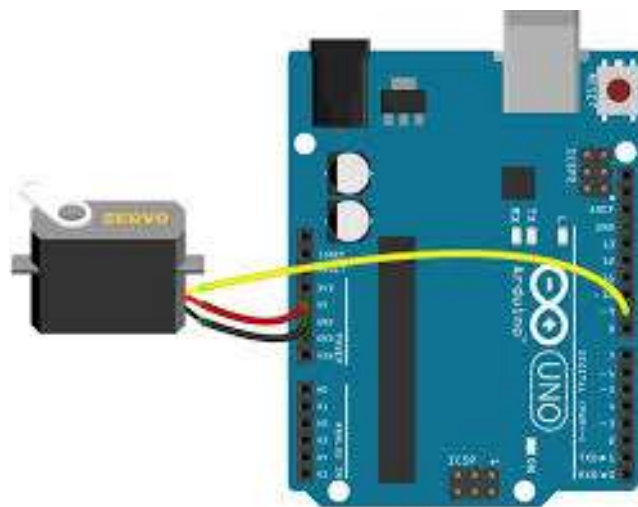


Рис.3.6. Схема підключення сервоприводу SG90 та MG995 [31]

3.2 Програмування апаратної плати Arduino Uno

Всі дроти сервоприводів протягнуті через гнучку трубку та під'єднані до плати Arduino Uno (рис.3.7). До плати також під'єднано потенціометри, через спеціальний отвір в основі робота, щоб була змога керувати сервоприводами марок MG995 та SG90, та блок живлення, який і буде забезпечувати напругою даний пристрій. Через плату здійснюється й налаштування кожного сервопривода, попередньо підключеної її до комп'ютера.



Рис.3.7. Загальний вигляд апаратної плати Arduino Uno [32]

Arduino Uno - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328 (datasheet). У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньо схемного програмування (ICSP) і кнопка скидання. Технічні характеристики приведені в табл. 3.3.

Табл.3.3. Характеристики плати Arduino Uno

Харкеристика	Значення
Мікроконтролер	АТmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендований)	7-12В
Напруга живлення (граничне)	6-20В
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виведення	40 мА
Цифрові входи / виходи	14
Flash-пам'ять	32 КБ (АТmega328)
Тактова частота	16 МГц

Дана плата містить всю необхідну підтримку для мікроконтролера. Для початку їх просто підключають до комп'ютера за допомогою кабелю USB або за допомогою адаптера змінного / постійного струму або акумулятора. Плата Arduino Uno відрізняється від всіх інших плат, і вони не будуть використовувати в них мікросхему драйвера FTDI USB-to-serial. Він представлений Atmega16U2 (Atmega8U2 до версії R2), запрограмований як USB-послідовний перетворювач [32].

Обладнання оснащено апаратною платою з відкритим кодом, розробленою на основі 8-розрядного мікроконтролера Atmel AVR або 32-розрядної Atmel ARM. Сучасна модель складається з інтерфейсу USB, 6 аналогових входів та 14 цифрових виводів вводу-виводу, що дозволяє користувачеві підключати різні плати розширень.

Це конфігурація Pin, що вказана нижче на рис. 3.8.

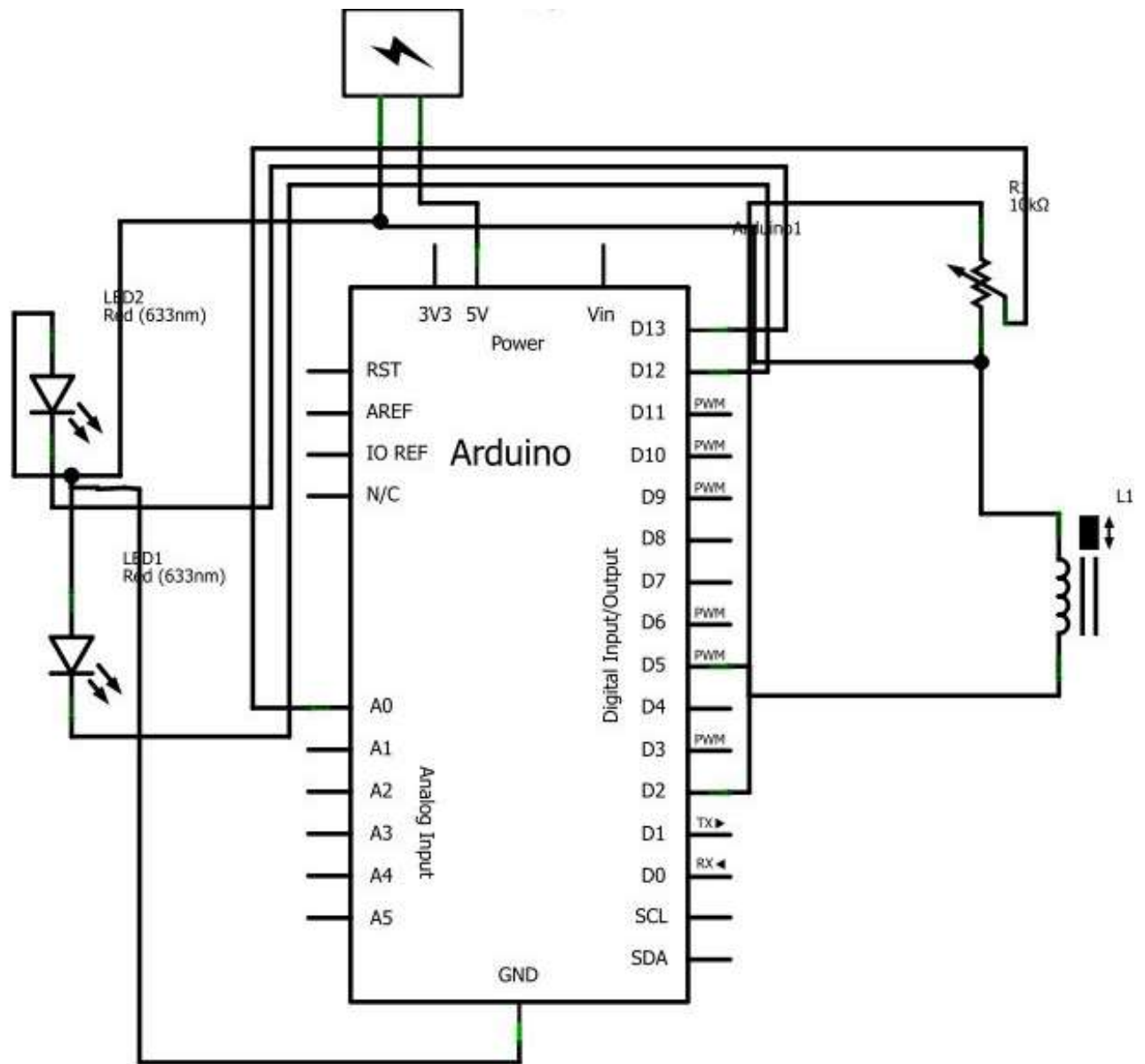


Рис.3.8. Конфігурація pin плати Arduino Uno [33]

Плата Arduino включає мікроконтролер, і саме цей мікроконтролер виконує інструкції у вашій програмі.

Мікроконтролер ATmega328 - це мікроконтролер, що використовується в Arduino UNO R3 як основний контролер. ATmega328 - це мікроконтролер з сімейства AVR; це 8-бітний пристрій, що означає, що його архітектура шини даних та внутрішні регістри призначені для обробки 8 паралельних сигналів даних.

ATmega328 має три типи пам'яті:

Флеш-пам'ять: енергонезалежна пам'ять 32 КБ. Використовується для зберігання програми, що пояснює, чому не потрібно завантажувати програму кожного разу, коли відключається arduino від джерела живлення.

Пам'ять SRAM: 2КВ енергонезалежна пам'ять. Використовується для зберігання змінних, що використовуються додатком під час його роботи.

Пам'ять EEPROM: енергонезалежна пам'ять 1 КБ. Це може бути використано для зберігання даних, які повинні бути доступними навіть після вимкнення плати, а потім увімкнення.

MCU приймає напругу живлення від 1,8 до 5,5 В. Для даного робота маніпулятора, напруга яку повинен приймати MCU повинна бути 4В.

Ввід і вивід на платі Arduino:

Цей мікроконтролер має три порти: PORTC, PORTB і PORTD. Порти PORTC та PORTB будуть використані для цифрового вводу-виводу загального призначення. Схема цифрових входів і виходів показана на рис. 3.9 і 3.10.

Є також кілька контактів, які можна налаштувати як вихід ШІМ. Ці штифти позначені на платі Arduino знаком «~».

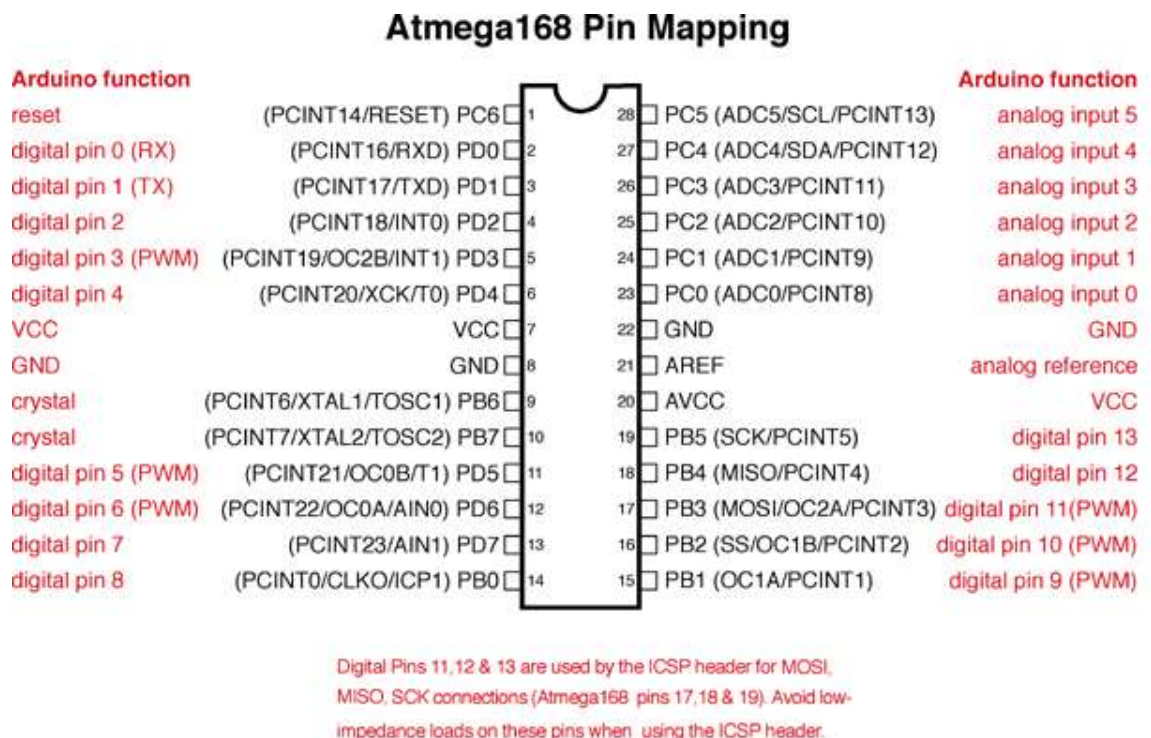


Рис.3.9 Схема розпіновки АТmega168 з мітками Arduino [34]

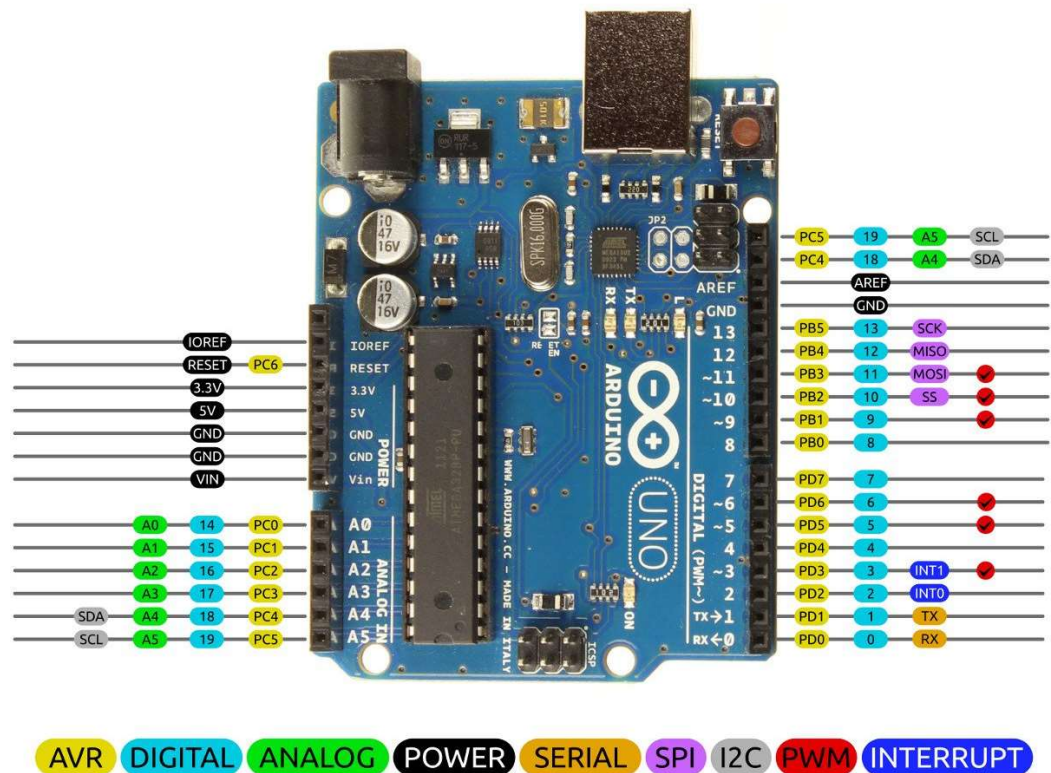


Рис.3.10 Графічне представлення розпіновки Arduino UNO R3 [35]

Код для цього проекту досить простий завдяки дуже вичерпній та стислій бібліотеці `servo.h`, розробленій командою Arduino для полегшення використання сервомоторів у проектах Arduino. Бібліотека дозволяє легко повертати сервопривід під різними кутами за допомогою однієї команди. Бібліотека попередньо встановлюється в IDE Arduino, усуваючи необхідність завантажувати та встановлювати. Запустивши код проекту, необхідно підключити бібліотеки, які будуть використовуватися, а в даному випадку це бібліотека `servo.h`.

