

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК

« ____ » _____ 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Робот-маніпулятор з технологією м'якого захвату»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ПК-01
Свищ Ольга Ігорівна _____

Керівник:

доцент, к.т.н.
Богдан Галина Анатоліївна _____

Рецензент:

асистент, к.т.н.
Івасенко Віталій Михайлович _____

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ПК 01.13.1760.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	58	
2	A1	ПК 01.13.1760. 01.001 СК	Складальний креслений	1	
3	A1	ПК 01.13.1760.02.002	Деталювання	1	
4	A1	ПК 01.13.1760. 03.003	Структура моделі	1	
5	A1	ПК 01.13.1760. 04.004	Графіки симулювання навантаження	1	
6	A1	ПК 01.13.1760. 05.005	Алгоритм	1	
7	A1	ПК 01.13.1760. 05.006	Кінематична схема	1	

				ДП ПК01.210315.000		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробник	Свищ О.І.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Богдан Г.А.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-01	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Робот-маніпулятор з технологією м'якого
захвату»

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Свищ Ольга Ігорівна

1. Тема роботи «Робот-маніпулятор з технологією м'якого захвату», керівник роботи Богдан Галина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «28» травня 2024 р. №2121-с

2. Термін подання студентом проєкту

3. Вихідні дані до проєкту: розробка маніпулятора з технологією м'якого захвату.

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Огляд захватів роботів-маніпуляторів

3. Розробка м'якого захвату

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 2 креслеників 4 плакати

1 – Складальний кресленик

2 – Деталювання

3 – Алгоритм

4 – Структура моделі

5 – Графіки симулювання навантаження

6 – Кінематична схема

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	12.02.2024	
2	Проведення аналітичного огляду	18.05.2024	
3	Розробка м'якого захвату	21.05.2024	
4	Розробка алгоритму роботи	28.05.2024	
5	Розробка креслеників	01.06.2024	

Студент

Ольга СВИЦ

Керівник

Галина БОГДАН

Анотація

В даному бакалаврському проекті був спроектований м'який захват для робота-маніпулятора, призначений для захвату та маніпулювання предметами різноманітної форми та об'єктами, що легко піддаються деформації.

Перший розділ присвячено аналізу сучасних роботів-маніпуляторів та їх класифікації. Детально розглянуто різні типи маніпуляторів, їхні можливості та сфери застосування. Висвітлено технічні характеристики та особливості конструкцій, що дозволило зробити висновки про їхні переваги та недоліки.

У другому розділі був проведений аналіз видів м'яких захватів для роботів-маніпуляторів. Окрім цього, розглянуті переваги та недоліки існуючих моделей захватів. Було проведено порівняння м'яких захватів відносно традиційних, зокрема щодо їхньої здатності до адаптації форми, безпеки для крихких об'єктів та ефективності у різних умовах використання.

В третьому розділі обґрунтовано конструктив розробленого захвату, розглянуто симуляцію 3D моделі та проведено відповідні розрахунки. Описано етапи розробки, починаючи від вибору матеріалів до кінцевої збірки. Також наведена програма для тестування м'якого захвату на роботі.

Ключові слова: м'який захват, робот-маніпулятор, 3D друк, САПР, гнучкі матеріали.

Annotation

In this bachelor's project, a soft gripper for a robotic manipulator was designed to grasp and manipulate objects of various shapes and those that are easily deformable.

The first chapter is dedicated to analyzing and classifying modern robotic manipulators. It thoroughly examines different types of manipulators, their capabilities, and application areas. The technical characteristics and design features are highlighted, allowing conclusions to be drawn about their advantages and disadvantages.

The second chapter analyzes the types of soft grippers for robotic manipulators. In addition, the advantages and disadvantages of existing gripper models are discussed. A comparison between soft grippers and traditional ones is conducted, particularly regarding their ability to adapt to shapes, safety for fragile objects, and effectiveness in various conditions of use.

The third chapter justifies the design of the developed gripper, considers the simulation of the 3D model, and performs the necessary calculations. The stages of development are described, from material selection to final assembly. A program for testing the soft gripper on the robot is also provided.

Keywords: soft grip, robotic manipulator, 3D printing, CAD, flexible materials.

Зміст

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ	11
1.1 Загальні відомості	11
1.2. Класифікація роботів-маніпуляторів	12
1.3. Огляд існуючих моделей роботів-маніпуляторів	17
Висновок до розділу	21
2. ОГЛЯД ЗАХВАТІВ ДЛЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ	22
2.1 Класифікація та їх опис	22
2.2 Відмінності та переваги м'яких захватів над твердими.....	26
2.4. Огляд існуючих моделей м'яких захватів	30
Висновок до розділу	33
3. РОЗРОБКА М'ЯКОГО ЗАХВАТУ	35
3.1. Вибір САПР	35
3.2. Вибір конфігурації захвату	36
3.3. Вибір матеріалу моделі та спосіб виготовлення.....	38
3.4. Опис загальної конструкції.....	42
3.6. Розрахунок трансмісії.....	48
3.7. Симуляція навантаження в соліді	51
3.8. Опис програми робота та коду	53
3.9. Алгоритм роботи програми робота-маніпулятора з м'яким захватом.....	55
Висновки до розділу	59
ВИСНОВОК	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

					ПК01.210315.000ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Ар</i>	<i>№ до</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Свищ О.І.</i>				Робот-маніпулятор з технологією м'якого захвату	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.реві</i>	Богдан Г.А.					8		
<i>Реценз.</i>						ПБФ, ПК-01		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	Богдан Г.А.							

ВСТУП

В наступній стадії еволюції роботів-маніпуляторів важливу складову будуть відігравати такі параметри як адаптивність, гнучкість та безпека, що може бути забезпечено за рахунок використання м'яких захватних пристроїв в робототехніці.

Модернізація сучасного виробництва потребує нових технологій захвату об'єктів, що зможуть підвищити продуктивність та якість виконання процесів.

Розвиток м'якої робототехніки призвів до поштовху застосування м'яких захватів не тільки в якості наукових макетів, а також у вигляді технологічних механізмів, що зайняли великий сектор захватів для роботів у промисловості. Завдяки своїй м'якій природі вони є безпечними для персоналу, особливо на виробничих лініях, де разом співпрацюють робот та людина. Цей новий підхід до захоплення об'єктів демонструє низку переваг у різних сферах застосування, таких як медицина, пакування, виробництво електронних компонентів, харчова промисловість тощо.

М'які захвати виготовляються з гнучких матеріалів, таких як силікон, гума або текстиль, що дозволяє їм адаптуватися до форми та розміру об'єктів, забезпечуючи надійне і делікатне захоплення. Це робить їх ідеальними для застосування у промисловості, де необхідно маніпулювати вразливими, нестандартними або м'якими об'єктами. Завдяки своїм властивостям, м'які захвати можуть значно підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити ризик пошкодження продукції та підвищити рівень безпеки для працівників.

Метою дипломної роботи є проведення більш глибокого аналізу м'яких захватів та створення прототипу захвату, який може бути впроваджений у виробництво. Це включає в себе дослідження конструкційних особливостей, матеріалів та механізмів дії м'яких захватів, а також порівняння їх з традиційними захватами з точки зору ефективності, універсальності та економічної доцільності. Одним із ключових аспектів роботи є висвітлення

					<i>ПК01.210315.000ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваг конструкції м'яких захватів над традиційними захватами, таких як їх гнучкість, адаптивність до форми об'єкта, що захоплюється, та безпечність у взаємодії з крихкими предметами.

У рамках дипломної роботи також буде розглянута та протестована програма для керування роботом-маніпулятором з м'яким захватом. Це дозволить детально оцінити практичну застосовність створеного прототипу, виявити його сильні та слабкі сторони, а також провести серію експериментів на реальних об'єктах для перевірки надійності та ефективності м'якого захвату.

					<i>ПК01.210315.000ПЗ</i>	Арк.
						<i>10</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

1.1 Загальні відомості

Роботи-маніпулятори представляють собою керовані машини, які включають в себе механічну руку, систему керування та датчики. Ці компоненти разом створюють конструкцію, яка може імітувати рухи людської руки, виконуючи широкий спектр завдань.

Механічна рука, або маніпулятор (рис. 1.1), є основним елементом робота-маніпулятора. Вона може виконувати рухи, подібні до рухів людської руки, що дозволяє роботу виконувати завдання з високою точністю та гнучкістю.

Система керування робота-маніпулятора включає в себе програмне забезпечення та апаратні засоби, які дозволяють керувати рухами маніпулятора. Ця система може бути програмована для виконання різноманітних завдань, включаючи складні маніпуляції з об'єктами.



Рисунок 1.1 – Приклад шестиосьового робота-маніпулятора

Робот маніпулятор став доволі поширеним засобом виконання різноманітних процесів на виробництвах. Промислові маніпулятори є важливими складовими сучасної автоматизації. Вони знайшли своє застосування в багатьох галузях промисловості, особливо там де потрібна точність, безпека операцій та швидкість. Наприклад їх широке застосування

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спостерігається в автомобільній, електронній, харчовій, фармацевтичній, машинобудівній та інших сферах.

1.2. Класифікація роботів-маніпуляторів

Розглянемо класифікацію роботів маніпуляторів залежно від їх конструктиву, в кожного з них можна виділити переваги та сфери застосування.

Декартові роботи (рис. 1.2).

Декартові маніпулятори або ж координатні роботи - це вид маніпуляторів який можна охарактеризувати як той, що використовує прямолінійні направляючі для досягнення високої точності. Загалом їх конструкція ґрунтується на принципі Декарта. Цей тип маніпуляторів має кілька переваг, такі як: висока точність переміщення (для високоточних моделей близько 0,01мм), яка досягається за допомогою жорсткої конструкції та лінійним направляючим; простота конструкції. З недоліків найсуттєвішим є обмежена робоча зона та неможливість виконання складних траєкторій, оскільки в прямолінійній конструкції важко виконувати складні траєкторії, що можуть потребувати обертання або повороту.

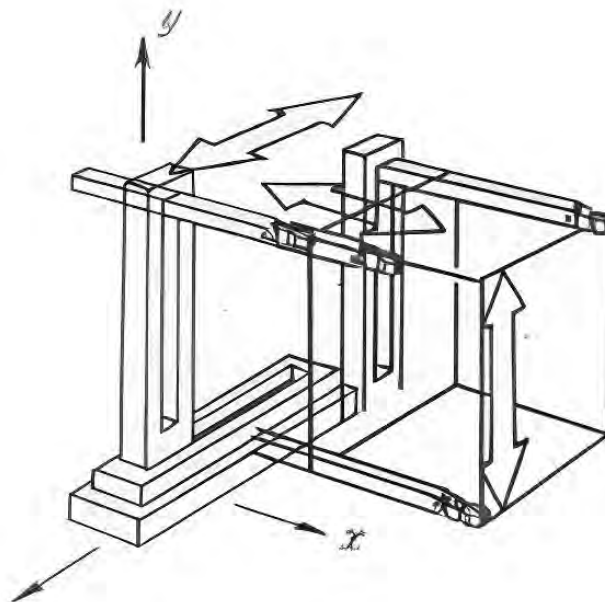


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення маніпулятора декартового типу

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найрозповсюдженіше застосування декартових маніпуляторів в 3Д друці. Також знаходять застосування в складанні електроніки, пакуванні та обробці деталей.

Циліндричний тип (рис. 1.3).

Цей тип маніпуляторів отримав назву завдяки схожості конструкції на циліндричну систему координат. Він має одну обертову вісь та кілька лінійних переміщень. Робочий простір же обмежений діаметром обертання. Переваги: Відносно недорогі в порівнянні з іншими через простоту конструкції. З недоліків, мають обмежений робочий простір та не можуть виконувати складні траєкторії руху.

Своє застосування цей тип роботів знайшов в промисловому зварюванні, збірці електронних компонентів (У виробництві електроніки циліндричні роботи-маніпулятори використовуються для точної збірки компонентів на друкованих платах, виконуючи завдання з високою точністю та повторюваністю) та в автоматизованих вимірювальних системах, оскільки роботи-маніпулятори можуть бути оснащені різними сенсорами для виконання точних вимірювань та контролю якості продукції, що дозволяє забезпечити відповідність продукції встановленим стандартам.

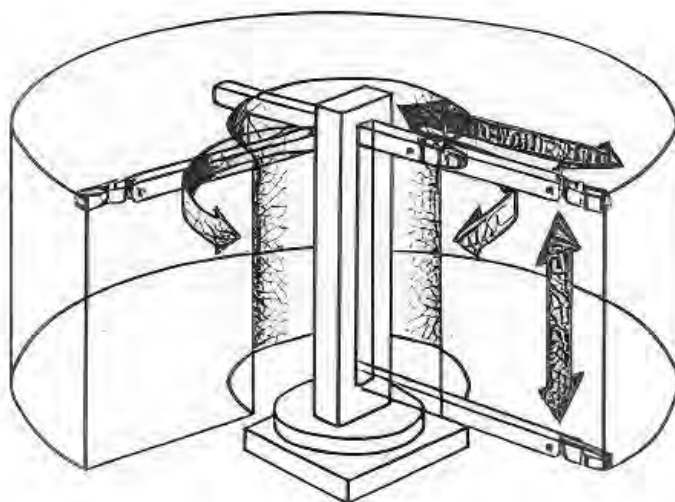


Рисунок 1.3 - Схематичне зображення маніпулятора циліндричного типу

Шарнірно-з'єднані роботи маніпулятори (рис. 1.4).

