

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Віктор АНТОНЮК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології виробництва приладів»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Лабораторний маніпулятор з механічним захватним
пристроєм»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБ-61

Проскурєнко Денис Миколайович

Керівник:

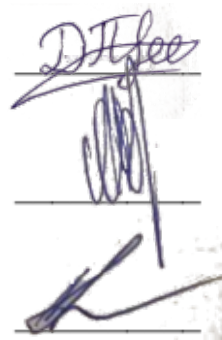
доцент, кандидат технічних наук

Філіппова Марина В'ячеславівна

Рецензент:

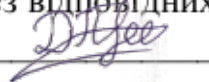
Ст. викладач, к.т.н.

Богдан Галина Анатоліївна



Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ПБ61 11.1702.001 ПЗ	Пояснювальна записка	65	
3	A1	ДП.ПБ61 11.1702.001	Кінематична схема маніпулятору	1	
4	A1	ДП.ПБ61 11.1702.002	Загальний вигляд маніпулятору	1	
5	A1	ДП.ПБ61 11.1702.003 СК	Складальний кресленик маніпулятору	1	
6	A4	ДП.ПБ61 11.1702.003 СП	Специфікація маніпулятору	2	
7	A1	ДП.ПБ61 11.1702.004 СК	Кресленик захватного пристрою	1	
8	A4	ДП.ПБ61 11.1702.004 СП	Специфікація захватного пристрою	1	
9	A3	ДП.ПБ61 11.1702.005	Функціональна схема маніпулятора	1	
10	A1	ДП.ПБ61 11.1702.006	ССС маніпулятору	1	
11	A1	ДП.ПБ61 11.1702.007	TCC маніпулятору	1	
11	A1	ДП.ПБ61 11.1702.008	Карти технологічного маршруту складання	22	
12	A1	ДП.ПБ61 11.1702.009 СК	Кресленик для контролю руху маніпулятора	1	
13	A1	ДП.ПБ61 11.1702.010	Деталювання	2	
				ДП.ПБ61 11.1702.00	
	ПІБ	Підпис	Дата		
Розробн.	Проскурченко Д.М.				
Керівн.	Філіппова М.В.				
Консульти.					
Н/контр.					
Зав. каф.	Антонюк В.С.				
				Відомість дипломного проекту Лист Листів 1 1 КПП ім. Ігоря Сікорського Каф. БП Гр. ПБ-61	

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Лабораторний маніпулятор з механічним
захватним пристроєм»**

Київ – 2020 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Віктор АНТОНЮК

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Проскуренку Денису Миколайовичу

1. Тема проєкту «Лабораторний маніпулятор з механічним захватним пристроєм», керівник проєкту Філіппова Марина В'ячеславівна, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020р. №1180-с
2. Термін подання студентом проєкту 03 червня 2020р. _____
3. Вихідні дані до проєкту: креслення маніпулятора.
4. Зміст пояснювальної записки:

1. Конструкторський розділ 1.1 Типи і класифікація маніпуляторів 1.2 Проектування маніпулятора 1.2.1 Побудова структурної кінематичної схеми 1.2.2 Вибір серводвигунів 1.2.3 Розроблення конструкції 1.2.4 Визначення діапазонів кутів повороту ланок 1.2.5 Дослідження динамічних характеристик 1.2.6 Робоча зона маніпулятора 1.2.7 Розроблення конструкції та розрахунок захватного пристрою 1.2.8 Розроблення системи керування маніпулятором

2. Технологічний розділ 2.1 Відпрацювання конструкції маніпулятора на технологічність 2.2 Визначення геометричної точності складання маніпулятора 2.3 Розроблення технологічного процесу складання маніпулятора 2.3.1 Проектування структурної схеми складання 2.3.2 Проектування технологічної схеми складання 2.3.3 Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту 2.3.4 Розроблення маршрутної та операційної технології складання маніпулятору 2.4 Проектування пристосування

5. Перелік графічного матеріалу: (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): кінематична схема маніпулятору, загальний вигляд маніпулятору, складальний кресленик маніпулятору, кресленик захватного пристрою функціональна схема маніпулятору, схема

структурного складу, технологічна схема складання Кресленик для контролю руху маніпулятора, деталювання

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13.03.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Побудова кінематичної схеми	20.03.2020	
2	Розроблення конструкції маніпулятора	03.04.2020	
3	Дослідження динамічних характеристик	10.04.2020	
4	Розроблення системи керування маніпулятором	24.04.2020	
5	Відпрацювання конструкції маніпулятора на технологічність	01.05.2020	
6	Визначення геометричної точності складання маніпулятора	08.05.2020	
7	Розроблення технологічного процесу складання маніпулятора	15.05.2020	
8	Проектування пристосування	22.05.2020	
9	Оформлення пояснювальної записки дп	29.05.2020	
10	Подача дп до передзахисту	03.06.2020	

Студент

Керівник



Денис ПРОСКУРЕНКО

Марина ФІЛІПОВА

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

Анотація

Метою дипломного бакалаврського проєкту є розробка лабораторного маніпулятора з механічним захватним пристроєм.

Дипломний проєкт бакалавра загальною кількістю сторінок 98 складається з 2 розділів, 50 рисунків, 6 додатків та списку літератури із 25 джерелами.

Дипломний проєкт містить наступні матеріали: пояснювальна записка та графічні матеріали представлені у вигляді креслень. Пояснювальна записка в свою чергу складається з двох розділів: технологічного та конструкторського.

У конструкторській частині дипломного проєкту приведено етапи створення лабораторного маніпулятора. Побудовано кінематичну ланку та вирішено пряму та зворотну задачі кінематики. Розроблено конструкцію маніпулятора та досліджено його динамічні характеристики у різних точках. Розроблено систему керування маніпулятором.

У технологічній частині дипломного проєкту виконано аналіз приладу на технологічність, визначено геометричну точність складання, розроблено технологічний процес складання та спроектовано пристосування для контролю.

Annotation

The purpose of the bachelor's thesis project is to develop a laboratory manipulator with a mechanical gripping device.

The bachelor's thesis project with a total number of 98 pages consists of 2 sections, 50 figures, 6 appendices and a list of references with 25 sources.

The diploma project contains the following materials: explanatory note and graphic materials presented in the form of drawings. The explanatory note in turn consists of two sections: technological and design.

The design part of the diploma project presents the stages of creating a laboratory manipulator. The kinematic link is constructed and the direct and inverse problems of kinematics are solved. The design of the manipulator is developed and its dynamic characteristics at different points are investigated. The manipulator control system is developed.

In the technological part of the diploma project the analysis of the device for manufacturability is performed, the geometric accuracy of assembly is determined, the technological process of assembly is developed and the device for control is designed.

ЗМІСТ

Вступ	9
1. Конструкторський розділ	10
1.1 Типи і класифікація маніпуляторів	10
1.2 Проектування маніпулятора	17
1.2.1 Побудова структурної кінематичної схеми	17
1.2.2 Вибір серводвигунів.....	26
1.2.3 Розроблення конструкції маніпулятора	28
1.2.4 Визначення діапазонів кутів повороту ланок	33
1.2.5 Дослідження динамічних характеристик маніпулятора	35
1.2.6 Робоча зона маніпулятора	43
1.2.7 Розроблення конструкції та розрахунок захватного пристрою	45
1.2.8 Розроблення системи керування маніпулятором	49
2. Технологічний розділ.....	54
2.1 Відпрацювання конструкції маніпулятора на технологічність	54
2.2 Визначення геометричної точності складання маніпулятора	59
2.3 Розроблення технологічного процесу складання маніпулятора	62
2.3.1 Проектування структурної схеми складання.....	62
2.3.2 Проектування технологічної схеми складання.....	65
2.3.3 Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту.....	65
2.3.4 Розроблення маршрутної та операційної технології складання маніпулятору.....	66
2.4 Проектування пристосування для контролю руху маніпулятора	67
Висновки	69
Список використаних джерел.....	70
Додаток А	73
Додаток Б	76
Додаток В	90
Додаток Г.....	113

ВСТУП

Сучасне прагнення до розвитку автоматизації виробничих процесів й зростання автоматизації підприємств, привели до збільшення набору вимог, що пред'являються до виробничих процесів. Конкуренція в умовах ринку і висока вартість обладнання змушує розробляти нові методи підвищення ефективності процесу виготовлення при менших витратах на реалізацію. Для вирішення проблеми слід вибирати найбільш прості, дешеві і ефективні компоненти комплексу, а також альтернативні способи управління.

Маніпулятор – сукупність просторового важільного механізму і системи приводів, що працює під управлінням програмованого автоматичного пристрою або людини-оператора. У сучасному світі маніпулятори широко використовуються в таких областях як: військова, аерокосмічна, медицина, машинобудування і т.д. Вони поступово заміщають людську працю при роботі в небезпечних середовищах, в обробних роботах, в великомасштабних переробних і обробних виробництвах, при розмінуванні зарядів, в зварювальних роботах тощо. Маніпулятори, завдяки своїм характеристикам і відсутності суб'єктивних чинників, виконують ці роботи з високим рівнем безпеки, забезпечують високу стабільність і повторюваність результатів, мають високу якість роботи.

В дипломному проєкті розроблено лабораторний маніпулятор з механічним захватним пристроєм. В подальшому даний виріб може використовуватись для навчання програмуванню маніпуляторів та наглядному їх вивченню, що буде зменшувати розрив між теоретичними та практичними знаннями майбутнього фахівця в промисловій сфері.

1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Промислові маніпулятори або робо-маніпулятори - це машини, які використовуються для маніпулювання або управління матеріалами без безпосереднього контакту. Спочатку вони використовувалися для маніпулювання радіоактивними або біологічно небезпечними об'єктами, які небезпечні для людини. Але зараз їх використовують у багатьох галузях промисловості для виконання таких завдань, як підняття важких предметів, постійне зварювання з хорошою точністю тощо. Крім галузей промисловості, вони також використовуються в лікарнях як хірургічні інструменти. І зараз лікарі щодня широко використовують маніпулятори у своїх операціях[1].

1.1 Типи і класифікація маніпуляторів

Маніпулятор повинен мати три ступені рухливості, необхідні для переміщення чогось в будь-яку точку зони обслуговування. Кожна ступінь рухливості маніпуляційного робота управляється індивідуальним приводом, в результаті чого виконавчий орган отримує спрямований певний рух. В сучасних маніпуляторах використовують електромеханічні, гідравлічні, пневматичні або комбіновані приводи[2].

Існує велика кількість типів маніпуляторів, найбільш поширеними в промисловості є п'ять наступних:

Декартовий тип (рис. 1.1). У цього промислового робота його трьох принципова вісь має призматичні з'єднання, або вони рухаються лінійно ретельно один до одного. Декартові роботи найкраще підходять для дозування клею у автомобільній промисловості. Основна перевага декартів полягає в тому, що вони здатні рухатися в декількох лінійних напрямках, а також вони здатні робити прямолінійні вставки та їх легко програмувати. Недоліками декартового робота є те, що він займає занадто багато місця, оскільки більша частина місця у цього робота не використовується.

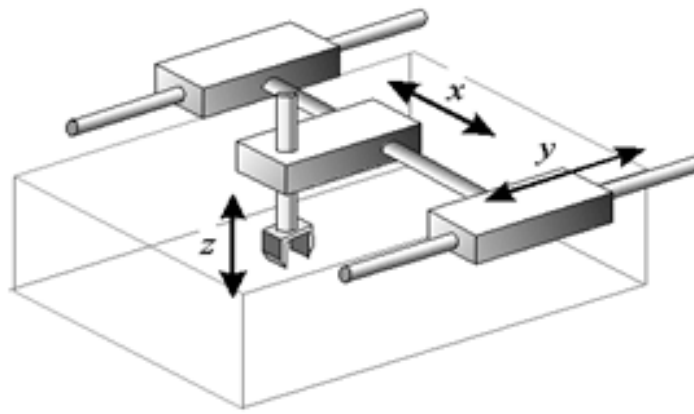


Рис. 1.1. Маніпулятор декартового типу

Циліндричний тип має три осі руху - вісь кругового руху та дві лінійні осі в горизонтальному та вертикальному русі руки (рис.1.2). Так він має 1 обертовий шарнір, 1 циліндричний і 1 призматичний шарнір. Сьогодні циліндричний робот менш використовується і замінюється більш гнучкими та швидкими роботами, але він займає дуже важливе місце в історії, оскільки його використовували для зчеплення та виконання завдань задовго до розробки шести робочих осей. Його перевага полягає в тому, що він може рухатися набагато швидше, ніж декартовий робот. Його недолік полягає в тому, що він вимагає зусиль для перетворення декартової системи координат на циліндричну систему координат.

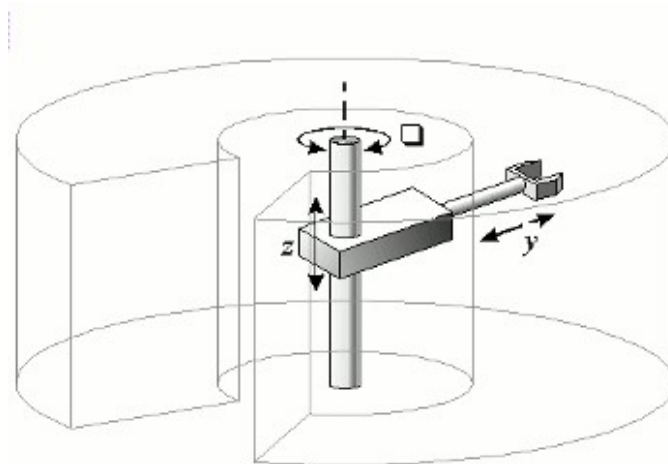


Рис. 1.2. Маніпулятор циліндричного типу

Сферичний тип (рис. 1.3). Це нерухомі рукоятки робота зі сферичними або майже сферичними робочими оболонками, які можуть бути розміщені в полярній системі координат. Вони більш досконалі, ніж декартові, але його управління набагато складніше. Він має 2 обертових з'єднання та 1 призматичний шарнір. Його основні напрямки роботи в керуванні операціями на виробничій лінії.

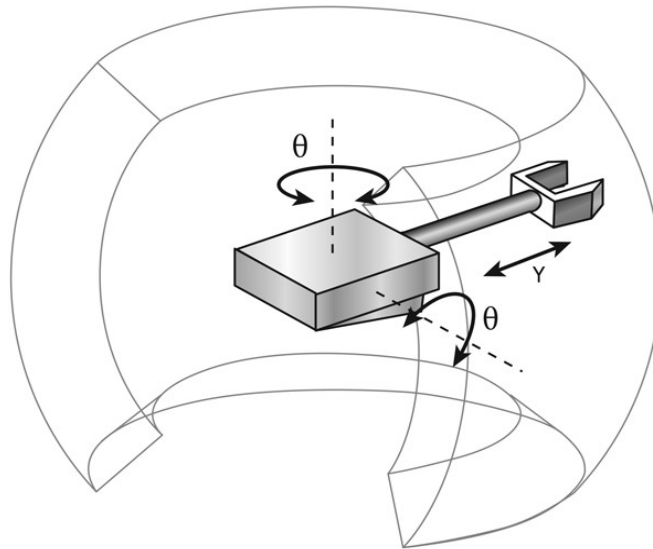


Рис. 1.3. Маніпулятор сферичного типу

Ангулярний тип представляє собою Шарнірний маніпулятор, який іноді також називають зчленованим, ліктьовим або антропоморфним маніпулятором (рис. 1.4.). Вони, як правило, складаються з двох «плечових» суглобів, одного для обертання навколо вертикальної осі та одного для підняття з горизонтальної площини, «ліктьового» суглоба, вісь якого, як правило, паралельний плечовому суглобу та двох або трьох суглобів «зап'ястя» на кінці маніпулятора. Тому такий робот нагадує руку людини. Його зона обслуговування значно більша, ніж у маніпуляторів інших типів. Він здатний обходити перешкоди набагато різноманітнішими шляхами і навіть складатися, але разом з тим він виключно складний в управлінні.

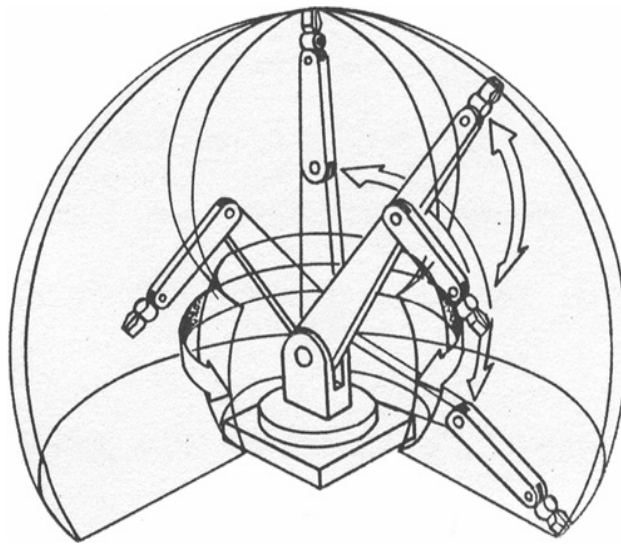


Рис. 1.4. Манипулятор ангулярного типу

SCARA тип (рис. 1.5). Такий манипулятор має три паралелі затискні з'єднання, що дозволяють йому рухатися і орієнтуватися в площині з четвертим призматичним з'єднанням для переміщення інструмента по нормальній площині. Основна перевага полягає в тому, що перші три суглоби не повинні підтримувати ні вагу манипулятора, ні навантаження. Приводи можна зробити дуже великими, тому робот може рухатися дуже швидко. Наприклад, манипулятор SCARA Adept One може рухатися зі швидкістю до 9 метрів в секунду, що приблизно в десять разів швидше, ніж більшість ангулярних промислових роботів.

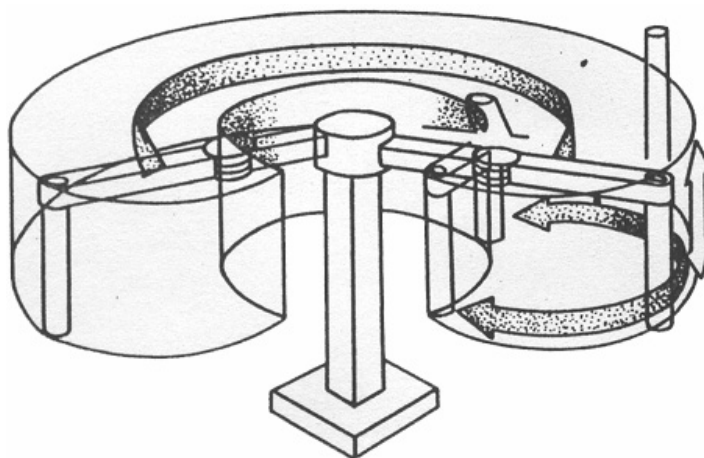


Рис. 1.5. Манипулятор SCARA типу

У даній роботі буде розроблятися маніпулятор ангулярного типу, тому обертальні кінематичні пари найбільш прості в конструкції і легко реалізовані, також така конструкція має досить велику робочу зону і своєю гнучкістю дозволяє обходити деякі перешкоди.

Класифікація роботів за призначенням в промисловості:

- Керамічна промисловість: видавлювання керамічної сировини, завантаження вальцових машин, витяг сформованих виробів, складування, покриття глазур'ю шляхом занурення, нанесення глазури пульверизатором, шліфування виробу після випалу, завантаження і розвантаження печей;

- Скляна промисловість: завантаження і розвантаження машин;

- Швейна промисловість: завантаження швейних машин;

- Деревообробна промисловість: покриття лаком, складання виробів, забивання цвяхів, закручування гвинтів;

- Виробництво та оброблення шкіри: завантаження машин;

- Гумообробна промисловість: маніпулювання шинами;

- Обробка пластиків: завантаження сировини, розвантаження машин;

За ступенем універсальності:

- універсальні (для виконання різних операцій спільно з різними видами обладнання);

- спеціалізовані (виконує одну операцію з декількох можливих з різним обладнанням);

- спеціальні (виконує конкретну операцію з одним типом обладнання).

За типом технологічних операцій:

- здійснюють основні технологічні операції;
- виконують допоміжні технологічні операції з обслуговування технологічного обладнання (засоби автоматизації).

За показниками, визначаючими їх конструкцію:

- тип приводів робота (електричний, гідравлічний, пневматичний);
- вантажопідйомність (надлегкі - до 1 кг; легкі - від 1 до 10 кг; середні 10,200 кг; важкі - 200,1000 кг; надважкі - понад 1000 кг);
- кількість маніпуляторів (від 1 до 4 рук);
- тип і параметри робочої зони маніпуляторів (прямокутна, циліндрична, сферична, кутова (ангулярного) і різні їх комбінації.);
- рухливість робота визначається наявністю або відсутністю у нього пристрою пересування (рухливий або стаціонарний).
- за способом розміщення стаціонарні і рухливі роботи бувають підлоговими, підвісними (переміщаються по монорельсу), що вбудовуються в інше обладнання (в верстат або ін.);
- по виконанню робота - залежить від призначення (нормальне, пилозахисне, теплозахисне, вологозахисне).

За способом управління:

- з програмним управлінням;
- з адаптивним керуванням;
- з інтелектуальним керуванням.

За швидкістю рухів:

- мала швидкість - до 0,5 м / с;
- середня - лінійні швидкості від 0,5 до 1 м / с (~ 80% робіт);
- висока - понад 1 м / с (~ 20% робіт).

За точністю рухів:

- мала точність - при лінійній похибці від 1 мм і вище;
- середня - від 0,1 до 1 мм (найбільше робіт);
- висока - менше 0,1 мм.

Параметри, що визначають технічний рівень робіт:

- надійність;
- число одночасно працюючих ступенів рухливості;
- час програмування;
- питома вантажопідйомність (віднесена до маси робота);
- вихідна потужність маніпулятора, віднесена до потужності його приводів;
- відносні оцінки габаритних параметрів і т. П.

Ці параметри служать критеріями якості, призначені для їх оптимізації при проектуванні і порівняльній оцінці робіт[3].

Лабораторний маніпулятор з механічним захватним пристроєм буде мати наступні параметри класифікації:

- ступінь універсальності - спеціальний, призначений для перенесення невеликих легких предметів;

- тип приводів - електричний;

- вантажопідйомність - надлегкий (до 1 кг);

- тип робочої зони - циліндричний;

- рухливість робота - стаціонарний;

- спосіб розміщення - підлоговий;

- спосіб управління - ручний;

- швидкодія рухів - мала швидкодія (до 0,5 м / с);

- точність пересувань - мала точність (похибка понад 1 мм).

1.2 Проектування маніпулятора

1.2.1 Побудова структурної кінематичної схеми

Перед розробкою тривимірної моделі конструкції маніпулятора необхідно розробити його структурну кінематичну схему (рис. 1.6). Для початку необхідно визначити тип маніпулятора. Було вирішено розробити маніпулятор ангулярного типу, тому обертальні кінематичні пари найбільш прості в конструкції і легко реалізовані, також така конструкція має досить велику робочу зону і своєю гнучкістю дозволяє обходити деякі перешкоди [4]. Також розроблюваний маніпулятор повинен мати всього 4 ступеня свободи. Щоб захватний пристрій захоплював об'єкти правильно, він повинен бути спрямований в певній орієнтації, для цього в кінематичну схему доданий спеціальний механізм для утримання захватного пристрою в незмінній орієнтації.

Розроблена кінематична схема лабораторного маніпулятора вказана на рисунку 1.6.

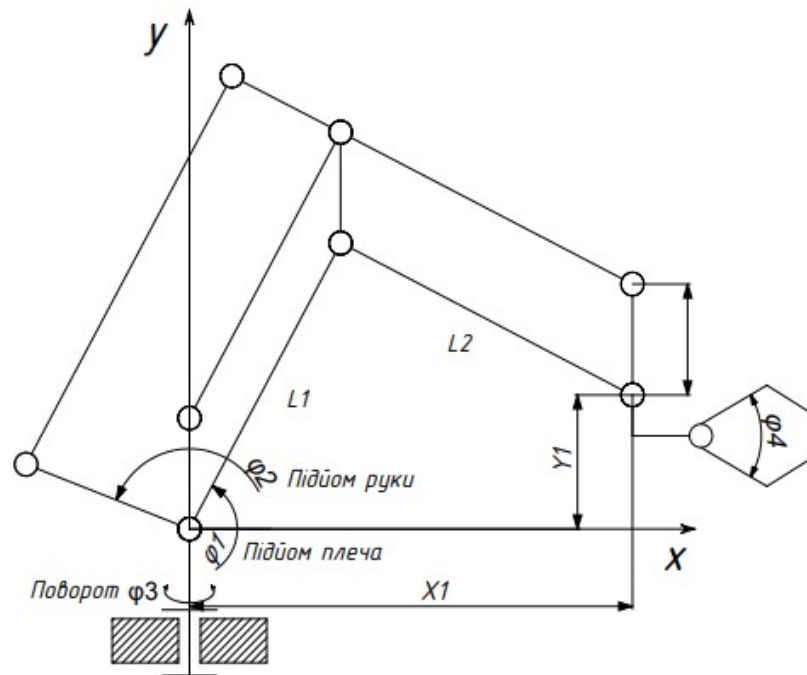
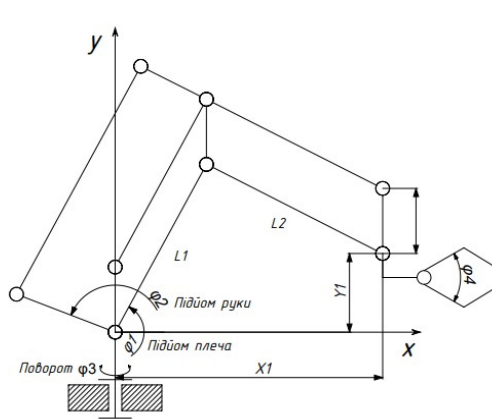
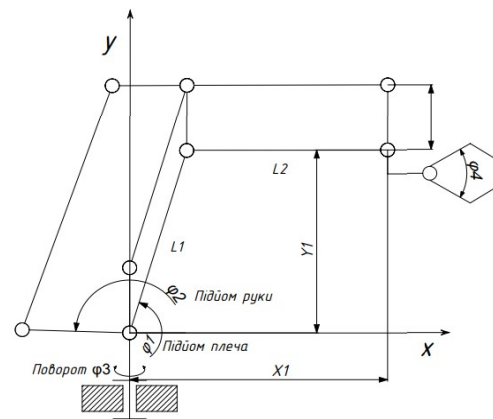


Рис. 1.6. Кінематична схема лабораторного маніпулятора.