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

Далі створюється об'єкт бібліотеки, який буде використовуватися як посилання для управління сервомотором по коду.

```
Servo servo;
```

Після цього описується функція `void setup ()`. Запустивши функцію, необхідно приєднати об'єкт сервоприводу, створений до штифта D8

мікроконтролера, після чого центрується сервопривід, повертаючи його до нульових градусів.

```
void setup() {  
    servo.attach(8);  
    servo.write(angle);  
}
```

Закінчивши це, сервопривід готовий рухатися у будь-якому бажаному напрямку, і робитимемо це за допомогою функції цикла `void`. Завдяки бібліотеці `servo.h` все, є можливість повернути вал серводвигуна на потрібний кут, для цього необхідно передати бажаний кут як аргумент у функцію `servo.write ()`. Щоб продемонструвати це, `for-loop` використовувався для повороту валів сервоприводів на кілька кутів в одному напрямку, а інший `for-loop` використовувався для повернення сервоприводу назад до місця, де він починався.

```
void loop()  
{  
    // scan from 0 to 180 degrees  
    for(angle = 10; angle < 180; angle++)  
    {  
        servo.write(angle);  
        delay(15);  
    }  
    // now scan back from 180 to 0 degrees  
    for(angle = 180; angle > 10; angle--)  
    {  
        servo.write(angle);  
        delay(15);  
    }  
}
```

Повний код програмування представлений у Додатку Г.

Функціонал розпізнавання паперу та пластику реалізований в даному роботі за рахунок інкрементального енкодера моделі OMRON E6B2-CWZ1X (рис.3.11) та ультразвукових датчиків HC-SR04(рис.3.12). Енкодер розміщується під корпусом захвата за допомогою двох гвинтів, які кріпляться

наскрізь через кришку захвата. Ліва клешня містить в осі обертання спеціальний паз для вала енкодера.



Рис.3.11 Загальний вигляд енкодера OMRON E6B2-CWZ1X [36]

Енкодер OMRON E6B2-CWZ1X відноситься до інкрементальних енкодерів та призначений для вимірювання кута повороту. Корпус виконано з ABS пластику, фланець алюмінієвий, вісь виготовлена зі сталі SUS420J2. В комплекты має гнучку муфту(пластик) та ключ для муфти(шестигранний ключ) [36]. Технічні характеристики приведені в табл. 3.4.

Табл.3.4. Характеристики датчика OMRON E6B2-CWZ1X

Характкристика	Значення
Тип	Інкрементальний
Напруга живлення	5...24В
Струм споживання	80 мА
Пусковий струм	9А (0.3мс)
Вихід	диференціальний
Клас захисту	IP50
Характеристики датчиків	Вісь 6мм
Робоча температура	-10...70°C
Максимальна частота обертання	6000 об/хв
Напрацювання на знос	100 млн. об.



Рис.3.12 Загальний вигляд ультразвукового датчика HC-SR04 [36]

Модуль включає в себе ультразвуковий передавач, приймач і блок управління. Показання датчиків практично не схильні до впливу сонячної радіації і електромагнітних перешкод. На передній панелі HC-SR04 розташовані два ультразвукових датчика, перший з написом T (Transmitter) є передавачем ультразвукових хвиль (TCT40-16T), а другий з написом R (Receive)-приймачем відбитих ультразвукових хвиль (TCT40-16R). у центрі знаходиться вихідний кварцовий генератор на частоті 27 МГц [36].

Табл.3.5. Характеристики датчика HC-SR04

Характеристика	Значення
Тип	Інкрементальний
Напруга живлення	5В
Робочий параметр сили струму	15 мА
Сила струму в пасивному стані	< 2мА
Частота	40кГц
Оглядовий кут	15°
Сенсорний дозвіл	0,3мм

3.3 Розрахунок кута повороту вала енкодера

Для того, щоб розпізнати матеріал виробу, який підлягає сортуванню, а саме виріб з паперу чи з пластику, необхідно обчислити, на яку відстань повернеться вал енкодера, якщо буде на нього діяти крутний момент в 2кг/см.

Підсумкові формули, що зв'язують сигнали енкодера з градусами повороту вихідного валу є наступні:

$$n = \frac{\varphi * i * IPR}{360},$$

$$\varphi = \frac{360 * n}{i * IPR},$$

де φ – кут повороту вихідного валу в градусах;

n – кількість сигналів енкодера;

i – передаточне відношення редуктора;

IPR – кількість імпульсів енкодера на 1 оберт вала (в даному випадку 48 імпульсів).

Потім необхідно визначити, як часто приходять сигнали з датчика. Помноживши частоту обертання вихідного валу на передаточне відношення можна отримати швидкість обертання електромотора. В даному випадку швидкість становить приблизно 83-84 оберти в хвилину. Частоту обертання холостого ходу (мотора без навантаження), але сам редуктор може виступати певним навантаженням, тому частота обертання і відрізняється. Так як найшвидша частота обертання якраз на холостому ходу, а під навантаженням мотор буде сповільнюватися, то як максимально можливу приймаємо саме її.

Для сервопривода SG90, можна обчислити швидкість обертання мотора приблизно як 79-80 обертів за хвилину.

Округлимо швидкості обертання в більшу сторону і візьмемо 80 об / хв для сервопривода SG90.

Отже, вал енодера робить по 80 обертів за хвилину (позначимо частоту обертання символом ω). Енодер OMRON E6B2-CWZ1X видає по 48 імпульсів ($IPR = 48$) на кожному виході за один оборот.

Отже, в залежності від кількості отриманих імпульсів з енодера, визначаємо, на який кут повернувся вихідний вал, отриманий результат порівнюється з наступним кутовим діапазоном, який створений на основі проведених дослідів.

Мінімальний кут повороту при пластику:

$$\varphi_{min} = \frac{360 * 1}{4 * 48} = \frac{720}{192} = 1.8^\circ$$

Максимальний кут повороту при пластику:

$$\varphi_{max} = \frac{360 * 3}{4 * 48} = \frac{720}{192} = 5,62^\circ$$

Мінімальний кут повороту при паперових виробках:

$$\varphi_{min} = \frac{360 * 10}{4 * 48} = \frac{720}{192} = 18.75^\circ$$

Максимальний кут повороту при паперових виробках:

$$\varphi_{max} = \frac{360 * 30}{4 * 48} = \frac{720}{192} = 56,25^\circ$$

Отже даний робот маніпулятор можна використовувати на підприємствах для сортування неважких виробів, а саме паперових та пластикових. Також даного робота можна використовувати в небезпечних умовах для здоров'я працівників. В подальшому робота можна вдосконалювати, використавши потужніші серводвигуни, та замінити матеріал основних деталей на нержавіючу сталь, або схожий аналог, але це також призведе до збільшення собівартості виготовлення робота [37].

Висновок до розділу 3

В даному розділі було розглянуто програмні елементи робота-маніпулятора для сортування паперових та пластмасових виробів та досліджено короткі характеристик кожного з цих елементів та схему підключення їх до плати Arduino Uno, що дало змогу визначити використання саме даних елементів, як основу електронної частини робота, так як всі ці елементи задовольняють необхідні вимоги. В даному розділі також представлена реалізація розпізнавання матеріалу виробу за рахунок інкрементального енкодера та ультразвукових датчиків та приведений алгоритм їхньої роботи, що дає змогу реалізувати даного робота, як робота для сортування. Для визначення матеріалу виробу, який підлягає сортуванню також були розраховані діапазони кута повороту вала енкодера для пластмасових та паперових виробів.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «LIGHT ROBOSORT»

4.1 Опис ідеї проекту

Цей розділ присвячений маркетингу та економічному значенню нашого винаходу, а саме для з'ясування можливостей організації Start-UP проекту, по виробництву і продажу роботів – маніпуляторів для сортування.

Ідея проекту полягає у створенні робота – маніпулятора для сортування паперових та пластикових виробів, який буде мати доступну ціну для більшості виробництв нашої країни. Цілісний погляд на зміст ідеї та можливі потенційні ринки, на яких можна шукати групи потенційних споживачів, описані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка робота – маніпулятора призначеного для сортування паперових та пластикових виробів, дешевшого за аналогів інших країн.	Промисловість	Впровадження на лінії виробництва для сортування відходів і подальшого їх використання.
	Підприємства по переробці сміття	Автоматизація процесу сортування, зменшення к-сті персонал.
	Навчально освітні заклади	Приклад практичної роботи для навчання спеціалістів.

Для аналізу техніко-економічних переваг ідеї необхідно визначитися з товаро-замінниками або конкурентами, які вже є на ринку, та зібрати інформацію про техніко-економічні показники для ідеї цього проекту та проектів конкурентів. За результатами порівняльного аналізу визначаються показники: а) найгірші значення (слабкі, Вт); б) близький до аналогового (N, нейтральний) с) найкращий (S, сильний) (Таблиця 4.2)

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Технічно економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Yaskawa Motoman Robotics	KUKA Robotics	ABB Robotics			
1	Вартість	3000	350000	500000	410000	-	-	+
2	Надійність	Висока	Висока	Висока	Висока	-	+	-
3	Наявність значної кількості продукції	Робот-маніпулятор для сортування паперових та пластикових виробів	Роботів і рішення автоматизації для промислових індустриальних додатків	Промислові роботи для складання, зварювання, фарбування та інші.	Промислові роботи для складання, зварювання, фарбування та інші.	+	-	-
4	Зручність транспортування	Висока	Середня	Середня	Середня	-	-	+
5	Торгова марка	Відсутня	В наявності	В наявності	В наявності	+	-	-

Згідно з порівняння технічно-економічних характеристик, товар поступається в плані наявності значної кількості продукції та надійності товарам конкурентів, але вартість даного виробу є сильною його стороною.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення даного проекту для розуміння доступності використання даного апарату.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Розробка робота – маніпулятора призначеного для сортування паперових та пластикових виробів, дешевшого за аналогів інших країн	Створення моделей 3Д деталей	Програма для створення моделей наявна	Програма є доступною
		Друк деталей на 3Д принтері	3Д принтер є в наявності	Даний принтер доступний
		Програма керування на мові C++	Дана мова розроблена і є в наявності	Дана мова доступна
Оптимальною технологією реалізації буде друкування основних деталей на 3Д принтері, і покупка апаратної частини із готових виробів в наявності.				

Проаналізувавши дані таблиці 4.3, можна зробити висновки що реалізація даного виробу є дуже високою, адже програма та мова програмування є доступними і безкоштовними, а друк деталей на 3Д принтері досить бюджетний в порівнянні з виробами з металу чи інших матеріалів, які використовуються конкурентами.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Спочатку потрібно визначити ринкові можливості, які можуть бути використані при ринковій реалізації проекту, і ринкові загрози, які можуть перешкоджати його реалізації.

Такий аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить планувати напрямки розвитку проекту, пропозиції конкуруючих проектів і потреби потенційних замовників. У таблиці 4.4 аналізується попит: наявність попиту, обсяг і динаміка розвитку ринку.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартаппроекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	<5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	< 1000000

3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнація/ближче до зростання
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Економічна ситуація в країні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Отримання ліцензії
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15-20%

Слід зазначити, що у 2018 році обсяг світового ринку побутових робіт досяг \$ 3,02 млрд, повідомляє дослідницька компанія ResearchAndMarkets. Дані були опубліковані 19 липня 2019 року.

У цю суму входять витрати на технічне обслуговування та інші послуги, пов'язані з експлуатацією робіт. Якщо не брати до уваги ці послуги, то ринок в 2018 році оцінюється в \$ 2,77 млрд. за оцінками експертів, до 2024 року ця виручка складе \$ 9,13 млрд, збільшуючись приблизно на 22,37% щорічно.

За оцінками аналітиків, світові поставки побутових робіт в 2018 році були рівні 10,3 млн одиниць, а до 2024 року поставки зростуть до 41,4 млн одиниць. Середньорічні темпи зростання розглянутого ринку в натуральному вираженні прогножуються на рівні 26,16%.

Далі визначаємо потенційні групи споживачів, їх характеристики та формуємо орієнтовний перелік вимог до продукції для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Промислове виробництво	В то В (директори виробництва, відповідальні за організацію виробництва, ті хто приймає	Можливість автоматизації виробництва і зведення до мінімуму участі людського фактора.	1. Співвідношення ціни та якості; 2. Рівень обслуговування; 3. Рівень інформування;

		рішення щодо вдосконалення робочого процесу)		4.Гарантійне обслуговування;
2.	Перероблювальні станції	В to В (директори виробництва, відповідальні за організацію виробництва, ті хто приймає рішення щодо вдосконалення робочого процесу)	Рентабельність Особливості обслуговування Легкість у використанні	1. Співвідношення ціни та якості; 2.Гарантійне обслуговування;

За результатами табл.4.5, можемо зробити висновок, що основним споживачем нашого товару буду перероблювальні станції. Оскільки товар в першу чергу зорієнтований саме на них. І на відміну від інших промислових виробництв, робота сортувальників на перероблювальних підприємствах є шкідливою для здоров'я людини, і тому вони в першу чергу будуть зацікавлені в процесі автоматизації.

Однак, є також і деякі загрози у використанні цієї технології. Для запобігання подібних ситуацій необхідно якісне обладнання, і з такими програмами повинні працювати висококваліфіковані фахівці. Також слід своєчасно проводити технічне обслуговування даного виробу (табл. 4.6). Після виявлення потенційних груп клієнтів, аналізуємо ринкове середовище.

Складемо таблицю факторів, що перешкоджають реалізації ринкового проекту (табл. 4.6)

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
		За розрахунками МВФ, реальний ВВП України у 2020 році скоротиться на 7,7%, але вже у 2021 році зросте на 3,6% (World Economic Outlook, April 2020). Світовий банк у новому прогнозі розвитку економіки України	

1	Економічна ситуація в країні	(Fighting CORVID-19) передбачає, що у 2020 році реальний ВВП України скоротиться на 3,5% (Кабмін прогнозує скорочення 4,8%), після чого у 2021 році очікується зростання на 3%, у 2022 – на 4%. Світовий банк прогнозує, що у 2020 році відбудеться зростання в агропромисловому секторі на 1%, у сфері послуг – падіння на 5,4%, промисловість залишиться на рівні 2019 року, тобто з нульовим зростанням. Індекс споживчих цін в Україні, за прогнозами Світового банку, за підсумками 2020 року складе 8,9%, тоді як в оновленому прогнозі Уряду – 6,8%.	Посилення маркетингової компанії та розгляд поставки продукції на імпорт.
2	Рівень конкуренції	Глобальна конкуренція, також підвищує попит на автоматизацію перероблювальних підприємств та інших промислових фабрик.	Зменшувати ціну для оптових покупців. Зробити систему знижок для споживачів, які рекламуватимуть та будуть залучати нових клієнтів для купівлі нашого продукту.
3	Соціальний	Зміна потреб та вимог кінцевого споживача.	Знаходження компромісу між потребами кінцевого споживача і особливостями виробництва.
4	Логістичний	Погано розвинута логістична інфраструктура в нашій країні, внаслідок чого можуть бути довгими строки постачання комплектуючих.	Співпраця з логістичними компаніями, у яких наявна велика к-сть транспорту та складів по всій території країни.

Проаналізувавши таблицю 4.6, необхідно оцінити фактори загроз та розробити стратегію протидії їм. Якщо на ринку з'являється конкурент, необхідно зменшувати ціну для оптових покупців. Зробити систему знижок для споживачів, які рекламуватимуть та будуть залучати нових клієнтів для купівлі нашого продукту.

Також в умовах складної економічної ситуації в країні може збільшитися інфляція, що позначиться на ціні комплектуючих. Тому необхідно постійно стежити за ринком цих запчастин, щоб якомога швидше

змінити постачальника. Також потрібно стежити за потребами кінцевого споживачі, щоб в разі потреби можна було знайти компроміс між побажаннями клієнтів та особливостями виробництва.