Шарнірно-з'єднані роботи маніпулятори, також відомі як роботи з шарнірною рукою, складаються з ланок, з'єднаних шарнірами, що дозволяють виконувати широкий спектр рухів, імітуючи рухи людської руки. Їх складність полягає у великій кількості з'єднань та складності керування і програмування. Вони широко застосовуються у різних сферах виробництва. В автомобільній промисловості роботи використовуються для зварювання кузовів, фарбування деталей і монтажу компонентів.

У виробництві електронних пристроїв вони допомагають збирати дрібні компоненти, здійснювати пайку, тестування і маркування продуктів. Металообробна промисловість використовує їх для зварювання, різання, гнуття і складання металевих конструкцій. У харчовій промисловості роботи пакують продукти, нарізають, сортують і переміщують їх з дотриманням високих стандартів гігієни.

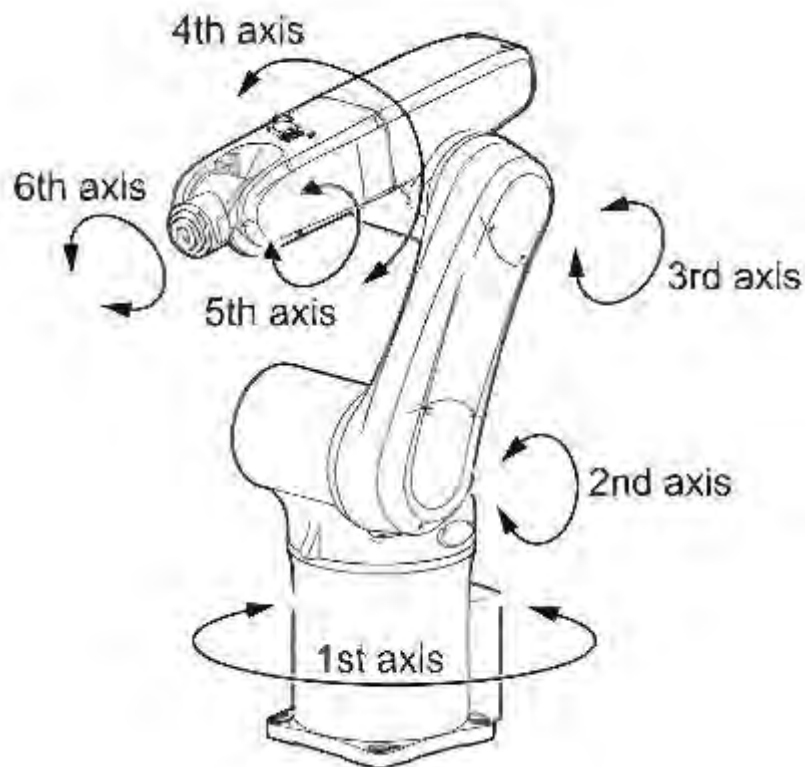


Рисунок 1.4 - Маніпулятор шарнірно-з'єднаний

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сферичні роботи (рис. 1.5).

Відмінність маніпуляторів сферичного типу полягає в їх конфігурації, а саме вони мають сферичну або напівсферичну структуру. З переваг можна виділити повний тривимірний контроль та гнучкість завдяки якій можуть виконувати різноманітні завдання. Основним недоліком же є обмежена потужність через їх конструкцію. Цей вид маніпуляторів має доволі широку сферу застосування. Найбільш поширеним використанням є в ремонтних цілях та обслуговування будь-чого: медичне обладнання, авіаційна промисловість, енергетична промисловість.

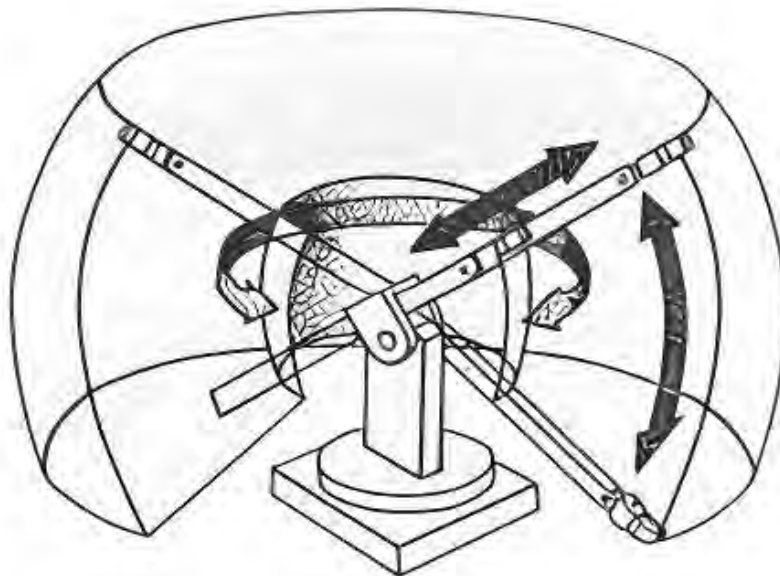


Рисунок 1.5 - Маніпулятор сферичного типу

Тип SCARA (рис. 1.6).

SCARA або ж Selective Compliance Assembly Robot Arm є одним з типів промислових маніпуляторів з компактною конструкцією. Такий вид робота має два вертикальні зчеплення та одне горизонтальне, такий конструктив надає йому дві ступені свободи в площині XY та одну в Z. Якраз через його компактність має один вагомий недолік: обмежену рухому маневреність і як наслідок не підходить для складних завдань зі збирання.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

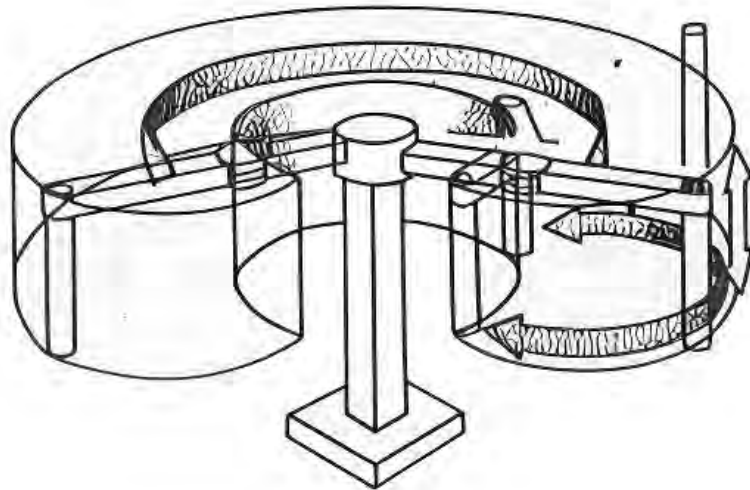


Рисунок 1.6 - Маніпулятор типу SCARA

Маніпулятор типу Spine (рис. 1.7).

Також відомий як маніпулятор з хребтом. Рідко використовується на підприємствах, проте знайшов широке застосування в медицині.

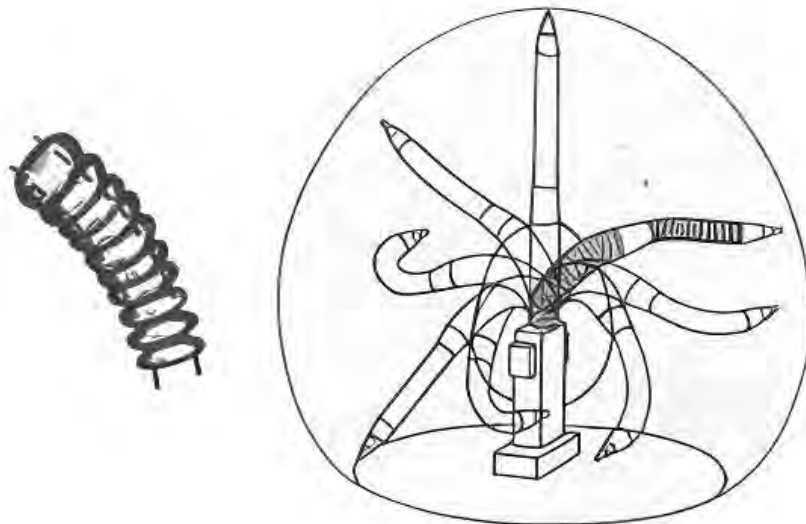


Рисунок 1.7 - Маніпулятор типу Spine

Він вирізняється великою кількістю ступенів свободи. Часто порівнюють з хребтом людини або тварини. Цей тип маніпулятора складається з послідовно

з'єднаних ланок або сегментів, які можуть згинатися або обертатися один відносно одного. Це дозволяє забезпечити гнучкість рухів та адаптацію до неправильних форм або контура об'єктів. Іноді можуть застосовувати при монтажних роботах або на виробництві у виробничих процесах для роботи з погано впорядкованими або незвичними об'єктами.

1.3. Огляд існуючих моделей роботів-маніпуляторів

В світі існує багато різних моделей роботів - маніпуляторів. Розглянемо детально найбільш розповсюджені

Parker Hannifin Gantry series (рис. 1.8).

Відносяться до маніпуляторів декартового типу. Мають жорстку конструкцію, рама переміщується по осі X і на каретці по двох Y. Застосовується на багатьох виробництвах через велику вантажопідйомність та великий робочий простір. Найбільше розповсюдження отримали саме в пакувальній галузі.



Рисунок 1.8 – Фото Parker Hannifin Gantry series

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Festo XYZ linear robots (рис. 1.9).

Роботизована система розроблена компанією Festo в Німеччині. Мають модульну конструкцію завдяки якою можуть бути легко налаштовані під конкретну задачу. Жорсткість конструкції надає високу точність виконання маніпуляцій. Проте саме через декартовий тип робота він є не дуже гнучким, оскільки має чітко визначений квадрат руху та швидким в порівнянні з іншими типами.



Рисунок 1.9 – Фото Festo XYZ linear robots

Fanuc Robotics R-2000i (рис. 1.10).

Один з найрозповсюдженіших промислових роботів маніпуляторів. Це універсальний шестиосьовий робот маніпулятор з високою вантажопідйомністю, а саме, близько 100-270 кг з швидкістю 7м/с. Також перевагою є його точність до 0,03 мм. Зазвичай Fanuc Robotics R-2000i застосовується в автомобільній, електроній, металообробній промисловості. З напрямків що можна покращити - це підвищення гнучкості керування та покращення системи бачення, цього можна досягти за допомогою більшої кількості датчиків та залученості машинного зору та штучного інтелекту. Ці вдосконалення дозволяють роботу бути більш адаптивним та покращити його здатність розпізнавати та маніпулювати об'єктами.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.10 – Фото Fanuc Robotics R-2000i

KUKA LBR iiwa (рис. 1.11).

Цей робот маніпулятор відрізняється від інших своїми сенсорними здатностями, він може реагувати на дотик та рухи людини, що робить його безпечним при роботі з людиною. Загалом він розроблений для безпечної роботи з людьми в одному просторі, так що можна працювати поруч без захисної сітки. Також цей вид робота має дуже легку конструкцію. Цього було досягнуто за допомогою конструкції з вуглецевого волокна. Має високу гнучкість завдяки семи суглобам.

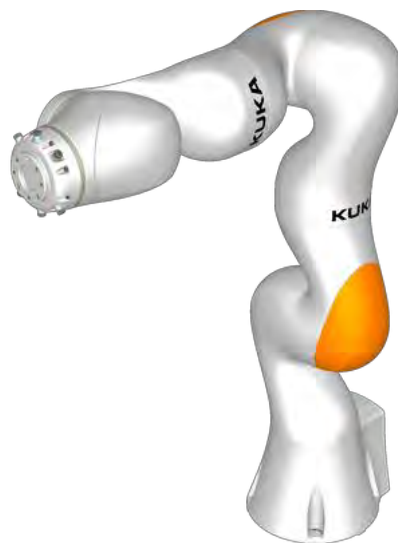


Рисунок 1.11 – Фото KUKA LBR iiwa

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Mitsubishi MELFA RV-6SL (рис. 1.12).

Цей один з найпопулярніших роботів Mitsubishi Electric. Він входить до лінійки MELFA (Mitsubishi Electric Factory Automation), що відома своєю високою якістю, точністю та надійністю.



Рисунок 1.12 – Фото Mitsubishi MELFA RV-6SL

Цей шестиостовий промисловий робот має гнучку конфігурацію, завдяки якій він спроможний виконувати різноманітні задачі, що робить його дуже універсальним.

З переваг виділяють високу точність, широкий радіус руху та швидкість. З недоліків: в порівнянні з іншими моделями має більш обмежену максимальну вантажо підйомність та потреба в висококваліфікованих спеціалістах для налаштування робота. Сфери застосування, завдяки універсальності маніпулятора, дуже широкі від пакування до медичної галузі. Цей робот особливо популярний у виробничих лініях автомобільної промисловості, де він використовується для роботи з великими деталями або складних складань, завдяки своїм високим технічним характеристикам та здатності до швидкої

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реакції на змінні умови виробництва. Крім того, він також застосовується у виробництві електроніки, де вимагається висока точність та обробка дрібних компонентів.