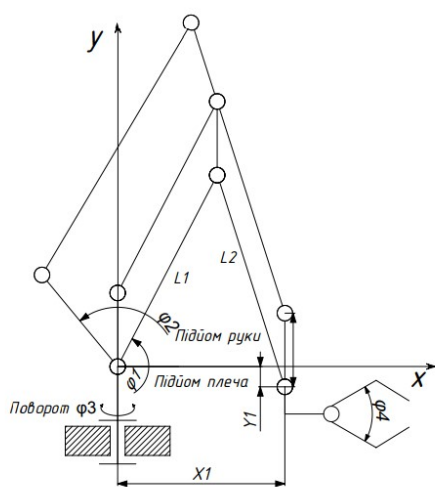
У цій кінематичній схемі використовуються деякі додаткові ланки і елементи, які утворюють паралельний механізм, що дозволяє захватному пристрою маніпулятора залишатися завжди паралельно основі незалежно від того, на які кути ϕ_1 і ϕ_2 повернуться ланки маніпулятора. На рисунку 1.7 (а, б, в, г) показаний принцип роботи паралельного механізму, на якому видно що при зміні кута повороту ланок, захватний пристрій робота зберігає паралельне положення щодо основи. Дана властивість зручна для захоплення, переміщення і встановлення об'єкта в нове положення, при цьому зберігається його вертикальна орієнтація.



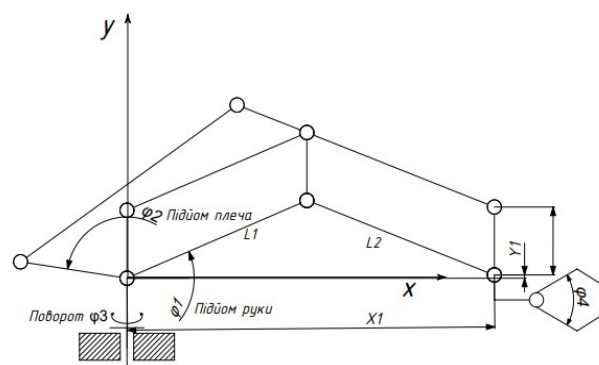
а)



б)



в)



г)

Рис. 1.7. Принцип роботи паралельного механізму.

Аналітичне програмування маніпулятора можна виконати використовуючи спрощену кінематичну схему (рис. 1.8), адже робот здійснює плоско-паралельне переміщення захватного пристрою [4].

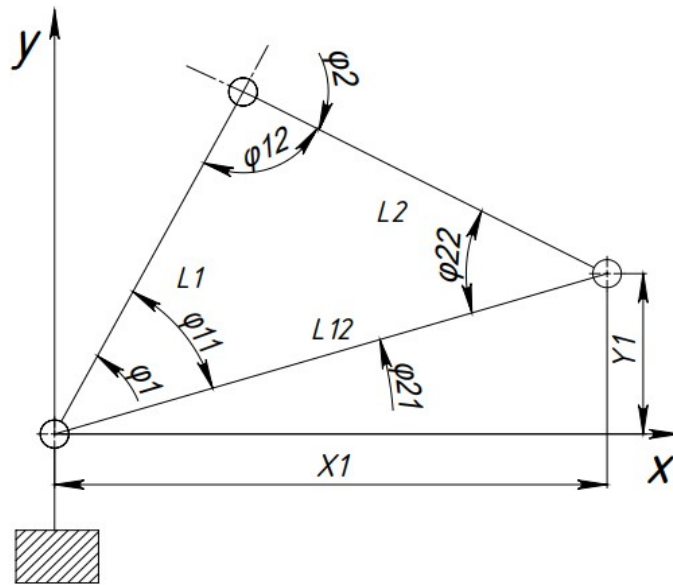


Рис. 1.8. Спрощена кінематична схема лабораторного маніпулятора

Маніпулятор має 2 ланки $L1$ та $L2$, а також 2 кінематичні пари обертового типу, що працюють в одній площині. Шляхом повороту на кути $\phi1$ та $\phi2$ здійснюється переміщення кінематичних пар [4].

За рахунок обертання маніпулятора на кут $\phi3$ відносно осі Y виконується переміщення у тривимірному просторі, тому розглянемо переміщення маніпулятора в одній площині.

Перша ланка $L1$ закріплена на основі і обертається на кут $\phi1$, а друга ланка $L2$ кріпиться на кінці першої і обертається щодо неї на кут $\phi2$. Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці 2 ланки.

Треба знайти такі кути $\phi1$ і $\phi2$, які дозволять маніпулятору із ланками $L1$ і $L2$ помістити робочий орган в задану точку (x, y) , що можна зробити за допомогою зворотної задачі кінематики.

Виходячи з того, що $L_{12}^2 = x^2 + y^2$, $\phi1 = \phi11 + \phi21$, та використовуючи теорему косинусів, знаходимо:

$$\phi1 = \arccos(x / L12) + \arccos((L1^2 - L2^2 + L_{12}^2) / 2 * L12 * L1) \quad (1.1)$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 * L_1 * L_2). \quad (1.2)$$

Звідси, для координат $(x,y) = (50,50)$:

$$\varphi_1 = \arccos(50 / 70) + \arccos((6400 - 6400 + 5000) / 2 * 70 * 80) = 107^\circ;$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((6400 + 6400 - 5000) / 2 * 80 * 80) = 127^\circ.$$

Отже переміщення робочого органу в точку (x, y) здійснюється шляхом повороту кінематичних пар згідно отриманих значень φ_1 і φ_2 .

Рішення прямої і оберненої задачі кінематики

Пряма задача - це визначення положень ланок маніпулятора при заданих кутах повороту з'єднань і розмірів ланок.

Обернена задача - це визначення кутів повороту при заданих координатах положення робочої точки маніпулятора[5].

Перед вирішенням завдань складемо структурну схему (рис. 1.9) з потрібними для вирішення позначеннями.

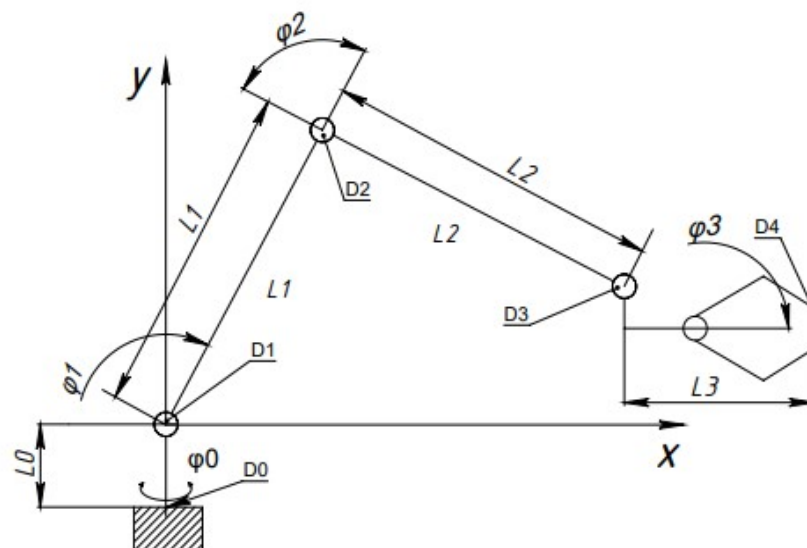


Рис. 1.9. Структурна схема з позначеннями,

$\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$ - кути повороту; L_0, L_1, L_2, L_3 - довжини ланок; D_0, D_1, D_2, D_3, D_4 - точки положення ланок.

Визначимо значення кутів та довжин:

$$\varphi_0 := 65 \frac{\pi}{180}; \quad \varphi_1 := 15 \frac{\pi}{180}; \quad \varphi_2 := 35 \frac{\pi}{180}; \quad \varphi_3 := -(\varphi_1 + \varphi_2).$$

$$L_0 := 30; \quad L_1 := 80; \quad L_2 := 80; \quad L_3 := 30.$$

Матриці перенесення:

$$AL_0 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad AL_1 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad AL_2 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad AL_3 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матриці повороту:

$$Aq_0 := \begin{pmatrix} \cos(q_0) & -\sin(q_0) & 0 & 0 \\ \sin(q_0) & \cos(q_0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad Aq_1 := \begin{pmatrix} \cos(q_1) & 0 & \sin(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q_1) & 0 & \cos(q_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$Aq_2 := \begin{pmatrix} \cos(q_2) & 0 & \sin(q_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q_2) & 0 & \cos(q_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad AL_1 := \begin{pmatrix} \cos(q_3) & 0 & \sin(q_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q_3) & 0 & \cos(q_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Обчислення матриць положення точок:

$$A_0 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$A_1 := A_0 \cdot Aq_0 \cdot AL_0; \quad A_2 := A_1 \cdot Aq_1 \cdot AL_1; \quad A_3 := A_2 \cdot Aq_2 \cdot AL_2; \quad A_4 := A_3 \cdot Aq_3 \cdot AL_3.$$

Координати точок маніпулятора:

$$X := \begin{pmatrix} A0_{0,3} \\ A1_{0,3} \\ A2_{0,3} \\ A3_{0,3} \\ A4_{0,3} \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} A0_{1,3} \\ A1_{1,3} \\ A2_{1,3} \\ A3_{1,3} \\ A4_{1,3} \end{pmatrix} \quad Z := \begin{pmatrix} A0_{2,3} \\ A1_{2,3} \\ A2_{2,3} \\ A3_{2,3} \\ A4_{2,3} \end{pmatrix}$$

На рисунку 1.10 схему для розв'язання прямої задачі.

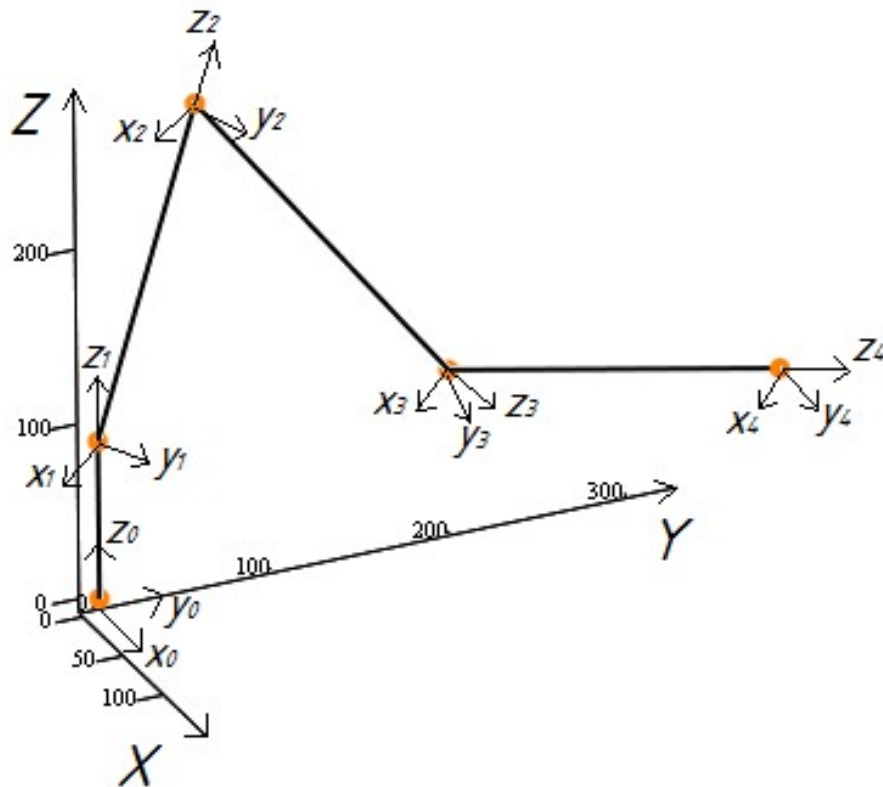


Рис. 1.10 Схема для розв'язання прямої задачі

Для наочного уявлення розв'язання оберненої задачі показана геометрична схема на рисунку 1.11.

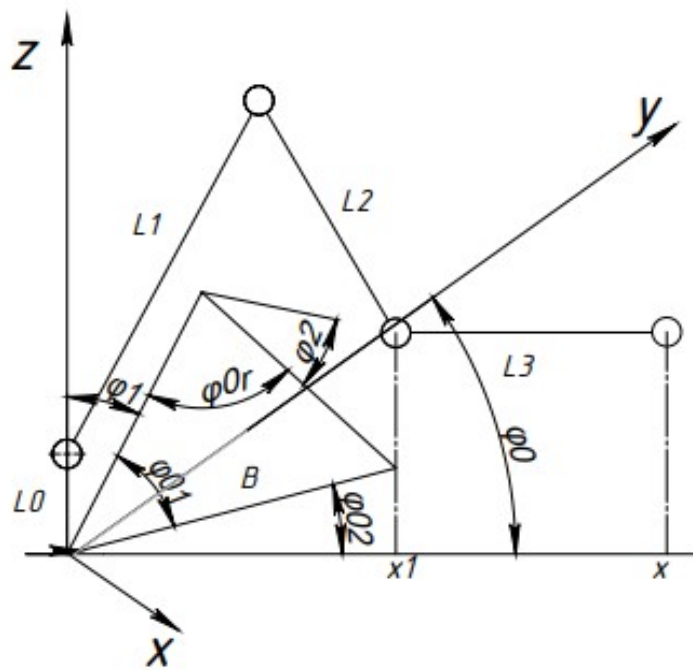


Рис. 1.11 Схема для розв'язання оберненої задачі.

Розв'язання оберненої задачі:

Установлюємо довжини ланок:

$$L0 := 30; \quad L1 := 80; \quad L2 := 80; \quad L3 := 30.$$

Задаємо координати положення точки захватного пристрою:

$$x := A4_{0,3} = 148; \quad y := A4_{1,3} = 317; \quad z := A4_{2,3} = 130.$$

Знаходимо проекцію точки P4 на площину OXY:

$$x := \sqrt{x^2 + y^2}$$

Знаходимо проекцію точки P3 на площину OXY:

$$x1 := x - L3$$

Зміщуємо вниз координату z точки P3 на довжину L0:

$$z1 := z - L0$$

Знаходимо відстань між початком координат і точкою P3:

$$B := \sqrt{x1^2 + z1^2}$$

Знаходимо кут $\varphi0$:

$$\varphi0 := a \sin\left(\frac{y}{x}\right) = 1.134$$

Перша і друга ланки та відрізок B утворюють трикутник, оскільки їх довжини відомі, то можемо визначити кути цього трикутника за формулами:

Знайдемо кут $\varphi01$:

$$\varphi01 := a \cos\left(\frac{L1^2 + B^2 - L2^2}{2 \cdot B \cdot L2}\right) = 1.091$$

Знайдемо кут $\varphi0r$:

$$\varphi0r := a \cos\left(\frac{L1^2 + L2^2 - B^2}{2 \cdot L1 \cdot L2}\right) = 0.96$$

Знайдемо кут $\varphi02$:

$$\varphi02 := a \sin\left(\frac{z1}{B}\right) = 0.218$$

Знайшов кути трикутника визначаємо кути поворотів ланок:

$$\varphi1 := \frac{\pi}{2} - \varphi01 - \varphi02; \quad \varphi2 := \frac{\pi}{2} - \varphi0r.$$

Знайдемо значення кутів і градусів:

$$\varphi0 := \varphi0 \frac{180}{\pi} = 65 \quad \varphi1 := \varphi1 \frac{180}{\pi} = 15 \quad \varphi2 := \varphi2 \frac{180}{\pi} = 35$$

Рішення показує, що підставив значення координат з розв'язання прямої задачі в зворотну задачу і розв'язав її, одержимо значення кутів такі ж як задавали в прямій задачі, що підтверджує правильність рішення цих задач.

1.2.2 Вибір серводвигунів

Поворот ланок маніпулятора і стиснення/розтиснення захватного пристрою здійснюватимуть цифрові серводвигуни. При довжині двох ланок (по 8 см. кожна) і з урахуванням розміру захватного пристрою приблизна максимальна довжина маніпулятора буде 30 см. Для визначення потужність, необхідну серводвигуну для підняття маніпулятора, необхідно визначити вагу маніпулятора. Для цього врахуємо вагу серводвигунів і деталей ланок та захватного пристрою. Серводвигун важить в середньому 9 грам, оскільки їх 4, то загальна вага становить 36 грам, інші деталі будуть зроблені з пластика та металу, в цілому вага робота має бути близько 200 грам. Припустимо що маса робота приблизно розподілена рівномірно уздовж всієї його довжини, отже, при закріпленій основі і розташуванні ланок робота перпендикулярно силі тяжіння, маса в робочій точці робота буде 50 грам.

При масі 50 грам в робочій точці і довжині робота в 30 см, момент на валу серводвигуна буде $1,25 \text{ кг*см}$ за умови, що захватний пристрій маніпулятора буде без вантажу.

Тому обираємо серводвигун з необхідним моментом ks0194 (Keyestudio) показаний на рисунку 1.12.



Рис. 1.12. Зовнішній вигляд серводвигуна Ks0194

Табл. 1.1 Характеристики серводвигуна Ks0194

Характеристика	Значення
Робоча напруга	4,8 V ~ 6V
Діапазон кута	180 °
Діапазон імпульсів	500 → 2500μsec
Швидкість без навантаження	0,12 ± 0,01 сек / 60 (4,8 В); 0,1 ± 0,01 сек / 60 (6 В)
Струм без навантаження	200 ± 20mA (4,8) V 8; 220 ± 20mA (6V)
Пусковий момент	1,3 ± 0,01 кг / см (4,8 В); 1,5 ± 0,1 кг / см (6V)
Довжина дроту	250 ± 5 мм
Розміри	22,9мм * 12,2мм * 30мм
Вага	9 ± 1 г(без сервокріплень)

1.2.3 Розроблення конструкції маніпулятора

Для проектування 3D моделі маніпулятора використано програмний комплекс САПР для автоматизації промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва – SolidWorks (Dassault Systèmes, Республіка Франція). Комплекс забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності і призначення та має велику базу стандартних деталей, що дозволяє скоротити час проектування виробу [6].

Першим етапом проектування було створення основи, до якої кріпляться інші деталі. На основу маніпулятора йтимуть найбільші навантаження, також вона прийме на себе всю його вагу. Основа, зображена на рисунку 1.13, має отвори для кріплення до неї деталей, плат керування та ніжок, які покращують стійкість всієї конструкції.

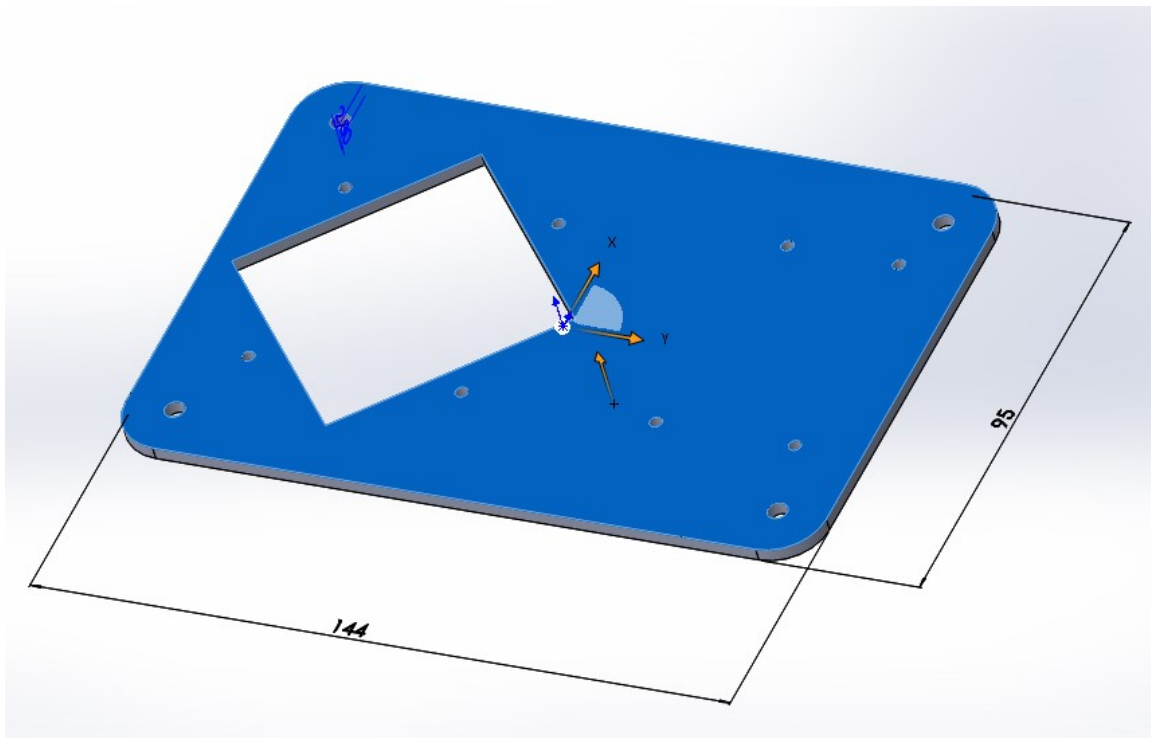


Рис. 1.13. 3D модель основної плити

Для кріплення серводвигунів до інших деталей було спроектовано плиту (рис. 1.14), яка притискає двигун у необхідному місці.

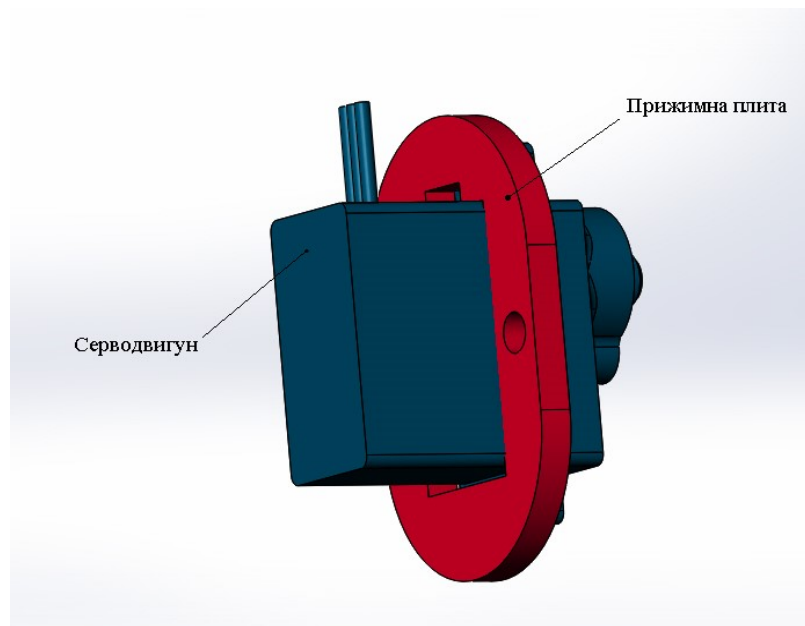


Рис. 1.14. 3D модель з'єднання притискної плити та серводвигуна.

Спроектував ще декілька різних деталей та зібрав їх в одне ціле було отримано всю нижню частину маніпулятора (рис. 1.15). Також в цю частину було додано спрощені моделі керуючої плати ArduinoUnoR3 та модуль драйверу керування серводвигунами для розуміння розміщення цих елементів у конструкції.