Складемо таблиці факторів, що сприяють ринковій реалізації проекту (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Економічний	Всі деталі робота-маніпулятора друкуються на 3Д принтері, що дозволяє зменшити собівартість даного виробу. Також перевагою є те апаратна частина робота має невисоку ціну, в результаті чого отримує значно дешевший аналог закордонних роботів.	Зменшування ціни на виріб та з
2	Інновації	Можливість вдосконалення обладнання, так як програмне забезпечення робота та спосіб заміни деталей є доступним та бюджетним.	Залучення іноземних спеціалістів та сучасних технологій.
3	Маркетинг	Залучення до купівлі нових виробників та роздрібних клієнтів.	Співпраця з різними виробниками та реклама виробу в інтернет просторі.
4	Попит	Впровадження автоматизації на сучасних промислових виробництвах тільки набирає популярності.	Збільшення обсягу обладнання

Виходячи з даних, наведених в таблиці 4.7, найбільш перспективним фактором є можливість вдосконалення елементів робота, що передбачає можливість збільшити обсяг споживачів і як наслідок можливість підвищення цін без витрат. Хоча ймовірність реалізації цього фактора досить низька у зв'язку з тим, що потрібно залучати іноземних спеціалістів та більш сучасні технології.

Далі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні особливості конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
За типом конкуренції	Локальний/національний бізнес	Продукція спочатку буде постачатися на український ринок промислових робіт, як якісний товар з правильною ціною політикою.
За рівнем конкурентної боротьби	Національний	Конкуруючи на національному ринку необхідно потрібно розвинути рекламну компанію для більшої кількості інвестицій
За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Необхідність зайняти провідні позиції на внутрішньому ринку виробництва промислових робіт.
За видами товарів • Товарно видова	Конкуренція між виробниками товарів одного виду.	Конкуренція в сфері промислових робіт.
За характером конкурентних переваг	Цінова. В основному вартість залежить від ціни на комплектуючі та матеріали.	Вибір обладнання та матеріалу, щоб відповідало компромісу ціна/якість.
За інтенсивністю	Марочна	Розширення ринку продукції

За результатами аналізу табл. 4.8 можна зробити висновок, що запропонована конструкція демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними вважаються марочна і внутрішньогалузева конкуренція. Тому що потрібно буде розширювати асортимент продукції та зайняти провідну позиції на внутрішньому ринку виробництва промислових робіт.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, додаток а) (табл . 4.9).

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	1.Yaskawa Motoman Robotics 2.KUKA Robotics 3.ABB Robotics	Представництво «TRANS SYSTEM ENGINEERING» в Україні	Обсяги та строки поставок, змінні витрати постачальників	Промислові виробництва та перероблювальні підприємства	Механічні роботи - маніпулятори
Висновки	Конкуренція високого рівня	Є можливість входу на ринок та наявні потенційні конкуренти	Залежність від постачальників тільки в поставці матеріалу для друку	Необхідність високої якості виробу та лояльної цінової політики.	Мало конкуруючі вироби, так як процес автоматизації активно розвивається

Ця теорія заснована на концепції, що існує п'ять сил, які визначають інтенсивність конкуренції і привабливість ринку. П'ять сил Портера допомагають визначити, де знаходиться увага споживача в ситуації з продажу. Це корисно як для розуміння сили поточної конкурентної позиції організації, так і для розуміння сили позиції, яку організація може прагнути зайняти.

Стратегічні аналітики часто використовують п'ять сил Портера, щоб зрозуміти, чи є нові продукти або послуги потенційно прибутковими. Розуміючи, в чому полягає сила, теорія може також використовуватися для виявлення областей потреб споживача, поліпшення слабких сторін і запобігання помилок.

Дані п'ять сил означають наступне:

1. Сила Постачальника. Оцінка того, наскільки легко постачальникам підняти ціни. Це обумовлено: кількістю постачальників кожного істотного вкладу; унікальністю їх продукту або послуги; відносним розміром і силою постачальника; і вартістю переходу від одного постачальника до іншого.

2. Сила покупця. Оцінка того, наскільки легко покупцям знизити ціни. Це обумовлено: кількістю покупців на ринку; важливістю кожного окремого

покупця для організації; і вартістю для покупця переходу від одного постачальника до іншого. Якщо у бізнесу є лише кілька впливових покупців, вони часто можуть диктувати свої умови.

3. Конкурентне суперництво. Основною рушійною силою є кількість і можливості конкурентів на ринку. Багато конкурентів, пропонуючи недиференційовані продукти і послуги, знижують привабливість ринку.

4. Загроза заміщення. Там, де на ринку є близькі продукти-замінники, це збільшує ймовірність того, що споживачі переключаться на альтернативні варіанти у відповідь на зростання цін. Це знижує як владу постачальників, так і привабливість ринку.

5. Загроза нової записи. Прибуткові ринки залучають нових учасників, що підриває прибутковість. Якщо у діючих компаній немає сильних і міцних бар'єрів для входу, наприклад патентів, ефекту масштабу, вимог до капіталу або державної політики, то прибутковість знизиться до рівня конкурентної ставки.

Після попереднього аналізу необхідно визначити і обґрунтувати фактори конкурентоспроможності..

У таблиці 4.10 наведені фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проводиться в таблиці. 4.9, а також з урахуванням особливостей проектної ідеї (табл. 4.2), вимог споживачів до продукту (табл. 4.5) і факторів маркетингового середовища (табл. 4.6, табл.4.7) визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)	Бали
1	Якість виробу	Висока точність визначення сортувального матеріалу, що підтверджується низкою перевірок, після готової зборки конструкції	1-20
2	Ціна	Визначення середньоринкової ціни та встановлення дещо нижче ніж у конкурентів	1-20

3	Сервісне обслуговування	Якісне сервісне обслуговування запорука безвідмовної роботи довгий час.	1-20
4	Інновації	Можливість покращувати виріб в плані друкованих деталей, взявши інший матеріал, та в плані серводвигунів та програмного забезпечення.	1-20

На підставі аналізу таблиці 4.10 можна зробити висновок, що запропонована конструкція має ряд дуже важливих факторів, що гарантують її конкурентоспроможність. Найбільш важливими з них є низька собівартість виробу і можливість покращувати виріб в плані деталей робота та покупних елементів.

Для окремих факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних і слабких сторін стартап-проекту (табл.4.11).

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Робота - маніпулятора для сортування пластикових та паперових виробів»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим підприємством						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість виробу	18			+				
2	Ціна	16						+	
3	Сервісне обслуговування	12				+			
4	Інновації	10		+					

З таблиць 4.10 і 4.11 видно, що фактори конкурентоспроможності є значущими і мають великий позитивний внесок у впровадження нового продукту, а саме робота - маніпулятора для розрахунку не тільки конкурентоспроможності, але і всього життєвого циклу продукту в його різних життєвих циклах. Головною перевагою і головним досягненням є низька ціна продукту і гарантійне обслуговування протягом усього періоду його використання споживачем. Але для реалізації нашого амбітного проекту необхідно провести пріоритетну аналітичну роботу, а саме розробити SWOT-аналіз, за допомогою якого стартапи і власники нових бізнесів зможуть врахувати всі ризики і розробити стратегію розвитку таким чином, щоб стати

конкурентоспроможними вже на ранніх стадіях після запуску і незабаром обігнати конкурентів. Для існуючих компаній важливо проводити SWOT-аналіз компанії не рідше одного разу на рік, навіть у тих випадках, коли справи йдуть добре. Проведений аналіз допоможе визначити стратегію розвитку компанії відповідно до поточних ринкових умов. Провівши аналіз, можна трансформувати його в маркетингову стратегію зростання компанії на наступний період (6 місяців / 1 рік). Знаючи свої сильні сторони, маркетингові повідомлення будуть більш точними. У той же час, знаючи слабкі місця, можна докласти всіх зусиль, щоб їх нівелювати.

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

ВНУТРІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	Сильні сторони:	Слабкі сторони:
	1.Висока точність та можливість аналізу отриманих результатів. 2.Висока якість матеріалів та покупних деталей 3.Собівартість на порядок нижче ніж у конкурентів 4.Якісне сервісне обслуговування	1. Відносно не висока надійність 2. Вузька область застосування 3.Залежність по термінам поставки комплектуючих від постачальників.
ВНУТРІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	Можливості:	Загрози:
	1.Збільшення обсягів продаж 2.Можливість закріпитися на національному ринку та вийти на міжнародний. 3.Підвищена ступінь мобільності. 4. Друк на 3Д принтері.	1. Велика конкуренція на ринку. 2. Зниження попиту на виріб. 3.Зростання цін на комплектуючі та матеріали. 4.Економічна ситуація в країні.

На основі SWOT-аналізу розробляються ринкові альтернативи поведінки (перелік заходів) щодо виведення стартап-проекту на ринок та приблизні оптимальні терміни їх ринкової реалізації з урахуванням потенційних проектів конкурентів, які можуть бути виведені на ринок (Див.

табл. 4.9, Аналіз потенційних конкурентів). Альтернативи ринковому впровадженню на основі SWOT-аналізу наведені в таблиці 4.13.

Виявлені альтернативи аналізуються з точки зору термінів і ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія залучення нових інвестицій	Ймовірність даної стратегії приблизно середня, так як автоматизація виробництв набирає попиту, й інвесторам потрібно продемонструвати більше можливостей та вигоди вкладення коштів саме в наш виріб	Постійно
2	Стратегія компенсації ринкових загроз сильними сторонами робота	Ймовірність висока, адже оцінивши ринкові загрози можна зробити висновок, що даний робот може їх нейтралізувати за рахунок своїх сильних сторін.	10 місяців
3	Стратегія встановлення низької ринкової ціни серед аналогів для залучення великої кількості покупців	Ймовірність є високою, адже ціна є головною сильною стороною даного робота – маніпулятора.	6 місяців

Таким чином, розглядаючи можливості ринкової реалізації стартап-проекту, можна зробити висновок, що основною альтернативою є стратегія встановлення низької ціни на ринку серед аналогів, так як це вагомий приріст в кількості нових споживачів.

4.4 Розроблення ринкової та маркетингової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.14).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислове виробництво	середня	Вище середнього	Середня	Середня
2	Перероблювальні станції			Висока	Висока
Які цільові групи обрано: більше за все підходить промислові компанії тобто В to В сегмент. Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

Проаналізувавши потенційні групи споживачів, попит може виникнути промислових виробництв та перероблювальних станціях. Перероблювальні станції зацікавлені у автоматизації свого виробництва, адже інколи процес сортування може бути небезпечним для людського здоров'я. Найбільший інтерес для перероблювальних підприємств становитиме надійність та простота користування роботом.

Для роботи у вибраних сегментах ринку необхідно сформувані базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Встановлення низької ціни на виріб, для того щоб залучити	Стратегія диференційованого маркетингу	Мобільність, доступність споживачеві, концентрація коштів на вдосконаленню якості.	Стратегія диференціації

	більшу кількість споживачів.			
--	------------------------------	--	--	--

Враховуючи, що за основу обрана нами стратегія є «стратегія спрощеного недиференційованого маркетингу», в рамках якої вибирається "Стратегія односегментної концентрації", яка передбачає вибір в якості цільового - один ринковий сегмент і орієнтацію нашої діяльності саме на нього. Таким чином, стратегія концентрації одного сегмента, концентрований маркетинг і стратегія ніши ринку є синонімічними категоріями. Переваги стратегії односегментної концентрації полягають в наступному:

- спеціалізація фірми на потребах конкретного сегмента ринку дозволяє найкращим чином їх задовольнити,
- спеціалізація в одному сегменті забезпечує економію за рахунок концентрація засобів.

Ризики стратегії концентрації в одному сегменті:

- існує можливість посилення конкуренції в цільовому сегменті за рахунок впровадження конкурентами більш вузької сегментації,
- темпи зростання цільового сегмента можуть знижуватися, в результаті чого сегмент буде прагнути до скорочення, а фірма - до втрати цільового сегмента.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Частково нові споживачі	Ні	Стратегія зайняття конкурентної ніші

В якості стратегії конкурентної поведінки була обрана стратегія зайняття конкурентної ніші. Виходячи з вимог споживачів з обраного сегмента до постачальника і продукту, а також залежно від стратегії розвитку та конкурентної стратегії розробляємо стратегію позиціонування, яка визначається формуванням ринкової позиції, за якою споживачі повинні ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Якість виробу, сервісне обслуговування, надійність й простота користування	Стратегія диференціації	Виготовлення на 3Д принтері основних деталей виробу. Комплексний підхід. Доступність споживачеві	Професіоналізм команди. Вартість. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розгляд маркетингової концепції товару, яку отримує споживач. У таблиці 4.18 підсумуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами(існуючі, або такі що треба створити)
1	Низька ціна	Ціна є дещо нижчою чим у конкурентів	Збільшення обсягу споживачів за рахунок ціни та якості виробу
2	Точність	Забезпечує високу точність визначення матеріалу сортування	Точність визначення матеріалу забезпечується використанням інкрементального енкодера

3	Мобільність	Збірна конструкція, яку в будь який можна перевезти в інше місце	Мобільність конструкції
---	-------------	--	-------------------------

За результатами таблиці 4.18 складено перелік ключових переваг перед конкурентами на які буде акцентуватися увага споживачів при входженні на ринок. Це дозволить завоювати лояльність споживачів і зайняти певний сегмент ринку.

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Робот-маніпулятор для сортування паперових та пластикових виробів. Вигоди: ціна, якість, сервісне обслуговування та технічна підтримка		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Гарантійний термін	Нм	Е
	2. Ціна	М	Вр
	3. Сервісне обслуговування	Нм	Вр
	4. Простота в експлуатації	Нм	Е
III. Товар із підкріпленням	Якість: відповідає нормам ДСТУ 2709-94		
	Пакування: один робот-маніпулятор у дерев'яному боксі		
	Марка: Light Robosort		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: можливість аналізу та виключення хибних результатів		
	Після продажу: можливість створення нових та модифікації існуючих фізіотерапевтичних апаратів.		

Далі розробляється тривінева маркетингова модель товару: уточнюються ідея продукту та / або послуги, її фізичні складові, особливості процесу її надання (табл . 4.19).

Наступним етапом є визначення цінових меж, яких необхідно дотримуватися при встановленні ціни потенційного продукту (остаточне визначення ціни відбувається в ході фінансово-економічного аналізу проекту), що забезпечує аналіз ціни аналогового товару або товару-замінника, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналог	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	10000грн	250000-350000	1000000-3000000грн	10000-20000грн

В даній таблиці представлено рівень ціни на аналогічні виробу, в основному на закордонні роботи, та рівень доходів цільової групи споживачів. Виходячи з вищенаведених даних формуємо верхню та нижню межу ціна на робота – маніпулятора для сортування паперових та пластикових виробів.

Далі потрібно визначити оптимальну систему збуту продукції (табл. 4.21).

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на регулярне постачання товару	Продаж оптовому споживачеві. Формування попиту і стимулювання збуту. Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації. Зниження витрат в процесі продажів.	Висока	Регулярні оптові продажі

При відсутності посередника при продажу товару не потрібно враховувати ціну на послуги. Також прямі продажі припускають прямий контакт з цільовою аудиторією, що дозволить врахувати індивідуальні побажання і допоможе збільшити обсяг клієнтів [38].