Висновок до розділу

В цьому розділі було проведено огляд основних типів роботів-маніпуляторів, таких як декартові роботи маніпулятори або ж координатні роботи, циліндричний тип роботів маніпуляторів, шарнірно-з'єднані, сферичні маніпулятори та типу Spine також відомі як маніпулятори з хребтом. Насправді був розглянутий тільки один вид класифікації роботів маніпуляторів також їх можна класифікувати за кількістю ступенів свобод, за привідною системою та сферами застосування. Проте розділення за конфігурацією дає найбільше інформації про геометрію робочого простору роботів-маніпуляторів та їх механічну конструкцію. Розглянувши декілька видів можна дійти до висновку, що всі конфігурації мають свої переваги та недоліки, проте найбільше застосування в сучасному світі наразі мають шарнірно-з'єднані роботи маніпулятори завдяки своїй компактності, гнучкості та маневреності

Також при розгляді існуючих моделей роботів маніпуляторів, були виділені їх переваги та недоліки, сфери застосування та різні можливості кріплення захватів.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ЗАХВАТІВ ДЛЯ РОБОТІВ-МАНІПЛЯТОРІВ

2.1 Класифікація та їх опис

У сфері автоматизованих систем та робототехніки використання різноманітних видів захватів відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та функціональності. У роботів маніпуляторів існують десятки варіацій захватів, які використовуються для вирішення різноманітних завдань у виробництві та промисловості. Вибір певного типу захвату залежить від конкретного завдання, вимог ефективності та потреб виробничого процесу. Розуміння різниці між типами захватів, їх перевагами та недоліками є важливим для раціонального використання робототехніки в промисловості.

Прихоплюючі захвати (Grippers) (рис. 2.1). Один з найпоширеніших видів захвату, використовується для затискання та утримання об'єктів. Можуть включати в себе механічні захвати, пневматичні, гідравлічні, а також електричні та магнітні.



Рисунок 2.1 – Фото захвату W-EFG-100 від WOMO

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щипці (Pincers) (рис. 2.2).

Цей тип захвату має дві або ж більше частини, які мають зблизитись, щоб утримати об'єкт між ними. Щипці зазвичай складаються з двох або більше рухомих частин, які зазвичай мають форму клешень. Ці частини можуть мати різні форми та розміри в залежності від потреб застосування. Наприклад, деякі щипці можуть мати зубці або ріжучі краї для кращого захоплення об'єктів. Зазвичай застосовуються для захоплення маленьких об'єктів та в медицині.

У медицині щипці використовуються для проведення хірургічних операцій, захоплення та утримання тканин або інших об'єктів під час процедур. Вони можуть бути використані для видалення зв'язок, захоплення і зняття маленьких об'єктів, які важко утримувати руками.



Рисунок 2.2 – Фото різних захватів від робота da-vinci

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК01.210315.000ПЗ

Арк.

23

Магнітні захвати (Magnetic Grippers).

Завдяки своїм магнітним властивостям використовуються для захоплення металевих об'єктів.

Ці пристрої (рис. 2.3) дозволяють забезпечити надійне і швидке захоплення, переміщення та утримання металевих деталей без необхідності використання механічних затискачів або інших утримувальних пристроїв.



Рисунок 2.3 – Фото магнітних захватів SGM-HP/-HT

Вакуумні захвати (Vacuum Grippers)

Цей тип захватів (рис. 2.4) використовує створений вакуумом тиск для утримання та перенесення об'єктів. Цей вид захвати варто вибрати для захоплення плоских, гладких поверхонь



Рисунок 2.4 – Фото вакуумних захватів AIRBEST

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Поворотні захвати (Rotary Grippers)

Ці захвати (рис. 2.5) мають додаткову вісь свободи, що дає можливість обертати об'єкти, які утримуються. Вибирають для маніпуляторів які виконують задачі по позиціонування та орієнтації предметів



Рисунок 2.5 – Фото захвату EGS від SCHUNK

Кішкини лапи (рис. 2.6) або м'які захвати (Soft Grippers) Зазвичай виготовлені з м'яких матеріалів, наприклад, силікон. Здатні адаптуватись до різних форм та розмірів об'єкту. Їх зазвичай обирають для роботи в важкодоступних середовищах, наприклад як вода або вакуум, в харчовій промисловості для захвату крихких продуктів, в дослідницьких маніпуляторах та для маніпуляторів що будуть близько взаємодіяти з людиною.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Фото м'якого захвату

2.2 Відмінності та переваги м'яких захватів над твердими

Принцип роботи пневматичних м'яких систем полягає в деформації м'якої оболонки за допомогою стиснутого повітря. Якраз для створення тиску всередині в оболонці створюють канали або під'єднують трубки. Тиск в камерах та каналах може здійснюватись за допомогою пневматичних клапанів, це дозволяє більш точно керувати процесом захоплення об'єкту. Також для покращення роботи на деяких захватах можуть розміщувати датчики тиску та положення.

Якщо більш детально розглядати переваги та недоліки м'яких захватів детальніше, то можна виділити наступні плюси застосування Soft Grippers відносно звичайних захватів.

- Гнучкість та адитивність. Тип м'яких захватів може пристосуватись до будь-яких форм об'єктів, незвичному положенню в просторі. Це можливо за рахунок матеріалів, які використовують для створення цих захватів та різних систем подачі повітря або рідини.

- Невелика вага проте менш стійкі до зношування. Ці наслідки теж є похідними від м'яких матеріалів. Найчастіше все ж використовують силікон,

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

термопластичні еластомери, гелі, поліуретани та гуму. Деякі гелі можуть мати дуже маленьку вагу, що може покращити маневреність робота (може бути критичним пунктом для роботів, що мають виконувати швидкі операції) та зменшити витрати енергії.

- Сила хвату. Зазвичай сила хвата м'яких роботів дещо менша ніж в стандартних захватах, проте все ще є достатньою для багатьох завдань. Діапазон сили хвату цього типу захвату може варіювати від кількох грамів до кількох десятків кілограмів. Якщо ж потрібно піднімати та маніпулювати важкими об'єктами зазвичай використовують інші типи захватів, наприклад: пневматичні або ж гідравлічні.

- Запобігання пошкоджень та робота з людиною. Великим плюсом Soft Grippers є їх можливість працювати з крихкими та малими об'єктами без пошкоджень. М'які матеріали надають амортизацію та навіть захист об'єкту від ударів або надмірного стискання. У випадка ж коли робот з таким видом хвату працює поруч з людьми, м'які захвати є більш безпечними, оскільки їх гнучкість та еластичність зменшують ризики травмування. Цей пункт є доволі корисний на виробничих лініях.

-Матеріал об'єкту. Проте, на жаль, м'які захвати є обмежені матеріалами об'єкту маніпулювання. На різні текстури Soft Grippers може реагувати по-різному. Наприклад гладкі поверхні є складнішими, оскільки тримачі можуть просто ковзати по поверхні.

2.3. Типи м'яких захватів за конфігурацією

У маніпуляторів що використовують м'які захвати, захоплення об'єкта може виконуватись за допомогою деформації гнучких структур, що можуть деформуватись за рахунок зовнішніх або вбудованих приводів.

М'які-пасивні захвати

Захвати, що використовують пасивну деформацію статичних структур, які виникають під час взаємодії з об'єктом є найменш складними в реалізації

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

серед типів захоплень. Зазвичай в такому форматі двигуни знаходяться зовні конструкції. Основною особливістю цього захвату є відсутність будь-яких активних елементів всередині структури. Таким чином досягається висока механічна міцність. З мінусів такого захвату можна виділити потенційні проблеми з надійністю та обмежену варіативність. Одним з типових прикладів таких пасивних структур є “Fin Ray” (рис. 2.7), яка взяла за основу деформацію плавників у риб.

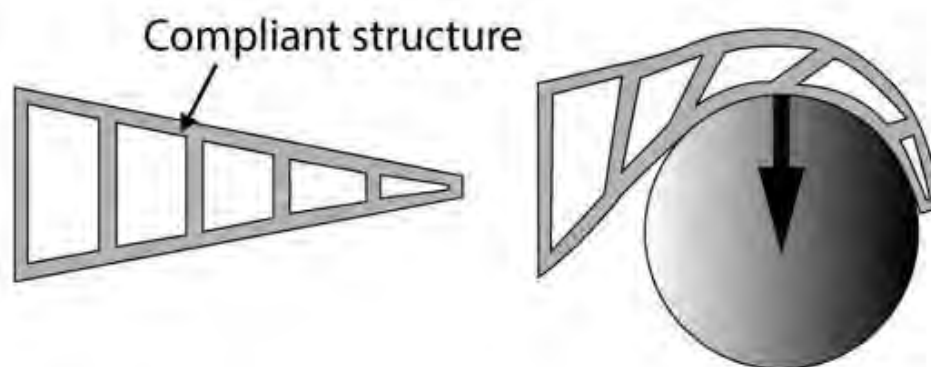


Рисунок 2.7 – Захват типу “Fin Ray”, з виділеною м’якою структурою

Захвати з втягувальним елементом

Також велике розповсюдження отримали захвати, де реакційні сили походять від витягування вбудованих кабелів. Цей захват працює керуючи м’яким тілом за допомогою зтягування кабелю в себе (рис. 2.8). Проте він має суттєвий недолік, складність його розробки, через розміщення двигунів, шківів та енкодерів.

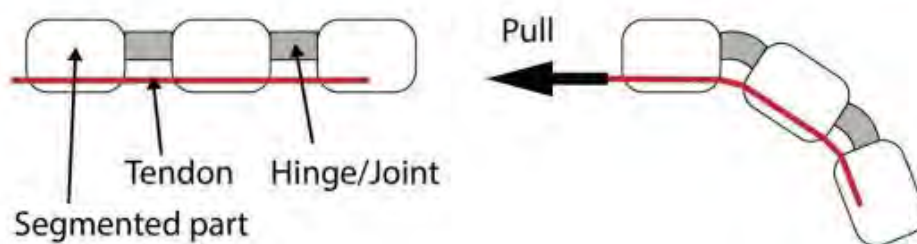


Рисунок 2.8 – Принцип роботи захвату з вбудованим кабелем. З відміченими сухожиллям, сегментом та з’єднанням

М'які пневматичні

FEAs (також відомі як м'які пневматичні) є найпопулярнішими видами приводів, що використовується в м'яких захватах. Він базується на створенні тиску в спеціальних камерах в тілі захвату та деформує тіло (рис. 2.9). Такий тип роботи м'якої робототехніки має багато переваг: легкість виготовлення, міцність та низька вартість. Структури таких захватів, як правило, є асиметричними. Такі акuatorи можуть формувати великі сили, що будуть пропорційні тиску рідини або газу всередині. Кут згину може досягати близько 300 градусів за час реакції, що становить від 0,05с до 1с.

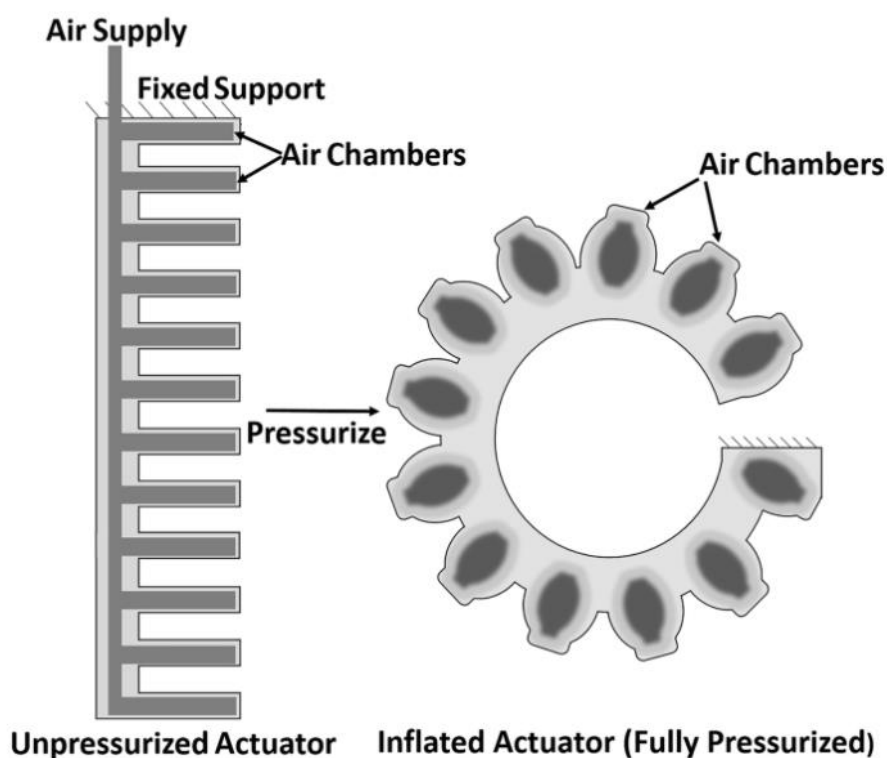


Рисунок 2.9 – Принцип дії пневматичного приводу

Загалом існує велика кількість різних варіацій розташування пневмо каналів для реалізації захватів (рис. 2.10).