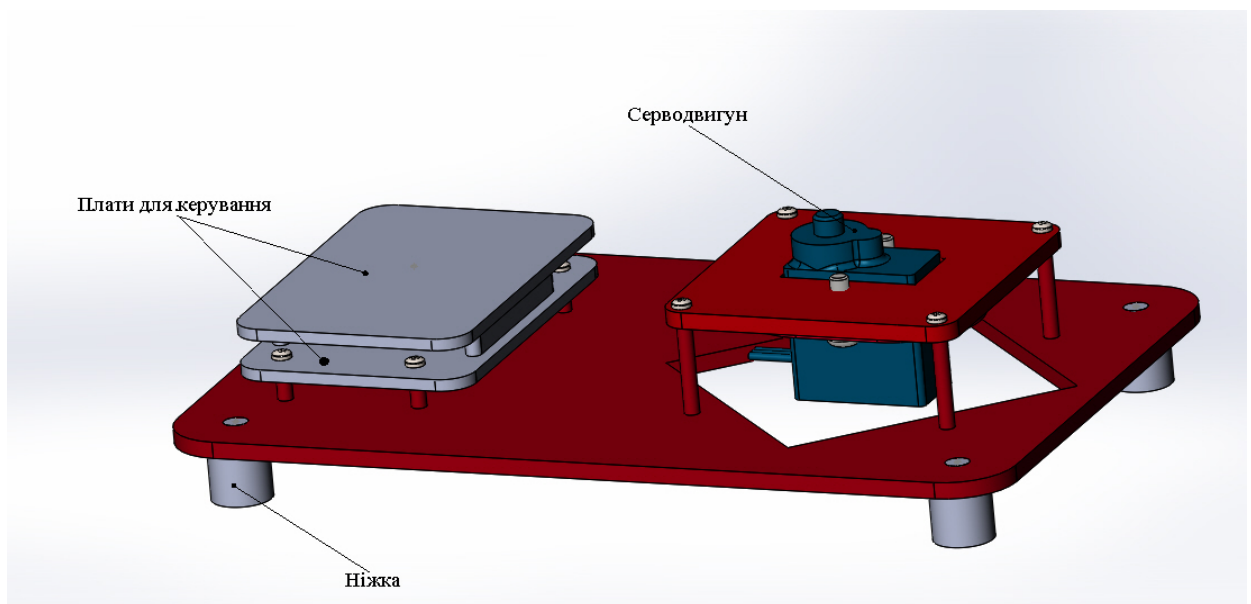


Рис. 1.15. 3D модель нижньої частини маніпулятора.

Наступним кроком моделювання лабораторного маніпулятора було конструювання частин основи для руки. Конструкція, зображена на рисунку 1.16, складається з декількох різних пластин з'єднаних між собою гвинтами та 2 серводвигунів, які виконують роль переміщення захватного пристрою по осям X та Y, тобто вгору, вниз, вперед та назад.

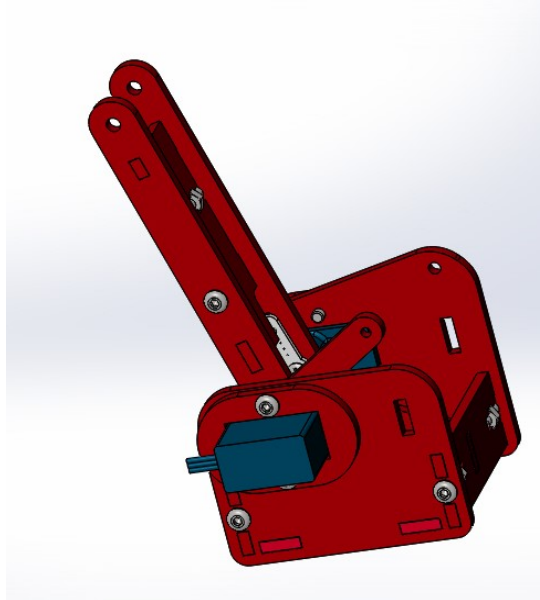


Рис. 1.16. 3D модель частин основи для руки.

Для з'єднання між собою захватного пристрою та основи руки використовується зап'ястний суглоб (рис. 1.17).

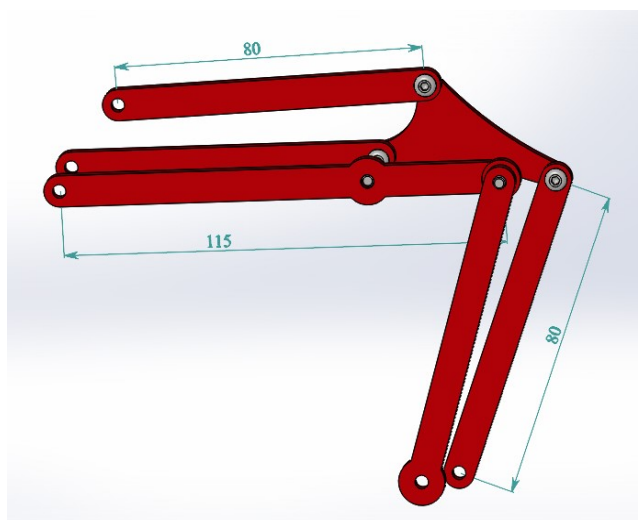


Рис. 1.17. 3D модель зап'ястного суглобу.

Останнім етапом у моделюванні маніпулятора є створення захватного пристрою (рис. 1.18). Спосіб кріплення серводвигуна для захватного пристрою було змінено, у порівнянні з іншими кріпленнями, для того, щоб можна було вставити деталі до яких кріпиться зап'ястний суглоб.

Захватний пристрій складається з 3 рухомих деталей та 4 пластин для кріплення, має невеликі розміри та легко знімається, якщо потрібно змінити конструкцію клешні.

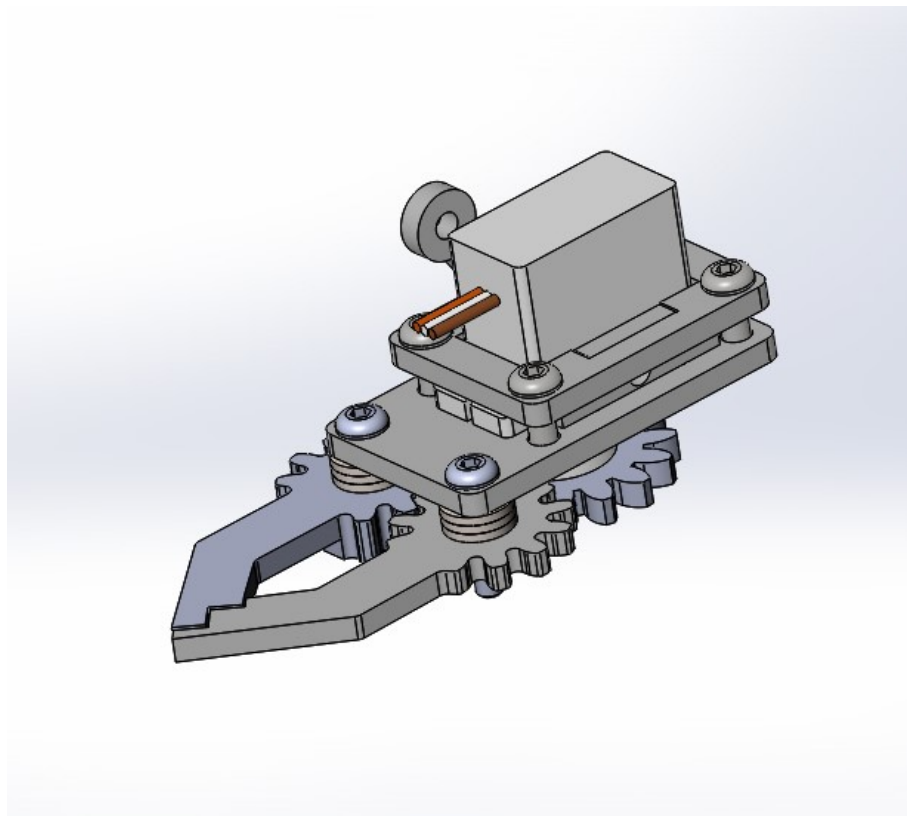


Рис. 1.18. 3D модель захватного пристрою.

Використовуючи розроблені вище моделі деталей маніпулятора необхідно поєднати їх між собою гвинтами та гайками і отримати модель повністю зібраного маніпулятора (рис. 1.19). Також для порівняння на рисунку 1.20 зображено вигляд готового маніпулятора[7].

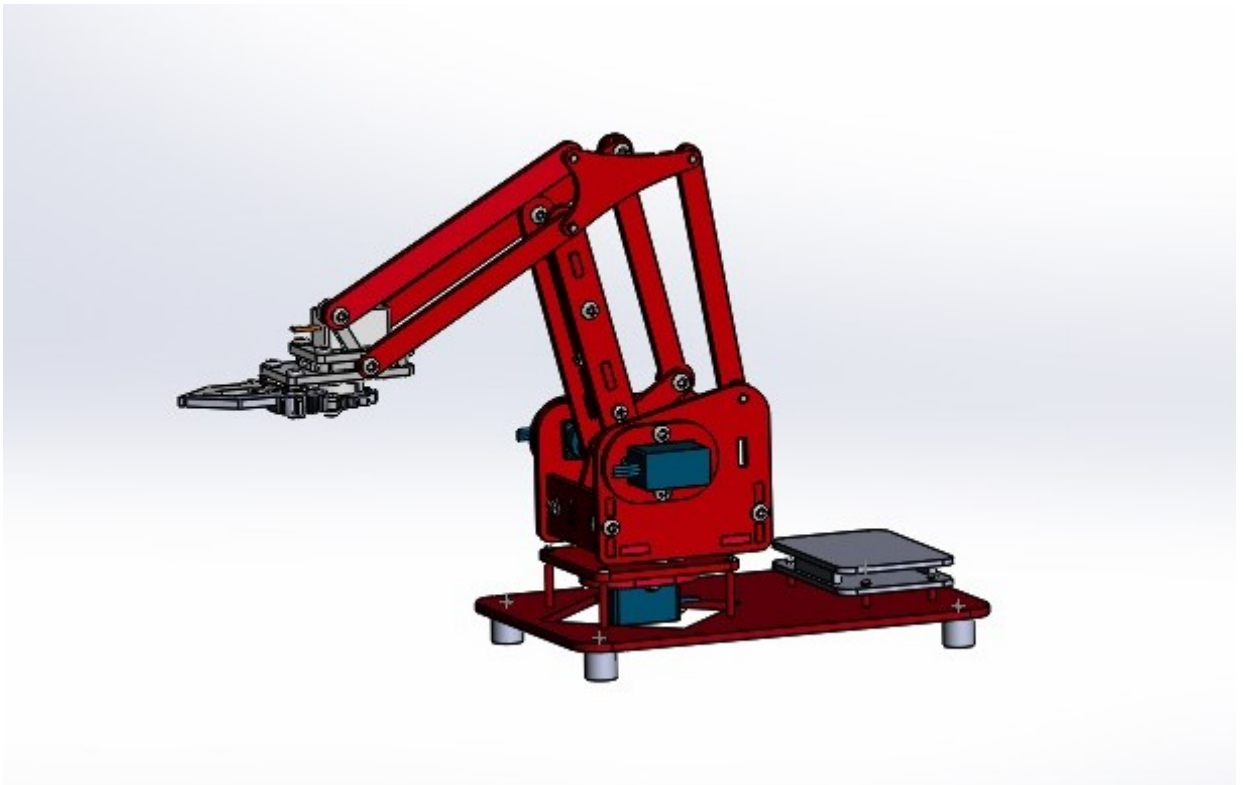


Рис. 1.19. 3D модель зібраного лабораторного маніпулятора.

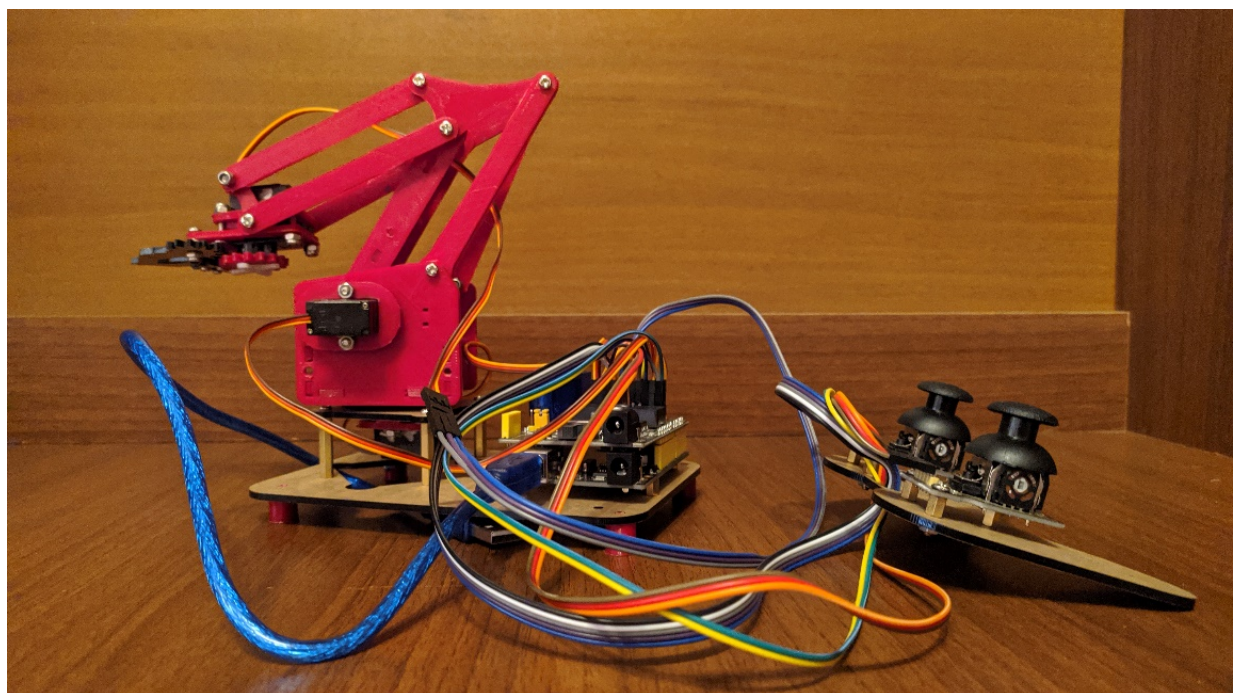


Рис. 1.20. Готовий маніпулятор.

1.2.4 Визначення діапазонів кутів повороту ланок

3D модель маніпулятора (рис. 1.20) з урахуванням всіх довжин ланок і розмірів деталей, дозволяє визначити діапазони кутів поворотів ланок робота щодо початкового положення. Ці діапазони враховуються при визначенні робочої зони динамічної моделі маніпулятора.

Кут повороту ϕ_3 :

За поворот маніпулятора відповідає серводвигун Ks0194, діапазон його повороту становить 180° . У конструкції робота немає перешкод, що обмежують цей діапазон, отже робот буде повертати на $\pm 90^\circ$ щодо початкового положення (рис. 1.21).

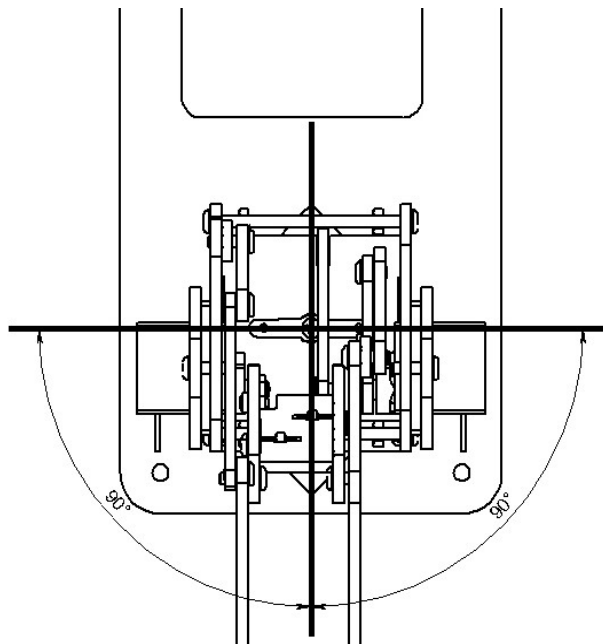


Рис. 1.21. Кут повороту ϕ_3 .

Кут ϕ_1 – підйом плеча:

За підйом плеча відповідає серводвигун Ks0194 з діапазоном повороту 180° . Конструкція маніпулятора дозволяє максимально нахилити ланку в одну сторону на 73° , а на поворот в інший бік 67° щодо початкового положення (рис. 1.22).

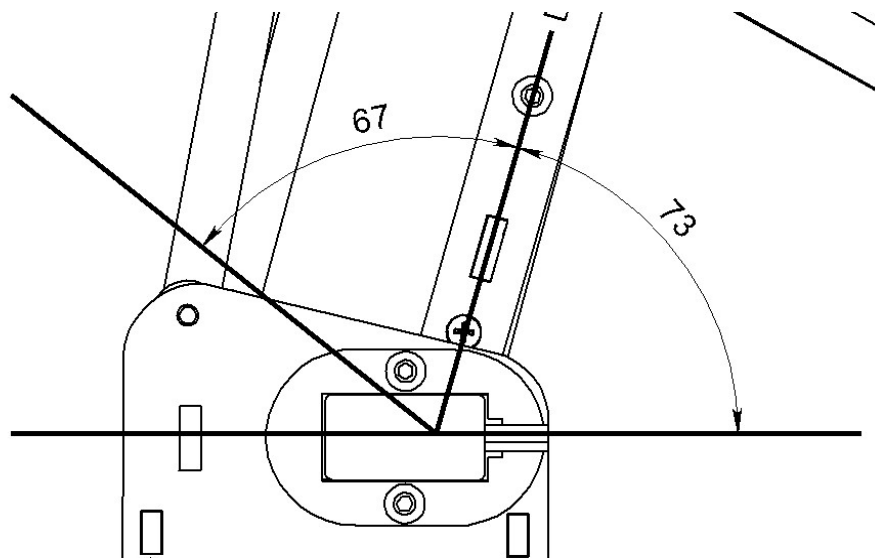


Рис. 1.22. Кут φ_1 – підйом плеча.

Кут φ_2 – підйом руки:

За підйом руки відповідає серводвигун Ks0194 з діапазоном повороту 180° . Конструкція робота дозволяє максимально нахилити ланку в одну сторону на 48° , поворот в іншу можливий тільки на 90° (рис. 1.23).

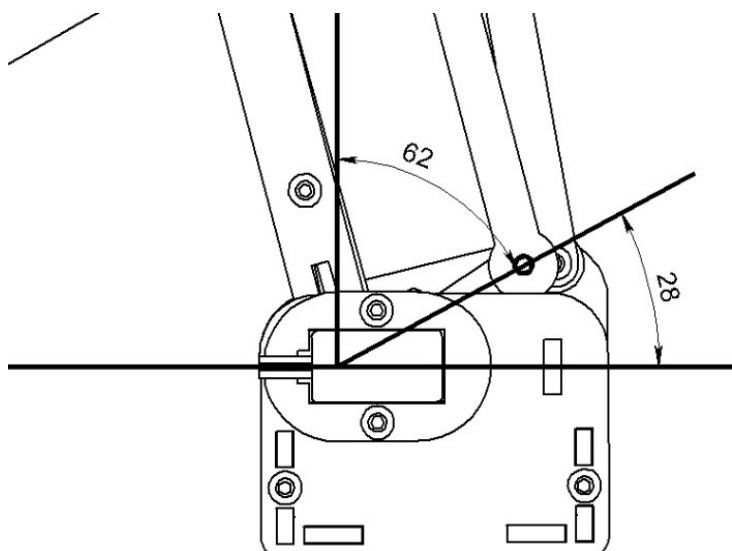


Рис. 1.23. Кут φ_2 – підйом руки.

Діапазони поворотів кутів були зроблені максимально можливими для того, щоб зробити робочу зону перед роботом якомога більше.

1.2.5 Дослідження динамічних характеристик маніпулятора

Дослідження динамічних характеристик лабораторного маніпулятора було проведено у програмі SolidWorks, а саме за допомогою додатку SolidWorks Motion та вже готової 3D моделі у цій програмі(рис. 1.19)[8].

Перед початком проведення досліджень було створено всі необхідні сполучення між деталями, які рухаються. Далі за допомогою вікна анімації та панелі інструментів для створення рухів було надано всі необхідні для дослідження налаштовані двигуни (рис. 1.24). Останнім етапом в створенні анімації є розрахунок руху, який займає багато часу, адже програма в режимі реального часу аналізує задані рухи.

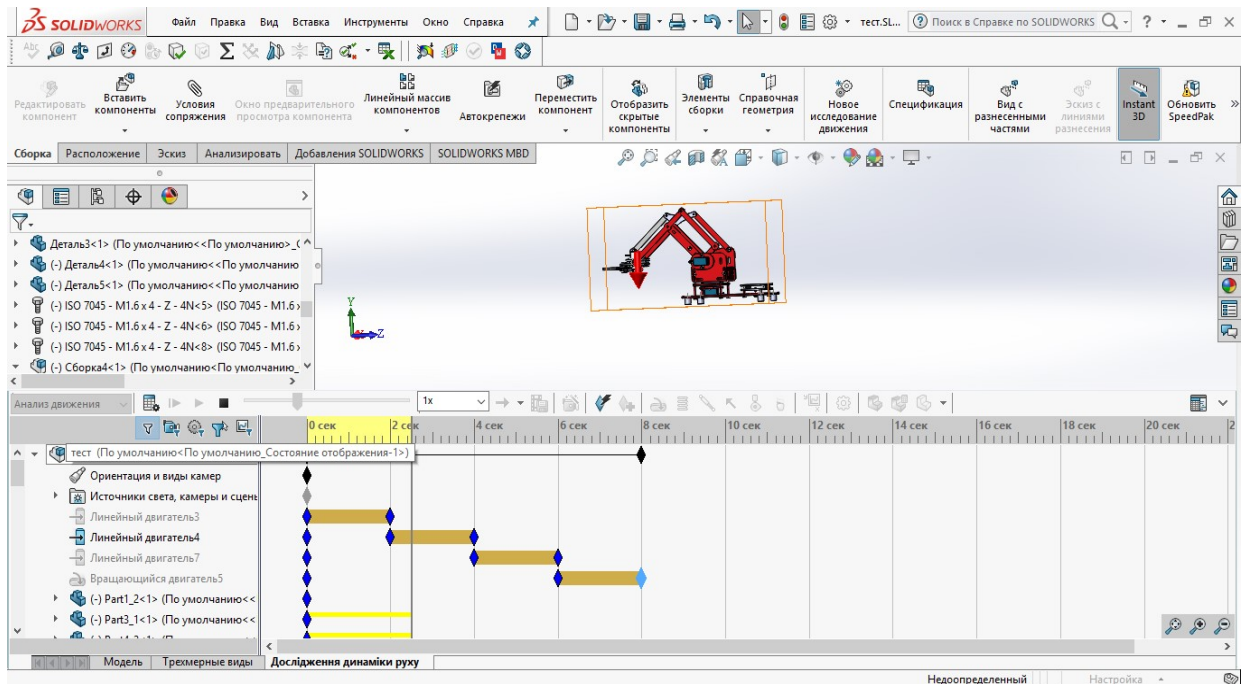


Рис. 1.24. Вікно налаштування анімації рухів маніпулятора.

Для дослідження потрібно визначити динамічні характеристики в точках повороту ланок маніпулятора ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 , ϕ_4 (рис. 1.25) при різних його положеннях і пересування, адже в цих точках розташовані серводвигуни.

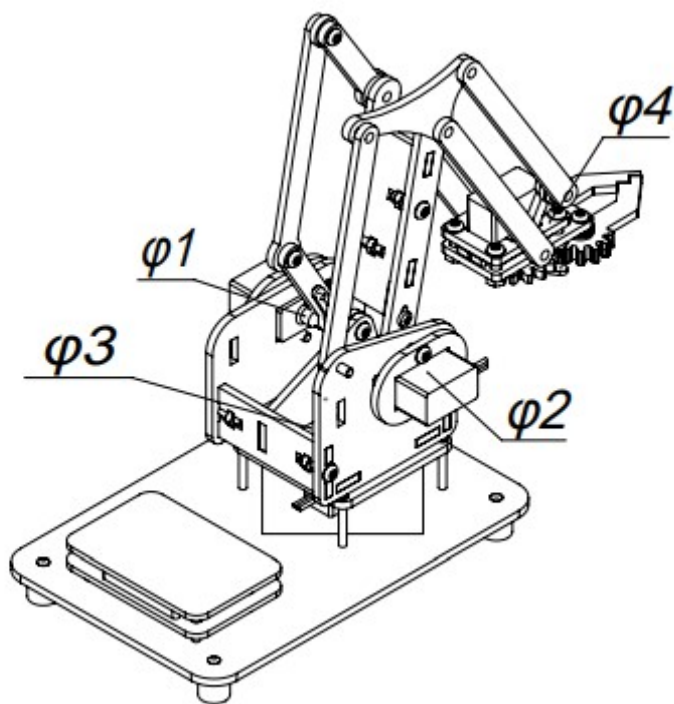


Рис. 1.25. Точки в яких будуть визначені динамічні характеристики.