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Отримати продукцію у відповідності концепції якість/ціна	Формальні та неформальні канали комунікації	Якість та ціна виробу Простота управління Мобільність	Проінформувати споживача про можливість автоматизації виробництва за доступною ціною.	Автоматизувати своє виробництво може кожен за доступною ціною

Виходячи з аналізу цієї таблиці, необхідно зробити основну ставку на співвідношення ціна-якість, а також зробити акцент на простоті управління даного виробу. В якості каналів реклами слід вибирати інтернет і споживачів які вже купували нашу продукцію. Це дозволить постійно перебувати в полі зору потенційних клієнтів [39].

Висновки до розділу 4

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це пов'язано з високим попитом на промислові роботи для сортування, а в нашому випадку сортування паперових та пластикових виробів. Рентабельність проекту також була підтверджена в ході аналізу. Але, незважаючи на існуючу конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості для введення продукту в обіг, враховуючи наявність цільової аудиторії, яка буде зацікавлена в цьому продукті. Здатність долати бар'єри на шляху доступу до ринків, такі як набір персоналу клієнтська база і необхідність сертифікації обладнання перед його випуском у вільний продаж. На ринку є аналоги розроблюваного продукту, і про це потрібно пам'ятати. Тому для того, щоб успішно увійти в нього, необхідно забезпечити нашому продукту такі властивості, які істотно відрізнять його від конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним, але для підвищення довіри споживачів і

створення клієнтської бази вимагає: робити систему знижок для нових покупців, та тих хто рекламує товар; не зупиняйтеся на поліпшенні продукту; враховуйте потреби споживачів.

Для забезпечення успішної інтеграції високотехнологічних стартапів в ринковий простір особливо необхідний спеціальний маркетинг, спрямований на вирішення завдань виявлення перспективних напрямків діяльності, розробки бізнес-моделі, клієнтоорієнтованих бізнес-процесів. Маркетинг, як процес вирішення цих завдань, дозволяє знизити ризики і на самих ранніх етапах розвитку високотехнологічної компанії орієнтуватися на ринок в майбутньому, що має знизити частоту відмов нових стартапів

У майбутньому є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це пов'язано з тим, що роботи - маніпулятори такого типу можуть швидко обробляти інформацію і зберігати її для подальшого аналізу, а також бути навчальною моделлю, що є великою перевагою перед конкуруючими компаніями.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана магістерська дисертація була розроблена для можливості автоматизації виробництв, а саме для сортувальних та перероблювальних підприємств.

Проведено аналіз проблеми сортування сміття та сучасних методів сортування з використанням засобів автоматизації, що дозволив визначити необхідність розробки робота-маніпулятора для сортування пластикових та паперових виробів.

Досліджено типи сучасних промислових роботів, а саме декартовий, циліндричний, сферичний, робот SCARA та PUMA, та їхні переваги і недоліки, що дозволило визначитися з типом робота на базі якого було створено робота-маніпулятора для сортування пластикових та паперових виробів, а саме робот PUMA

Після створення робота-маніпулятора, його потрібно налаштувати, в результаті чого було проаналізовано програмного забезпечення за допомогою якого це можна зробити.

Проаналізовано спосіб та середовище програмування робота, що дозволило визначити, що керування робота було здійснене через модуль EV-3 та за допомогою мови програмування C++.

Розроблено модель робота-маніпулятора, описаний принцип роботи та будови конструкції, що дозволило обрати комплектуючі елементи робота, та надати їм опис. За допомогою автоматизованої системи проектування розроблена 3Д модель робота-маніпулятора, для подальшої її друку на 3Д принтері.

Інтегрування інкрементального енкодера та ультразвукових датчиків в будову робота дозволило визначати матеріал виробу, який підлягає сортуванню, а саме в залежності від того, наскільки деформувався виріб та за який час ультразвук пройшов через виріб, визначалося з якого матеріалу він складається.

Розраховано діапазон кутів повороту валу енкодера, при стисканні пластикових та паперових виробів, що дало розуміння визначення матеріалу виробу, який підлягає сортування – дистанційно.

Під час виконання магістерської дисертації розроблено також Start-Up проект даного робота, що дозволило визначити групи споживачів даного продукту, рентабельність проекту, стратегії розвитку на національному ринку, фактори ризику, можливостей та інше.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сортування сміття – 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://tokar.ua/read/35518>
2. Paper is biodegradable, even if The Sunday Times may say no - 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.printweek.in/features/paper-biodegradable-sunday-times-comments-ipma-bmpa-ftpa-17370>
3. Промисловий портал - 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://uprom.info/news/other/ekologiya/na-poltavshhyni-vygotovlyatymut-plytku-ta-cherepyczyu-z-vidhodiv/>
4. Українські національні новини - 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.unn.com.ua/uk/news/1834216-u-kitayi-prezentuvali-robota-dlya-sortuvannya-smittya>
5. Промислові роботи - 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : https://wiki.tntu.edu.ua/Промислові_роботи
6. Industrial Manipulators or Robotics Manipulators- 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://circuitdigest.com/article/what-are-industrial-manipulators>
7. Types of Robots - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://prime.jsc.nasa.gov/ROV/types.html>
8. SCARA ROBOTS - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : https://www.eurobots.com.ua/scara-robots-used_robots-cl1-uk.html
9. Virtual Laboratory for distance learning in Robotics and Mechatronics- [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://robot.etf.rs/index.php/researchprojects/virtual-laboratory-for-distance-learning-in-robotics-and-mechatronics/>
10. The PUMA robot- [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : https://www.researchgate.net/figure/The-PUMA-robot-from-16_fig5_329590080

11. ROBOTICS - [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : https://getmyuni.azureedge.net/assets/main/study-material/notes/mechanical_engineering_computer-integrated-manufacturing-systems_robotics_notes.pdf
12. Trajectory Planning for Robot Manipulators - [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://medium.com/mathworks/trajectory-planning-for-robot-manipulators-522404efb6f0>
13. Robotic arm motion trajectory- [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : https://www.researchgate.net/figure/Robotic-arm-motion-trajectory-when-the-obstacle-expansion-radius-is-R-1-30-a-the_fig5_325064197
14. Generation and Control of Basic Geometric Trajectories for a Robot Manipulator Using CompactRIO - [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://www.hindawi.com/journals/jr/2017/7508787/>
15. The robot movec trajectory - [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : https://www.researchgate.net/figure/The-robot-moves-in-first-trajectory_fig4_255642804
16. The trajectory of the object and manipulator robots- [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : https://www.researchgate.net/figure/The-trajectory-of-the-object-and-manipulator-robots-when-moving-using-the-compound_fig1_282985075
17. Bishop O. Programming Lego Mindstorms NXT [текст] / Owen Bishop. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2008. - 198 p.
18. Ferrari M. Building Robots with LEGO Mindstorms NXT [текст] / Mario Ferrari, Guilio Ferrari, Ralph Hempel. - Rockland : Syngress Publishing, Inc, 2007. - 480 p.
19. Griffin T. Art of LEGO MINDSTORMS NXT-G Programming [текст] / T. Griffin. - San Francisco : No Starch Press, 2010. – 288 p.
20. Hestad D. Building LEGO Robots For First LEGO League [текст] / D. Hested. – Manchester : INSciTE, 2002. – 91 p

21. Городской методический центр / Wi-Fi на Lego EV-3. [Електронний ресурс]. – Режим доступа :<https://mosmetod.ru/metodicheskoe-prostranstvo/robototekhnika/obmen-opytom/lego-konstruirovanie-i-robototekhnika/wi-fi-na-lego-ev3.html>
22. Жук А.І., Робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробках зі складною геометрією] / Київський Політехнічний Інститут ім.Ігоря Сікорського, Київ – 2018 – 96ст.
23. Б.С. Безпоясний, Особливості вивчення робототехніки Lego Mindstorms EV3., Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради.,Черкаси – 2017 – 75ст.
24. Пластична маса (пластмаса)- [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://granula.at.ua/publ/3-1-0-27>
25. Pb (Plumbum) - [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://sites.google.com/site/banabanabnaa/vlastivosti-ta-cikave>
26. Сталь корозійно-стійка кислотостійка (харчова нержавіюча сталь)- [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://tdtam.com/uk/stal-korozijno-stijka-kislotostijka-xarchova-nerzhaviyucha-stal>
27. Сервопривод MG995 Tower Pro - [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://arduino.ua/prod2551-servoprivod-mg995-tower-pro>
28. Подключение: Сервопривод SG90 S + Step Servo + PCA9685- [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://ardublock.ru/index.php?id=ru-040>
29. Сервоприводы: подключение, управление, примеры работы - [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://radioprogram.ru/post/686>
30. Сервопривод SG90 2кг - [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg>
31. Arduino. Управление сервоприводом- [Електронний ресурс]. – Режим доступа до ресурсу : <http://edurobots.ru/2014/04/arduino-servoprivod/>

32. Arduino programming - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://www.hackerearth.com/blog/developers/arduino-programming-for-beginners/>

33. Разные платы Arduino: распиновка и схема подключения [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://arduinoplus.ru/arduino-raspinovka/>

34. Arduino:Хакинг/Распиновка между ATmega8 и Arduino- [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : http://wikihandbk.com/wiki/Arduino:%D0%A5%D0%B0%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D0%B3/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83_ATmega8_%D0%B8_Arduino

35. Плата Arduino Leonardo: описание, схема, подключение и сравнение - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-leonardo-opisanie-shema-podklyuchenie-i-sravnenie/>

36. Инкрементальный энкодер OMRON E6B2-CWZ6C (1000 P/R) - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <https://hi-ip.com/industrial-automation/sensors/encoders/rotary-encoder-e6b2-cwz6c-1000.html>

37. Сервотехника - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.servotechnica.ru/catalog/type/index.pl?id=118>

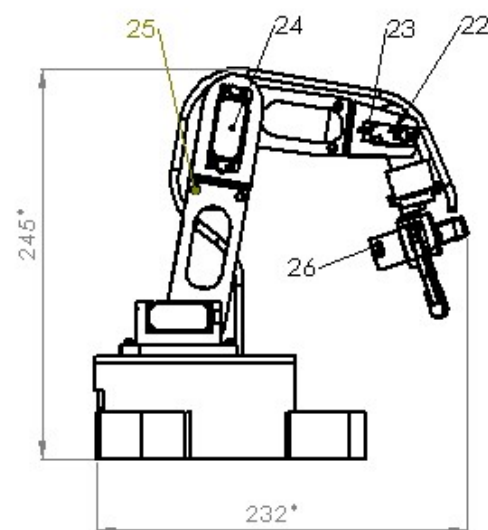
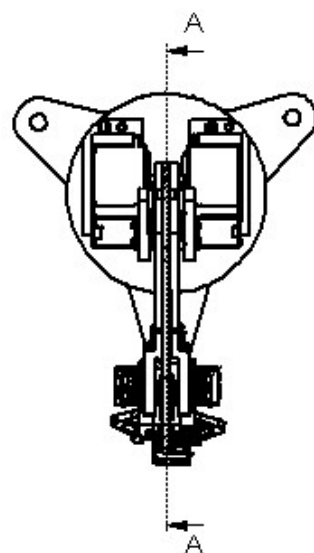
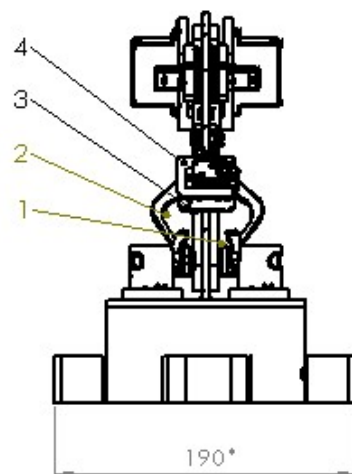
38. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

39. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст] : навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с.

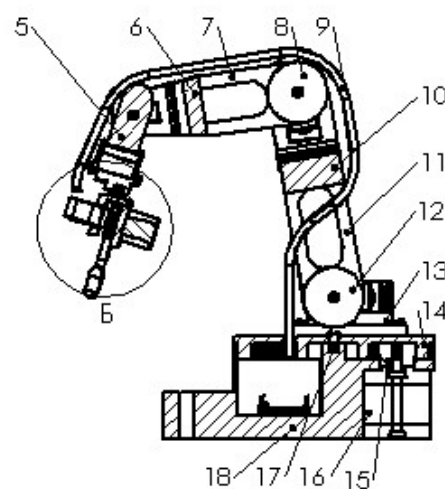
Додатки

Додаток А

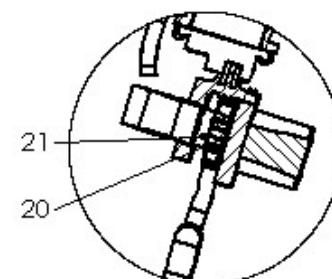
Назва: Робот-маніпулятор
 Сторінка: 2
 Розмір: А4
 Висота: 1100 мм
 Ширина: 1100 мм
 Маса: 1100 кг
 Дата: 11.11.11



A-A



Б(2:1)



*Розміри для довідок.

1. Параметри робочої зони 450x500мм.
2. Напряга на сервоприводі SG90 3.5-5В, на сервопривод SG995 4.8-7.2В
3. Рухомі частини змастити мастилом EXUSTAR E-G02.
4. Маркувати в місці маркування.
5. Не розкручувати сервоприводи без навантаження більш ніж 0,13сек/60градус.
6. Максимальна вантажопідйомність 0,3 кг.

				МД.ПБ91мп.03.1702.001				
				Робот- маніпулятор		Пит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Головний О.С.	Розр.	Виробнич.					
Т.контр.	Виробнич. К.С.							
						Пит.	Маса	ПБФ, ПБ-91мп
М.контр.								
Дата:	Виробнич.	К.С.						

Додаток Б

		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. примен.									
						<u>Документація</u>			
						<u>Складальне креслення</u>	1		
						<u>Складальні одиниці</u>			
Справ. №						<u>Стійка в складі</u>	1		
						<u>Великий рычаг в складі</u>	1		
						<u>Малий рычаг в складі</u>	1		
						<u>Плече в складі</u>	1		
						<u>Деталі</u>			
Подп. и дата			8			<u>Прокладка</u>	1		
			12			<u>Прокалка</u>	1		
			14			<u>Кришка</u>	1		
			16			<u>Двигун</u>	1		
			17			<u>Гвинт спеціальний</u>	1		
			18			<u>Основа</u>	1		
			19			<u>Плата</u>	1		
						<u>Стандартні вироби</u>			
Взам. инв. №			15			<u>Шестерня</u>	1		
						<u>ГОСТ 16531-83</u>			
			21			<u>Штифт</u>	4		
						<u>ГОСТ 3128-70</u>			
Подп. и дата			22			<u>Сервопривод SG90</u>	2		
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МД.ПБ91мп.03.1702.004			
	Разраб.	Голодний О.С.							
	Проб.	Барандич К.С.				Робот-маніпулятор	Лит.	Лист	Листов
								1	2
	Н.контр.						ПБФ, ПБ-91мп		
Утв.	Барандич К.С.								