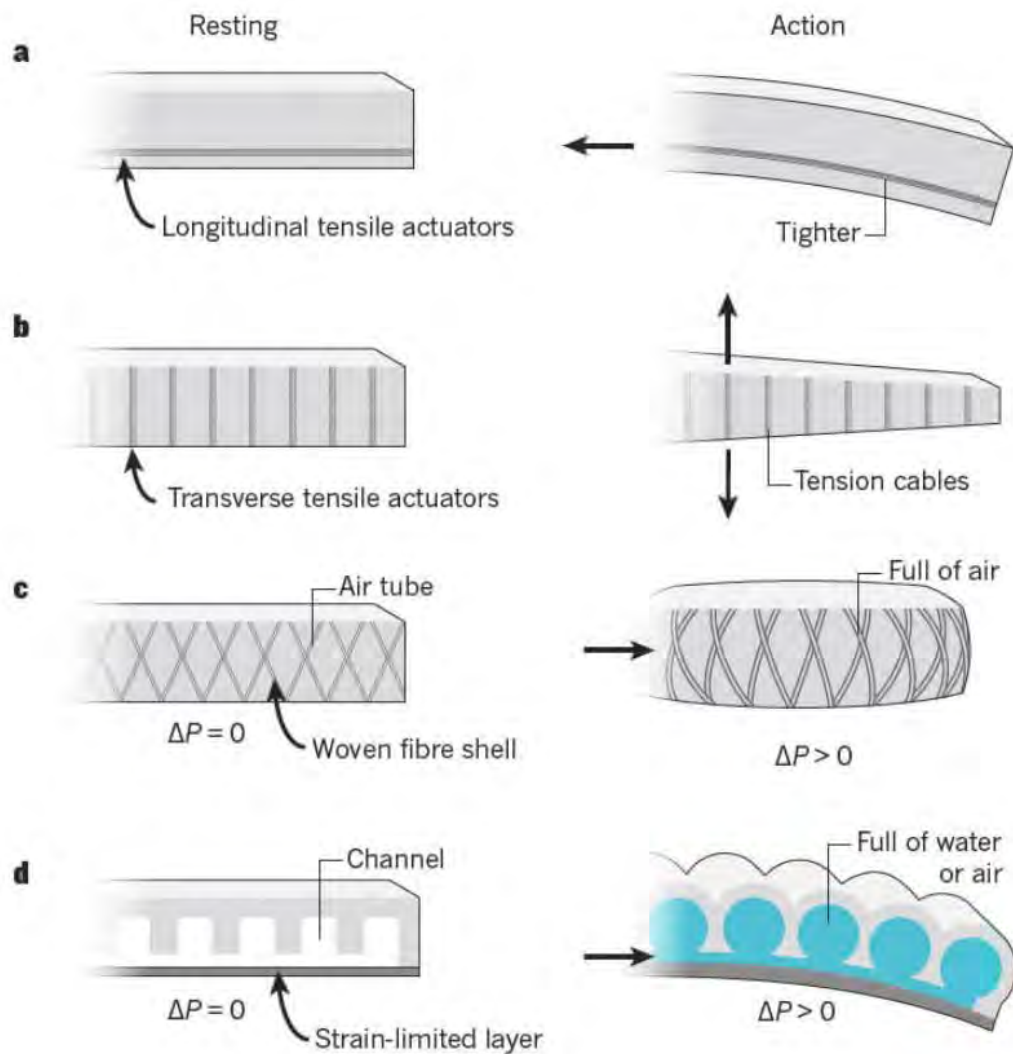


Рисунок 2.10 – Види розташування пневмо каналів в м'якій структурі та демонстрація роботи

2.4. Огляд існуючих моделей м'яких захватів

OnRobot Soft Gripper (рис. 2.11) – це м'який захват, який використовує силіконові пальці для адаптивного захоплення об'єктів різних форм і розмірів. З проведеного аналізу було виявлено декілька аспектів для покращення, наприклад збільшення чутливості та тактильного зворотного зв'язку та покращення довговічності матеріалів. З переваг, що виділяє розробник є делікатне захоплення, адаптивність, простота інтеграції з багатьма іншими роботизованими системами та енергоефективність.

OnRobot Soft Gripper має широке спектру застосувань у різних галузях промисловості. Він може бути використаний для різноманітних завдань в логістиці та складському господарстві, включаючи пакування і сортування товарів, а також у монтажі і виробництві для обробки різних деталей і виробів. Крім того, він демонструє свою ефективність у харчовій промисловості, забезпечуючи безпечну обробку харчових продуктів, у фармацевтиці для маніпуляцій з медичними препаратами та виробами, а також у сфері електроніки для збору та обробки електронних компонентів з великою точністю та безпекою.



Рисунок 2.11 – Фото захвату OnRobot Soft Gripper

Festo DHDG Adaptive Gripper (рис. 2.12)

Festo DHDG Adaptive Gripper – це захват, розроблений на основі біонічної концепції плавника риби, яка дозволяє пристрою адаптивно охоплювати об'єкти різних форм і розмірів. З аспектів, які можна покращити варто виділити захист від забруднень та збільшення діапазону вантажопідйомності захвату.

Festo DHDG Adaptive Gripper використовується в харчовій промисловості для захоплення і переміщення делікатних продуктів харчування, таких як

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

фрукти, овочі, хлібобулочні вироби, де важливо уникнути пошкоджень продуктів. У фармацевтиці він підходить для маніпуляцій з медичними препаратами, ампулами, флаконами та іншими чутливими до тиску об'єктами, що потребують делікатного поводження. У сфері логістики та сортування захват використовується для автоматизованого сортування і пакування товарів різних форм і розмірів, де важлива адаптивність захвату. В електроніці він забезпечує точність і безпеку маніпуляцій при складанні та обробці електронних компонентів, які легко пошкодити.



Рисунок 2.12 – Фото захвату Festo DHDG Adaptive Gripper mGripAI

Одним з прикладів гарної реалізації м'якого пневматичного захвату є mGripAI (рис. 2.13) від компанії SOFT ROBOTICS. Цей тип захвату крім м'якого захоплення має 3Д бачення та штучний інтелект. Інтегрований штучний інтелект в mGripAI дозволяє системі адаптуватися до нових об'єктів та ситуацій в реальному часі, аналізуючи та взаємодіючи з оточенням. В такому поєднанні він може обробляти делікатні предмети, сортувати невпорядковані групи і самостійно здійснювати пакування. Загалом ця насадка може виконувати різні задачі, проте виробник каже, що найкраще застосування має саме в харчовій промисловості.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість пальців може бути змінна, від 2 до 8. В порівнянні з іншими видами захватів цей має величезну кількість переваг, проте є деякі аспекти, які можна покращити. Наприклад як вантажопідйомність та відновлення після помилок, оскільки mGripAI може потребувати додаткового часу для відновлення після помилок або неправильного захоплення об'єктів, що може знизити продуктивність. А покращення алгоритмів відновлення та управління помилками може зменшити цей недолік.

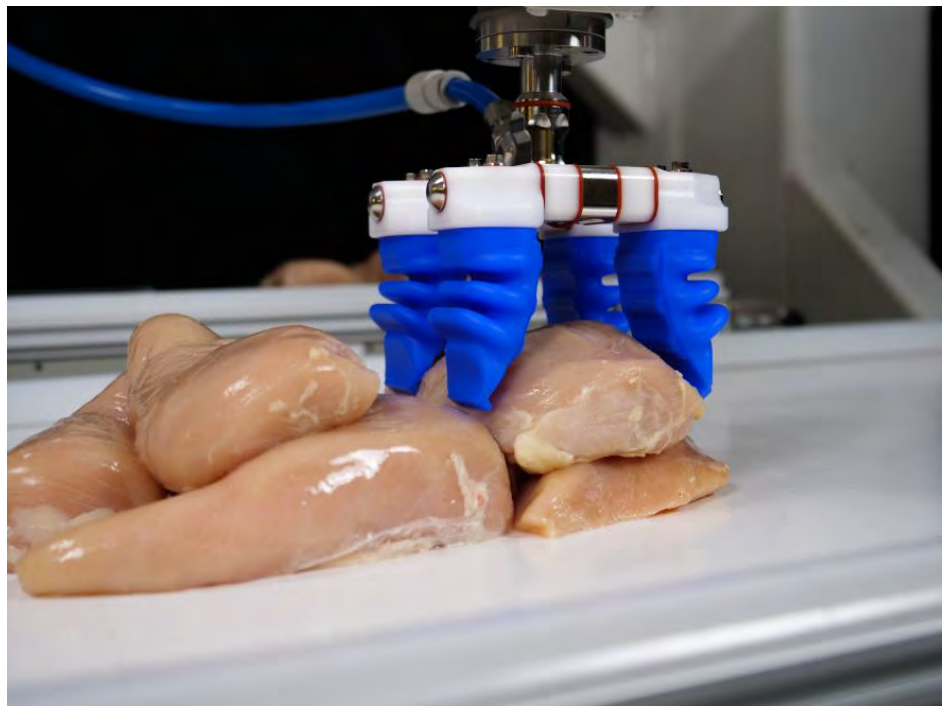


Рисунок 2.13 – Фото захвату mGripAI від SOFT ROBOTICS

Висновок до розділу

В цьому розділі розглядалися класифікації захватів та їх існуючі моделі, був проведений аналіз порівняння м'яких захватів чи звичних твердих, а також були розглянуті різні конфігурації м'яких захватів.

У порівнянні твердих та м'яких захватів ми визначили, що обидва типи мають свої унікальні переваги та застосування. Тверді захвати відомі своєю міцністю, точністю та ефективністю у захопленні важких або негнучких об'єктів, що робить їх ідеальними для тяжких промислових застосувань. З

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іншого боку, м'які захвати відрізняються гнучкістю, універсальністю та безпекою, що робить їх привабливими для маніпуляції різними формами та розмірами об'єктів у різноманітних сферах, включаючи робототехніку, медицину та побутові застосування.

М'які захвати відкривають нові можливості у робототехніці, дозволяючи роботам ефективно маніпулювати об'єктами, які традиційно важко захопити та утримувати. Наприклад м'які захвати здатні адаптуватися до форми та розміру різних нестандартних об'єктів, таких як овочі, фрукти або одяг. Також вони зменшують ризик пошкодження вразливих або дрібних об'єктів, таких як скло, кераміка або електроніка.

					<i>ПК01.210315.000ПЗ</i>	Арк.
						34
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3. РОЗРОБКА М'ЯКОГО ЗАХВАТУ

3.1. Вибір САПР

Для розробки та моделювання майбутнього м'якого захвату, був обраний САПР SolidWorks 2023. Комп'ютерне автоматизоване проектування (САПР) — це технологія, яка використовує комп'ютерні системи для допомоги в створенні, модифікації, аналізі або оптимізації проектів. САПР-системи дозволяють інженерам і дизайнерам створювати детальні тривимірні моделі і креслення, аналізувати механічні властивості конструкцій, а також тестувати і симулювати різні аспекти функціонування виробів до їх виготовлення. Це значно скорочує час розробки і знижує витрати на проектування та виробництво.

SolidWorks — одна з провідних САПР-систем, яка використовується для 3D-моделювання, конструювання і симуляції механічних виробів. Версія SolidWorks 2023 включає численні вдосконалення та нові функції, спрямовані на підвищення продуктивності, точності та зручності використання інтерфейсу (рис. 3.1). Для моїх задач саме ця буде найбільш оптимальною, оскільки SolidWorks завжди відрізнявся зручним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Наприклад, CATIA, також має потужні засоби управління даними, вони часто більш складні і орієнтовані на великі корпорації, що може бути зайвим для менших проектів.

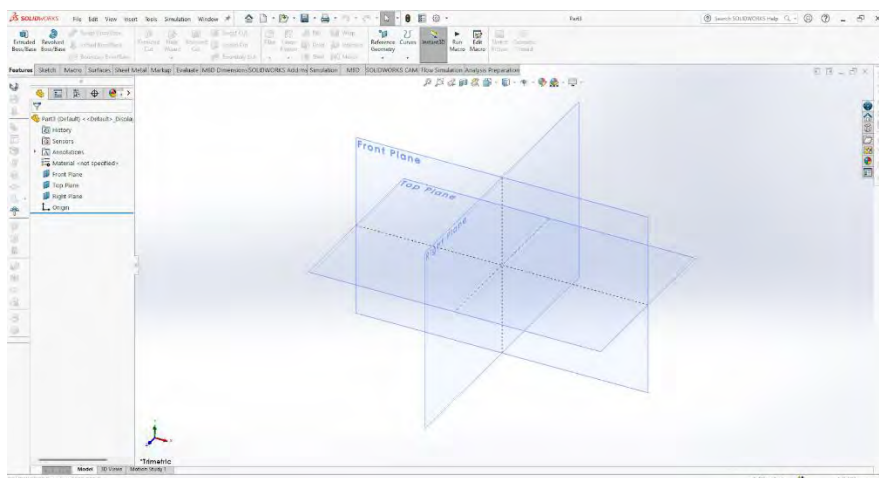


Рисунок 3.1. – Інтерфейс програми SolidWorks

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3.2. Вибір конфігурації захвату

З розглянутих вище прикладів конфігурації м'яких захватів, я зупинилась на технології "Fin Ray". Оскільки захвати де застосовуються це технологія мають широкий діапазон застосування, мають високу вантажопідйомність та адаптивність. Також цей тип захвату можна виготовити з різних матеріалів, зважаючи на потреби виробництва.

Принципі "Fin Ray" був виявлений біологом Лейфом Кнізе під час риболовлі. Цей принцип базується на деформації плавників риб, що забезпечує високу адаптивність і ефективність у різноманітних умовах.

Принцип Fin Ray вже був успішно застосований у кількох відомих розробках, таких як DHDG і FinGripper (рис. 3.2) від компанії Festo.