Динамічні характеристики будуть наступними: сила F , кутова швидкість ω , кутове прискорення a . Щоб їх визначити потрібно задати рух ланок моделі маніпулятора, а саме повернути на певні кути, які було визначено ще у попередньому розділі. Далі програма розрахує масив даних, на основі яких побудуються графіки, за якими можна визначити значення динамічних характеристик при певному куті повороту ланки і в конкретний момент часу[4].

Визначення динамічних характеристик в точках φ_1 і φ_2

Було задано рух ланок моделі маніпулятора таким чином, що він рухається у 3 різних напрямках, при цьому середня кутова швидкість повороту кожної ланки становила 1.57 рад / с, досягнув кожного положення маніпулятор зупинявся на 0.5 секунд.

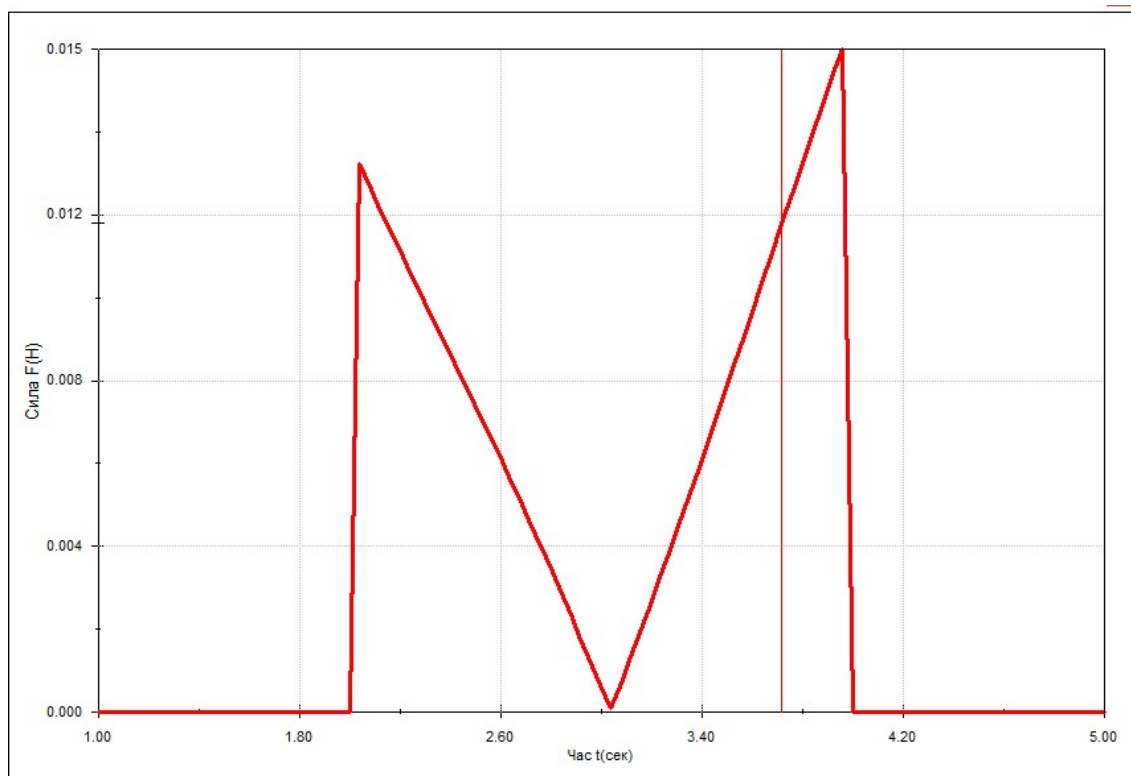


Рис. 1.26. Параметр сили у точці $\phi 1$.

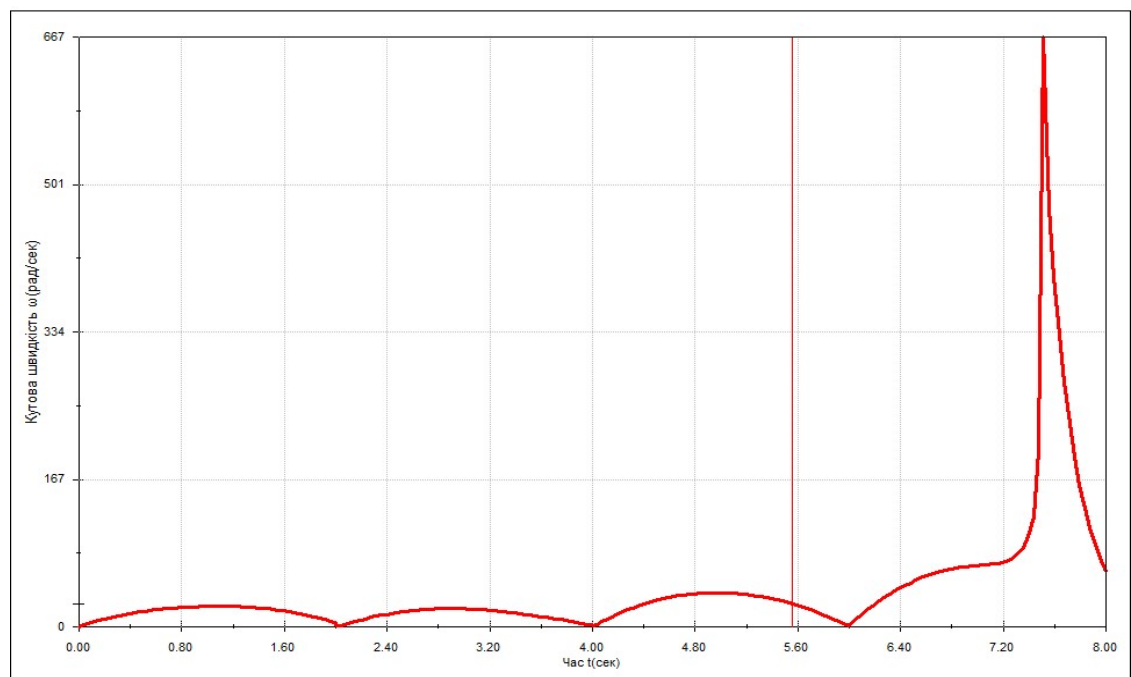


Рис. 1.27. Параметр кутової швидкості у точці $\phi 1$.

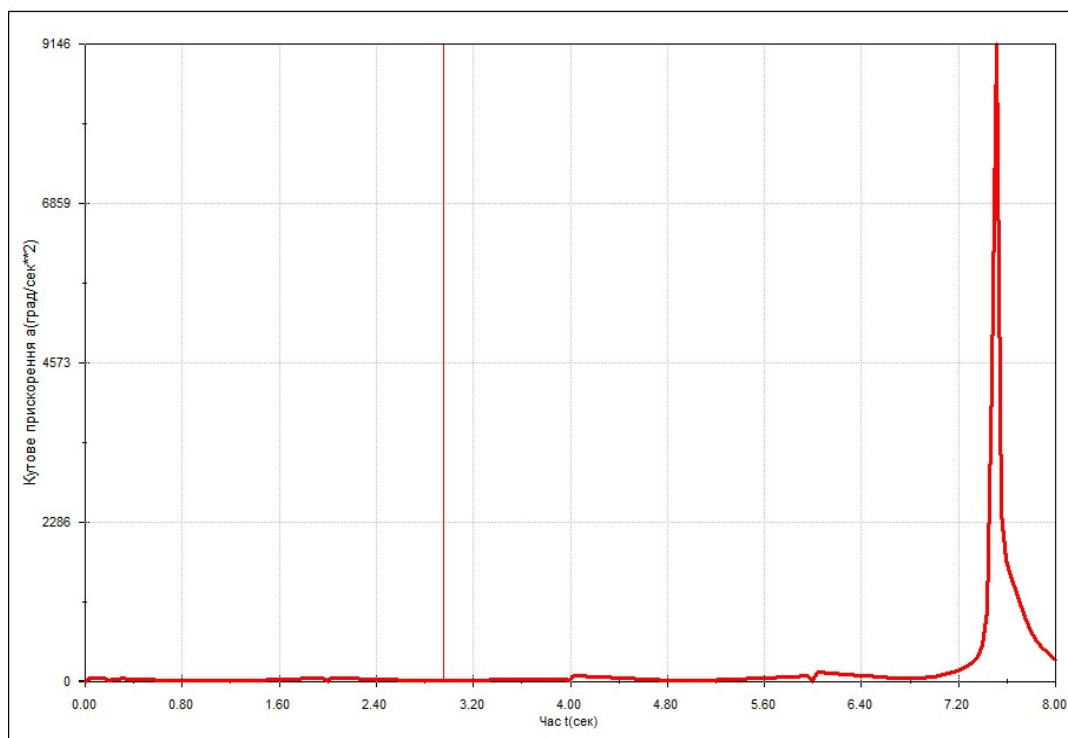


Рис. 1.28. Параметр кутового прискорення у точці ф1.

На рисунках 1.26-1.28 зображені динамічні характеристики маніпулятора у точці ф1 за невеликий проміжок часу.

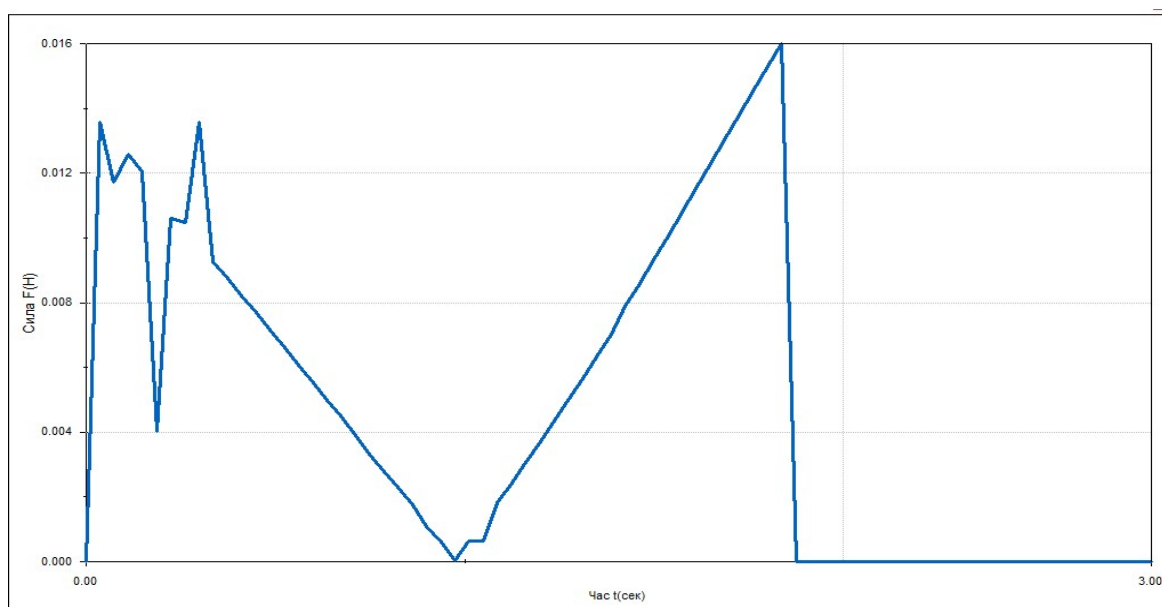


Рис. 1.29. Параметр сили у точці ф2.

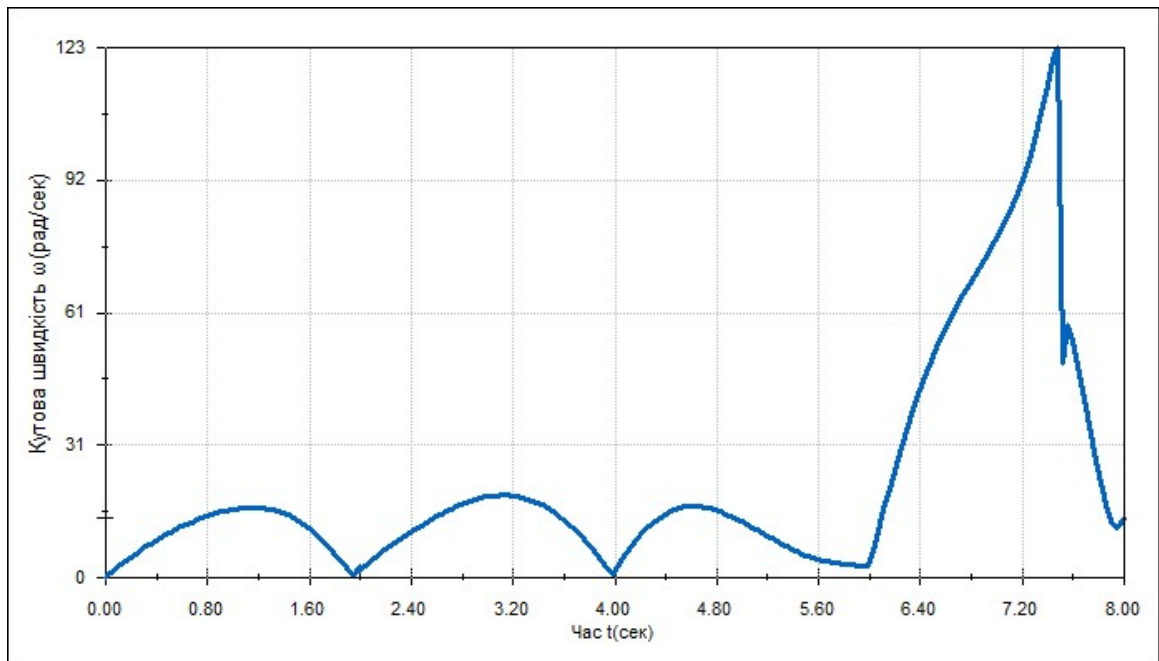


Рис. 1.30. Параметр кутової швидкості у точці ϕ_2 .

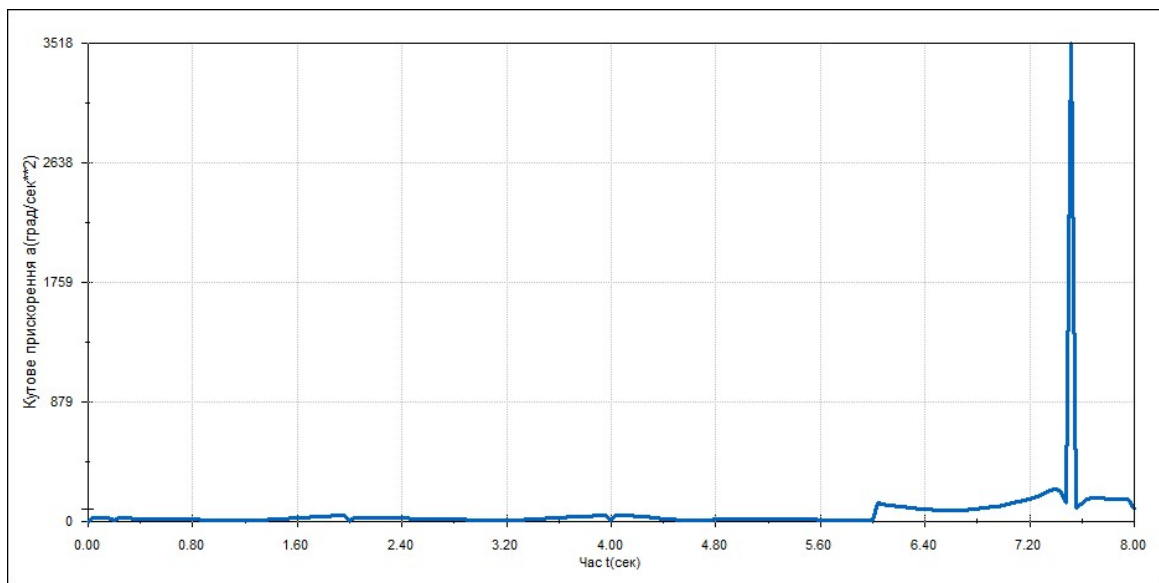


Рис. 1.31. Параметр кутового прискорення у точці ϕ_2 .

На рисунках 1.29-1.31 зображені динамічні характеристики маніпулятора у точці ϕ_2 за невеликий проміжок часу.

Якщо порівняти отримані результати у двох різних точках можна побачити, що результати є дуже схожими між собою, та це і не дивно, адже

для руху в цих точках використовуються однакові серводвигуни, також ці двигуни відповідають за рух руки маніпулятора в одній площині.

Варто зауважити, що в динамічних дослідженнях кутова швидкість змінюється плавно, а крутний момент в середньому не перевищує 1 Н*м , що є припустимим навантаженням реального серводвигуна.

Визначення динамічних характеристик в точці $\phi 3$ і $\phi 4$

На рисунках 1.32-1.34 зображені динамічні характеристики маніпулятору у точці $\phi 3$ за невеликий проміжок часу.

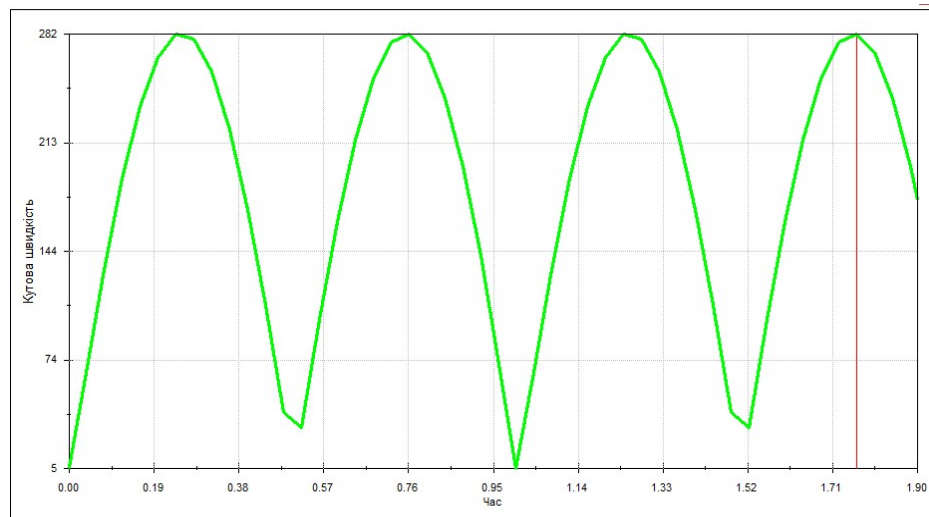


Рис. 1.32. Параметр кутової швидкості у точці $\phi 3$.

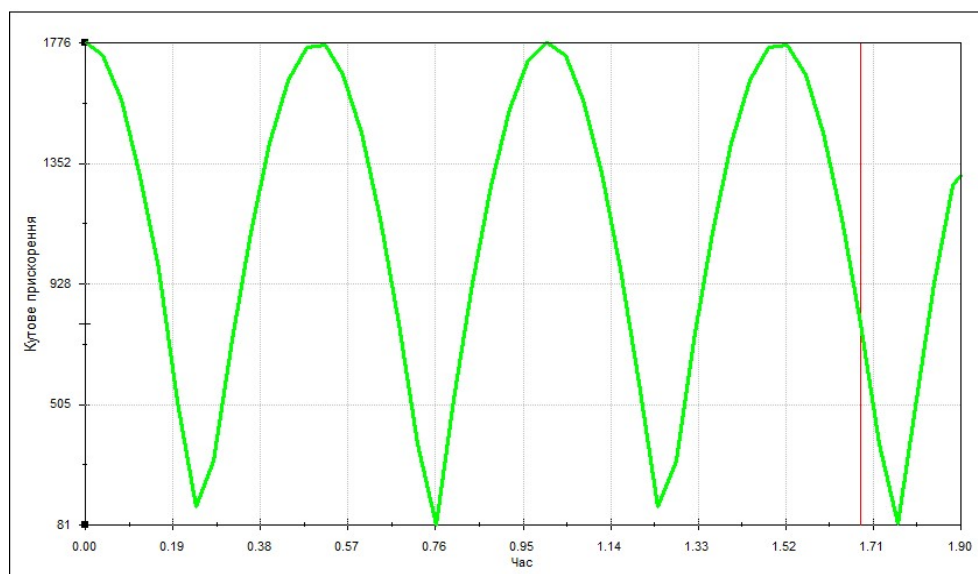


Рис. 1.33. Параметр кутового прискорення у точці ф3.

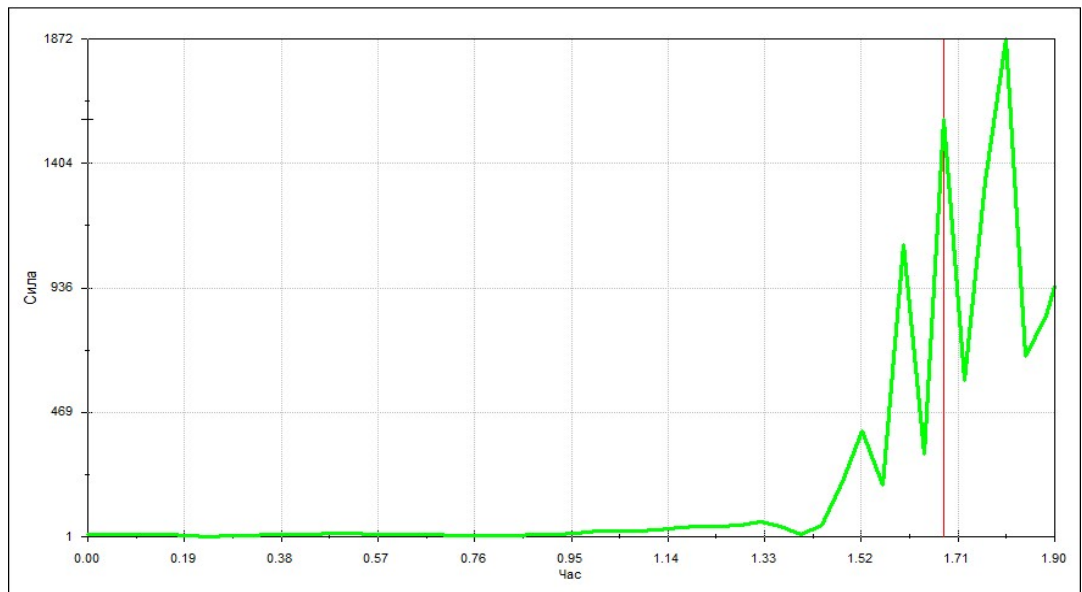


Рис. 1.34. Параметр сили у точці ф3.

На рисунках 1.35-1.37 зображені динамічні характеристики маніпулятору у точці ф3 за невеликий проміжок часу.

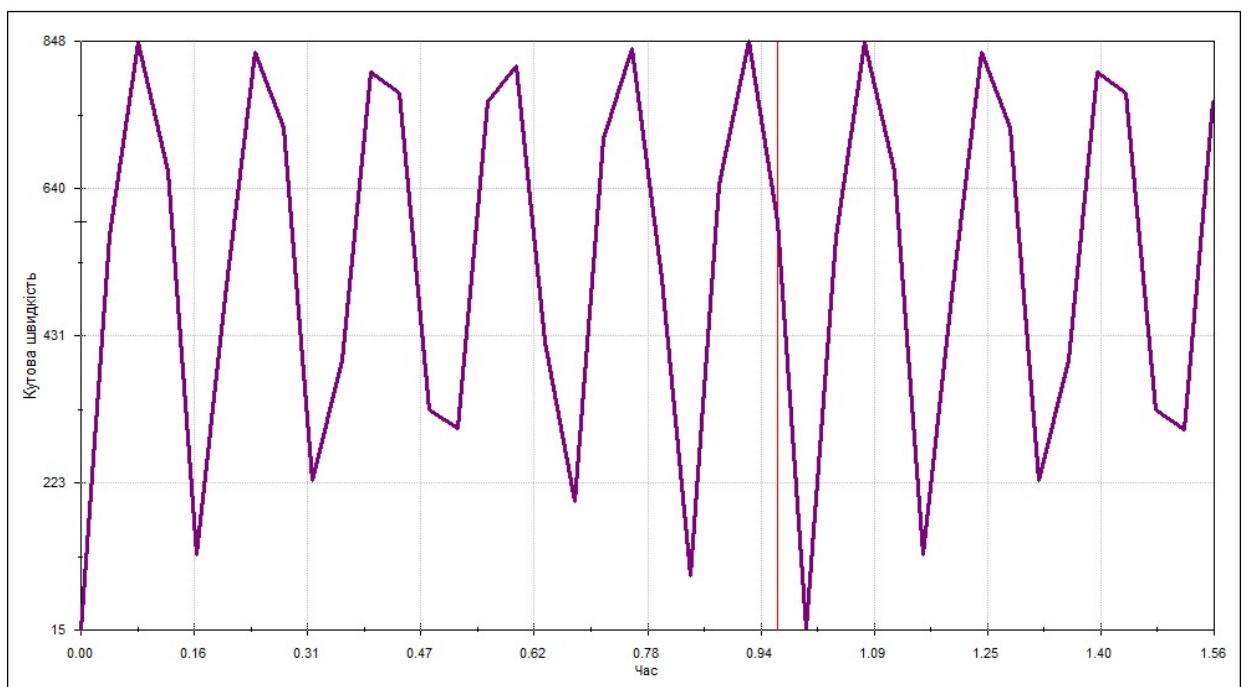


Рис. 1.35. Параметр кутової швидкості у точці ф4.