Копировал

Формат А4

Пер. прим.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	А0					Документація		
						Стійка в складі	2	
						Деталі		
			13			Стійка	2	
						Стандартні вироби		
			23			Гвинт М20х40	8	
						ГОСТ 21332-75		
			24			Сервопривод MG995	2	
Взам. инв. №								
Инв. № подл.								
Изм. Лист № докум. Подп. Дата					МД.ПБ91мп.03.1702.006			
Разраб. Голодний О.С.					Лит.			
Проб. Барандич К.С.					Лист			
Н.контр.					Листов			
Утв. Барандич К.С.					1			
Стійка в складі					ПБФ, ПБ-91мп			
Копировав					Формат А4			

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №	АО					Документація				
						Великий ричаг в складі	1			
						Деталі				
			10			Планка	1			
			13			Великий ричаг	2			
						Стандартні вироби				
			25			Гвинт М40х60 ГОСТ 21332-75	2			
Взам. інв. №										
Підп. і дата										
Підп. і дата										
Інв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МД.ПБ91мп.03.1702.007			
		Разраб.	Голодний О.С.				Великий ричаг в складі	Лит.	Лист	Листов
		Пров.	Барандич К.С.							
		Н.контр.					ПБФ, ПБ-91мп			
		Утв.	Барандич К.С.							

Копіював
Формат А4

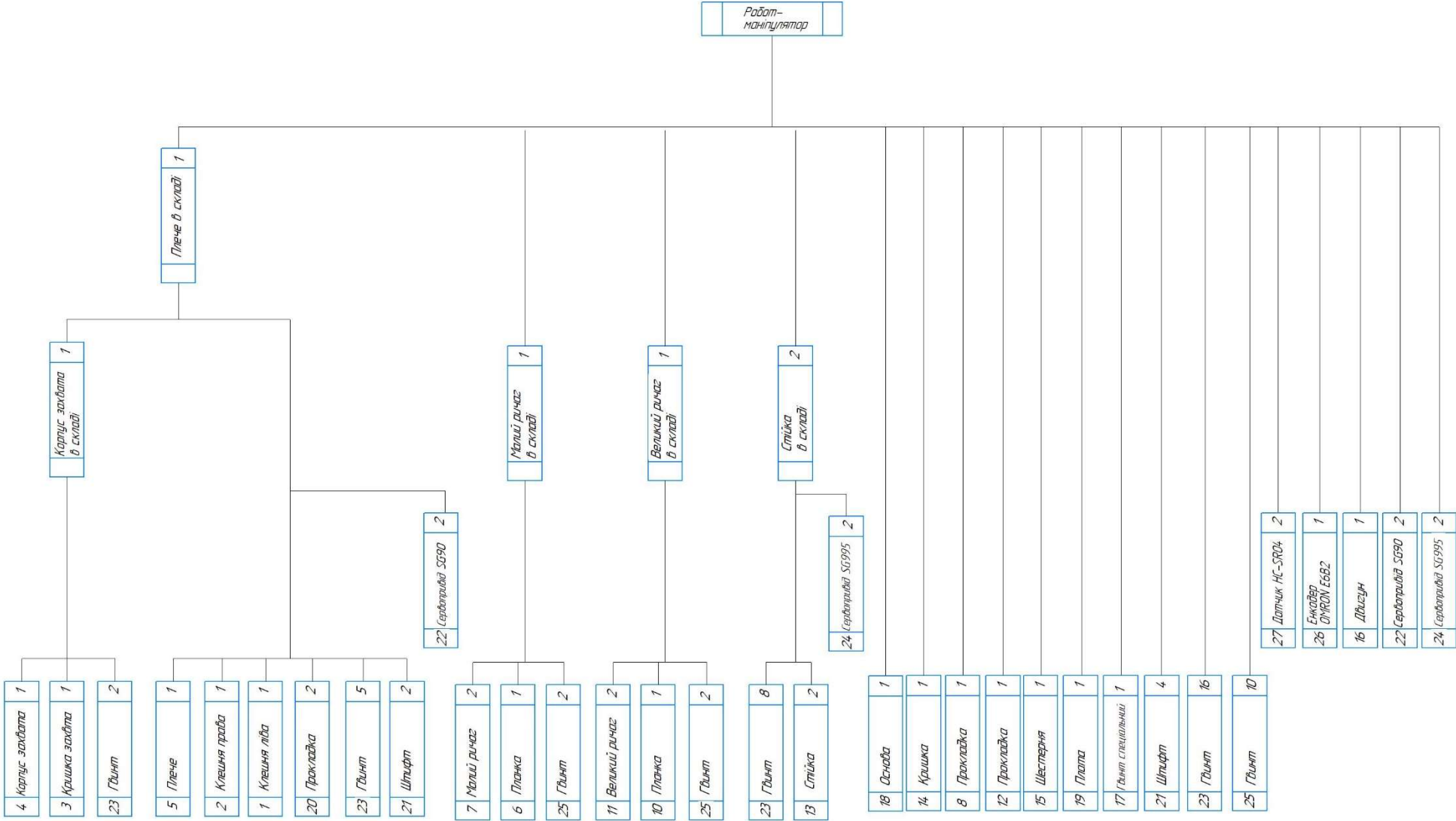
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	АО				Документація		
					Складальне креслення	1	
					Деталі		
		6			Планка	1	
		7			Малий рычаг	2	
					Стандартні вироби		
		25			Гвинт М40х60 ГОСТ 21332-75	2	
Подп. и дата	Подп. и дата						
	Подп. и дата						
Взам. инв. №	Инв. № дубл.						
	Взам. инв. №						
Подп. и дата	Подп. и дата						
	Подп. и дата						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МД.ПБ91мп.03.1702.008	
	Разраб.	Голодний О.С.				Малий рычаг в складі ПБФ, ПБ-91мп	
	Проб.	Барандич К.С.					
	Н.контр.						
	Утв.	Барандич К.С.					
Копіював						Формат А4	

Перв. примен.			Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №			А0				<u>Документация</u>		
							Плече в складі	1	
							<u>Складальні одиниці</u>		
						1	Корпус захвата складі	1	
							<u>Деталі</u>		
						1	Клешня ліва	1	
						2	Клешня права	1	
						4	Плече	1	
							<u>Стандартні вироби</u>		
						Підп. і дата			
	ГОСТ 15180-86								
21	Штифт	2							
	ГОСТ 3128-70								
22	Сервопривід SG90	2							
23	Гвинт M20x40	5							
	ГОСТ 21332-75								
Взам. інв. №									
						Підп. і дата			
Інв. № подл.									
			Плече в складі			Лит.	Лист	Листов	
						ПБФ, ПБ-91мп			

Копировав

Формат А4

Додаток В



Ім'я	Категорія	Лист	Місце	Підпис	Дата
Розробник	Технічний	01	01		
Г. Контра	Виробничий	01	01		
І. Контра	Виробничий	01	01		

МДПБ91м.03.1702.002					
Структурна схема складання					
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист

Додаток Г

```

#include "HX711.h"
#include <Servo.h>

#define calibration_factor -7050.0
int trialRuns = 5;

float armLength = 2.75;

#define DT 3
#define SCK

HX711 loadCell(DT, SCK);

Servo testServo;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(" - Torque Measurement Tool - ");
    Serial.println();

    testServo.attach(9);

    loadCell.set_scale(calibration_factor);
    loadCell.tare();

    testServo.write(140);

    Serial.println("Initialization complete.");
    Serial.println("Send 's' to begin testing. Send 'h' for help.");
    Serial.println();
}

void loop()
{
    if(Serial.read() == 's' || Serial.read() == 'S')
    {

```

```

    measureTorque();
}

if(Serial.read() == 'h' || Serial.read() == 'H')
{
    Serial.println("Right now, the Arduino has moved the
servo into its starting position.");

    Serial.println("In the servo's current position, install
the horn so that it is just touching the load cell.");

    Serial.println("When you are ready, send 's' over Serial
and the Arduino will begin testing the servo's torque.");

    Serial.println("You will see the Arduino move the servo
into the load cell five different times.");

    Serial.println("Each time the servo hits the load cell,
the Arduino will take a reading.");

    Serial.println("Those readings will be averaged to
calculate the torque delivered by the servo.");

    Serial.println("Keep an eye on the Serial monitor to see
the results.");

    Serial.println();

    Serial.println("Send 's' to begin testing.");

    Serial.println();
}
}

void measureTorque()
{
    Serial.println("Individual Readings: ");

    float individualReadings[trialRuns];

    for(int i = 0; i < 5; i++)
    {

```

```

    testServo.write(180);

    delay(1000);

    loadCell.tare();

    testServo.write(130);

    delay(1000);

    individualReadings[i] = loadCell.get_units();

    Serial.print(individualReadings[i]);

    Serial.print("  ");
}

float readingsSum = 0;
for(int y = 0; y < trialRuns; y++)
{
    readingsSum = readingsSum + individualReadings[y];
}

float averageReading = readingsSum / trialRuns;

Serial.println();

Serial.println();

Serial.println("Average Reading:");

Serial.println(averageReading);

float servoTorque = averageReading * armLength;

Serial.println();

Serial.println("Torque:");

Serial.print(servoTorque);

Serial.println(" kgcm");

testServo.write(180);

```

Додаток Д

АКТ

**про використання матеріалів та результатів магістерської дисертації
на тему: «Робот-маніпулятор для сортування пластикових та паперових
виробів»**

Виконав: **Голодний Олександр Сергійович**
студент II курсу, групи ПБ-91мп
кафедри виробництва приладів, приладобудівного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дослідження виконані в магістерській дисертації відповідають напрямку професійної діяльності підприємства ТОВ «КОМПАС-ГРУПП» та будуть використанні на підставі наступних тверджень:

Результати дослідження є актуальними і будуть застосовуватись при автоматизації цеху підприємства по складанню алюмінієвих конструкцій. Буде використовуватись розроблена та прорахована 3D-модель, електрична частина робота та програмні коди.

Розроблений робот-маніпулятор відповідає потребам та вимогам ТОВ «КОМПАС-ГРУПП», так як інтегрувавши даного робота на конвеєрну лінію складання, отримуємо можливість сортувати відходи після виробництва та в подальшому використати їх в потребах підприємства. Також даний робот замінить частину людської праці на підприємстві, що також збільшить ефективність виробництва.

Отримані результати будуть використані ТОВ «КОМПАС-ГРУПП» в майбутніх наукових дослідженнях та практичних розробках.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ «КОМПАС-ГРУПП»

Миколенко Р.І.
(ініціали, прізвище)
«07» грудня 2020 р.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Голодного Олександра Сергійовича

№ з/п	Назва	Видавництво, журнал(назва, номер, рік), чи номер авторського свідоцтва	Кількість друкованих сторінок	Прізвище співавторів
1	2	3	4	5
1	Різновиди траєкторій руху робота маніпулятора.	Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень в приладобудуванні», 8-9 грудня 2020 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2020.- 456 с. — С. 65-67	3	Голодний О.С. Барандич К.С.
2	Програмне забезпечення робота маніпулятора.	Збірник праць XIII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування » 13-14 травня 2020 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2020.- 395 с. — С. 95-97	3	Голодний О.С. Барандич К.С
3	Використання промислових роботів на виробництві.	Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2018.-434 с., С. 93-96	4	Голодний О.С. Барандич К.С
4	Конвеєрна лінія як спосіб автоматизації	Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність	3	Голодний О.С. Барандич К.С

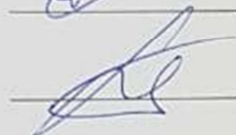
		інженерних рішень в приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019.-546 с., С. 106-108		
5	Використання робіт при зварювальних роботах	Збірник праць XII Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» 15-16 травня 2019 р, Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», — 2019.- 488 с. — С. 138-140.	3	Голодний О.С. Барандич К.С

Автор



О.С. Голодний

Науковий керівник



К.С. Барандич

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

Робот-маніпулятор для сортування паперових та пластикових виробів

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології виробництва
приладів»

освітньо-професійної програми підготовки
«Комп’ютерно-інтегровані технології виробництва приладів»

Доповідач:
Голодний О.С.

Науковий керівник:
Барандич К.С.

АКТУАЛЬНІСТЬ

2

Сортування відходів в останній час стало досить актуальним, оскільки навколишнє середовище стає все більше забрудненим. Вживані речі можна переробити та використати повторно в тій самій, чи вже в інших сферах. З них можна робити вироби, або, наприклад, виробляти енергію, тим самим зменшуючи сміттєзвалища на планеті.



ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

3

Мета дослідження: розробка робота-маніпулятора з механічною клешнею з інтегруванням в нього функціоналу розпізнавання пластикових та паперових виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

1. розглянути проблему сортування пластика та паперу;
2. проаналізувати види та різновиди сучасних роботів-маніпуляторів;
3. дослідити програмування робота через плату Arduino Uno;
4. вибрати складові робота та розробити його модель;
5. інтегрувати функціонал розпізнавання пластику та паперу;
6. виконати розрахунок кута повороту енкодера для розпізнавання предмету;
7. розробити Start-Up проект.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

4

Об'єкт дослідження:

Процес автоматизації сортування паперових та пластикових виробів

Предмет дослідження:

Вплив властивостей пластикових та паперових виробів на процес їх сортування.

Наукова новизна одержаних результатів:

Розроблено методику розпізнавання матеріалу виробу роботом-маніпулятором, що дозволяє виконати сортування паперових та пластикових виробів.

Практична цінність одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм розпізнавання матеріалу, який підлягає сортуванню.
2. Розроблено електричну схему робота-маніпулятора.
3. Розроблено програму керування роботом на мові C++ з допомогою модуля EV-3.

Роботи аналоги

5



Вже з'являються перші роботи, які вміють сортувати сміття в Китаї та США. Робота, що сортує сміття, було представлено на другій китайській Міжнародній виставці імпорту (СІЕ) в Шанхаї. Застосовуючи технології штучного інтелекту та машинного навчання, робот може сортувати різні види сміття за чотирма категоріями.



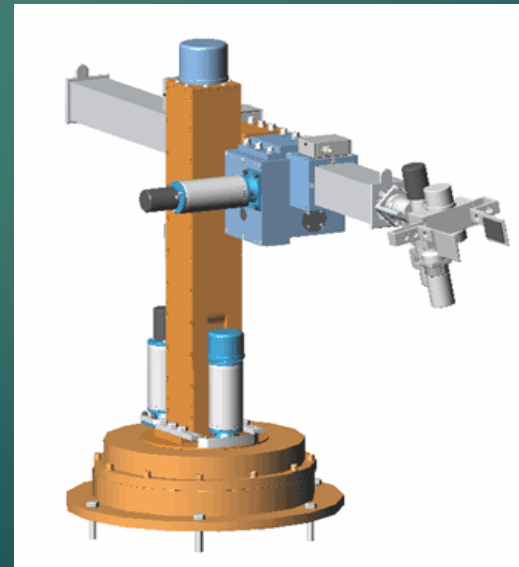
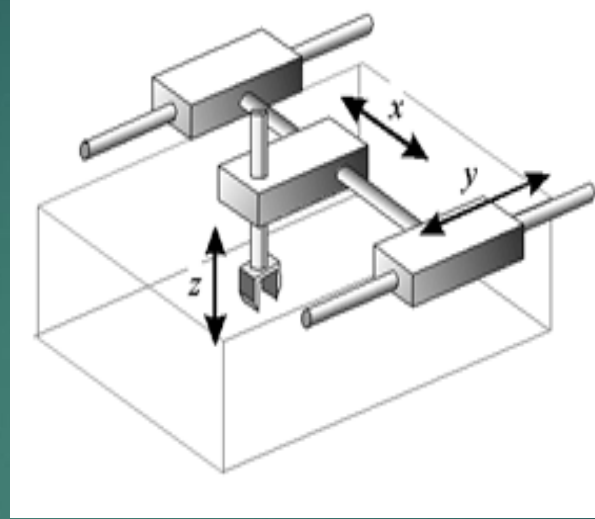
В лабораторія штучного інтелекту Массачусетського університету створила пристрій, здатний відокремлювати паперове сміття від пластику і металу. Робот-сортувальник називається Resycle, і його головною особливістю є клешні, які завдяки датчикам, легко визначають матеріал предмета і переміщують його у відповідний контейнер для сміття.