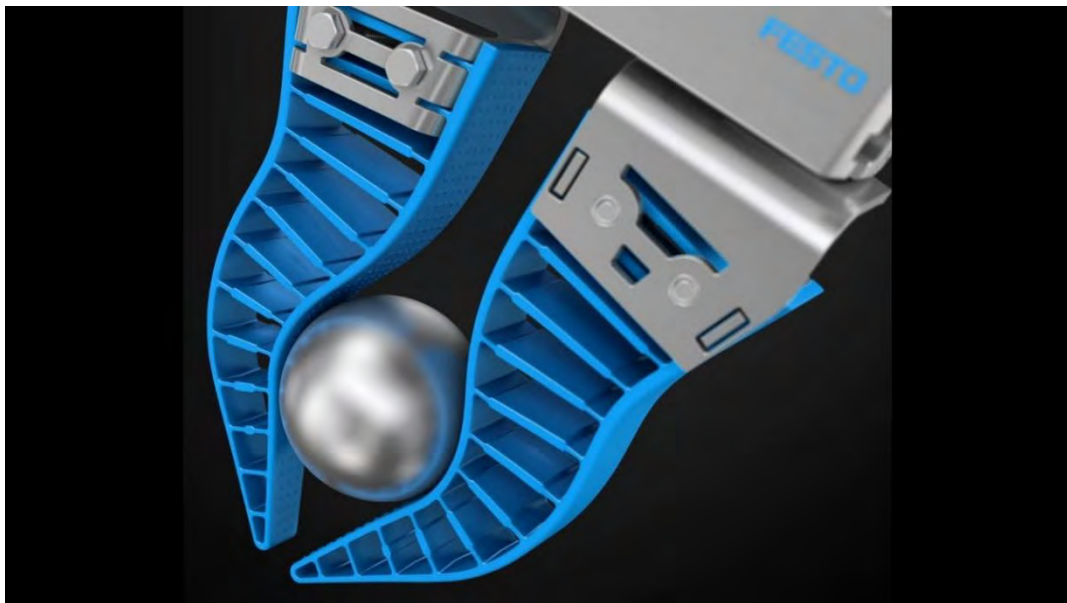


Рисунок 3.2. – Захват від FESTO з застосуванням технології Fin Ray

Ця структура складається з двох основних компонентів, які розташовані у формі літери V, та сполучних ланок між ними.

Основними елементами структури є дві кістки, що забезпечують базову міцність і формоутворення захвату. Вони розташовані у формі V, що дозволяє конструкції адаптуватися до форми об'єкта. Сполучні ланки, які з'єднують

кістки між собою, є гнучкими елементами, що дозволяють структурі деформуватися під час прикладання сили.

Коли до конструкції прикладається сила з одного боку, вона викликає деформацію сполучних ланок, які змінюють форму захвату. Це дозволяє захвату обертатися і обтікати об'єкт, забезпечуючи надійне утримання. При традиційній симетричній формі, силу можна прикладати з двох сторін, що робить захват адаптивним до різних умов і форм об'єктів.

Процес деформації починається з прикладення сили до однієї зі сторін конструкції, що змушує одну з кісток рухатися і викликає натяг сполучних ланок. Сполучні ланки починають деформуватися, змінюючи кут між кістками та адаптуючи форму захвату до контура об'єкта (рис. 3.3). Завдяки такій деформації, захват обтікає об'єкт, забезпечуючи рівномірний тиск по всій контактній поверхні, що дозволяє надійно утримувати об'єкти різної форми і розміру.

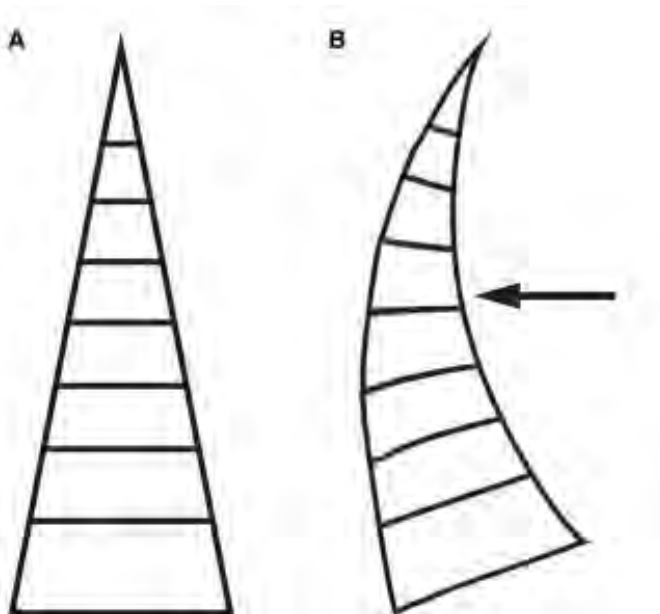


Рисунок 3.3. - Ненавантажена структура А і навантажена В

Основними перевагами деформаційної структури є її адаптивність, м'якість і безпечність. Захват може автоматично адаптуватися до форми об'єкта,

що дозволяє йому надійно утримувати об'єкти нерегулярної форми. Завдяки гнучкості сполучних ланок, захват може забезпечувати м'яке утримання, що зменшує ризик пошкодження делікатних об'єктів. Можливість прикладання сили з двох сторін робить цей тип захвату універсальним для використання в різних умовах і з різними типами об'єктів.

3.3. Вибір матеріалу моделі та спосіб виготовлення

Під час розробки моделі м'якого захвату я керувалася основними вимогами до конструкції, а саме: легкість виготовлення, функціональність та адитивність. Для виготовлення майбутньої моделі було обрано технологію 3D-друку, зокрема метод екструзії матеріалу (FDM).

FDM працює за принципом послідовного нашарування матеріалу. 3D-принтер нагріває термопластичний філамент (нитку пластику) до точки плавлення, після чого екструдер (друкуюча головка) видавлює розплавлений матеріал через сопло, формуючи шари деталей. Гарним прикладом новітнього 3D принтера є BambuLab x1e (рис. 3.4).

Оскільки різні типи виробництва деталей мають різні вимоги до проектування моделі, при розробці захвату будемо враховувати особливості застосування адитивної технології. Зокрема, це включає: допуски між деталями, оптимізацію геометрії, а також деформацію та усадку (наприклад, ABS схильний до усадки більше, ніж PLA, тому необхідно враховувати ці зміни в розмірах моделі.)

Враховуючи ці фактори, ми можемо забезпечити високу якість друку деталей, мінімізувати помилки та зробити процес друку більш ефективним.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 3.4. - 3Д принтер BambuLab x1e

Насправді 3Д друк не є єдиним способом виготовлення даного м'якого захвату. Також під час розробки, розглядався варіант лиття м'якої частини захвату в формі. Лиття має ряд суттєвих переваг над технологією 3Д друку. Наприклад: дуже висока якість поверхні, що дозволяє не проводити післяобробку деталі. Також такий спосіб виробництва ідеально підходить для масового виробництва, проте в нашому випадку, цей фактор не грає ключової ролі. До цього, відсутність слоїв в деталі забезпечує її однорідну текстуру, що призводить до високої точності виробу та позитивно впливає на його механічні властивості.

Проте, є недоліки способу лиття деталі: витрати на підготовку форми та складність виготовлення самої форми. Обмеження щодо форми виробу, через складність витягання об'єкту з форми. 3Д друк дозволяє швидко виготовляти складні та індивідуальні дизайни без необхідності в дорогих формах. Це призводить до того, що можна легко вносити зміни в конструкцію та друкувати нові прототипи, що скорочує час розробки. Крім того, 3Д друк є більш економічно вигідним для невеликих серій або унікальних виробів, що якраз повністю задовольняє наші потреби.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме тому в якості способу виготовлення і твердої і м'якої частини захвату було вибрано саме 3Д друк.

В виборі матеріалу для виготовлення м'якої та твердої частини захвату я керувалась декількома параметрами, а саме: зносостійкість матеріалу, його зовнішній вигляд, робочі температури, жорсткість та доступність. Для м'якої частини також враховувала розтягнення та гнучкість.

Для порівняння створимо таблицю з декількома найрозповсюдженішими матеріалами.

Таблиця 3.1 – Порівняння характеристик матеріалів

Пластик	Механічна міцність (МПа)	Жорсткість по Шору	Максимальна робоча температура (°C)	Шорсткість поверхні (Ra, мкм)	Розтягнення (%)
PLA	60-70	D70-D80	60-65	0.8-1.2	4-10
ABS	40-50	D60-D75	90-100	1.2-1.5	3-50
PETG	50-60	D70-D80	70-80	0.8-1.2	6-25
Nylon	45-85	D70-D90	90-120	1.0-1.4	50-300
TPU (гнучкий)	30-55	A85-D60	80-95	1.5-2.5	300-700
PC	60-70	D75-D85	110-120	0.8-1.2	6-120
ASA	40-50	D60-D75	100-105	1.2-1.5	3-50
PP	25-40	D50-D70	100-110	1.0-1.3	200-600

Отже для м'якої частини захвату був вибраний матеріал TPU A85. Оскільки, це гнучкий і еластичний матеріал, який має унікальні властивості, що роблять його популярним у 3D-друці.

TPU A85 має ряд переваг. По-перше, він надзвичайно гнучкий та еластичний, що дозволяє створювати деталі, які можуть значно розтягуватися перед розривом. Матеріал також відзначається високою міцністю, стійкістю до розривів і зносу, що робить його ідеальним для деталей, що піддаються значним механічним навантаженням. TPU A85 добре протистоїть хімічним речовинам, таким як оливи, мастила та розчинники, що дозволяє використовувати його в агресивних середовищах. Крім того, цей матеріал довго зберігає свої

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

властивості навіть при інтенсивному використанні. Що ідеально підходить під м'який захват, що будуть постійно деформувати.

Однак TPU A85 має і деякі недоліки. Друк з цього матеріалу може бути складним через його гнучкість, що може призводити до проблем з подачею матеріалу. Для друку з TPU часто необхідно використовувати спеціальні екструдери або налаштування. Процес друку може бути повільнішим у порівнянні з твердими пластиками через потребу в точних налаштуваннях для уникнення дефектів друку.

Для трердої частини захвату був вибраний PLA, або полілактоїд, він є популярним матеріалом для 3D-друку завдяки кільком ключовим перевагам. Однією з головних переваг є його легкість друку.

PLA легко обробляється, не вимагає високих температур платформи і менш схильний до усадки, що робить його ідеальним вибором для новачків і простих проєктів. Крім того, PLA є біорозкладним матеріалом, що робить його екологічно чистішим порівняно з іншими пластиками. Це важливий фактор для тих, хто прагне зменшити свій екологічний слід. Під час друку PLA практично не виділяє запаху, що робить роботу з ним більш комфортною, особливо у закритих приміщеннях.

Проте PLA має і свої недоліки. Хоча його механічна міцність знаходиться у діапазоні 40-55 МПа, він менш міцний і стійкий до ударів у порівнянні з ABS. Це обмежує його використання в застосуваннях, де потрібна висока міцність і стійкість до механічних навантажень. Термостійкість PLA також є нижчою, що робить його схильним до деформації при температурах близько 60°C. Це означає, що вироби з PLA можуть деформуватися або втрачати свої властивості при впливі високих температур, що обмежує його використання у деяких середовищах. PLA також більш крихкий порівняно з іншими матеріалами, що може бути недоліком для захватів, які піддаються значним механічним навантаженням.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Опис загальної конструкції

Для майбутньої перевірки працездатності м'якого захвату буде використовуватись робот-маніпулятор від компанії MITSUBISHI ELECTRIC модель RV-4FRLM-D (рис. 3.5). Це доволі компактний і високоточний пристрій, призначений для автоматизації виробничих процесів. Він має шість ступенів свободи (рис. 3.6), що дозволяє виконувати складні рухи і маніпуляції. Також робот оснащений вдосконаленими функціями контролю руху для забезпечення високої швидкості та точності. Завдяки своєму дизайну, RV-4FRLM-D ідеально підходить для використання в обмежених просторах і різних галузях промисловості.



Рисунок 3.5. - Робот-маніпулятор RV-4FRLM-D від Mitsubishi Electric

Робот-маніпулятор RV-4FRLM-D від Mitsubishi Electric має вбудовану пневматичну систему, яка включає 8 пневматичних ліній. Ці лінії дозволяють підключати та керувати пневматичними пристроями, такими як захвати та інші інструменти. Рекомендований робочий тиск для пневматичних ліній такого типу робота в діапазоні від 0.5 до 0.7 МПа, що є еквівалентний 5-7 барам. В нашому випадку ми можемо використовувати 6 бар.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

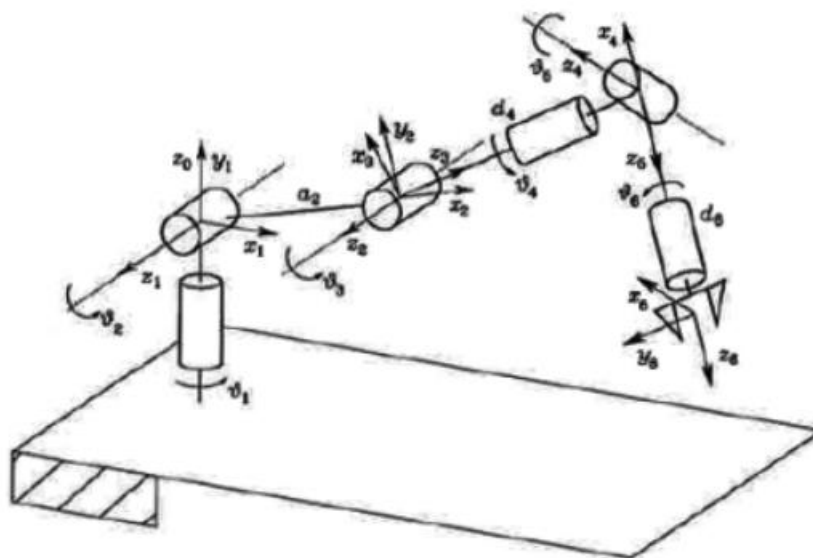


Рисунок 3.6. – Кінематична схема шестиосьового робота RV-4FRLM-D з ланками та ступенями свободи

Трохи опишемо кінематику роботи даного робота, оскільки в подальших діях нам знадобиться знати діапазон роботи робота для задання координат.