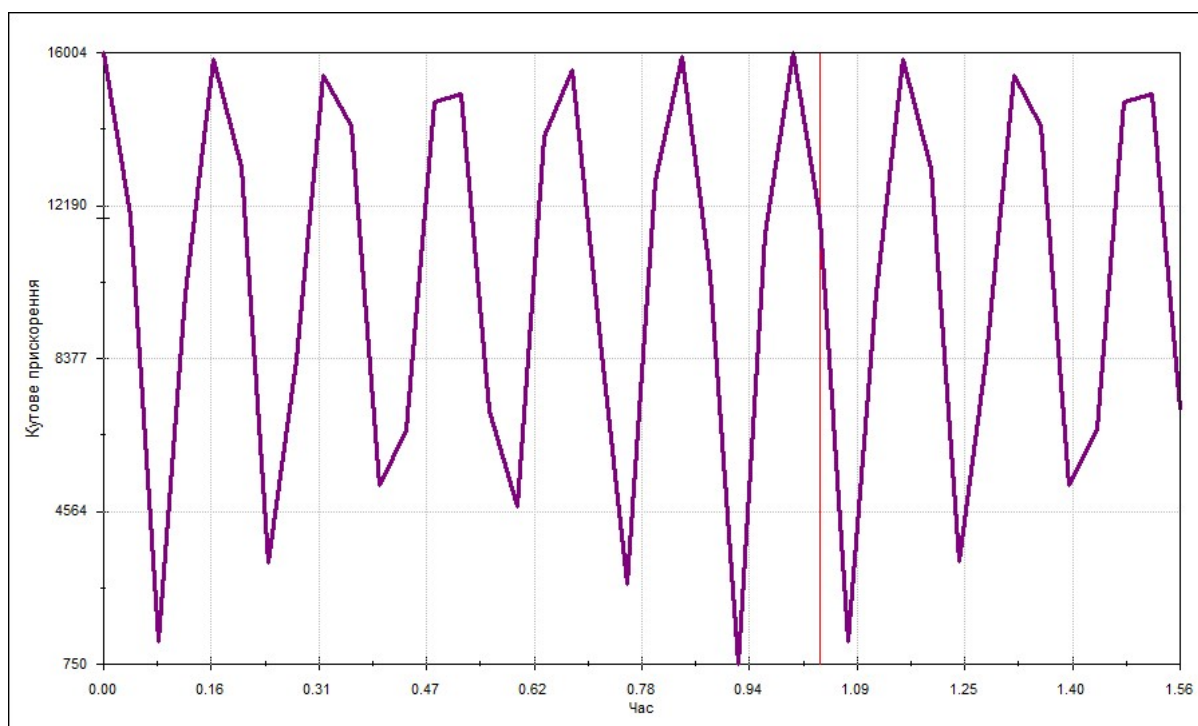


Рис. 1.36. Параметр кутового прискорення у точці ф4.

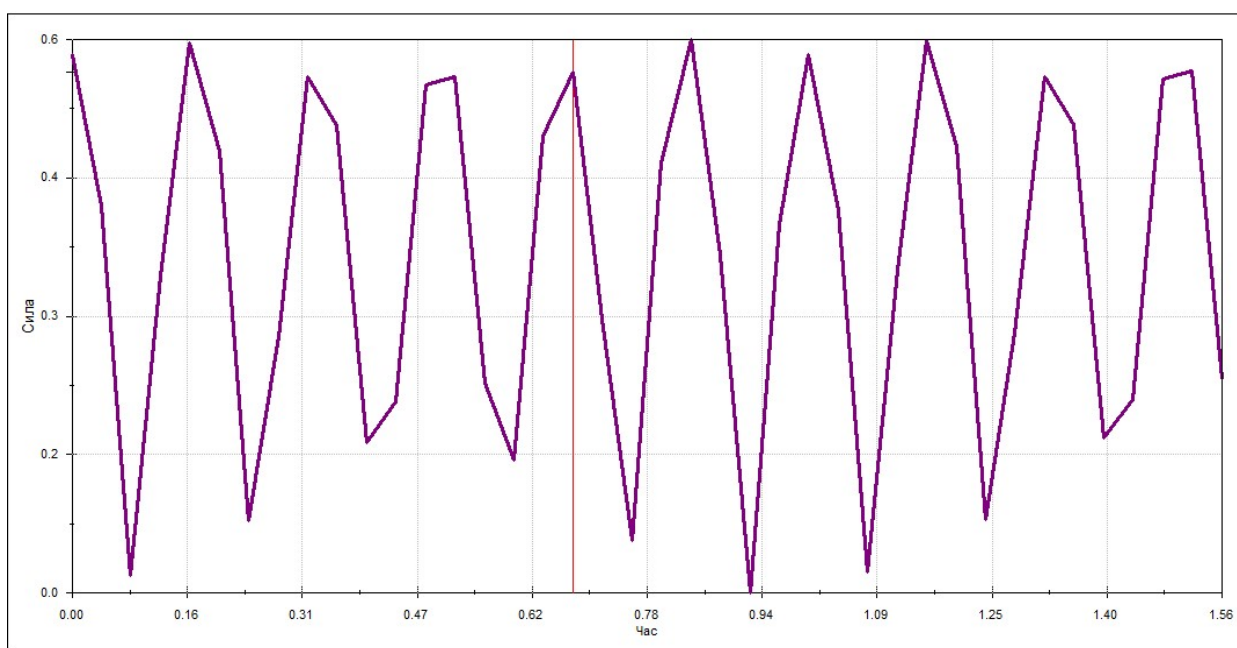


Рис. 1.37. Параметр сили у точці ф4.

1.2.6 Робоча зона маніпулятора

Робочий простір промислового робота - це простір, в якому робочий орган механічного пристрою може знаходитися.

Розрізняють плоский і просторовий робочий простір. Тип робочого простору визначає число ступенів свободи і характер відносин між кінематичними парами маніпулятора.

Робочою зоною плоского маніпулятора є фігура, окреслена безліччю гранично можливих положень центру захватного пристрою або його граничної траєкторією.

Далі будемо розглядати робочу зону розроблюваного лабораторного маніпулятора, який працює в ангулярній системі координат. Робоча зона маніпуляторів такого типу представлена на рисунку 1.38.

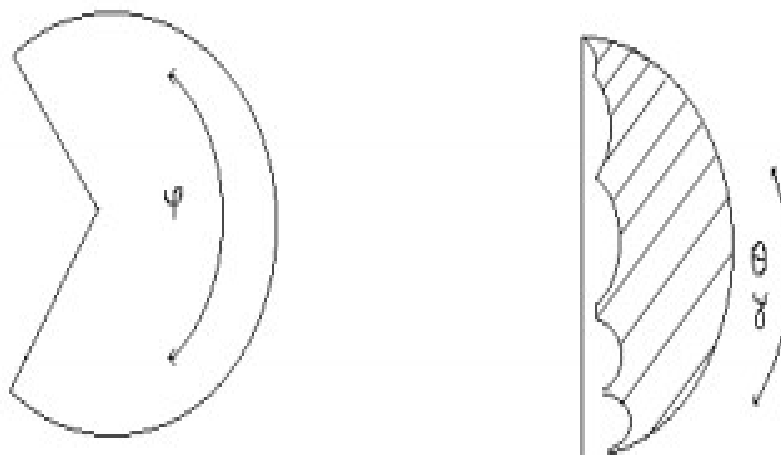


Рис. 1.38. Робоча зона маніпулятора, який працює в ангулярній системі координат.

За допомогою вже готової анімації руху маніпулятора в програмі SolidWorks було створено контур робочої зони, зображений на рисунку 1.39 та рисунку 1.40.

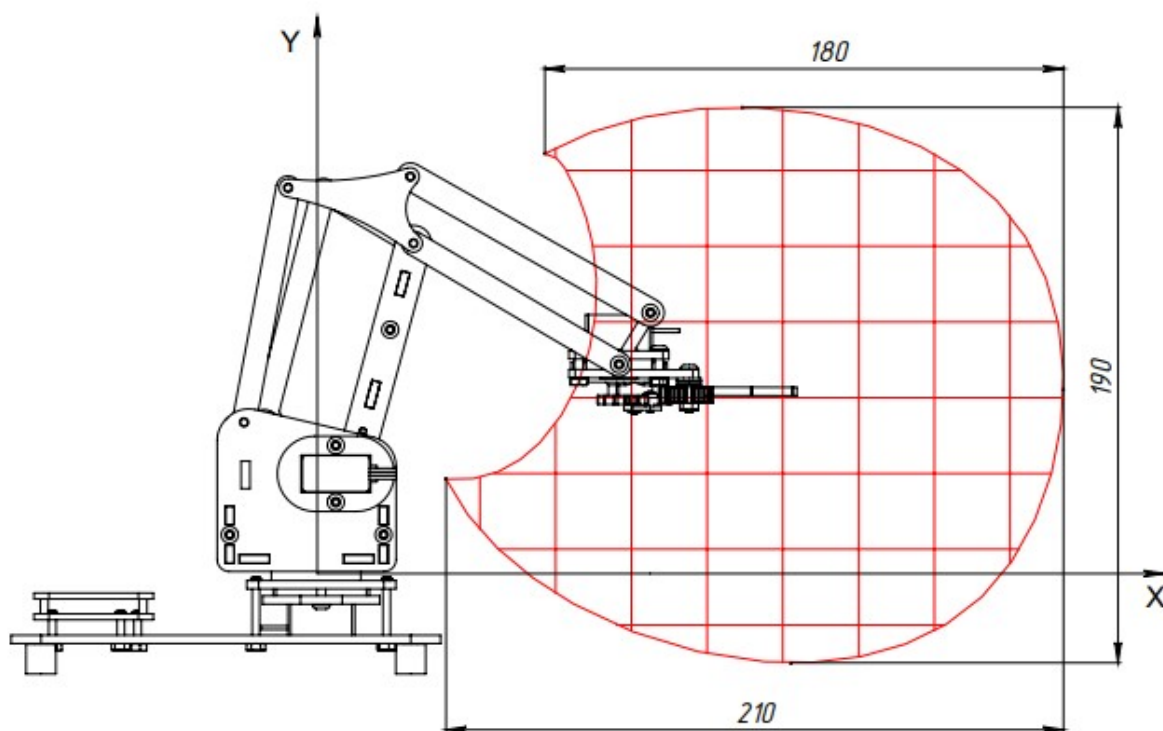


Рис. 1.39. Робоча зона лабораторного маніпулятора(вид збоку).

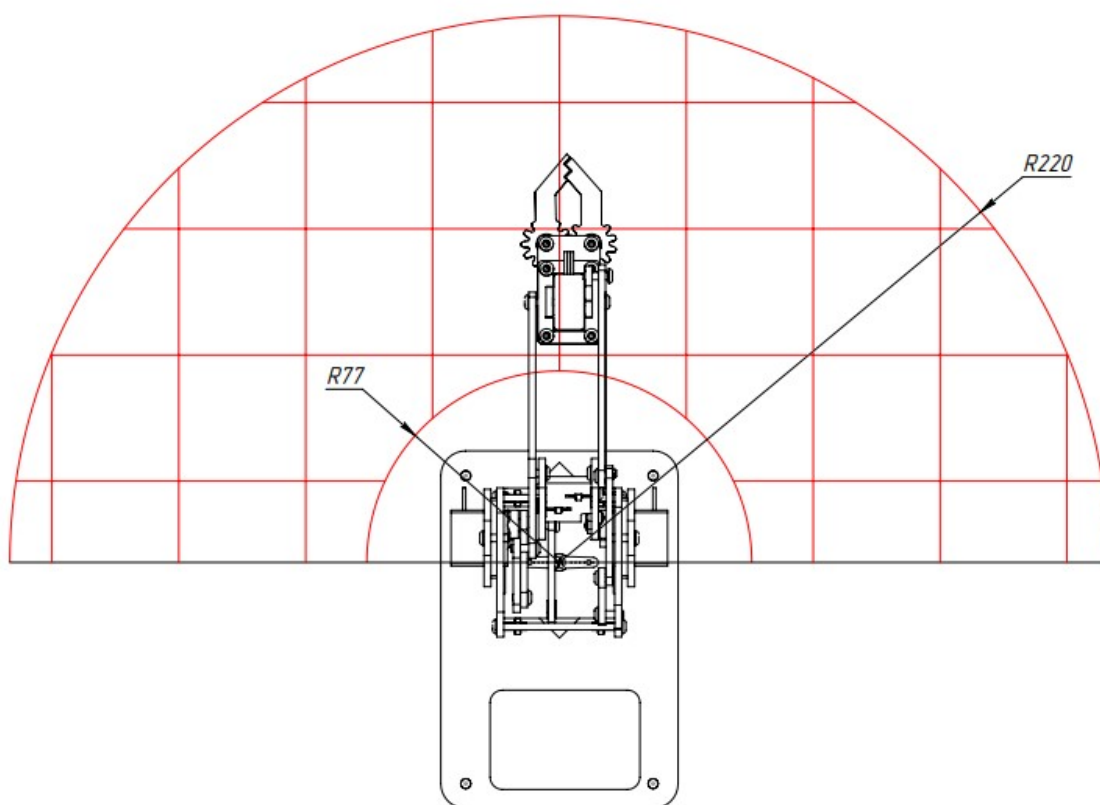


Рис. 1.40. Робоча зона лабораторного маніпулятора(вид зверху).

1.2.7 Розроблення конструкції та розрахунок захватного пристрою

Захватний пристрій є одним із головних елементів будь-якого маніпулятора, бо саме завдяки ньому відбувається захват необхідної деталі для подальшого переміщення [9]. До конструкції захватного пристрою необхідно ставитись відповідально, адже від цього будуть залежити можливості маніпулятора у переміщенні у просторі.

Так як всі розміри використовуваного серводвигуна та його характеристики відомі заздалегідь, то завдання зміни конструкції захватного пристрою полягає у зміні всього декількох деталей: клешні та деталі, які передають рух від серводвигуна. На рисунку 1.41 зображені деталі, які не має сенсу змінювати у конструкції маніпулятора, бо вони виконують лише роль кріплення до плечового суглобу.

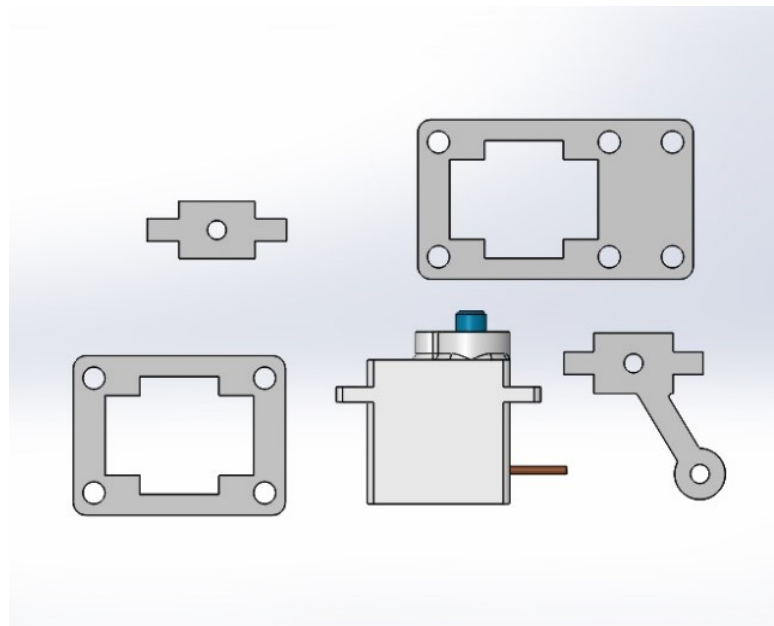
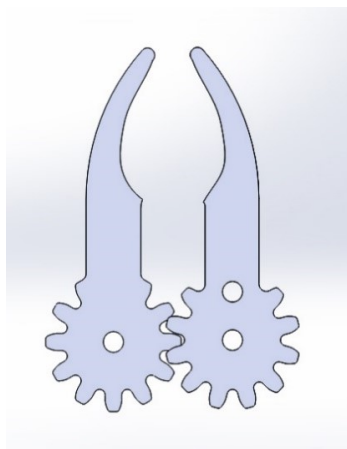


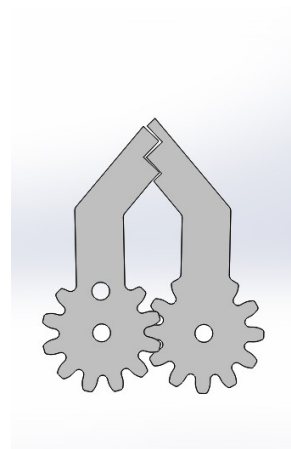
Рис. 1.41. Деталі захватного пристрою, які не потрібно змінювати.

Для різних видів деталей, які необхідно буде переміщувати за допомогою маніпулятора, потрібно розробити різні конструкції клешень. Для тіл обертання можна застосовувати клешні зображені на рисунку 1.42 (а), а для простих деталей типу квадратних можна застосовувати клешні

зображені на рисунку 1.42 (б). Також для зміни конструкції можна використовувати різні варіанти деталей за допомогою яких передається рух від серводвигуна, декілька таких варіантів зображено на рисунку 1.43.



а)

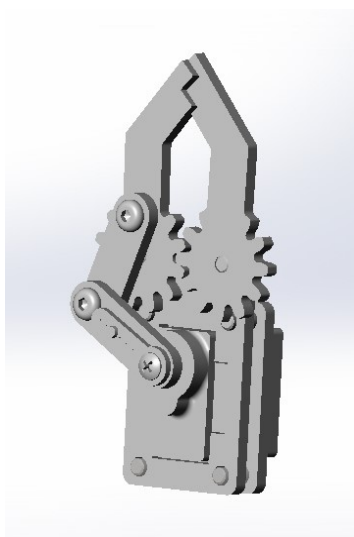


б)

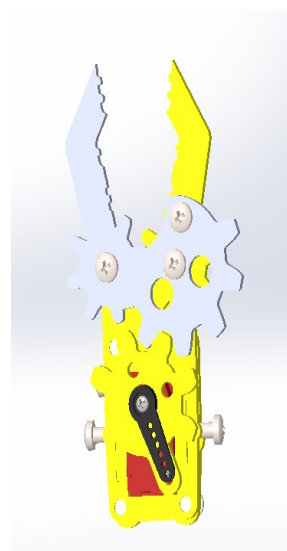
Рис. 1.42. Варіанти клешень:

а) Клешні для круглих деталей;

б) Клешні для різних деталей.



а)



б)

Рис. 1.43. Варіанти деталей, завдяки яким передається рух до клешень.

Розрахунок механічних захватних пристроїв має на увазі обчислення сил, які діють в місцях зіткнення губок з деталлю, а також підрахунок механічних зусиль електроприводу, які проводяться за звичайними методиками розрахунку[10].

Модель, розроблених об'єктів для захвату типу «куб» представлена на рисунку 1.44.

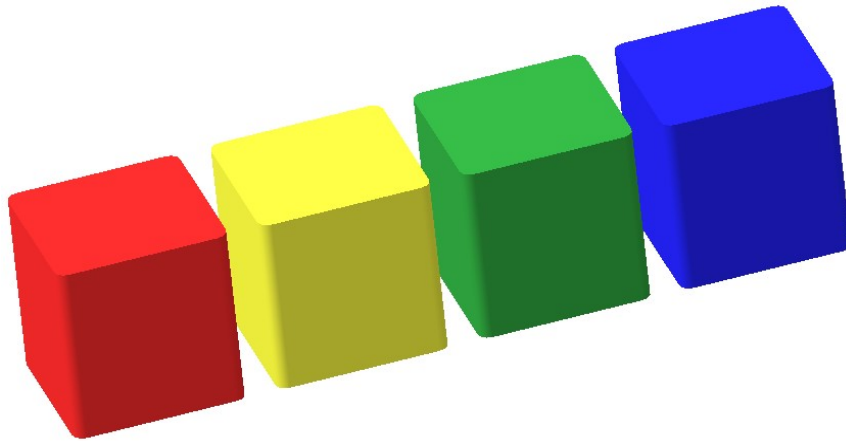


Рис. 1.44. Кольорові куби для захвату розміром 32х32х32мм.

Маса деталі (куба) рівна 10г. Силою інерції, яка з'являється при вертикальному русі деталі в захваті можна знехтувати, оскільки вона дорівнює $40\text{мм}/\text{см}^2 = 0,004 \text{ Н}$, що мізерно мало.

Матеріал деталі, що переміщується та клешень: PLA-пластик. Коефіцієнт тертя цього пластика: $\mu = 0,5$.

Сили, що діють в місцях зіткнення клешень і деталі визначаються знаходженням мінімальних сил в місцях контакту, достатніх для утримання деталі(рис. 1.45). Для визначення цих сил приведені формули 1.3 і 1.4:

$$\text{Для лівої клешні: } F1 = F_z * \cos(\alpha) * \left(\frac{L11}{L21}\right); F_{\text{тер}1} = \mu * F1. \quad (1.3)$$

$$\text{Для правої клешні: } F2 = F_z * \cos(\alpha) * \left(\frac{L21}{L22}\right); F_{\text{тер}2} = \mu * F2. \quad (1.4)$$

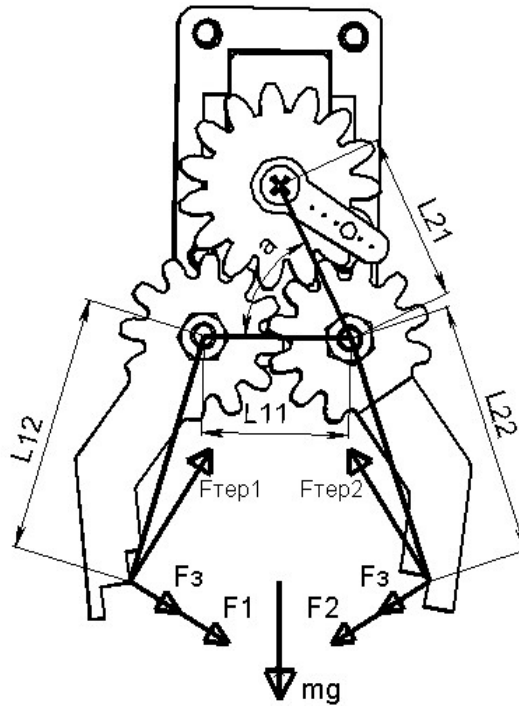


Рис. 1.45. Розрахунок захватного пристрою.

Для того щоб захватний пристрій витримав куб необхідно щоб сумарна сила тертя була більше або дорівнювала силі тяжіння: $F_{\text{тер}1} + F_{\text{тер}2} \geq mg$.

Зусилля на валу використаного серводвигуна дорівнює 1.3кг/см. Значить сила, створювана щодо точки, розташованої на відстані 1 см від лінії дії сили буде дорівнювати 12.74865 Н/см. Оскільки відстань між клешнею та валом 2.1см, то зусилля на валу (F_3) буде приблизно 6 Н.

Отже проведемо розрахунки:

Для лівої клешні: $F_{\text{тер}1} = 6 \text{ Н} * \cos(61^\circ) * \left(\frac{20\text{мм}}{32\text{мм}}\right) * 0,5 = 0,9\text{Н};$

Для правої клешні: $F_{\text{тер}2} = 6 \text{ Н} * \cos(61^\circ) * \left(\frac{21\text{мм}}{32\text{мм}}\right) * 0,5 = 0,95\text{Н};$

Перевіримо умову збереження деталі в захватний пристрійі:
 $1,85 \text{ Н} > 0,098 \text{ Н}.$

Таким чином, використання двигуна з моментом сили для стиснення/розтиснення клешень дозволяє переміщати куби по всій робочій зоні.

1.2.8 Розроблення системи керування маніпулятором

Для розроблення системи керування маніпулятором, необхідно розглянути функціональний опис робототехнічної системи в цілому. Робототехнічна система показана на рисунку 1.46, містить базовий елемент – маніпулятор, який має декілька ступенів рухомості, та призначений для переміщення об'єктів в робочому просторі [11]. Рух маніпулятора забезпечується за допомогою приводів (двигунів) різного типу, які виконують у вигляді модулю, що містить механізми передачі руху, датчики зворотного зв'язку, сигнали з яких оброблюються мікропроцесорами або аналоговими пристроями.

Виконавча система утворюється за рахунок багатокomпонентного сигналу, який поступає з пристрою керування робототехнічною системою, що на виході перетворюється на механічний рух маніпулятору[12].