Вибір типу робота

6

Основними типами промислових маніпуляторів є декартовий координатний робот, робот SCARA, циліндричний робот, та робот PUMA, на основі якого й буде побудовано робота-маніпулятора для сортування.

PUMA (програмована універсальна маніпуляційна рука) – найбільш часто використовуваний промисловий робот в складальних та зварювальних операціях. Робот має велику гнучкість, більшу ніж у робота SCARA. Такий тип роботів має 3 обертових суглобова, але не всі суглоби паралельні, другий суглоб від основи ортогональний іншим суглобам. Це робить PUMA сумісним у всіх трьох осях X, Y та Z. Недоліком є менша точність, тому він не може бути використаний у критично важливих та високоточних роботах.



Програмування робота

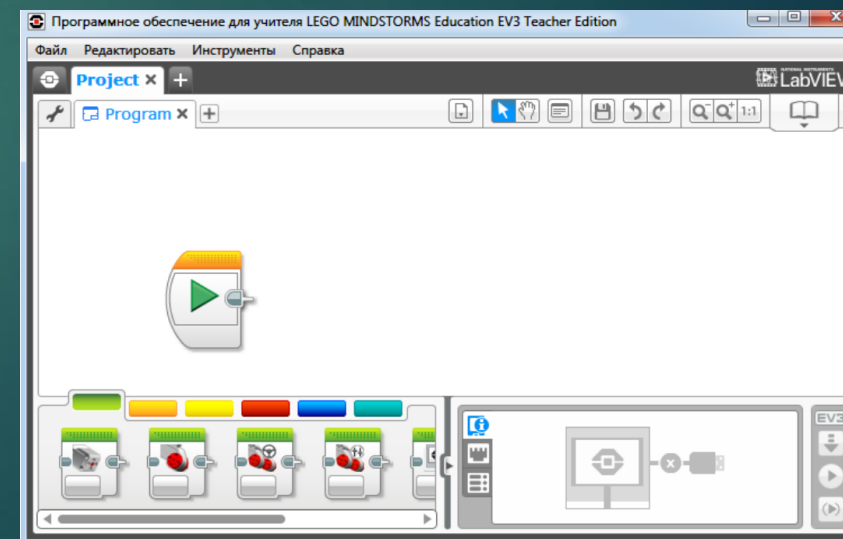
7

Переважає більшість роботів-маніпуляторів зараз програмується за допомогою контролерів.

Модуль EV3 – це програмований електронний контролер, за допомогою якого можна управляти сервоприводами й датчиками.

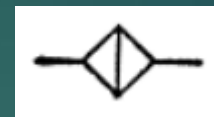
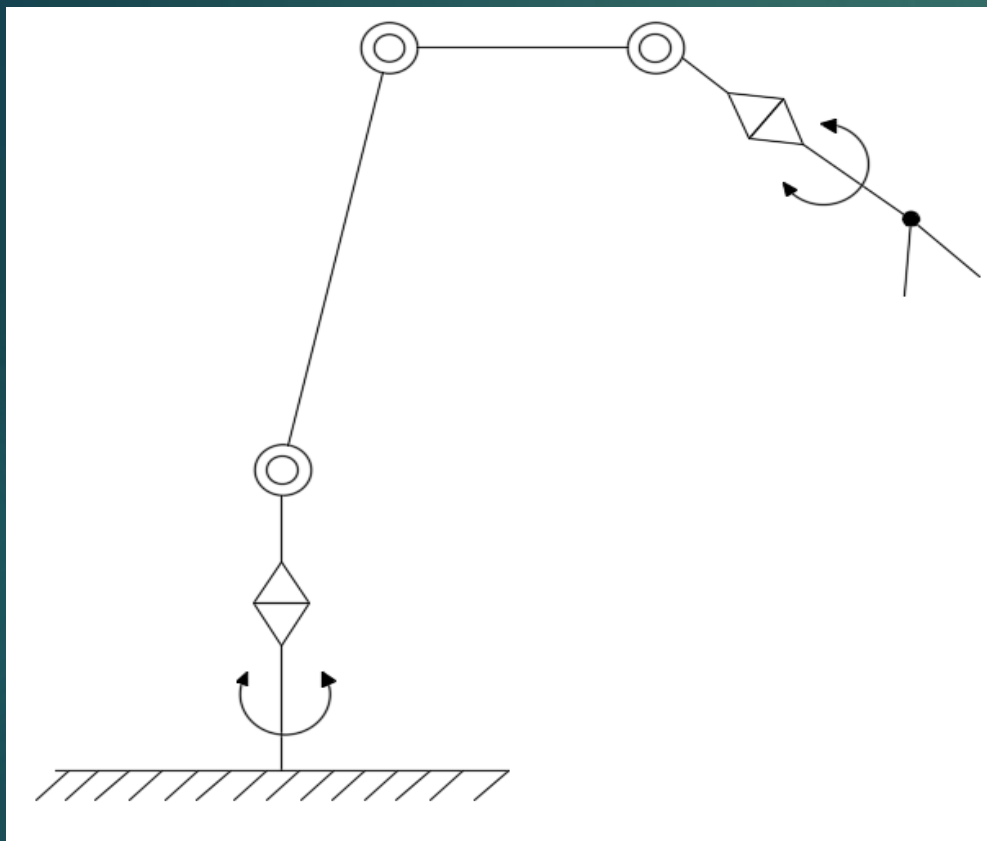


Для програмування модуля керування EV-3 компанією LEGO було розроблене спеціальне програмне середовище, в якому є все необхідне для створення програми управління роботом-маніпулятором й налаштування її для потреб кожного користувача.

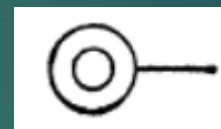


Кінематична схема робота

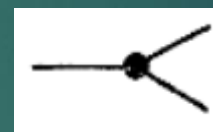
8



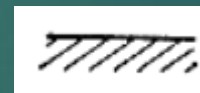
- Обертовий вузол



Поворотний вузол



- Захват

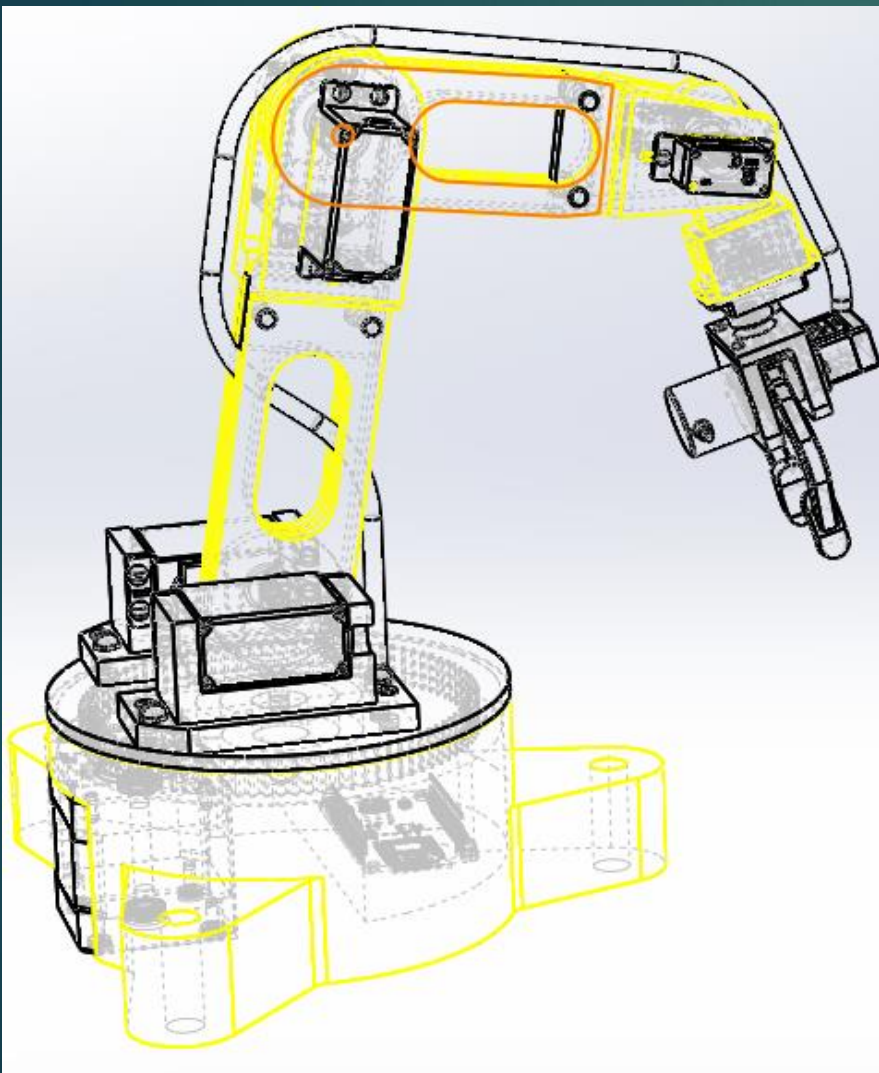


- Опорна поверхня

Кінематична схема робота з трьома рухомими суглобами, та можливістю обертання робота та клешні навколо своїх осей.

Модель робота-маніпулятора

9

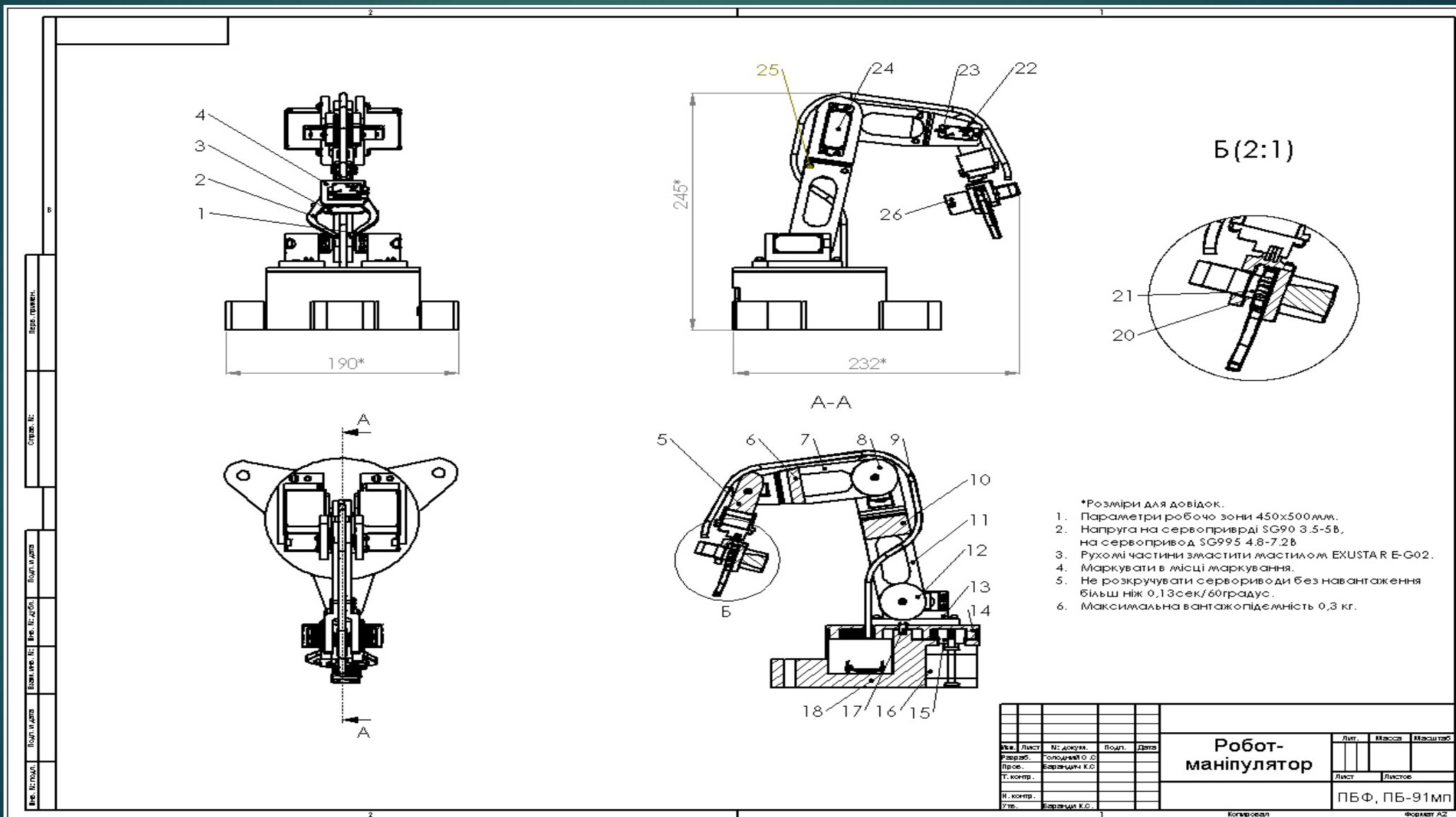


Технічні характеристики робота є наступними:

- Ступені свободи - 6;
- Вантажопідйомність – 0,3кг
- Сила затиску клешні: 2.5 кгс/см
- Вхідна напруга -220В;
- Максимальна споживча потужність – 4 VA;
- Габаритні розміри, мм – 245 x 232 x 190 мм;
- Маса руки, кг – 0,8кг
- Кут повороту - 180°