Таблиця 3.2 – Вузли робота та ланки

Вузол	Ось	Функція	Діапазон обертання	Ланки
Основа	J1	Обертання навколо вертикальної осі	$\pm 170^\circ$	Основа - Плече
Плече	J2	Обертання навколо горизонтальної осі	$\pm 130^\circ$	Плече - Ліктювий Сустав
Ліктювий Сустав	J3	Обертання навколо горизонтальної осі	$\pm 150^\circ$	Ліктювий Сустав - Зап'ястя
Зап'ястя	J4	Обертання навколо осі, паралельної плечу	$\pm 190^\circ$	Передпліччя - Зап'ястя
Обертання Зап'ястя	J5	Обертання навколо осі, перпендикулярної до J4	$\pm 120^\circ$	Зап'ястя - Інструмент
Обертання Інструмента	J6	Обертання кінцевого ефектора	$\pm 360^\circ$	Інструмент

Оскільки до роботи потрібно підключити джерело стисненого повітря, яке забезпечуватиме необхідний робочий тиск. На його роль було вибрано компресор SIGMA двоциліндровий безмасляний з прямим приводом (рис. 3.7). Він має споживну потужність в 1.5 Вт, 30л - об'єм ресивера. А також робочий тиск до 8 бар, що повністю підходить під нашу задачу.



Рисунок 3.7 - Компресор SIGMA двоциліндровий безмасляний

Для з'єднання пневматики, трубок та шлангів, та їх безпосереднього підключення до м'якого захвату будемо використовувати фітинги від компанії FESTO. Оскільки ці фітинги вважаються доволі надійними та недорогими. Для нашої задачі було обрано фітинг KQ-G1/8-6 (рис. 3.8), що є кутовим фітингом для з'єднання трубок діаметром 6 мм з різьбою 1/8 дюйма.



Рисунок 3.8 - Фітинг KQ-G1/8-6

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3.5. Побудова моделі

При розробці даної моделі (рис. 3.9) я намагалася зберегти основні правила побудови в системі комп'ютерного проектування, зокрема, з використанням програмного забезпечення SolidWorks. У процесі роботи відводилась особлива увага створеного структурованого та логічного деревного побудови, що відображало ієрархію деталей та їх взаємозв'язки у збірці.

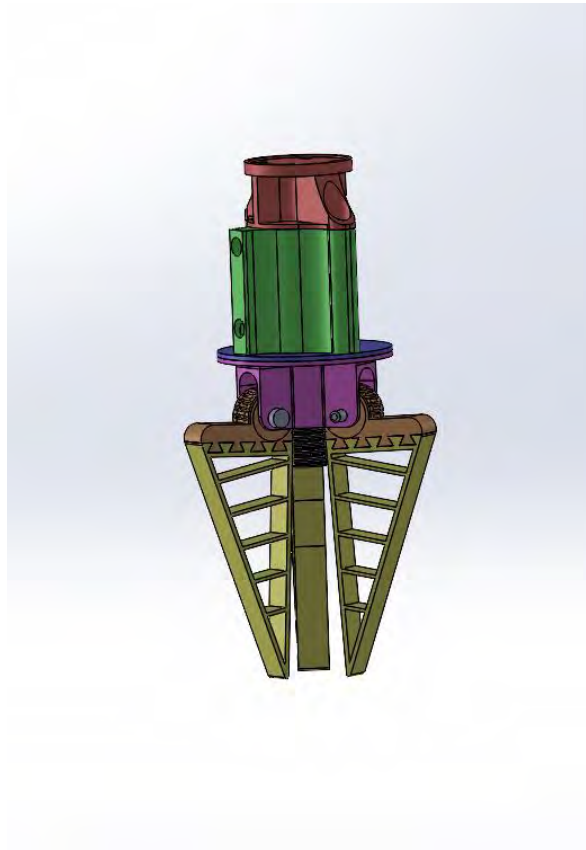


Рисунок 3.9. - загальний вигляд моделі м'якого захвату

З метою полегшення сприйняття та зменшення можливих помилок важливо було надати чіткі та інформативні назви деталей та підбіркам. Використання функціоналу SolidWorks дозволило ефективно керувати деревом побудови, використовуючи такі інструменти, як складання, приховання та фіксація. Додатково, використовувала функції для полегшення побудови деталей червячної пари.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом збірка складається з дванадцяти побудованих деталей (рис. 3.10), кожна з яких виконує важливу функцію в роботі пристрою. Перша деталь - основа хвату - є центральним елементом конструкції. Це тіло, до якого кріпляться рухомі “пальці” нашого захвату. Вона забезпечує стійкість і надійність конструкції (на моделі з фіолетовим кольором).

Наступна деталь - кріплення низу - виконує подвійну функцію. По-перше, ця частина з'єднується між собою та циліндром, забезпечуючи цілісність і стабільність конструкції. По-друге, вона послуговується упором для поршні, що є ключовим для забезпечення точного руху (на моделі позначений синім кольором).

Третя деталь - черв'як - є серцем трансмісійної системи даної моделі. Вона передає крутильний момент від поршні до червоних коліс. Завдяки цьому механізму, захват може ефективно захоплювати предмети різної форми та розміру (на моделі позначений чорним кольором).

Четверта деталь - поршень - є рухомою частиною конструкції. Завдяки тиску, який створюється компресором, поршень переміщується вгору та вниз, забезпечуючи необхідний рух для виконання захвату (на моделі позначений сірим кольором).

П'ята деталь - циліндр - складається з двох камер, розділених поршнем. В цих камерах по черзі утворюється надлишковий тиск, що і змушує поршень рухатися. Це дозволяє моделі зберегти складні та точні рухи (на моделі позначений зеленим кольором).

Шоста деталь - кріплення до робота - забезпечення надійного з'єднання захвату з роботом. Це критично важливо для стабільної та точної роботи в усій системі, після чого без надійного кріплення рухи були б неточними і нестабільними (на моделі позначений червоним кольором).

Сьома деталь - захват - складається з двох частин, виготовлених з різних матеріалів. Тверда частина (позначена оранжевим кольором) забезпечує міцність і стійкість, тоді як м'яка частина (позначена жовтим кольором) дозволяє захоплюватися адаптуватися до форми предмета, що захоплюється.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захват приводиться в рух за допомогою черв'ячної передачі, що забезпечує плавність і точність рухів.

Об'єднані частини з'єднані між собою за допомогою технології ластівчиного хвоста, що забезпечує додаткову міцність та стабільність конструкції. З'єднання ластівчин хвіст - це тип з'єднання, який використовується для об'єднання двох деталей, за допомогою вирізів, які виглядають як складений Ластівчин хвіст. Цей метод з'єднання відомий своєю міцністю та естетичним виглядом. Він часто використовується в меблевому виробництві та столярному ремеслі для створення надійних з'єднань між деталями.

Оскільки наш захват має три "пальці", ці деталі повторюються тричі.

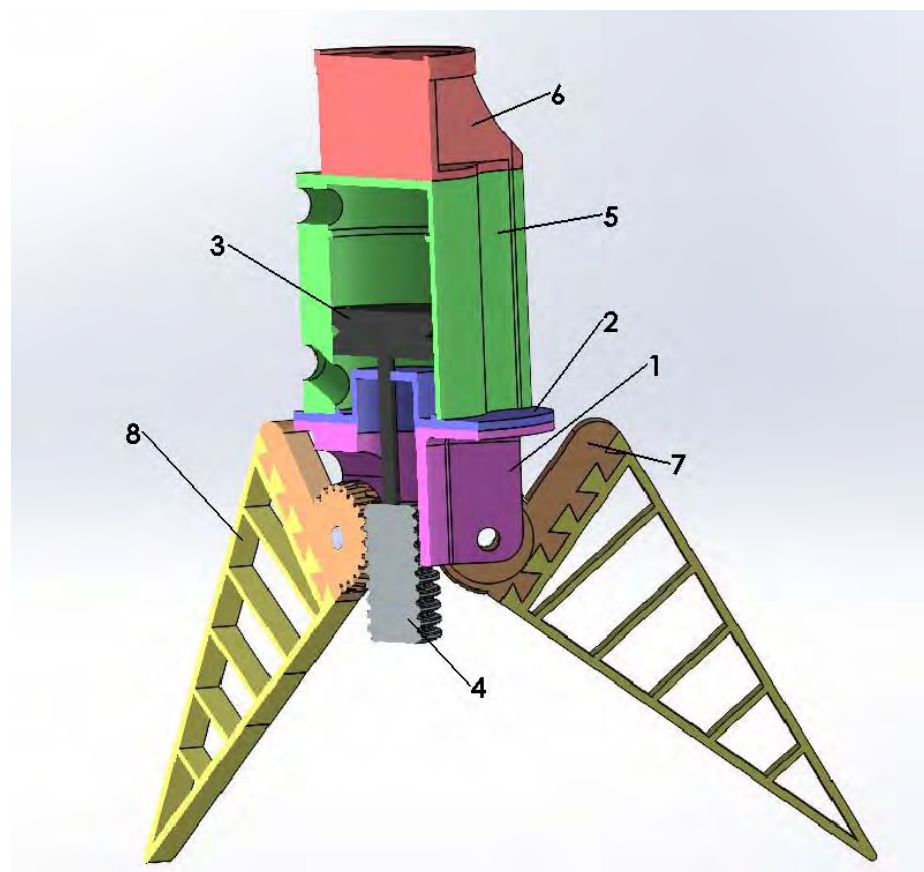


Рисунок 3.10 - Вид в розрізі моделі м'якого захвату. 1 - основа хвату; 2 - кріплення низу; 3 – поршень; 4 – черв'як; 5 – циліндр; 6 - кріплення до робота; 7 – тверда частина захвату; 8 – м'яка частина захвату.

3.6. Розрахунок трансмісії

Оскільки основним вузлом руху є три поєднані рейкові передачі, розглянемо її трохи детальніше (рис. 3.11).

Рейкова передача є видом механічної передачі, що складається з зубчастої рейки та шестерні (зубчастого колеса). Зубчаста рейка являє собою лінійний зубчастий елемент, який взаємодіє із шестернею, круговим зубчастим колесом. Під час обертання шестерні рейка переміщується лінійно, або, навпаки, лінійний рух рейки призводить до обертання шестерні. Така система забезпечує перетворення обертального руху в лінійний і навпаки, що є корисним у багатьох промислових та інженерних застосуваннях.

В нашому випадку використовувались три рейкові передачі, що конструктивно об'єднані разом. Проте така конструкція може мати свої недоліки та переваги.

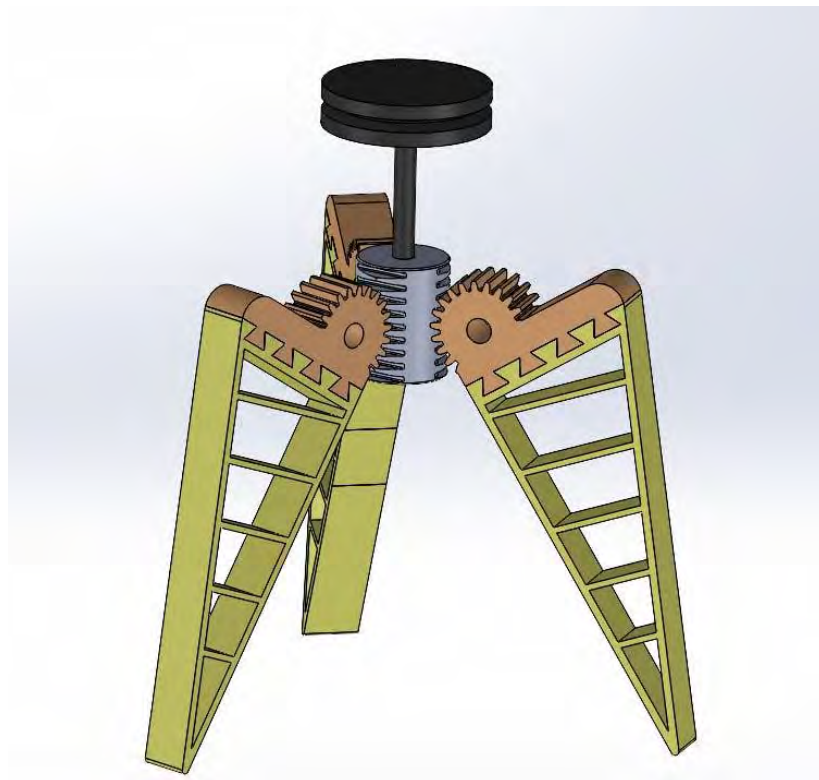


Рисунок 3.11 – Моделювання руху захвату

З плюсів я б відділила ефективність конструкції та її компактність, проте на жаль, можливе перевантаження тіла з рейками. Оскільки одному тілу може бути важко передавати достатньо обертального моменту для трьох коліс, що може призвести до перевантаження та зносу механізму. А також через можливий перекося осей на яких кріпляться колеса можливе нерівномірний розподіл навантаження та збільшення зносу механізму.

Проте можливість синхронізувати рух всіх трьох «пальців» захвату за допомогою одного тіла та простота конструкції і нашому випадку є більш виграшним рішенням.