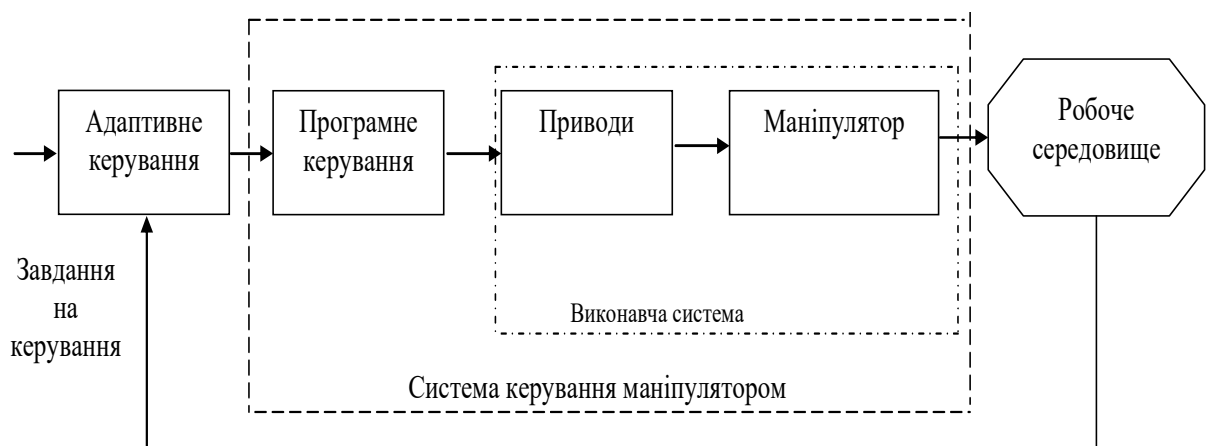


Рис. 1.46 Функціональна схема робототехнічної системи

Система управління маніпулятором, як правило, може мати кілька рівнів, кожен з яких обслуговується як власною мікропроцесорною системою,

або загальною системою керування[13]. Так, на рівні приводу забезпечується управління двигуном, що здійснює рух однієї або декількох ступенів рухливості.

На наступному рівні системи управління маніпулятором за допомогою центрального процесора організовується координована робота приводів маніпулятора. При цьому вхідною інформацією є траєкторія, тобто послідовність положень захватного пристрою маніпулятора або пов'язаного з ним об'єкта. Дана послідовність перетворюється в керуючі сигнали приводів та записується в пам'ять пристрою керування в вигляді програми роботи приводів, тобто створюється система програмного керування. Послідовність руху маніпулятора можна задати двома способами: безпосереднього завдання від оператора, або за допомогою систем інтелектуального керування.

Планування руху маніпулятора залежить від робочого середовища, тобто пристрій керування повинен спланувати рух таким чином, щоб із заданого початкового положення забезпечити досягнення цілі маніпулятором, з врахуванням умов, які накладаються на його переміщення.

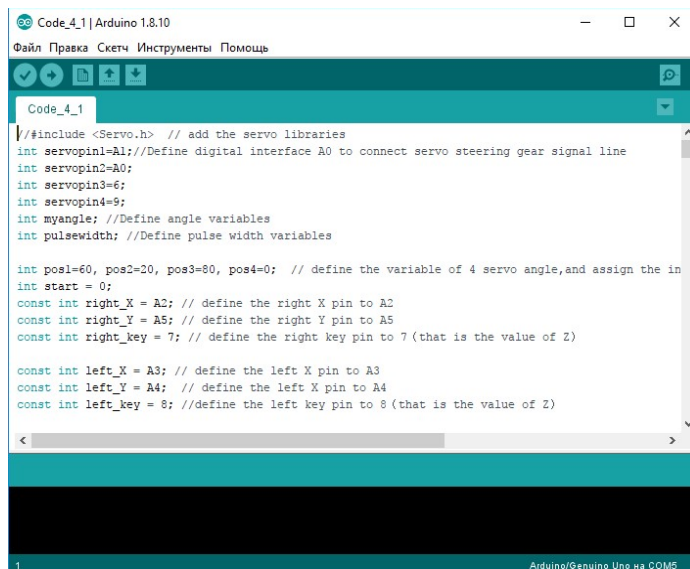
Якщо при виконанні технологічної операції необхідно виділити контур предмету або розпізнати об'єкт за характерними ознаками, то в системах керування маніпуляторами, для корекції траєкторії руху, використовують системи технічного зору, тобто утворюється додатковий контур керування, зовнішній по відношенню до маніпулятору [14]. Даний контур системи керування забезпечує її пристосованість до зміни умов роботи. Систему керування маніпулятором з зовнішнім контуром відносять до адаптивних систем.

В системі керування маніпулятором реалізують різні спеціальні алгоритми керування, призначення яких визначається умовами роботи маніпулятора, операціями технологічного процесу тощо.

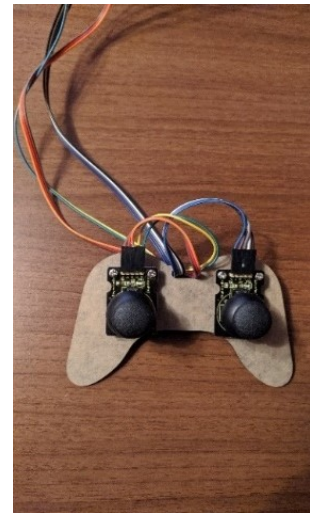
В захоплюючих пристроях часто потрібно силове управління разом з просторовим. Робочий орган пристрою впливає на об'єкти оточуючого середовища[15]. Це може використовуватися за таких технологічних операцій, як: зачистка, шліфування, полірування поверхонь, механічне складання тощо. Для силового управління робочий орган має бути забезпечений сенсорним виміром векторів сили, що встановлюються, зазвичай, тільки перед робочим органом - як приклад, тензометрування. Програмне управління сили, як величини, полягає у зміні функції від переміщення або, частіше, у підтримці постійного значення. Можливий інший - протилежний варіант керування переміщенням у функції від сили дії, яка розвивається, на саме середовище[15].

Щоб маніпулятор захопив деталь, у якої вже відомі координати та орієнтація, необхідно, щоб захват робота знаходився, безпосередньо, біля деталі. Якщо обмежень немає, найшвидше буде сполучення початкового та кінцевого положення захвату з рівновеликою зміною орієнтації. Одразу, як захват розмістився над деталлю, маніпулятор його стискає і опускає до тих пір, доки датчик наявності деталі в захваті не спрацює [16]. Як тільки лунає його сигнал - захоплювальний пристрій закриває захват. Наступною дією виконується розрахунок траєкторії переміщення деталі у задану потрібну точку робочої зони пристрою.

Система управління маніпулятором складається з програми для плати керування ArduinoUnoR3, яка встановлюється на плату за допомогою підключення до комп'ютера через COM порт у програмному середовищі Arduino IDE (Рис. 1.47(а)), та невеликого пульта керування (Рис. 1.47(б)), який підключається до модуля драйвера керування серводвигунами на платі TB6612FNG.



а)



б)

Рис. 1.47 Система керування маніпулятором:

а) Програмне середовище Arduino IDE; б) Пульт керування.

Серводвигуни підключаються до модуля драйвера керування до цифрових портів під номерами A1, A0, 6, 9 (Рис. 1.48). Вони підключені паралельно до окремого джерела живлення, номінальна напруга живлення 7В.

Серводвигун "servo 1", підключений до pin A1 (Рис. 1.48), управляє поворотом маніпулятора. "Servo 2", підключений до pin A0, управляє поворотом першої ланки маніпулятора. "Servo 3", підключений до pin 6, управляє поворотом другої ланки маніпулятора. "Servo 4", підключений до pin 9, управляє стисканням/розтисканням механічного захватного пристрою маніпулятора. Модель всіх серводвигунів Ks0194.

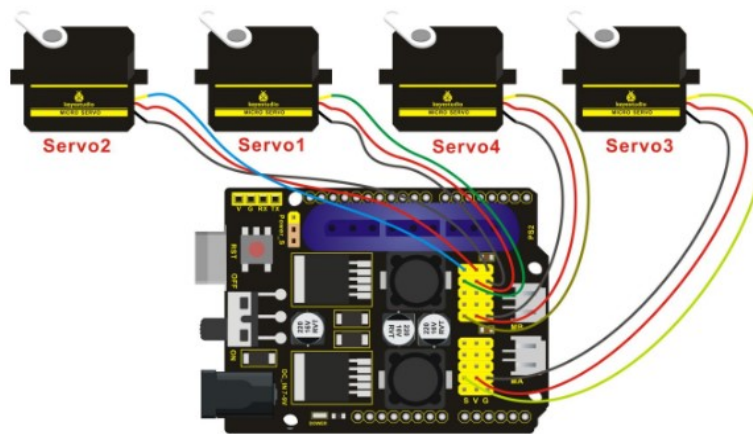


Рис. 1.48 Схема підключення серводвигунів до модуля керування.

При підключенні ArduinoUnoR3 до джерела живлення, в ній тут же запускається програма і посилає сигнали на серводвигуни, щоб вони повернулися в початкове положення. Далі програма починає чекати команди, що надходять від пульта керування. Блок-схема роботи програми представлена на рисунку 1.49.

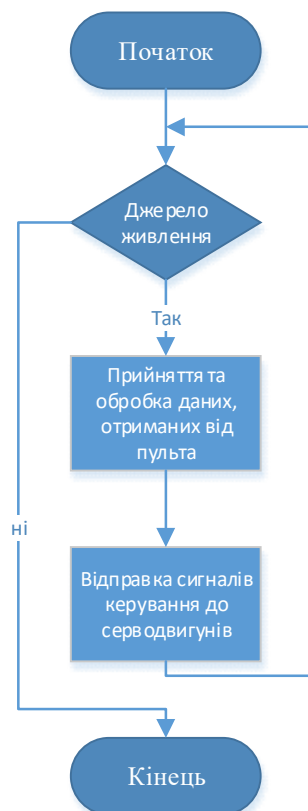


Рис. 1.49. Блок-схема роботи програми.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Відпрацювання конструкції маніпулятора на технологічність

Технологічність — відповідність продукції вимогам економічної технології її використання. Вона забезпечується при розробці конструкції виробу[17]. Технологічність конструкції — це сукупність властивостей конструкції виробу, які проявляються у можливості оптимальних (найвигідніших техніко-економічних) витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті виробу. Технологічність конструкції виробу характеризує можливість його виготовлення, експлуатації та зберігання за умов використання наявних у виробника та споживача виробу трудових, матеріальних, енергетичних та інших ресурсів. Будь-який виріб повинен бути технологічно раціональним для заданих конкретних умов підготовки його виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту[18].

Для розрахунку параметрів технологічності виробу визначимо кількість уніфікованих деталей та складальних одиниць. Кількість складальних одиниць (табл. 2.1) становить 12, кількість операцій складання (табл. 2.2) – 4, кількість деталей (табл. 2.3) – 38.

Розглянемо список уніфікованих та не уніфікованих складальних одиниць, операцій і деталей:

Табл.2.1

Складальні одиниці лабораторного маніпулятора

№	Назва СО	Кількість	Уніфікація
A1	Серводвигун СК	3	уніф
A2	Поворотна сервопластина	1	н/уніф

Продовження табл.2.1

A3	База СК	1	н/уніф
A4	Ліва підйомна плита в складі	1	н/уніф
A5	Сервоzap'ястковий шарнір	1	н/уніф
A6	Ліва сервопластина	1	н/уніф
A7	Права підйомна плита в складі	1	н/уніф
A8	Права сервопластина	1	н/уніф
A9	З'єднуючий суглоб	1	н/уніф
A10	Підйомний суглоб	1	н/уніф
A11	Захватний пристрій	1	уніф
A12	Рука в складі	1	н/уніф

Табл.2.2

Операції складання лабораторного маніпулятора

№	Назва операції	Кількість	Уніфікація
1	Комплектувальна	1	уніф
2	Підготовча	1	уніф
3	Складальна	12	н/уніф
4	Випробування	1	н/уніф
5	Контроль	1	н/уніф

Табл.2.3

Деталі лабораторного маніпулятора

№	Назва деталі	Кількість деталей	Уніфікація
1	Основна плита	1	н/уніф
2	Ніжка	4	н/уніф

3	Поворотна плита	1	н/уніф
4	Прижимна плита	3	н/уніф
5	Ліва плита	1	н/уніф
6	Ліва підйомна плита	1	н/уніф
7	Нижня плита	1	н/уніф
8	Циліндричний тримач	1	н/уніф
9	Права плита	1	н/уніф
10	Права підйомна плита	1	н/уніф
11	Середня плита	1	н/уніф
12	Середня підйомна плита	1	н/уніф
13	Середня з'єднуюча плита	1	н/уніф
14	З'єднуюча плита	2	н/уніф
15	Плита суглоба	4	н/уніф
16	З'єднуюча плита суглоба	1	н/уніф
17	Підйомна плита суглоба	1	н/уніф
18	Коротка притискна плита	1	н/уніф
19	Довга притискна плита	1	н/уніф
20	Довга притискна плита	1	н/уніф
21	Подовжена з'єднуюча пластина	1	н/уніф
22	Шестерня	1	н/уніф
23	Ліва клішня	1	н/уніф
24	Права клішня	1	н/уніф
25	Мідний стовп МЗ*30+5	4	уніф

26	Мідний стовп М3*6+6	4	уніф
27	Гвинт М3*6	7	уніф
28	Гайка М3	32	уніф
29	Гвинт М3*12	7	уніф
30	Гвинт М2*5	2	уніф
31	Гвинт М2*8	5	уніф
32	Гвинт М3*10	17	уніф
33	Гвинт М3*16	4	уніф
34	Шайба М3	7	уніф
35	Плата ArduinoUnoR3	1	уніф
36	Модуль драйверу керування	1	уніф
37	Серводвигун	4	уніф
38	Сервокріплення	4	уніф

Розрахунок критеріїв технологічності приладу

- Критерій складності виробу:

$$K_{\text{скл}} = \frac{N_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} = \frac{12}{132} = 0,09 \quad \text{технологічність незадовільна.}$$

N_{Σ} – число основних складальних одиниць виробу;

n_{Σ} – число всіх деталей виробу по специфікації.

- Критерій уніфікації виробу:

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N_{\Sigma} + n_{\Sigma}} = \frac{4 + 99}{12 + 132} = 0.72 \quad \text{технологічність добра.}$$

N_y – число уніфікованих складальних одиниць;

n_y – число уніфікованих деталей.

- Показник уніфікації складальних одиниць:

$$K_{yco} = \frac{N_y}{N_\Sigma} = \frac{4}{12} = 0.33 - \text{технологічність задовільна.}$$

- Показник уніфікації деталей:

$$K_{yд} = \frac{n_y}{n_\Sigma} = \frac{99}{132} = 0.75 - \text{технологічність добра.}$$

- Показник уніфікації технологічного процесу:

$$K_{ytn} = \frac{K_{yоп}}{K_{зоп}} = \frac{2}{16} = 0,125 - \text{технологічність незадовільна.}$$

$K_{yоп}$ – число уніфікованих операцій;

$K_{зоп}$ – загальне число операцій.

- Комплексний показник уніфікації виробу:

$$K_\Sigma = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} = \frac{0,09 + 0,72 + 0,33 + 0,75 + 0,125}{5}$$

$$K_\Sigma = 0,4 - \text{технологічність задовільна.}$$

n – загальна кількість показників.

Отже, в результаті розрахунків було отримано задовільні результати на технологічність приладу.

2.2 Визначення геометричної точності складання маніпулятора

Забезпечення розмірної(геометричної) взаємозамінності – стандартне завдання при складанні ланцюгів механізмів, яке ґрунтується на розрахунку розмірних ланцюгів[19].

Розмірний ланцюг(РЛ) – сукупність (або скінченна множина) розташованих за замкненим контуром у певній послідовності розмірів, які координують взаємне розміщення поверхонь або осей однієї або кількох деталей [20].

Розглянемо розмірний ланцюг на механічному пристрої, який схематично зображено на рисунку 2.1(а). На схемі вузла проставимо розміри $L_1...L_5$, які визначають значення та взаємне положення його елементів, розмір одержаного зазору $L_{зам}$. На рисунку 2.1(б) показано лінійне зображення розмірного ланцюга окремо від пристрою.

В табл. 2.5 представлено п'ять розмірів, один збільшуючий і чотири зменшуючих, зі всіма необхідними для подальших розрахунків номінальними розмірами та допусками, визначеними за таблицею допусків і посадок.

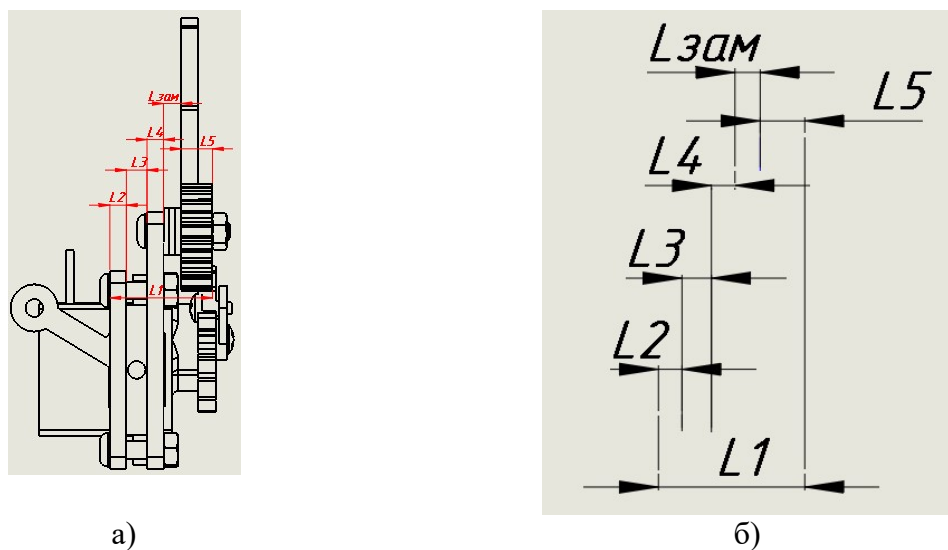


Рис. 2.1. Розмірний ланцюг:

а) Розмірний ланцюг на захватному пристрої; б) Лінійне зображення розмірного ланцюга.

Табл. 2.5 Тип складових ланок розмірного ланцюга.

Розмір	Номінальне значення	Допуск	Тип
L1	17,40 мм	0,07 мм	Збільшуючий
L2	2,80 мм	0,01 мм	Зменшуючий
L3	3,50 мм	0,02 мм	Зменшуючий
L4	2,80 мм	0,01 мм	Зменшуючий
L5	5,30 мм	0,03 мм	Зменшуючий

Номінальне значення: $L_{\text{зам}} : A_{\text{зам}} = \sum A_{\text{ізб}} + \sum A_{\text{ізм}}$ (2.1)

$$A_{\text{зам}} = 17,40 - (2,80 + 3,50 + 2,80 + 5,30) = 3 \text{ мм.}$$

Розрахунок замикаючої ланки координатним методом

Визначаємо допуск замикаючої ланки: $\delta_{\text{зам}} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|$, (2.2)

як суму допусків всіх складових ланок розмірного ланцюга. Далі потрібно визначити зміщення допуску відносно $L_{\text{зам}}$. Для цього необхідно визначити координати відхилень допуску: верхнього(ВВ) та нижнього(НВ)[21].

Розрахуємо ВВ та НВ за формулами:

$$\text{ВВ}_{\text{зам}} = K_{\text{зам}} + 0.5\delta_{\text{зам}}; \quad (2.3)$$

$$\text{НВ}_{\text{зам}} = K_{\text{зам}} - 0.5\delta_{\text{зам}}.$$

де $K_{\text{зам}}$ – координата середини допуску замикаючої ланки і визначається:

$$K_{\text{зам}} = \sum_1^m K_{\text{ізб}} + \sum_1^m K_{\text{ізм}}. \quad (2.4)$$

Отже:

$$K_{\text{зам}} = (0,035) - (0,005 + 0,01 + 0,005 + 0,015) = 0;$$

$$\delta_{\text{зам}} = 0,07 + 0,01 + 0,025 + 0,01 + 0,03 = 0,14 \text{ мм.}$$

Звідси:

$$BB_{\text{зам}} = 0 + 0,5 * 0,14 = +0,07 \text{ мм;}$$

$$HB_{\text{зам}} = 0 - 0,5 * 0,14 = -0,07 \text{ мм;}$$

$$L_{\text{зам}} = 3^{+0,07}_{-0,07}.$$

Екстремальний метод з урахуванням номіналів

Спочатку визначаємо максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки:

$$L_{\text{зам}}^{\text{max}} = \sum_1^n L_{i \text{ зб}}^{\text{max}} - \sum_1^n L_{i \text{ зм}}^{\text{min}}; \quad (2.5)$$

$$L_{\text{зам}}^{\text{min}} = \sum_1^n L_{i \text{ зб}}^{\text{min}} - \sum_1^n L_{i \text{ зм}}^{\text{max}}.$$

Далі рахуємо верхнє та нижнє відхилення:

$$BB_{\text{зам}} = L_{\text{зам}}^{\text{max}} - L_{\text{зам}}; \quad (2.5)$$

$$HB_{\text{зам}} = L_{\text{зам}}^{\text{min}} - L_{\text{зам}}.$$

Отже:

$$L_{\text{зам}}^{\text{max}} = 17,47 - (2,8 + 3,5 + 2,8 + 5,3) = 3,07 \text{ мм;}$$

$$L_{\text{зам}}^{\text{min}} = 17,4 - (2,81 + 3,52 + 2,81 + 5,33) = 2,93 \text{ мм;}$$

$$BV_{зам} = 3,195 - 3 = +0,07 \text{ мм};$$

$$HB_{зам} = 2,93 - 3 = -0,07 \text{ мм};$$

$$L_{зам} = 3^{+0,07}_{-0,07}.$$

Екстремальний безномінальний метод

Рахуємо верхнє і нижнє відхилення за формулами:

$$\begin{aligned} BV_{зам} &= \sum_{i=1}^n BV_{i зб} - \sum_{i=1}^n HB_{i зам}; \\ HB_{зам} &= \sum_{i=1}^n HB_{i зб} - \sum_{i=1}^n BV_{i зам}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Маємо:

$$BV_{зам} = 0,07 - 0 = +0,07 \text{ мм};$$

$$HB_{зам} = 0 - 0,07 = -0,07 \text{ мм};$$

$$L_{зам} = 3^{+0,07}_{-0,07}.$$

Отже, після проведення розрахунків замикаючої ланки координатним, з урахуванням номіналів та безномінальним методами відповідь зійшлася і задача вирішена правильно.

2.3 Розроблення технологічного процесу складання маніпулятора

2.3.1 Проектування структурної схеми складання

Розроблення технологічного процесу складання маніпулятора починається з проектування структурної схеми (ДПБР.ПБ6111.1702.006), яка одержується на основі конструкторської документації: креслень, специфікацій, комплектувальних відомостей і технічних умов. Виріб

розчленовується на окремі компоненти складання – складальні одиниці та деталі. Залежно від складності ці елементи розміщують за ступенями схеми складання[22].

До складу маніпулятора входять 132 деталі, які складаються в 12 складальних одиниць:

а) Третій рівень:

- серводвигун СК: притискна плита(4) – 1шт., серводвигун(37) – 1шт.;
- ліва підйомна плита в складі: ліва підйомна плита(6) – 1шт., сервокріплення(38) – 1шт., середня підйомна плита(12) – 1шт., гвинт M2*5(30) – 1шт.;
- сервозап’ястковий шарнір: гвинт M2*8(31) – 1шт., середня плита(11) – 1шт., середня підйомна плита(12) – 1шт., середня з’єднуюча плита(13) – 1шт., гайка M3(28) – 2шт., гвинт M3*10(32) – 2шт.;
- права підйомна плита в складі: права підйомна плита(10) – 1шт., сервокріплення(38) – 1шт., гвинт M2*5(30) – 1шт.;

б) Другий рівень:

- поворотна сервопластина: серводвигун СК(A1) – 1шт., поворотна плита(3) – 1шт., гайка M3(28) – 2шт., гвинт M3*12(29) – 2шт.;
- ліва сервопластина: ліва плита(5) – 1шт., гайка M3(28) – 6шт., гвинт M3*12(29) – 2шт., гвинт M3*12(32) – 2шт., серводвигун СК(A1) – 1шт., з’єднуюча плита(14) – 2шт., гвинт M3*10(32) – 3шт., сервозап’ястковий шарнір(A5) – 1шт., ліва підйомна плита в складі(A4) – 1шт.;

- права сервопластина: права плита(9) – 1шт., гайка М3(28) – 2шт., гвинт М3*12(29) – 2шт., серводвигун СК(А1) – 1шт., права підйомна плита в складі(А7) – 1шт., гвинт М2*5 – 1шт., гвинт М2*8(31) – 1шт.;
- з'єднуючий суглоб: з'єднуюча плита суглоба(16) – 1шт., плита суглоба(15) – 2шт., гайка М3(28) – 2шт., гвинт М3*10(32) – 2шт.;
- підйомний суглоб: підйомна плита суглоба(16) – 1шт., плита суглоба(15) – 1шт., гайка М3(28) – 1шт., гвинт М3*10(32) – 1шт.;
- захватний пристрій: серводвигун(37) – 1шт., права клішня(24) – 1шт., ліва клішня(23) – 1шт., шестерня(22) – 1шт., коротка притискна плита(18) – 1шт., подовжена з'єднуюча пластина(21) – 1шт., пластина з'єднуюча(20) – 1шт., довга притискна плита(19) – 1шт., гвинт М3*12(29) – 2шт., шайба М3(34) – 8шт., гайка М3(28) – 6шт., гвинт М3*10(33) – 4шт.