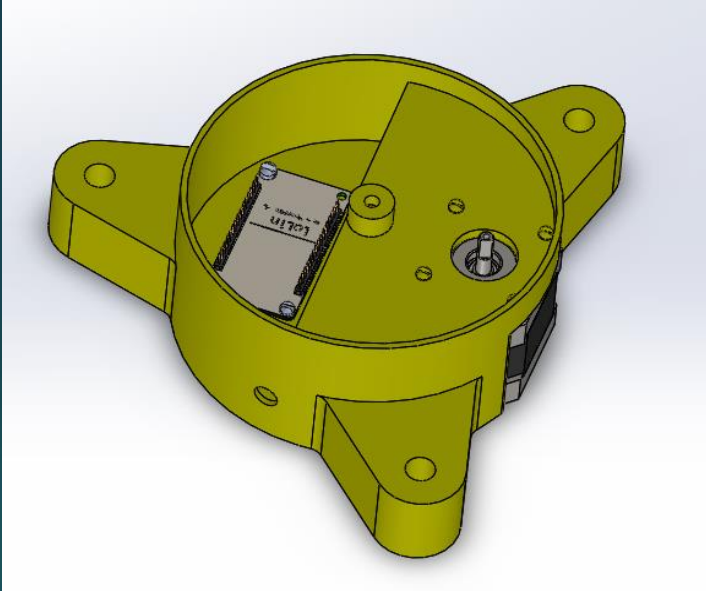
Креслення робота-маніпулятора

10



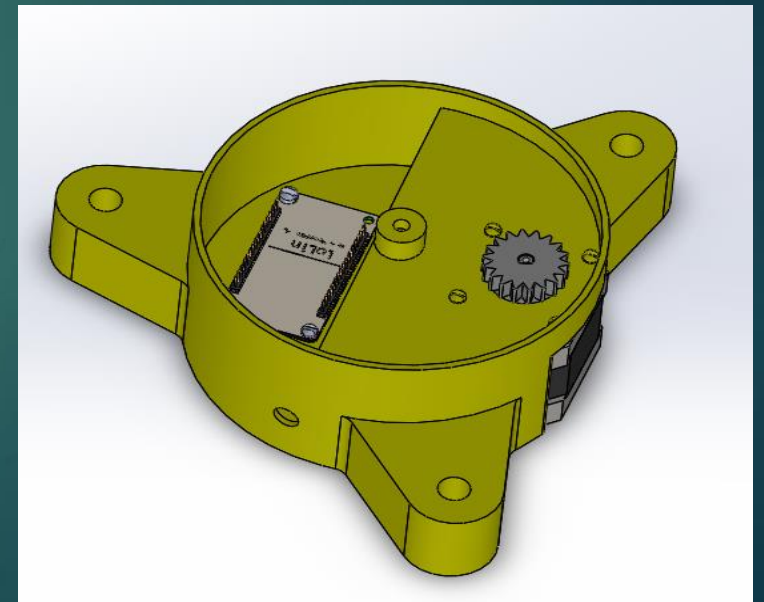
Процес складання

11



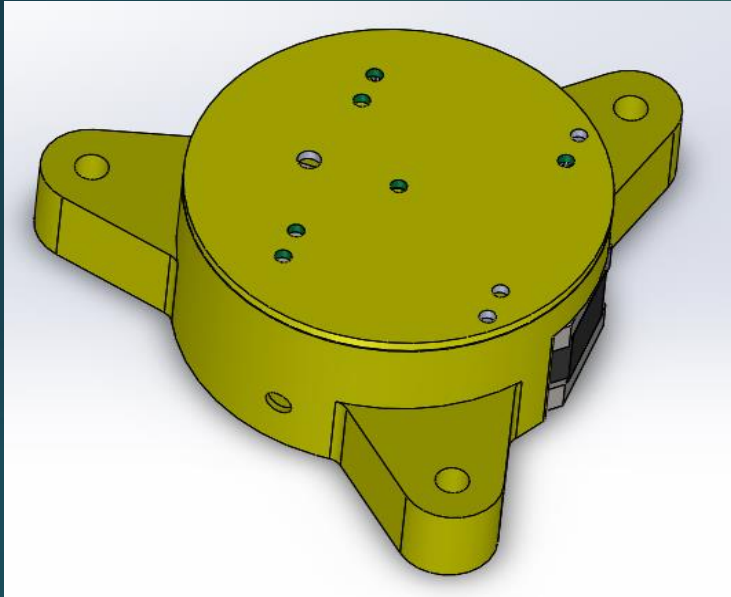
В першу чергу було закріплено двигун в основу за допомогою чотирьох гвинтів, а також встановлено плату Arduino Uno у відповідному місці та закріплено її також на чотири гвинти.

Наступним кроком було встановлення шестерні на вихідний вал двигуна який розміщується в основі приладу, та який за допомогою даної шестерні буде обертати кришку приладу, що дає змогу здійснювати рух робота навколо осі.



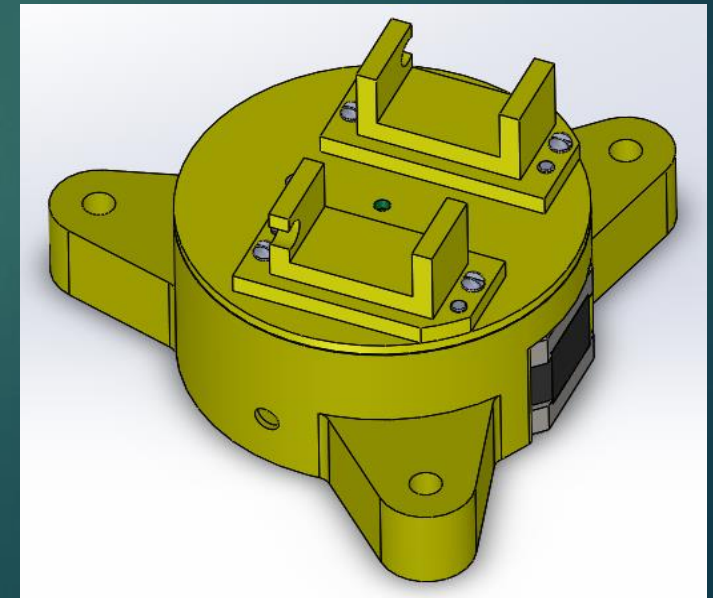
Процес складання

12



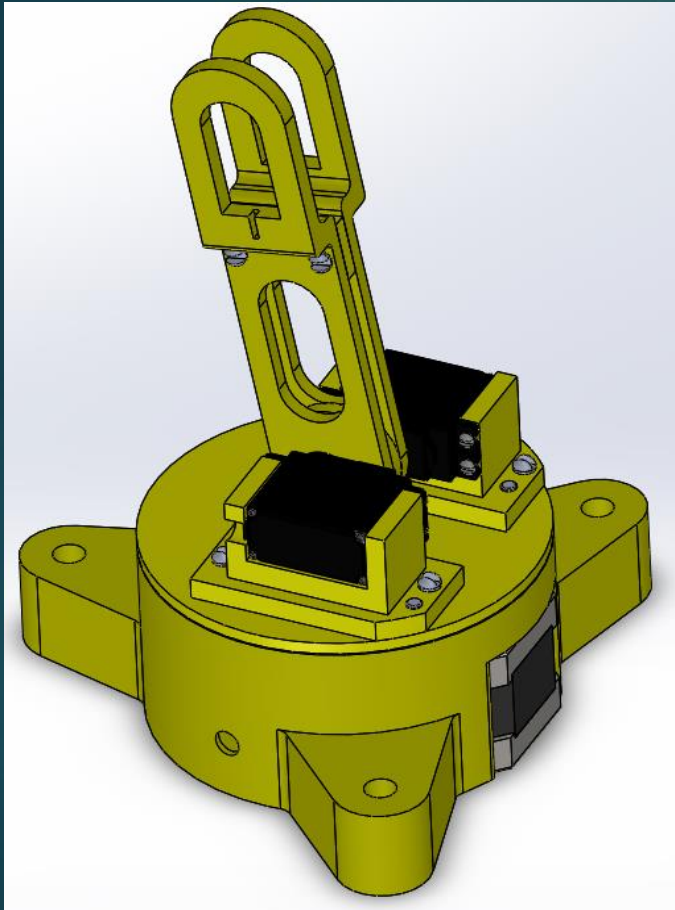
Після даних операцій було встановлено кришку основи, внутрішня частина якої вже має пази для зчеплення з шестернею двигуна та обертання навколо своєї осі. Дану кришку закріпили спеціальним гвинтом в центральний отвір основи, щоб кришка не мала змоги переміщуватися вертикально, а тільки обертається навколо своєї осі.

Стійки встановлені на кришку та зафіксовані за допомогою двох штифтів та двох гвинтів. Після цього на одну із стійок встановлювався сервопривід марки MG995. Даний сервопривід має крутний момент до 10кг/см при живленні в 6В і підходить для виконання поставлених цілей, адже він має металевий привід.



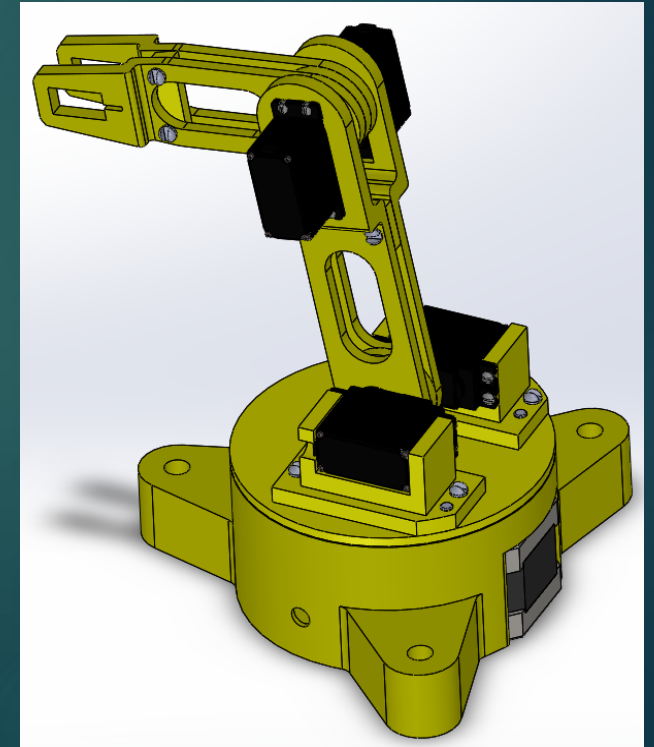
Процес складання

13



Потім необхідно з'єднати два великих рычага між собою за допомогою планки та двох гвинтів, у їх верхній частині. У місці встановлення рычага на вісь сервоприводу MG995, між рычагами розміщується прокладка для фіксації даних елементів один відносно одного. Прокладка має круглу форму, в результаті чого сам робочий лікоть стає більш безпечним, та на виготовлення даної прокладки витрачається менше матеріалу.

Після того як великий рычаг в складі встановлений на вісі сервоприводі, приступили до зборки малого рычага в складі. Малий рычаг в складі зібраний та встановлений по аналогії з великим рычагом в складі, а саме з'єднаний між собою за допомогою планки та двох гвинтів, і в місці встановлення на вісі сервоприводів розміщується прокладка, також круглої форми. Усі сервоприводи марки MG995 фіксуються до рычага за допомогою чотирьох гвинтів.

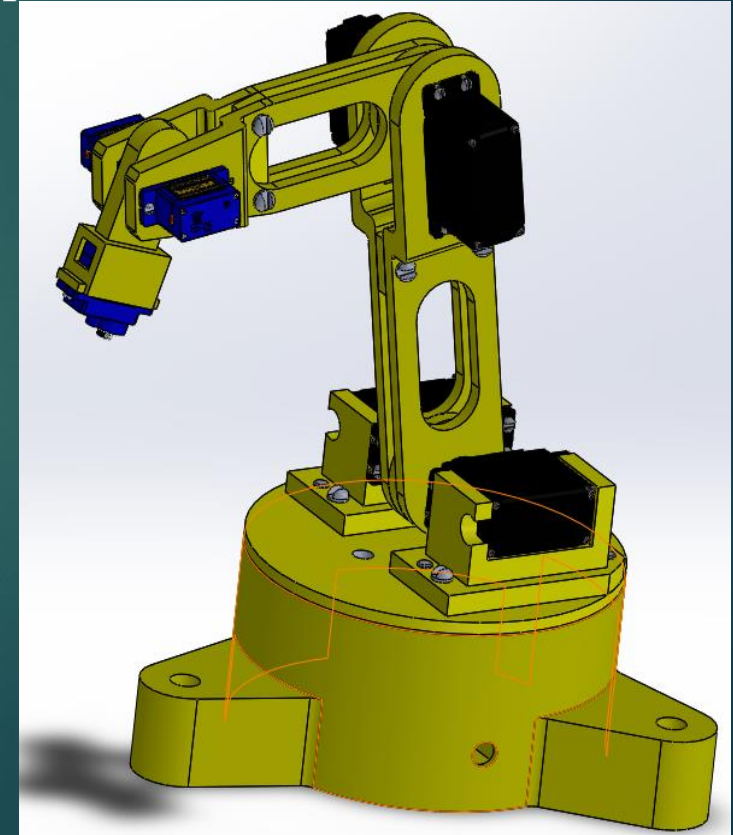
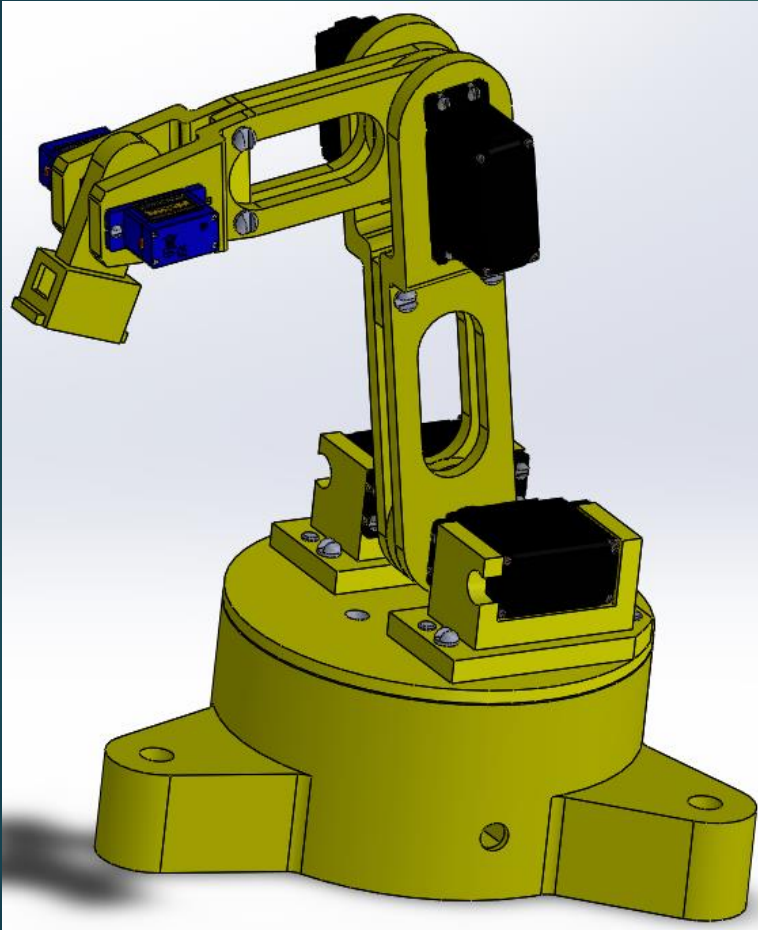


Процес складання

14

Тепер на зафіксований малий ричаг другим сервоприводом MG995 встановили плече та зафіксували його двома сервоприводами марки SG90. Кожен сервопривід в свою чергу фіксується двома гвинтами до малого ричага в складі.

Сервопривід марки SG90, який буде виконувати функцію обертання клешні навколо своєї осі встановлений і закріплений у відповідному йому місці на плечі за допомогою двох гвинтів.