Розрахунок передачі включає в себе декілька важливих параметрів, таких як кількість зубців коліс, їхні розміри, модуль, а також шлях, що буде проходити рейка.

1) Тому розпочнемо розрахунок черв'ячної передачі з Розрахуємо діаметр ділильної окружності шестерні:

$$D2 = Mx * Nc = 1 * 22 = 22 \text{ (3.1) де,}$$

$D2$ - діаметр ділильної окружності шестерні

Mx – модуль

Nc – кількість зубців, 22

Отже, діаметр ділильної окружності шестерні дорівнює 22мм.

2) Розрахуємо переміщення рейки, яке здійснюється за один повний оберт шестерні.

$$L = D2 * \pi = 22 * \pi = 69.12 \text{ мм (3.2)}$$

3) Оскільки рух поршня (S) дорівнює 18 мм. То ми можемо розрахувати кут повороту на який повернеться колесо.

Розрахуємо крок різьби (P) за формулою (3.3)

$$P = Mx * \pi \text{ (3.3)}$$

Оскільки $Mx = 1$, то:

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = 1 * 3,14 = 3,14 \quad (3.4)$$

Обчислимо за відношенням кут на який повернеться колесо за переміщення рейки на 18 мм:

$$X = \frac{S*360}{L} = \frac{18*360}{69} = 93,91 \quad (3.5), \text{ де:}$$

X – кут повороту.

Тобто з розрахунків можна сказати, що робочий діапазон нашого захвату дорівнює 93,91 градус.

4) Розрахуємо крутний момент на вході:

$$M_{вх} = F * L \quad (3.7), \text{ де}$$

F - це сила прикладаємо для переміщення рейки;

M_{вх}- крутний момент на вході.

Для розрахунку сила скористаємось формулою (3.8)

$$F = p * S = p * \pi * r^2 = 6 * 10^5 * \pi * 0,02^2 = 753,96\text{Н} \quad (3.8)$$

Отже крутний момент на вході дорівнює 13,57

Також наведемо кінематичну схему захвату (рис. 3.12):

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

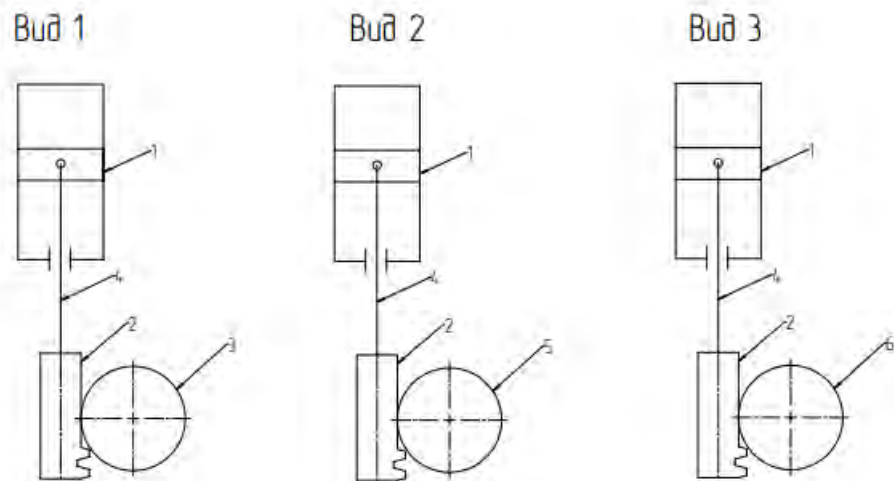


Рисунок 3.12 – Кінематична схема в трьох видах, між видами кут в 120 градусів. 1 – поршень; 2 – рейка; 3,5,6 – шестерні; 4 – вал

3.7. Симуляція навантаження в соліді

Маючи розроблену модель тіла в соліді ми можемо проаналізувати його та зробити симуляцію різних навантажень на м'яку частину захвату.

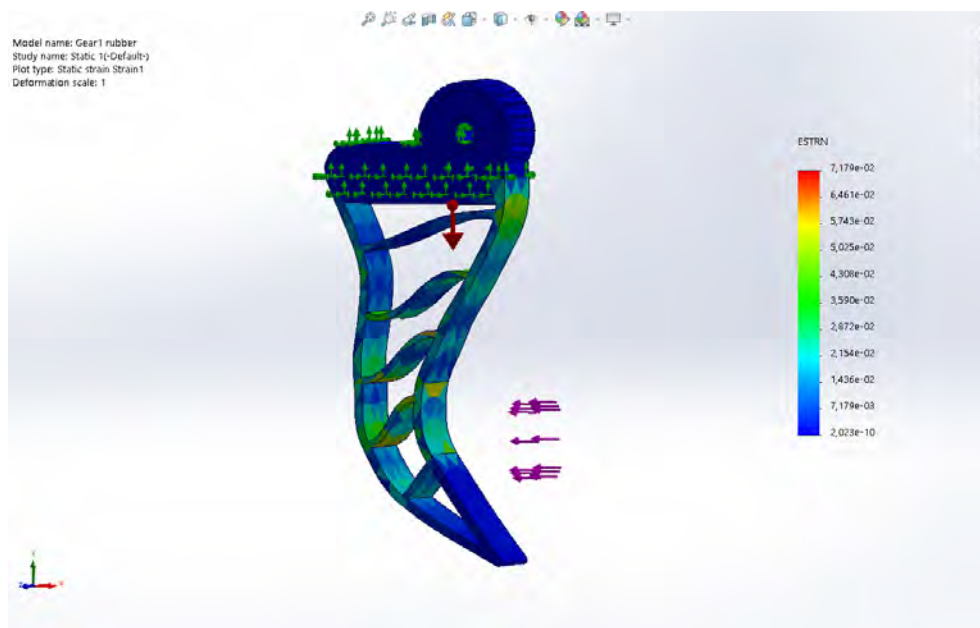


Рисунок 3.13 – Результати статичного аналізу напруг та деформацій в SolidWorks Simulation

Продивимось результати симуляції в якій на м'яке тіло прикладається зусилля в 5Н, приблизно в тому секторі де буде відбуватись прилягання об'єкта захоплення. Отже за допомогою статичного аналізу у SolidWorks Simulation проведемо визначення напруг і деформацій, перевірку на міцність та стійкість до руйнування та проведемо оцінку зміщень і деформацій окремих елементів.

Отже аналізуючи дані (рис. 3.13) можна сказати, що максимальна відносна деформація в конструкції складає 0,07179, або 7,179%. Оскільки для виготовлення цієї деталі ми використовуємо пластик TPU в якого допустимі деформації для даного матеріалу можуть доходити до 700%, значення отримане в аналізі нас повністю задовольняє та не вказує на проблеми.

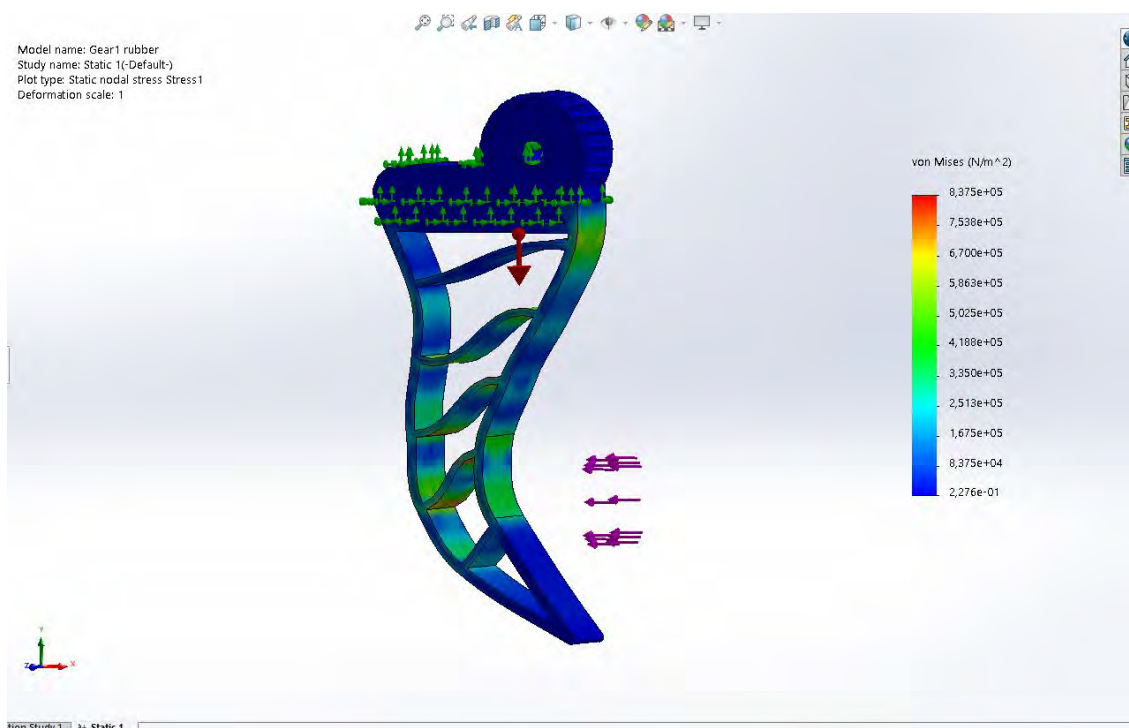


Рисунок 3.14 – Результати статичного вузлового напруження в SolidWorks Simulation

Ознайомимось з даними, що отримали з аналізу статичного вузлового напруження (рис. 3.14). Максимальне значення напруження $8,375e+05 \text{ N/m}^2$ (або 837,5 кПа) можна порівняти з допустимими напруженнями матеріалу, яке в нашому випадку може доходити до 55 МПа. Отже результати в нормі.

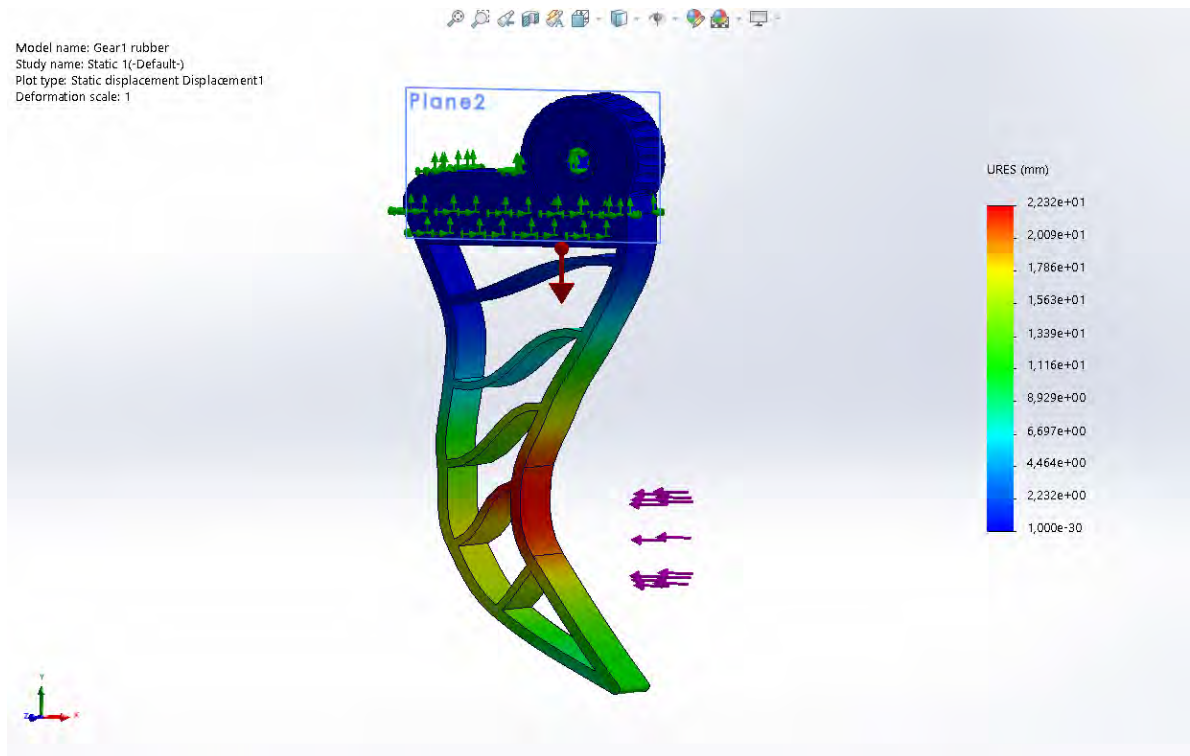


Рисунок 3.15 – Результати статичного зміщення (static displacement) в SolidWorks Simulation

За результатами аналізу (рис. 3.15) можемо відзначити що максимальне зміщення 2,232мм, що повністю задовольняє наші потреби.

3.8. Опис програми робота та коду

Для перевірки на працездатність м'якого захвату був використаний робот-маніпулятор RV-4FRLM-D. Для його програмування застосовувалась програма RT TOOLBOX3.

RT ToolBox3 (рис. 3.17) - це софт розроблений компанією MITSUBISHI ELECTRIC та є програмним забезпеченням для робототехніки. Він дозволяє створювати, редагувати та оптимізувати програми для роботів, проводити їх симуляцію та налагодження, а також контролювати їх стан та виявляти помилки. Основні функції включають можливість створення та редагування програм, перевірку робочого середовища перед встановленням робота, симуляцію роботизованих операцій на комп'ютері, оцінку часу циклу,

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

налагодження при запуску роботів, а також моніторинг їх стану та виявлення помилок.