в) Перший рівень:

- база: основна плита(1) – 1шт., ніжка(2) – 4шт., гайка М3(28) – 8шт., мідний стовп(26) – 4шт., мідний стовп(25) – 4шт., гвинт М3*6(27) – 7шт., плата ArduinoUnoR3(35) – 1шт., модуль драйверу керування(36) – 1шт., поворотна сервопластина (А2) – 1шт.;
- рука в зборі: нижня плита(7) – 1шт., циліндричний тримач(8) – 1шт., сервокріплення(38) – 1шт., гвинт М2*8(31) – 1шт., гайка М3(28) – 10шт., гвинт М3*10(32) – 9шт., гвинт М3*12(29) – 1шт., з'єднуючий суглоб(А9) – 1шт., підйомний суглоб(А10) – 1шт., ліва сервопластина(А6) – 1шт., права сервопластина(А4) – 1шт., захватний пристрій(А8) – 1шт.

2.3.2 Проектування технологічної схеми складання

Наступним етапом в розробленні технологічного процесу складання маніпулятора є проектування його технологічної схеми. Така схема являє собою умовне зображення порядку складання виробів і їх вузлів. Кожна гілка схеми розпочинається з базової деталі, або базової складальної одиниці, а весь процес зображується лінією зліва – направо[23].

Технологічна схема складання лабораторного маніпулятора представлена на кресленні ДПБР.ПБ6111.1702.007. На початку складання даного виробу базовою деталлю є основна плита(1). На неї встановлюються ніжки(2), кріпляться гайками мідні стовпи, на які потім кріплять гвинтами плати управління(35,36) та поворотна сервопластина (А2). Далі окремо від бази з нижньої плити(7) починається складання «руки» (А12). По черзі на плиту гвинтами та гайками кріпляться ліва та права сервопластини (А6, А8), з'єднуючий та підйомний «суглоби» (А9,А10), та захватний пристрій (А11). В кінці складання рука в складі(А12) кріпиться гвинтом до бази (А3). Отриманий маніпулятор випробуємо та контролюємо.

2.3.3 Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту

Вибір обладнання й інструменту – один із відповідальних моментів при розробленні технологічного процесу складання. Від правильності цього вибору залежать технічні й економічні показники проєктованих технологічних процесів в умовах реального виробництва[24].

При виборі технологічного обладнання треба розбиратися в основних принципах та особливостях його використання у дрібносерійному виробництві.

Правильність вибору інструментів впливає на економічні та якісні показники технологічних процесів, які розробляються. Вибрані інструменти мають бути конструктивно пов'язані з розмірами і конструкцією виробу.

Для складання лабораторного маніпулятора необхідне таке обладнання:

- Стелаж для зберігання деталей та складальних одиниць;
- Стелаж для зберігання інструментів;
- Стіл для складання;
- Стелаж для зберігання готового виробу.

Для складання лабораторного маніпулятора необхідні такі інструменти:

- Набір викруток ISO 2380-1: 2004;
- Плоскогубці ДСТУ ISO 5743-88;
- Набір гайкових ключів ДСТУ ISO 4229:2015.

2.3.4 Розроблення маршрутної та операційної технології складання маніпулятора

Від якості складання дуже залежить надійність і довговічність виробу. Тому розробляти технологічний процес складання необхідно дуже ретельно, так як він містить повну інформацію про характер операцій та їх порядок виконання[25].

На основі розробленої технологічної схеми складання було складено маршрут складання лабораторного маніпулятора. Він складається з наступних операцій:

005 Комплектувальна

010 Підготовча

015 Складальна

020 Складальна

025 Складальна

030 Складальна

035 Складальна

040 Складальна

045 Складальна

050 Складальна

055 Складальна

060 Складальна

065 Складальна

070 Складальна

075 Випробування

080 Контроль

Детальний процес складання наведено у картах технологічного процесу додаток В.

2.4 Проектування пристосування для контролю руху маніпулятора

Пристосування використовується для контролю руху маніпулятора та представлено на кресленні ДП.ПБ6111.1702.008 (Додаток Г).

Пристосування складається з плити, до якої кріпляться інші деталі, чотирьох ніжок та координатного вимірювального приладу.

Перед початком проведення контролювання руху лабораторний маніпулятор розмістити на плиті, у якої є необхідні отвори для ніжок маніпулятора. Далі потрібно прикріпити маніпулятор до чутливого елемента вимірювального приладу за допомогою захватного пристрою. При відтворенні рухів маніпулятора інформація чутливого елемента передається до вимірювального приладу для визначення фактичних координат положення захватного пристрою та оцінки якості руху робота.

Метою пристосування є підвищення продуктивності та спрощення за рахунок того, що спрощується і прискорюється процес підготовки керуючої програми для маніпулятора.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи в конструкторській частині була побудована кінематична схема лабораторного маніпулятора, в якій використовувався паралельний механізм для того, щоб захватний пристрій маніпулятора залишався паралельно основі. Робота даної конструкції була змодельована та досліджена де підтвердилася її працездатність.

Також була побудована 3D модель маніпулятора, з урахуванням всіх довжин і розмірів деталей, для визначення її конструктивних обмежень, а саме діапазонів кутів поворотів ланок. Ці кути визначили форму робочої зони. Для покращення функціональності та гнучкості робота у виконанні переміщень різної форми деталей було розроблено декілька різних конструкцій клешень, а також деталей, які з'єднують клешні та серводвигун.

Була розроблена система управління маніпулятором на основі плати ArduinoUnoR3, яка отримує сигнали управління з пульта управління.

У технологічній частині було відпрацьовано конструкцію маніпулятора на технологічність і отримано в результаті значення комплексного показника уніфікації виробу 0.43, що є задовільним значенням. Визначено геометричну точність складання, для цього пораховано допуски замикаючої ланки різними способами і всі результати зійшлися.

Під час розроблення технологічного процесу складання маніпулятора було спроектовано структурну та технологічну схеми складання, вибрано необхідне обладнання та інструменти, розроблено маршрутну та операційну схеми складання, а також у кінці спроектовано пристосування для контролю руху маніпулятора.

Розроблений в даній роботі маніпулятор може ефективно використовуватися в якості лабораторного обладнання для вивчення задач кінематики та динаміки робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Робототехніка. Підручник / [В. І. Костюк, Г. О. Спину, Л. С. Ямпольський, М. М. Ткач.] - К.: Вища школа. - 1994. - 447 с.
2. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
3. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — 3-тє вид., переробл. і доповн. — Дніпро: НГУ, 2017. — 224 с.
4. Михайлов Є.П. Маніпулятори та промислові роботи [Текст]: підручник / Михайлов Є.П., Лінгур В.М. — Одеса: ОНПУ, 2019, -233 с.
5. Теоретична механіка. Статика. Кінематика: посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І. В. Кузьо, Т. М. Ванькович, Я. А. Зінько. — Л.: Вид-во «Растр-7», 2010. — 324 с. — ISBN 978-966-2004-38-0
6. Дудюк Д. Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси: Навч. посібник / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, М. М. Мисик. - Львів: "Магнолія плюс" СПД ФО В. М. Піча, 2005. - 278 с.
7. Д.М. Проскурено «Розробка лабораторного маніпулятора», XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2020, с. 121-124
8. М. Шаломеєнко «Характерные задачи динамики аппаратуры в среде SOLIDWORKS»[Электронный ресурс] М. Шаломеєнко, А.Алямовский – 2016 – Режим доступа: isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18719
9. Кошель С. О. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: посібник / С. О. Кошель, Ю. Ковалёв, О. П. Манойленко — К. :Центр навчальної літератури, 2019. — 256 с.
10. І.І. Павленко «Загальна методика розрахунку та проектування конструкцій захватних пристроїв промислових роботів», Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. І.І. Павленко, М.О. Годунко, І.Д. Кіріченко, вип. 26, 2013р.
11. Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.: ил. (Робототехника / Под. ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко).

12. Д.М. Проскурено «Система управління маніпуляторами», XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2020, с. 118-120
13. Frank L.Lewis. Robot Manipulator Control Theory and Practice / Frank L.Lewis, Darren M.Dawson, Chaouki T.Abdallah. – New York, 2004. – 607 с. – (Marcel Dekker).
14. Greer, R. Advances in Control Systems for Construction Manipulators / Greer, R., Haas, C., Gibson, G.. – Austin, 2014. – 615 с. – (ISARC).
15. Силаев, А. А. Автоматизированная система управления роботом-манипулятором РМ-01 на базе программируемого логического контроллера CX9001 фирмы BECKHOFF / А. А. Силаев, А. С. Куликов. — Текст : непосредственный, электронный // Молодой ученый. — 2010. — № 4 (15). — С. 86-89.
16. Лисенко, С. М. Напрямки досліджень та розвитку комп'ютерної інженерії/ Лисенко, С. М. — К. : ХНУ, 2015. — 142 с.
17. Антонюк В.С., Выслоух С.П., Филиппова М.В. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки изделий приборостроения. Сборка в машиностроение и приборостроении. М. Машиностроение. 2007. - №6 - С.3-6.
18. Румбешта В. О. Технологія складання, регулювання та випробування приладів / В. О. Румбешта. – Київ, 2013. – 360 с.
19. Tymchik G., Filippova M., Demchenko M. Analysis of acoustic diagnostics errors of stress state for shaped profiles of metal structures // Eureka: Physics and Engineering. – 2016. – № 5. –Р. 50–57.
20. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г.. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с
21. Г.А. Иванов. «Розрахунки розмірних ланцюгів», Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2013. – Т. 1, Вип. 4.
22. Иванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с.
23. Пашков Е. В. Транспортно-нагромаджувальні і завантажувальні системи в складальному виробництві / Е. В. Пашков, В. Я. Копп, А. Г. Карлов. — К.: НМК ВО, 1992. — 520 с. — ISBN 577-6309-69-7.

24. Остафьев В.А., Румбешта В.А., и др. Основы технологической подготовки производства. - Киев : Вища школа, 1977.
25. Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.

Додаток А

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан приладобудівного факультету

Григорій ТИМЧИК

«_____» _____ 2020р.



АКТ

**про використання результатів дипломного проєкту
студента гр. ПБ-61 Проскурєнко Дениса Миколайовича
виконаного на тему: «Лабораторний маніпулятор з механічним захватним
пристроєм»**

Комісія у складі:

голова комісії

заст. декана з навч.-метод. роботи

к.т.н., доцент Філіццова М. В.

члени комісії

д.т.н., професор Антонюк В.С.

к.т.н., доцент Барандич К.С.

цим актом засвідчує те, що результати розробок, внесені у дипломний проєкт Проскурєнка Дениса Миколайовича, використовуються викладачами кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського для вдосконалення лабораторних робіт навчальної дисципліни «Робототехніка» освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів».

У ході виконання дипломного проєкту отримано наступні результати:

- 1) Розроблено конструкцію лабораторного маніпулятора з механічним захватним пристроєм
- 2) створено робочий прототип лабораторного маніпулятора з механічним захватним пристроєм

3)

Голова комісії

Марина ФІЛІЦЦОВА

Члени комісії

Віктор АНТОНЮК

Катерина БАРАНДИЧ

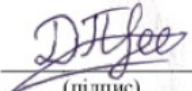
Список наукових праць

Проскурєнко Дєнис Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

№ з/п	Назва праці	Назва видання та його вихідні відомості, що дозволяють ідентифікувати та відрізнити це видання від усіх інших	Кількість друкованих аркушів	Прізвища співавторів
1	2	3	4	5
1	Залежність якості поверхневих шарів деталі від швидкості застигання матеріалу при їх 3D-друці	Майбутній науковець – 2018 : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. 14 груд. 2018 р., м. Северодонецьк. / укладач В. Ю. Тарасов – Северодонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2018. – с.170-172	3	
2	Параметричне моделювання	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – с.159-162	4	
3	Розробка лабораторного маніпулятора	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – с.119-122	4	
4	Система управління маніпуляторами	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – с.116-118	3	

Студент


(підпис)

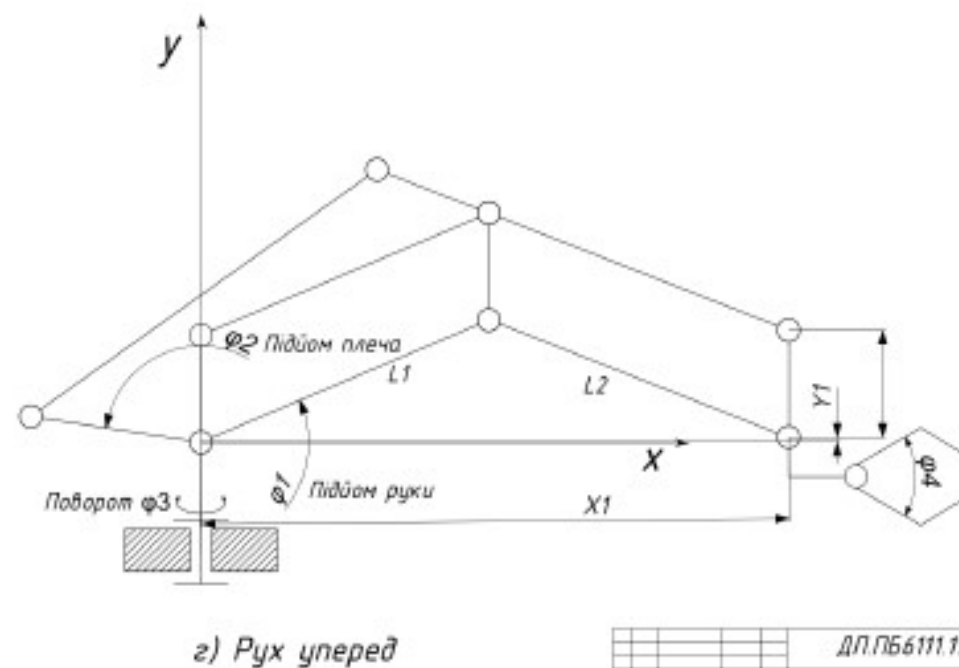
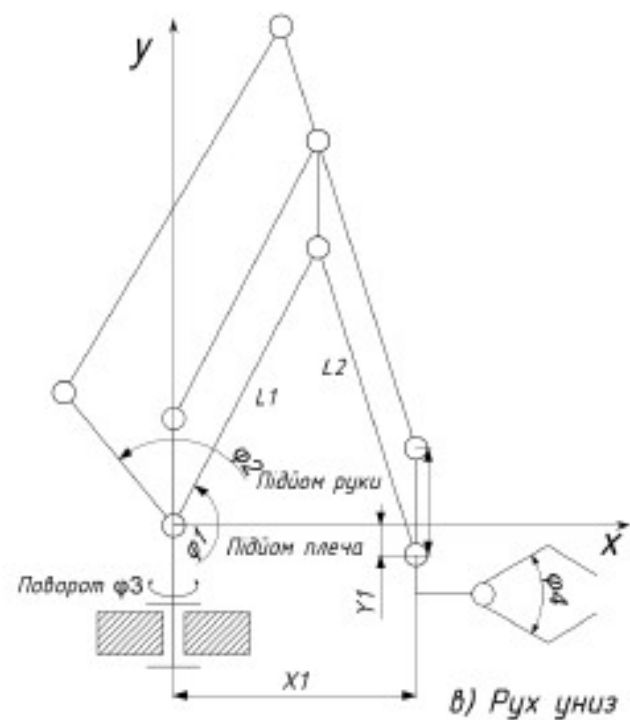
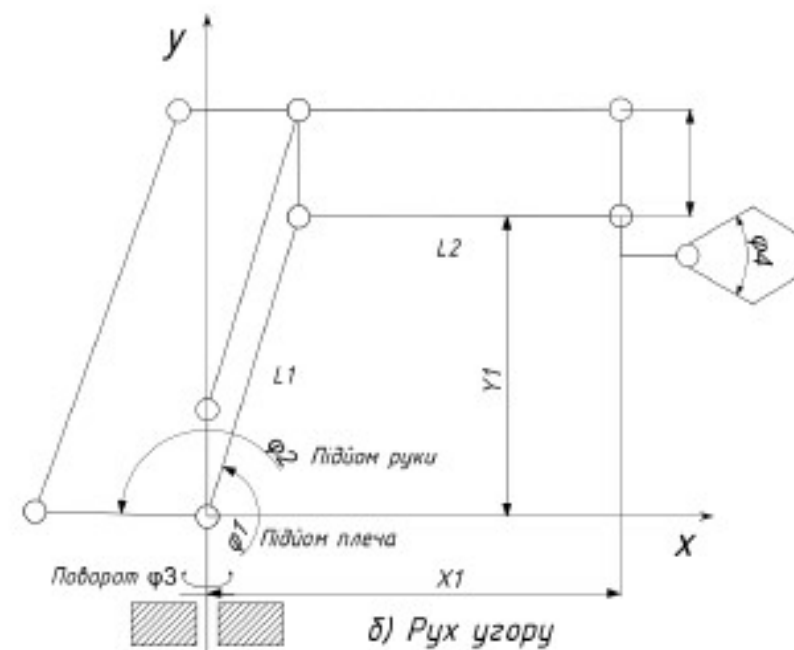
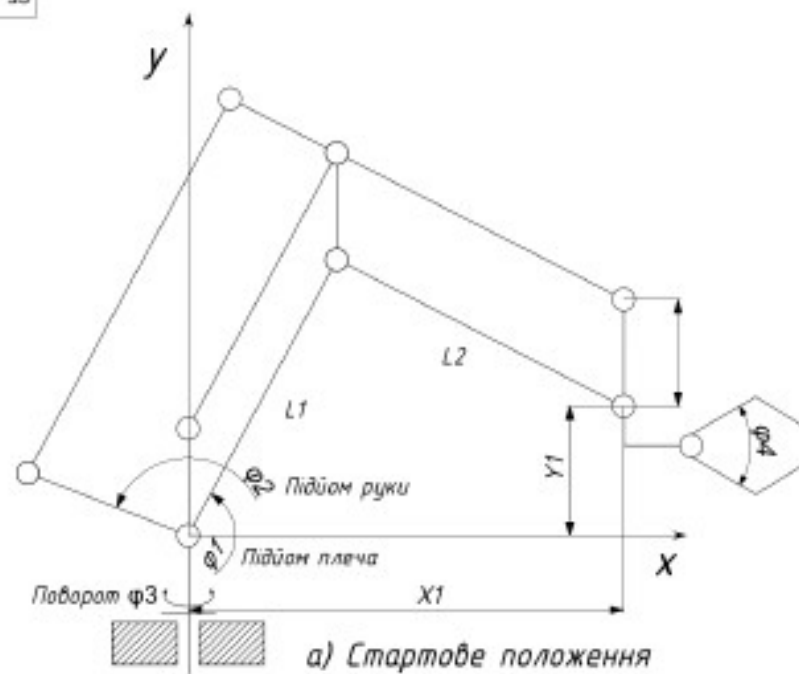
Дєнис Проскурєнко
(власне ім. 'я та прізвище)

Завідувач кафедри

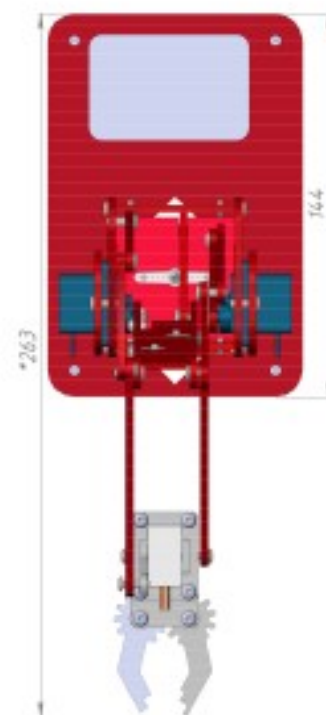
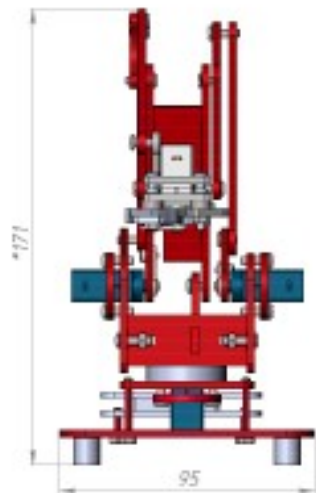

(підпис)

Віктор АНТОНЮК
(власне ім. 'я та прізвище)

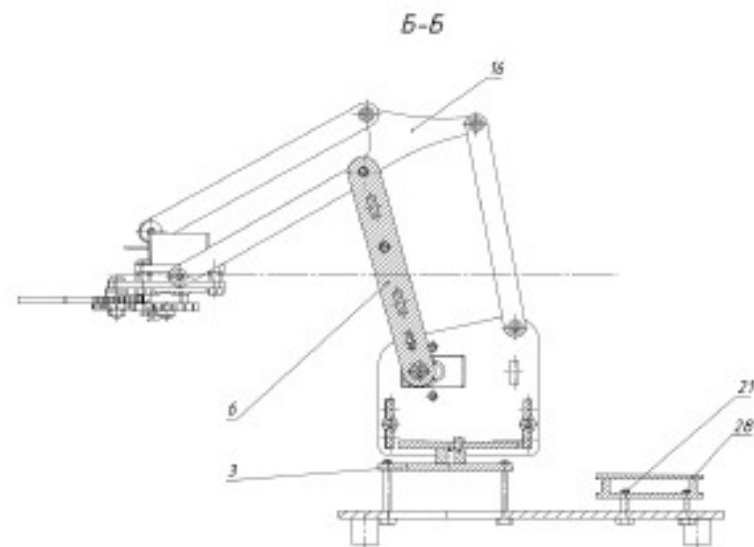
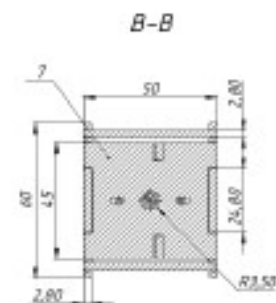
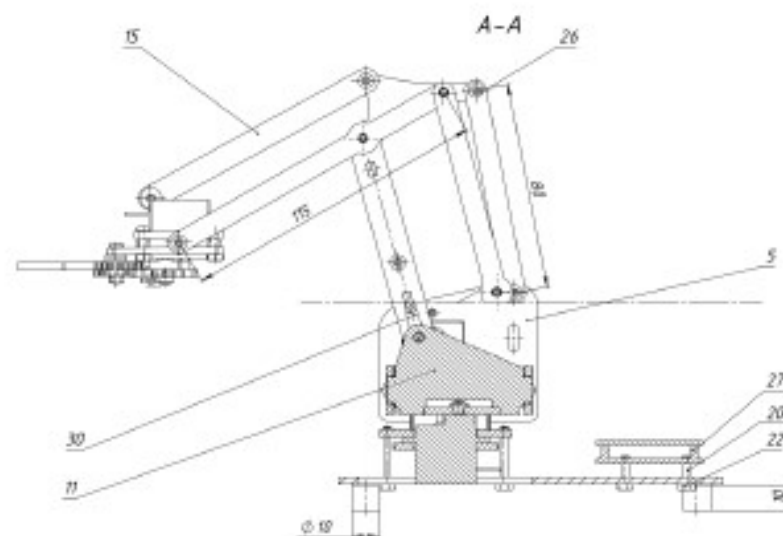
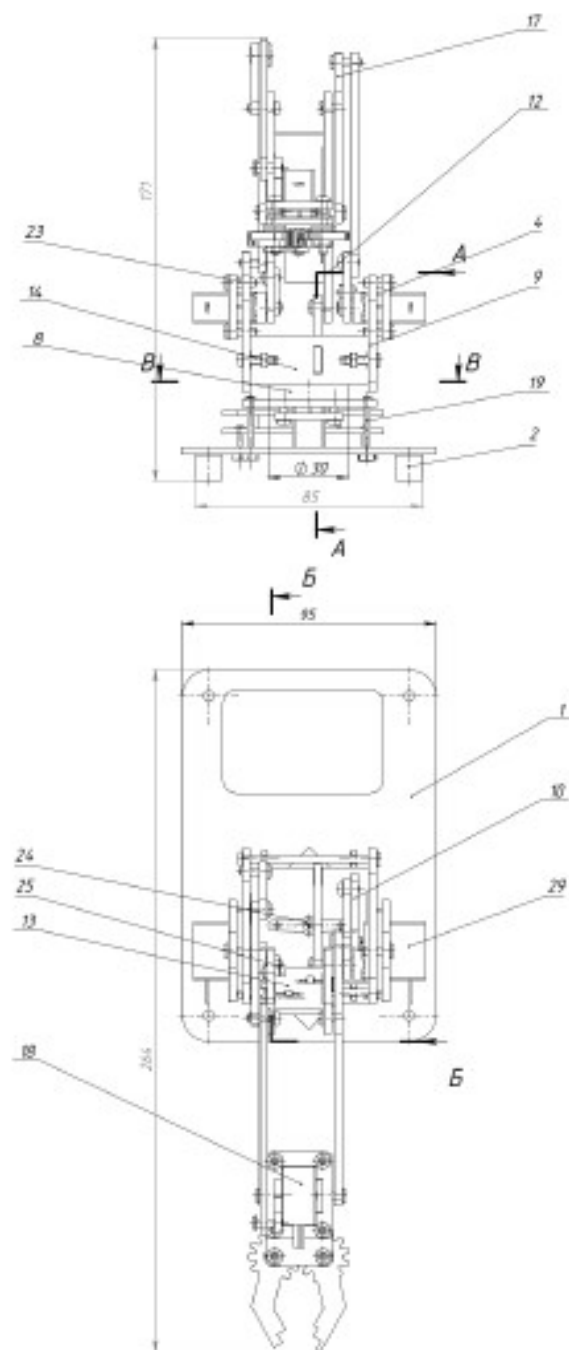
Додаток Б