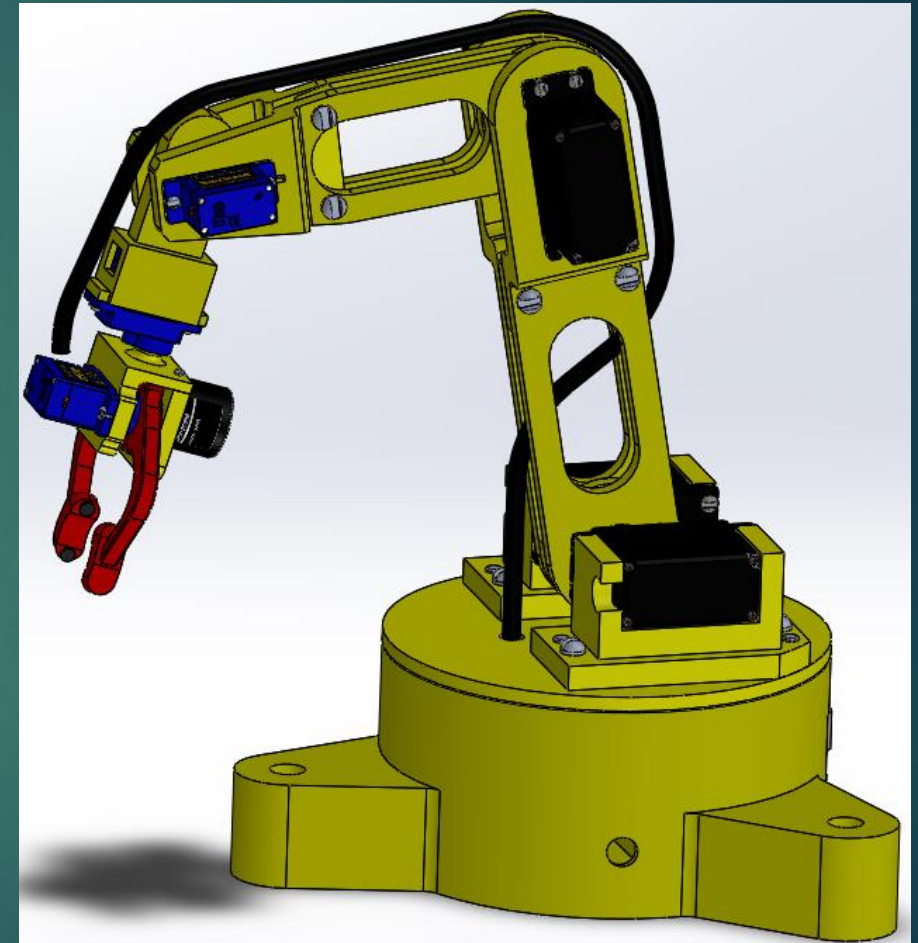


Процес складання

15

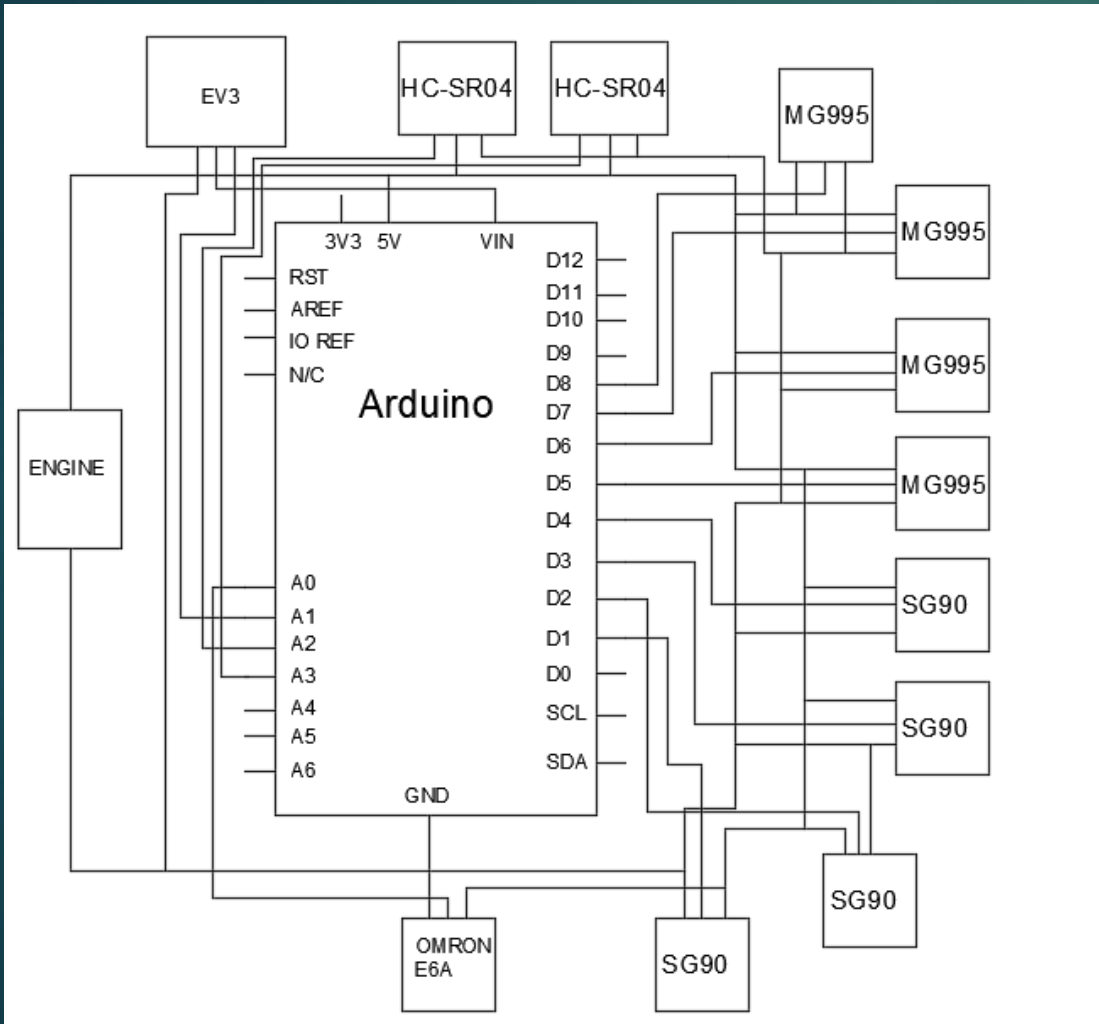
Для того щоб була можливість брати та переносити паперові та пластикові вироби по відповідним контейнерам – під'єднали до вісі сервопривода SG90, який закріплений у плечі робота, кришку та корпус захвата. У самому корпусі було встановлено ліву та праву клешні на штифти та прокладки відповідно.

Щоб клешні мали змогу рухатися, також встановлено сервопривід марки SG90 на кришку захвата. Даний привід приводить в рух праву клешню, а вона в свою чергу через зубчасту передачу буде обертати ліву клешню. Знизу під кришкою захвата закріплено енкодер, таким чином, що його вихідний вал розміщується у вісь лівої клешні.



Електрична схема

16



- EV3 – програмований електронний контролер.
- ENGINE – двигун
- MG995 – серводвигун моделі MG995
- SG90 – серводвигун моделі SG90
- Arduino – апаратна плата.
- OMRON E6A – інкрементальний енкодер
- HC-SR04-ультразвуковий датчик.

Серводвигун MG995

17

Пристрій, який забезпечує перетворення сигналу у відповідне даному сигналу переміщення (поворот) виконавчого пристрою. Являє собою прямокутну коробку з мотором, схемою і редуктором всередині і вихідним валом, який може повертатися на строго фіксований кут, який визначається вхідним сигналом.

- Швидкість навантаження – 0.13 сек/60 градусів;
- Привід – металевий
- Температурний режим – 0...55°C
- Пусковий момент – 8.5 кг/см при 4.8В;
- Робоча напруга – 4.8 - 7.2 В;
- Ширина мертвої зони – 5 мілісекунд;
- Розміри – 40.7 x 19.7 x 43 мм
- Вага – 55г



Серводвигун SG90

18

Сервопривід SG90 – це мотор-редуктор, здатний повертати вихідний вал в задане положення (на заданий кут) і утримувати його в цьому положенні, всупереч опорам і збурень.

Сервопривід SG90 складається з двигуна, потенціометра, редуктора та ланцюга управління. Перш за все, використовується редукторний вузол для зменшення частоти обертання та для збільшення крутного моменту двигуна.



- Швидкість навантаження – 0.12 сек/60 градусів;
- Крутний момент – 2.5 кг / см
- Температурний режим – 0...50°C
- Споживаний струм в русі– 50-80 мА
- Робоча напруга – 3.5-5 В;
- Ширина мертвої зони – 4 мілісекунд;
- Розміри – 3.3 см x 3 см x 1.3 см

Arduino Uno

19

Arduino Uno - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328 (datasheet). У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікро контролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньо схемного програмування (ICSP) і кнопка скидання.

- Мікроконтролер – ATmega328;
- Робоча напруга– 5V
- Напруга живлення (рекомендований)– 7-12V
- Аналогові входи– 6
- Максимальний струм одного виведення – 40 мА;
- Flash-пам'ять – 32 КБ (ATmega328);
- Тактова частота – 16 МГц



Функціонал розпізнавання матеріалу виробу

20



Для того, щоб була можливість розпізнати матеріал виробу, який підлягає сортуванню, під корпусом захвата встановлений інкрементальний енкодер, на вихідний вал якого встановлена ліва клешня захвата.

Після того як серводвигун SG90 на корпусі захвата виконав обертання вихідного валу, в результаті чого привів в рух праву клешню, ліва клешня в свою чергу також зробить рух навколо своєї осі, за рахунок зубчастої передачі. В результаті чого вал енкодера повернеться на певний кут, і в залежності на скільки саме вал повернеться, отримуємо розуміння, який матеріал стискає клешня. Порівнюючі значення кута повороту енкодера з базовими значеннями кута для пластикових та паперових виробів, отримуємо розуміння з якого матеріалу зроблений виріб, який підлягає сортуванню.



Але навіть при такому методі, є шанс неточності визначення матеріалу, тому в додаток до інкрементального енкодера, в клешні робота будуть вмонтовані ультразвукові датчики. Так як ультразвук в різних матеріалах поширюється по різному, в результаті чого можна визначити за який час ультразвукова хвиля подолає певну відстань, в тому чи іншому матеріалі.

Розрахунок діапазону кута повороту вала енкودера

21

Для того, щоб розпізнати матеріал виробу, який підлягаю сортуванню, а саме виріб з паперу чи з пластику, необхідно обчислити, на яку відстань повернеться вал енкودера, якщо буде на нього буде діяти крутний момент в 2.5 кг/см.

Підсумкові формули, що зв'язують сигнали енкودера з градусами повороту вихідного валу є наступні:

$$n = \frac{\varphi * i * IPR}{360},$$
$$\varphi = \frac{360 * n}{i * IPR}$$

, де φ – кут повороту вихідного валу в градусах;

n – кількість сигналів енкودера;

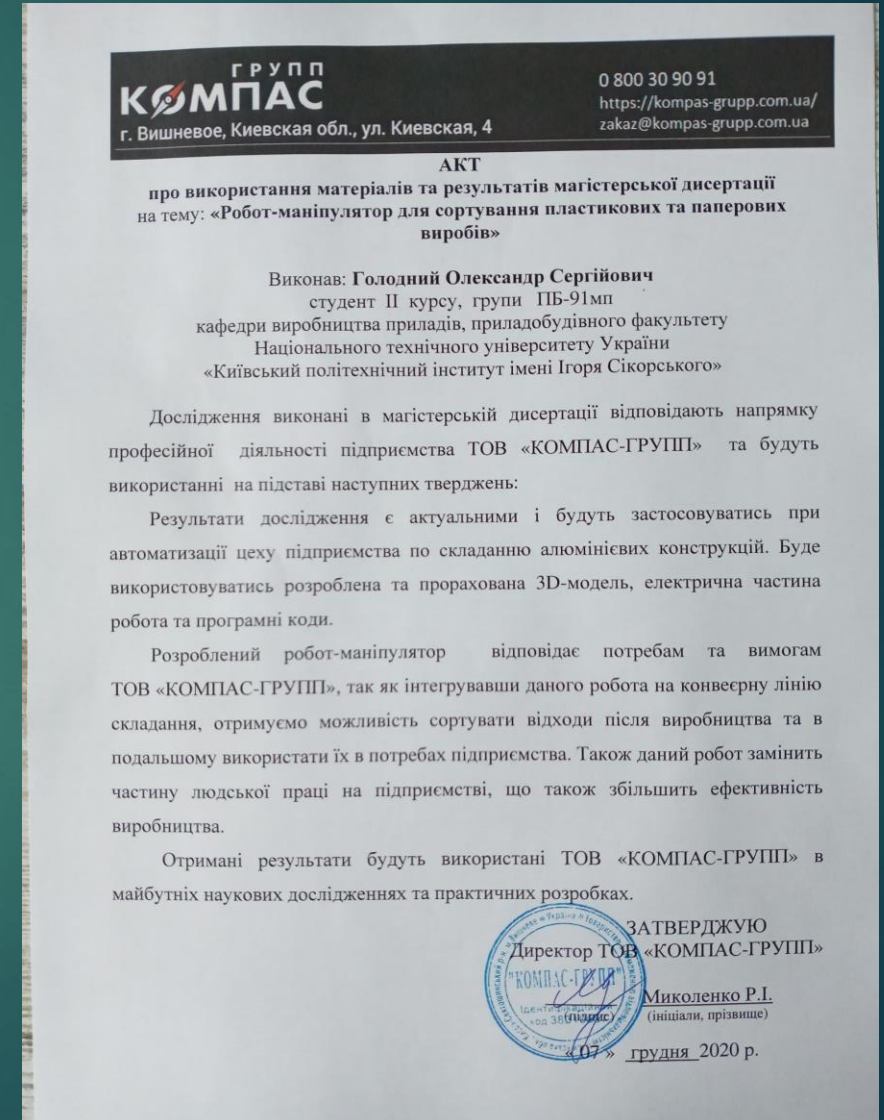
i – передаточне відношення редуктора;

IPR – кількість імпульсів енкودера на 1 оберт вала (в даному випадку 48 імпульсів).

Практична апробація

22

- ❑ XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень в приладобудуванні», 8-9 грудня 2020 р.
- ❑ XIII Всеукраїнська науковопрактична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування » 13-14 травня 2020 р
- ❑ XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 р



Розроблено модель робота-маніпулятора , описаний принцип роботи та будови конструкції., що дозволило обрати комплектуючі елементи робота, та надати їм опис. За допомогою автоматизованої системи проектування розроблена 3Д модель робота-маніпулятора.

Інтегрування інкрементального енкодера та ультразвукових датчиків в будову робота дозволило визначати матеріал виробу, який підлягає сортуванню, а саме в залежності від того, наскільки деформувався виріб та за який час ультразвук пройшов через виріб, визначалося з якого матеріалу він складається.

Розраховано діапазон кутів повороту валу енкодера, при стисканні пластикових та паперових виробів, що дало розуміння визначення матеріалу виробу, який підлягає сортування.

Під час виконання магістерської дисертації розроблено також Start-Up проект даного робота, що дозволило визначити групи споживачів даного продукту, рентабельність проекту, стратегії розвитку на національному ринку, фактори ризику, можливостей та інше

Дякую за увагу!