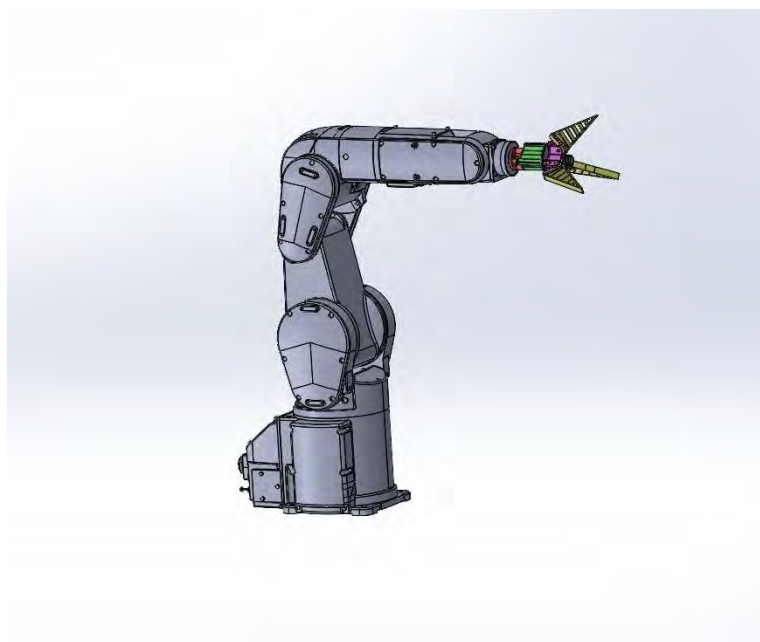


Рисунок 3.16 - робот-маніпулятор RV-4FRLM-D з змодельованим м'яким захватом

RT ToolBox3 також підтримує зв'язок з 3D CAD через SolidWorks і має інтерфейс, сумісний з Windows (рис. 3.16). Також він включає версію RT ToolBox 3 Pro, що дозволяє проводити симуляції роботів на 3D CAD-програмному забезпеченні.

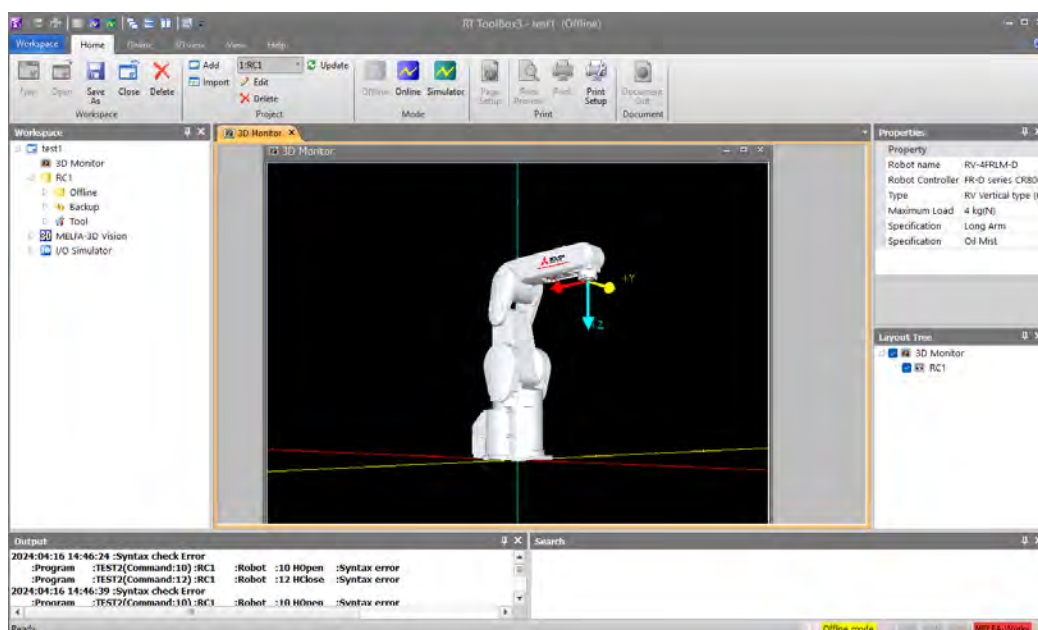


Рисунок 3.17 - Інтерфейс програми RT TOOLBOX3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Програмування в RT ToolBox3 використовує мови програмування MELFA-BASIC IV, V та VI, що є стандартними для всіх роботів Mitsubishi Electric. Вони дозволяють швидко створювати програми всього за кілька хвилин, що робить їх зручними в використанні. Ці мови розроблені на основі стандартної мови стандартної мови BASIC. Вони були розширені та розвинені для керування роботами, включаючи додаткові команди, паралельну обробку та структурування, які були важкими для реалізації в BASIC.

3.9. Алгоритм роботи програми робота-маніпулятора з м'яким захватом

Створимо блок-схему алгоритму роботи робота-маніпулятора з м'яким захватом задля більшої наглядності симуляції роботи коду (Рисунок 3.20).

Отже, розбираючи дану блок схему можна віділити декілька основних блоків. Перший це запуск серводвигунів та ініціалізація. Встановлення значення перекреття, в нашому випадку то 100%, це коефіцієнт який буде впливати на швидкість роботи робота весь блок коду. Spd 100, також функція що відповідає за швидкість та встановлює максимальну швидкість руху робота.

Accel 70, 70 – команда, що встановлює значення прискорення руху робота в двох осях, а саме в X та Y.

Також для підвищення точності робота застосували команду Pres, що відповідає за увімкнення та вимкнення прецизійного режиму. В цьому режимі робот менш енергоєфективний, проте швидше реагує на перешкоди та є більш точним.

Після цього зберігаємо поточне положення робота в просторі та визначаємо його як безпечне

Також варто відмітити, що координати положень робота, такі як : PPrePick1, PPick1, PPrePlace1, PPlace1 задаються в окремому вікні програми (рис. 3.18)

Name	X	Y	Z	A	B	C	L1	L2	FLG1	FLG2
PPick1	578.000	-45.000	100.000	176.000	0.000	90.000	X	X	7...	0...
PPlace1	-385.000	-138.000	300	171.000	0.000	-62.000	X	X	7...	0...
PPrePick1	578.000	-45.000	500.000	176.000	0.000	90.000	X	X	7...	0...
PPrePlace1	-385.000	-138.000	707.000	171.000	0.000	-62.000	X	X	7...	0...
P_Fbc	332.240	-42.910	250.000	-180.000	-0.000	172.640	X	X	7...	0...

Рисунок 3.18 – Вікно програми для вводу координат позицій робота

PPrePick1 – це позиція до якої має прибути робот перед позицією захвату, зазвичай ця позиція вибирається просто на декілька одиниць вище від позиції захвату

PPick1 – позиція захвату в якій здійснюється захват об’єкту

PPrePlace1 – позиція до якої йде робот після захвату елемента, зазвичай ця позиція знаходиться вище від позиції скиду

PPlace1 – позиція місця переміщення, куди треба було доставити об’єкт

Всі переміщення здійснюються за допомогою команд Mov або Mvs. Відрізняються вони тим, що Mov задає переміщення від точки до точки таким чином, щоб як найменше нагружати серво робота. В той час як Mvs здійснює переміщення строго по прямій навіть в випадку великої напруги в вузлах, цю команду зазвичай використовують для точного позиціонування об’єкту.

Між командами переміщення зазвичай вставляють команди затримки Dly, які допомагають стабілізувати робот та більш наглядно бачити точки основних положень.

Команди HClose та HOpen відповідають за закриття або відкриття захоплювачів в системі, в нашому випадку це подання тиску в різні камери захвату.

Команда Hlt є завершальною та примусово вимикає серво та закінчує виконання програми. В разі якщо не ставити цю команду, код буде відтворюватись циклічно.

Також можемо обчислити час одного такту виконання та проконтролювати навантаженість вузлів (рис. 3.19).

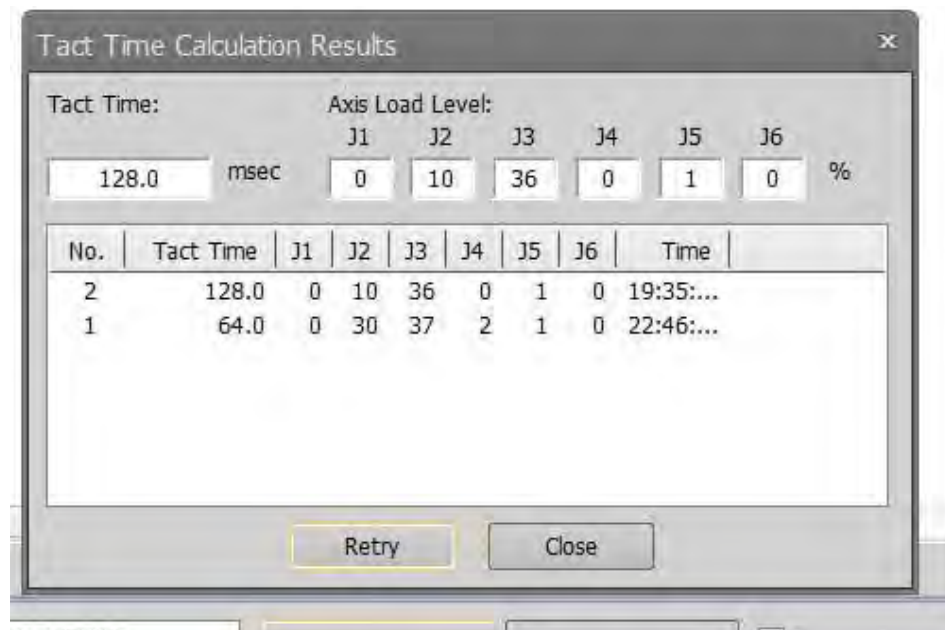


Рисунок 3.19 – Розрахунок частоти такту та напруги на вузлах, актуальною є строка під номером 2

При контролі напруги на вузлах головне контролювати, щоб відсоток навантаження не сягав більше ніж 80%.



Рисунок 3.19 – Блок-схема роботи маніпулятора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки до розділу

В цьому розділі розглядався безпосередній процес створення конструкції м'якого захвату. Було розглянуто та вибрано САПР для побудови 3Д моделі. А також визначена конструкція та спосіб виготовлення. Для розв'язання задачі створення м'якого захвату для роботу-маніпулятора було вибрано створити захват з трьома «пальцями», форма яких буде базуватись на технології «Fin Ray». Тобто м'який захват буде складатись з твердої та м'якої частини. Рух буде можливий завдяки пневматичній системі та конструкції з поршнем та камерами для подачі повітря. Також був проведений аналіз на деормацію та напругу в SolidWorks Simulation, що дало нам змогу переконатись в надійності захвату

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі було проаналізовано декілька типів роботів-маніпуляторів та м'яких захватів, що вже існують в наш час. А також були визначені переваги та недоліки м'яких захватів відносно традиційних захватів.

На основі проведеного аналізу було розроблено власний м'який захват, який використовує принцип пасивної деформації статичних структур, заснований на технології "Fin Ray". Ця технологія, натхненна природними структурами, дозволяє створити захват, який може гнучко адаптуватися до форми об'єктів, що захоплюються, при цьому забезпечуючи надійність та міцність.

Для реалізації цього проєкту було вибрано відповідний метод виготовлення, проведено детальне моделювання захвату в програмному забезпеченні SolidWorks, а також підібрано відповідні матеріали для його виготовлення. При виборі матеріалів особлива увага приділялася їх гнучкості, міцності та довговічності, щоб забезпечити ефективність та надійність роботи захвату.

Після завершення етапу моделювання захвату було проведено аналіз середовища програмування робота RV-4FRLM-D за допомогою програмного забезпечення RT TOOLBOX3. Це програмне забезпечення дозволило створити та налаштувати програму для тестування захвату, яка забезпечує ефективну інтеграцію розробленого захвату з роботом-маніпулятором. Програма дозволяє детально контролювати рухи робота та захвату, забезпечуючи точність і повторюваність операцій.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dhruva Jyoti Sut & Prabhu Sethuramalingam, «Soft Manipulator for Soft Robotic Applications: a Review», Department of Mechanical Engineering, SRM Institute of Science and Technology, KTR campus, Kattankulathur, 603 203, Chennai, India
2. Jun Shintake, Vito Cacucciolo, Dario Floreano, and Herbert Shea, «Soft Robotic Grippers», École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
3. Mitsubishi Industrial RobotRV-6S Series / Standard Specifications Manual(CR3-535M/CR2B-574 Controller)
4. DATASHEET SG BASE PART AND SG SILICONE TOOLS / SOFT GRIPPER - FLEXIBLE FOOD-GRADE ROBOT GRIPPER
5. Assembly and Operating Manual EGS Electric 2-finger parallel swivel unit / Translation of Original Operating Manual
6. Wang MY, et al. Topology optimized design, fabrication, and characterization of a soft cable-driven gripper. IEEE Robot Autom Lett. 2018;3:2463–70.
7. Silvia Terrile, Miguel Argüelles and Antonio Barrientos Comparison of Different Technologies for Soft Robotics Grippers 2021, с. 21
8. Долиненко В.В. Роботизована система неруйнівного вихрострумовеого контролю виробів зі складною геометрією / В.В. Долиненко, Є.В. Шаповалов, Т.Г. Скуба, В.О. Коляда, Ю.В. Куц, Р.М. Галаган, В.В. Карпінський // Автоматическая сварка. – Київ. – 2017. - № 5-6 (764). – С. 60-67
9. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
10. Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.
11. Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.

					ПК01.210315.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61