ДЛ.ПБ6111.1702.001				Рис.	Масштаб	Масштаб
Кінематична схема манипулятора				1:1		
Лист 1 з 1				Лист 1 з 1		
Про 4 курс						



				ДП/ПБ6111.1702.002		
				Зеркальный датчик матрицы		
				11		
				1500 4. 1/2"		



ДП.ПБ6111.1702.003 СК				Изм.	Масштаб	Масштаб
Исполн.	Провер.	Утверд.	Дата	1		
М. 40000	М. 40000	М. 40000	М. 40000	1:1		
Лабораторный манипулятор				Лист 1		
ПБФ 4 курс				Лист 1		

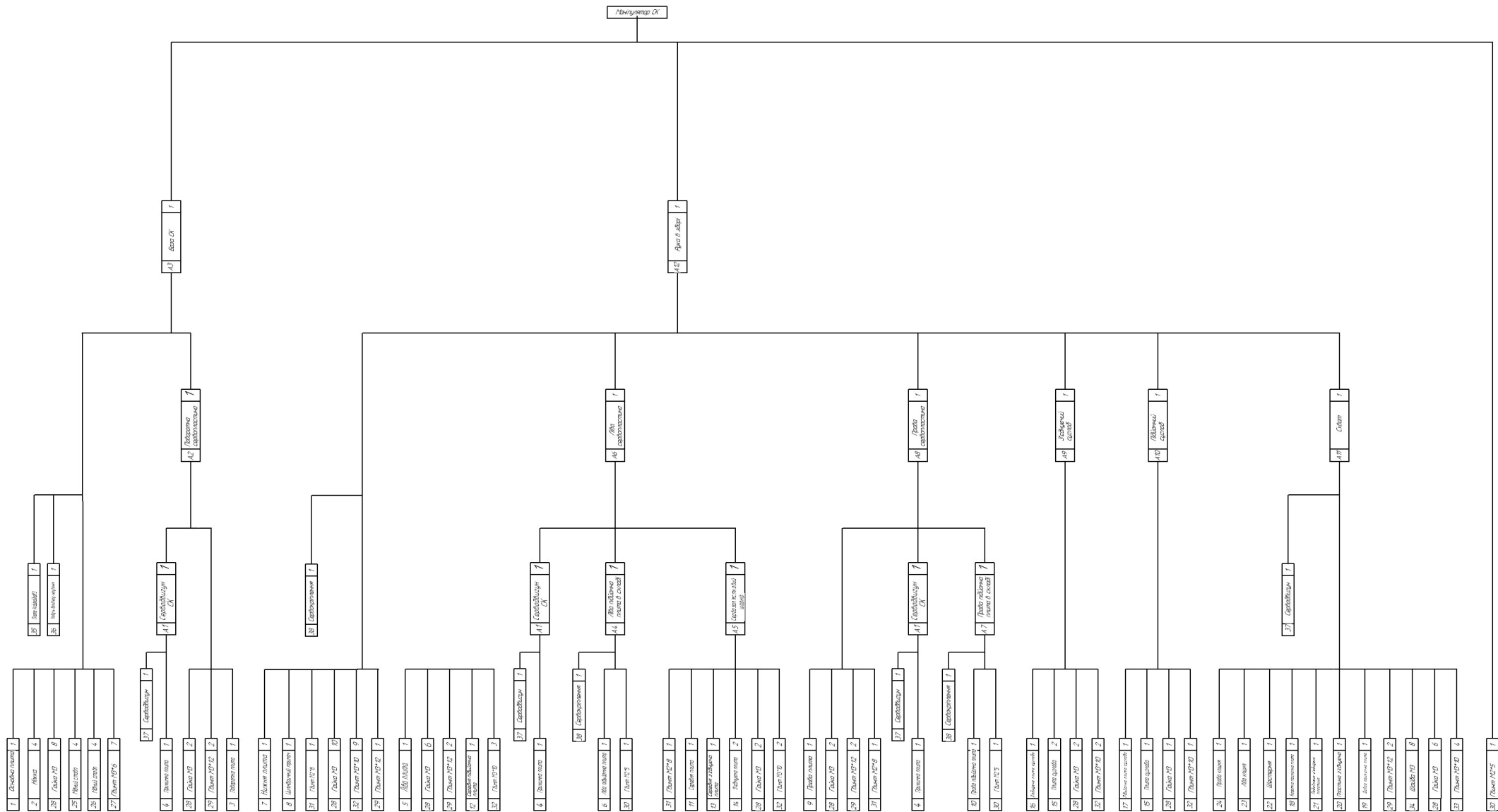
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						<u>Документація</u>		
		A1			ДП.ПБ6111.1702.003	Складальний кресленник	1	
						<u>Деталі</u>		
				1		Основна плита	1	
				2		Ніжка	4	
				3		Поворотна плита	1	
				4		Прижимна плита	3	
Подп. и дата			5		Ліва плита	1		
			6		Ліва підйомна плита	1		
			7		Нижня плита	1		
			8		Циліндричний тримач	1		
			9		Права плита	1		
			10		Права підйомна плита	1		
			11		Середня плита	1		
			12		Середня підйомна плита	1		
			13		Середня з'єднуюча плита	1		
			14		З'єднуюча плита	2		
Инв. № докум.			15		Плита суглоба	4		
			16		З'єднуюча плита суглоба	1		
			17		Підйомна плита суглоба	1		
			18		Схват	1		
Взам. инв. №								
					<u>Стандартні деталі</u>			
Подп. и дата			19		Мідний стовп МЗ*30+5	4		
					ISO 9001:2008			
Инв. № подл.	ДП.ПБ6111.1702.003 СП Изм. Лист № докум. Подп. Дата					Лит. Лист Листов		
	Разраб. Проскуренко ДМ. Пров. Філіпова М.В.					Лабораторний маніпулятор Складальний кресленник		
	Н.контр. Утв. Філіпова М.В.					ПБФ, 4 курс		

[illegible]

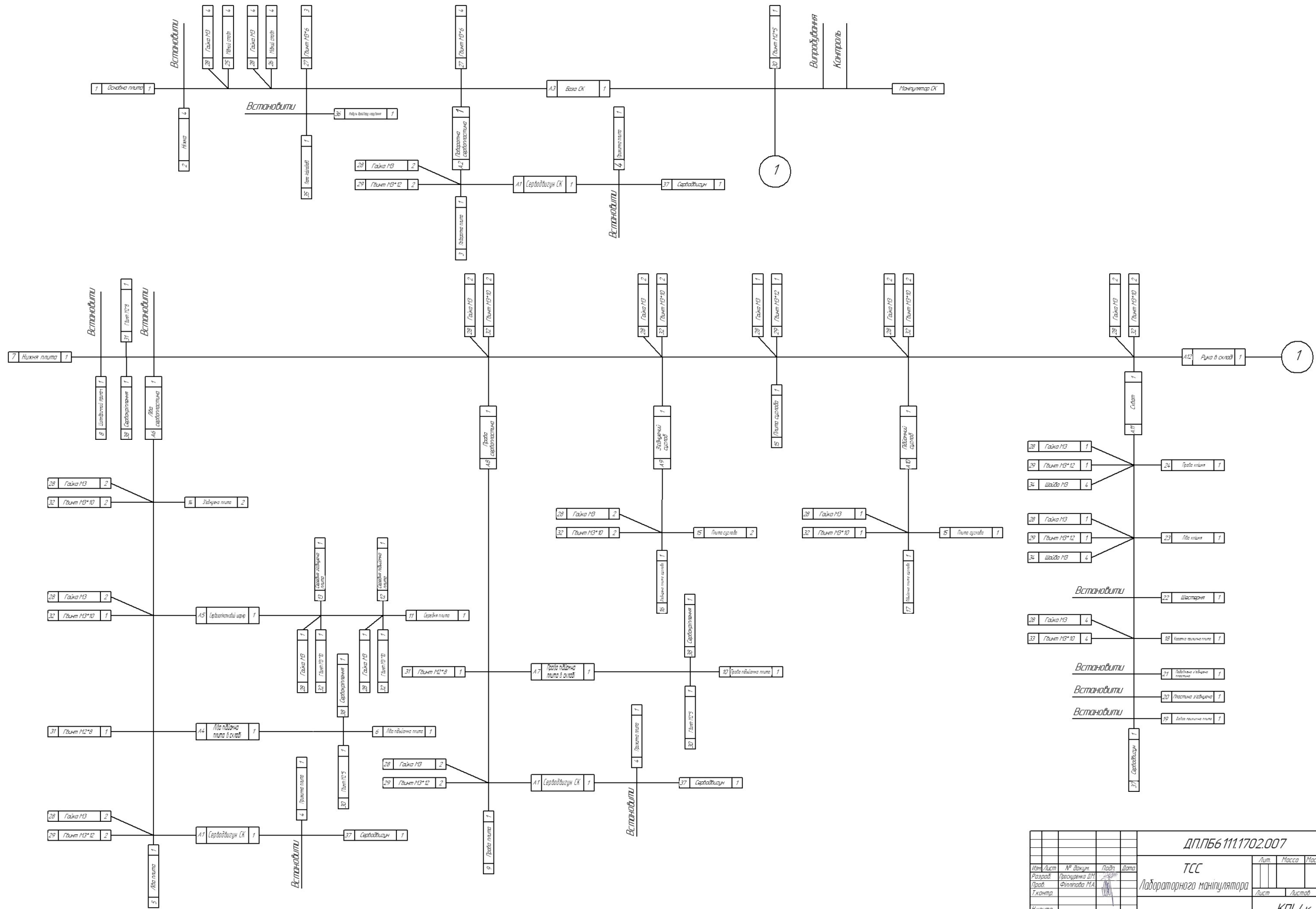


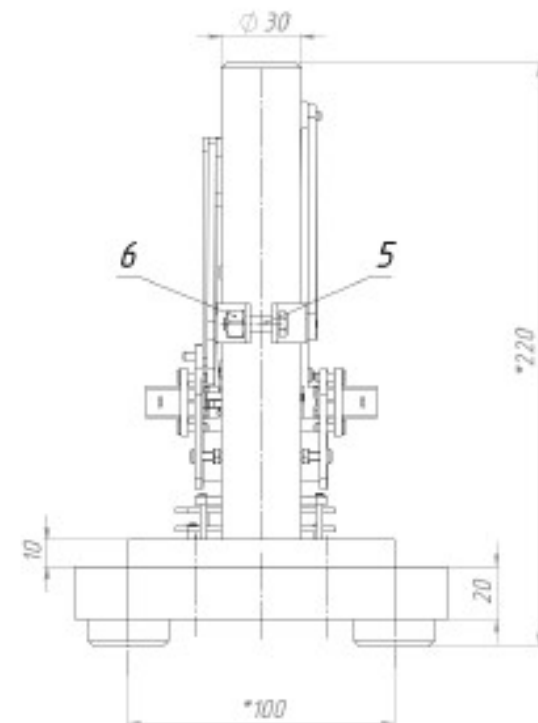
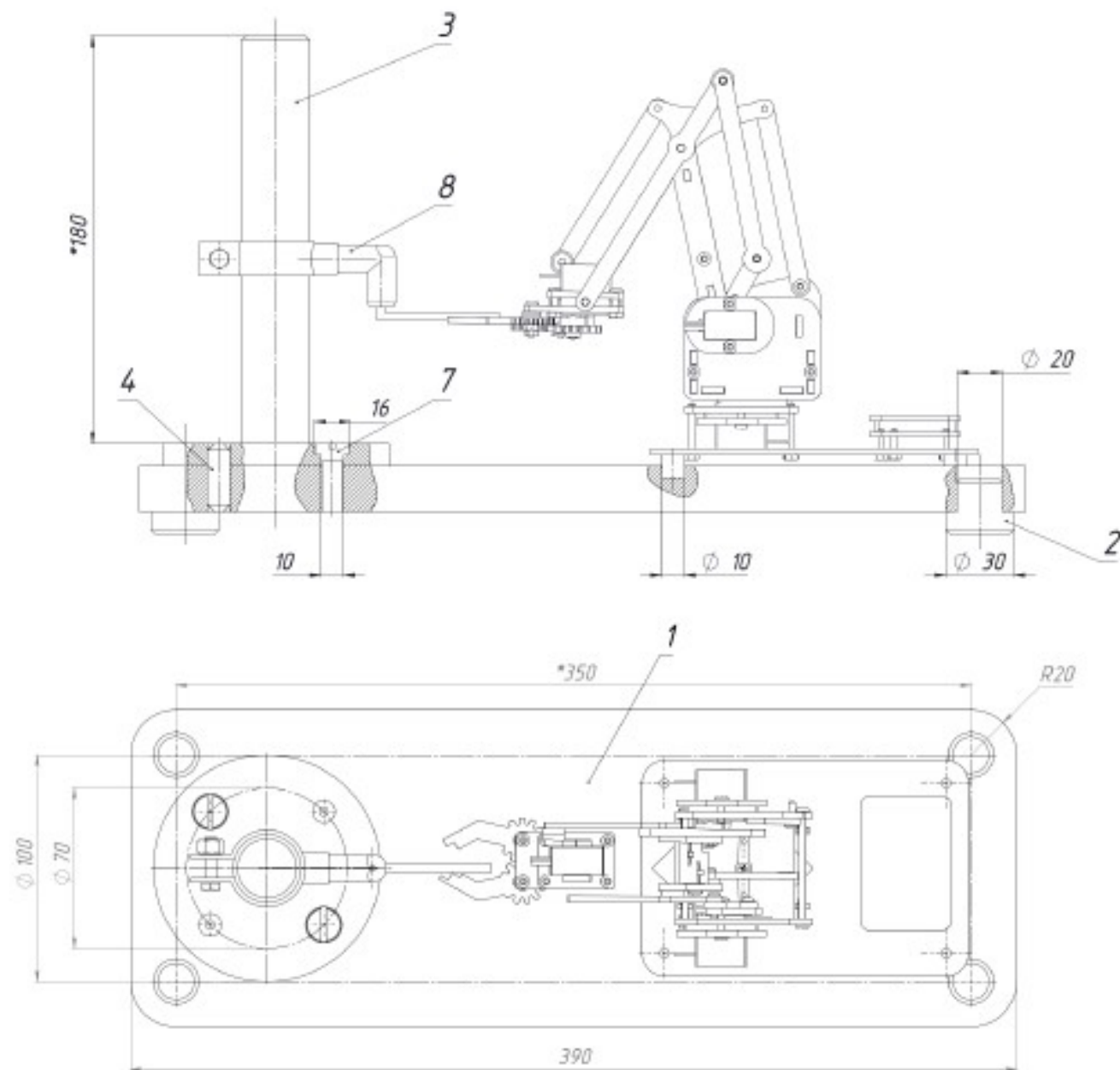
					ДП.ПБ6111.1702.005			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функціональна схема	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Питомкин В.М.							1:1
Пров.	Филиппов М.В.							
Т. контр.								
Н. контр.								
Утв.						Лист 1	Листов 1	
						ПБФ 4 курс		

Инд. № подл.	Взам. инд. №	Инд. № дубли.	Подп. и дата	Стор. №	Перл. докумен.



					ДП.ПБ6 111.1702.006			
Лист	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ССС Лабораторного манипулятора	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Проектировщик ДП							
Эксперт	Филиппов М.А.							
Исполн								
Исполн						Лист	Листов	1
						КП/ 4к.		





- 1 *Размеры для доводки
2 Периодичность ремонта за полтора

Код	Наименование	Наименование	Кл.	Примечание
ДП	ДП.ПБ.6111.1702.009	Специальный крепеж		
		Детали		
		Пласти	1	
		Резьбы	4	
		Гайки	1	
		Шайбы	2	
		Стандартные детали		
		Гайки М5*10	1	
		ДП.ПБ.6111.1702.009		
		Гайки М8	1	
		ДП.ПБ.6111.1702.009		
		Гайки М8*12	2	
		ДП.ПБ.6111.1702.009		
		Пластины		
		Коробочка для хранения	1	

ДП.ПБ.6111.1702.009 СК

Принадлежность для контроля

Лист	Масштаб	Дата	Масштаб
1	1:1		

Лист	Масштаб
1	1:1

Лист	Масштаб
1	1:1

Додаток В

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Погоджено

Проскуренок Д.М.

"  20

Затвердив

Філіпова М.В.

"  20

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ на технологічний процес складання

ТЛ

Титульний лист

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Дубл.																						
Взам.																						
Подл.																						
Разраб.																						
Проверил																						
Утвердил																						
Н.контр.																						
A 01	Код, наименование операции										Обозначение документа										МИ	
<i>075 Складальна</i>																						
B 02											Код, наименование оборудования								Тв		To	
<i>Стіл для складання</i>																						
K/M	Наименование детали, сб. единицы или материала										Код, обозначение				OПП	EВ	EH	КИ	H.pасх.			
P	ПС	V	t c., min	T-PA, oC	T-PA Ж, оС	ПЛ.		Q Г		HM		T H, C				T OX, C						
O 03	<i>Закріпити руку в складі поз.A12 гвинтом поз.30 на базі СК поз.A3.</i>																					
T 04	<i>Викрутка, гайковий ключ</i>																					
05																						
06																						
07																						
08																						
09																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
OK																					16	

[illegible]

Додаток Г

```

//#include <Servo.h> // add the servo libraries

int servopin1=A1;//Define digital interface A0 to connect servo steering gear signal line
int servopin2=A0;
int servopin3=6;
int servopin4=9;
int myangle; //Define angle variables
int pulsewidth; //Define pulse width variables

int pos1=60, pos2=20, pos3=80, pos4=0; // define the variable of 4 servo angle,and assign the
initial value (that is the boot posture angle value)
int start = 0;
const int right_X = A2; // define the right X pin to A2
const int right_Y = A5; // define the right Y pin to A5
const int right_key = 7; // define the right key pin to 7 (that is the value of Z)

const int left_X = A3; // define the left X pin to A3
const int left_Y = A4; // define the left X pin to A4
const int left_key = 8; //define the left key pin to 8 (that is the value of Z)

int x1,y1,z1; // define the variable, used to save the joystick value it read.
int x2,y2,z2;
int s1,s2,s3,s4;
void servopulse(int servopin,int myangle) //Define Function
{
pulsewidth=(myangle*11)+500; //Converts the Angle to a pulse width value of 500 - 2480
digitalWrite(servopin,HIGH); //The steering gear interface level is high
delayMicroseconds(pulsewidth); //The microsecond number of the delay pulse width value
digitalWrite(servopin,LOW); //Turn the steering gear interface level to low
//delay(20-pulsewidth/1000);
}

void setup()
{
if(start==0){
// boot posture
servopulse(servopin1,pos1); //Set steering gear Angle
delay(1000);
servopulse(servopin2,pos2);
servopulse(servopin3,pos3);
servopulse(servopin4,pos4);
delay(1500);
pinMode(right_key, INPUT); // set the right/left key to INPUT
pinMode(left_key, INPUT);
Serial.begin(9600); // set the baud rate to 9600
start = 1;
}
}

void loop()
{

```

```

x1 = analogRead(right_X); //read the right X value
y1 = analogRead(right_Y); // read the right Y value
z1 = digitalRead(right_key); //// read the right Z value

x2 = analogRead(left_X); //read the left X value
y2 = analogRead(left_Y); //read the left Y value
z2 = digitalRead(left_key); // read the left Z value
if(z1==1) // if the right joystick key is pressed
{
    delay(10); // delay for eliminating shake
    if(z1==1) // judge again if the right key is pressed
    {
        s1=pos1; // read the angle value of each servo
        s2=pos2;
        s3=pos3;
        s4=pos4;
    }
}
if(z2==1) // if the left key is pressed
{
    delay(10);
    if(z2==1)
    {
        if(pos1<s1) // if angle of servo 1 is smaller than variable s1 value
        {
            while(pos1<s1) //while loop, rotate the servo to the position of the value stored in the
array.
            {
                servopulse(servopin1,pos1); // servo 1 operates the motion
                pos1++; //pos1 plus 1
                delay(5); // delay for 5ms, controlling the rotation speed of servo.
            }

        }
        else // if angle of servo 1 is greater than the value stored in array 1.
        {
            while(pos1>s1) //while loop,rotate the servo to the position of the value stored in the
array.
            {
                servopulse(servopin1,pos1); // servo 1 operates the motion
                pos1--; //pos1 subtracts 1
                delay(5); // delay for 5ms, controlling the rotation speed of servo.
            }
        }
    }
}
//*****
// the explanation is the same as servo 1
if(pos2<s2)
{

```

```

while(pos2<s2)
{
    servopulse(servopin2,pos2);
    pos2++;
    delay(5);
}
}
else
{
    while(pos2>s2)
    {
        servopulse(servopin2,pos2);
        pos2--;
        delay(5);
    }
}
//*****
// the explanation is the same as servo 1
if(pos3<s3)
{
    while(pos3<s3)
    {
        servopulse(servopin3,pos3);
        pos3++;
        delay(5);
    }
}
else
{
    while(pos3>s3)
    {
        servopulse(servopin3,pos3);
        pos3--;
        delay(5);
    }
}
//*****
// the explanation is the same as servo 1
if(pos4<s4)
{
    while(pos4<s4)
    {
        servopulse(servopin4,pos4);
        pos4++;
        delay(5);
    }
}
else
{
    while(pos4>s4)

```

```

        {
            servopulse(servopin4,pos4);
            pos4--;
            delay(5);
        }
    }

}

// claw
zhuazi();
// rotate
zhuandong();
// upper arm
xiaobi();
//lower arm
dabi();
}
//claw
void zhuazi()
{
    //claw
    if(x2<50) // if push the left joystick to the right
    {
        pos4=pos4-2; //current angle of servo 4 subtracts 2 (change the value you subtract, thus
change the closed speed of claw)

        servopulse(servopin4,pos4); // servo 4 operates the action, claw is gradually closed.
        Serial.println(pos4);
        delay(5);
        if(pos4<1) // if pos4 value subtracts to 2, the claw in 37 degrees we have tested is closed.
        {
            // (should change the value based on the fact)
            pos4=0; // stop subtraction when reduce to 2
        }
    }
    if(x2>400) //// if push the left joystick to the left
    {
        pos4=pos4+8; // current angle of servo 4 plus 8 (change the value you plus, thus change the
open speed of claw)

        servopulse(servopin4,pos4); // servo 4 operates the motion, the claw gradually opens.
        Serial.println(pos4);
        delay(5);
        if(pos4>150) // limit the largest angle when open the claw
        {
            pos4=150;
        }
    }
}
}

```

```

// turn
void zhuandong()
{
  if(x1<50) // if push the right joystick to the right
  {
    pos1=pos1-1; //pos1 subtracts 1
    if(pos1<=50) // limit the angle when turn right
    {
      pos1=50;
    }

    servopulse(servopin1,pos1); // servo 1 operates the motion, the arm turns right.
    delay(5);

  }
  if(x1>400) // if push the right joystick to the let
  {
    pos1=pos1+1; //pos1 plus 1
    if(pos1>=150) // limit the angle when turn left
    {
      pos1=150;
    }

    servopulse(servopin1,pos1); // arm turns left
    delay(5);

  }
}
//upper arm
void xiaobi()
{
  if(y1>400) // if push the right joystick upward
  {
    pos2=pos2-1;
    if(pos2<80) // limit the lifting angle
    {
      pos2=80;
    }
    servopulse(servopin2,pos2); // the upper arm will lift
    delay(5);

  }
  if(y1<50) // if push the right joystick downward
  {
    pos2=pos2+1;
    if(pos2>160) // limit the angle when go down
    {
      pos2=160;
    }
    servopulse(servopin2,pos2); // upper arm will go down
  }
}

```

```

    delay(5);

}
}
// lower arm
void dabi()
{
    if(y2<50) // if push the left joystick upward
    {

        pos3=pos3+1;
        if(pos3>160) // limit the stretched angle
        {
            pos3=160;
        }
        servopulse(servopin3,pos3); // lower arm will stretch out
        delay(5);

    }
    if(y2>400) // if push the left joystick downward
    {
        pos3=pos3-1;
        if(pos3<30) // limit the retracted angle
        {
            pos3=30;
        }
        servopulse(servopin3,pos3); // lower arm will draw back
        delay(5);

    }
}
}

```