

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

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«___» грудня 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи інженерного
дизайну»**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Переналагоджуваний маніпулятор мобільної платформи»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи МІ-01мп

Устимчук Давид Олександрович _____

Науковий керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Красновид Дмитро Олександрович _____

Рецензент: _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

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

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи інженерного дизайну»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Устимчуку Давиду Олександровичу

1. Тема дисертації «Переналагоджуваний маніпулятор мобільної платформи», науковий керівник дисертації Красновид Дмитро Олександрович, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження Конструкція маніпуляторів.
4. Вихідні дані Регламент міжнародного конкурсу European Rover Challenge: робоча зона, вантажопідйомність, тип приводу, завдання робочих органів – буріння та захоплювання об'єктів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити На основі існуючих рішень конструкцій маніпуляторів створити нове концептуальне рішення маніпулятору; створити кінематичну схему маніпулятора; спроектувати механізм для автоматичної зміни робочих органів маніпулятора; провести аналіз та оптимізацію ланок маніпулятора.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація по роботі, запрошення до участі в ERC: мета роботи та задачі; вибір типу маніпулятора; аналіз конструкцій; кінематична схема маніпулятора; механізм зміни робочого органу; перевірка ланок на навантаження; оптимізація ланок.

7. Орієнтовний перелік публікацій: доповідь в норвезькому університеті природничих та технічних наук NTNU в місті Йовік.

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Сучасний стан та шляхи вдосконалення маніпуляторів	1.1.2021	
2	Проектування конструкції маніпулятора для мобільної платформи	1.4.2021	
3	Технологія виготовлення ланок	1.7.2021	
4	Оптимізація форми елементів конструкції	1.11.2021	
5	Підготовка презентації та оформлення роботи	10.12.2021	

Студент _____ Давид УСТИМЧУК

Науковий керівник _____ Дмитро КРАСНОВИД

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АННОТАЦІЯ

Устимчук Д.О. Переналагоджуваний маніпулятор мобільної платформи

Дисертація на здобуття професійного ступеня магістра за спеціальністю 131 - Прикладна механіка (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ 2021.

Відповідно до регламенту European Rover Challenge, було створено конструкцію маніпулятора з автоматичною зміною робочого органу для мобільної платформи, ровера.

В процесі роботи було проаналізовано існуючі конструкції маніпуляторів та механізми зміни виконавчих органів, проаналізовано технології виробництва, які можуть бути використані для виготовлення елементів конструкції, розроблено конструкцію та проведений ряд заходів по аналізу міцності та оптимізації форми.

Ключові слова: інженерний дизайн, проєктування, маніпулятор, зміна робочих органів, адитивні технології, робот, мобільна платформа, ровер.

ANNOTATION

Ustymchuk D. Reconfigurable mobile platform manipulator

The dissertation for obtaining a master's degree in specialty 131 – Applied Mechanics (engineering design). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kiev, 2021.

In accordance with the regulations of the European Rover Challenge, the design of the manipulator with automatic change of the working body for the mobile platform was created.

In the process of work the existing designs of manipulators and mechanisms of change of executive bodies were analyzed, production technologies which can be used for manufacturing of design elements were analyzed, the design and analysis of strength and shape optimization were developed.

Keywords: engineering design, design, manipulator, change of working bodies, additive technologies, robot, mobile platform, rover.

РЕФЕРАТ

Дисертація на тему «Переналагоджуваний маніпулятор мобільної платформи», містить 81 сторінку пояснювальної записки, рисунків – 61, таблиць – 2, використаних джерел – 29, ілюстрації, що включають 12 слайдів презентації графічної частини.

Актуальність роботи. Після кількадечного землетрусу в Японії у березні 2011 року було зроблено об'явлення в італійському інституті геофізики про те, що земна вісь перемістилась на десять сантиметрів. За останні сім років таке явище відбулося вже втретє. В Індії у 2004 році на шість сантиметрів та Південній Америці у 2010 році на 8. Це та багато інших факторів спричиняють зміни в кліматі, тривалості доби та біоритмі не лише людей але і тварин. Більшість вчених впевнені, що вимирання всього живого неминуче і відбудеться через удар із космосу. Тому багато вчених разом з різними компаніями та підприємцями працюють над проєктами по колонізації інших планет, заохочуючи також і студентів приймати участь у розробці різних пристроїв для подальшої відправки у Космос. Найбільш придатною та досяжною для людини є сусідня планета Марс.

Робота присвячена створенню маніпулятора зі змінним робочим органом, з одного боку – захватом, а з іншого – буром для видобутку проб ґрунту, який буде встановлено на марсохід (мобільну платформу високої прохідності) для дослідження поверхні Червоної планети. Тому робота по створенню конструкції маніпулятора, так само, як і дослідження Марсу є актуальною науковою проблемою та є надзвичайно важливою.

Метою роботи є створення конструкції маніпулятора, який відповідає поставленим вимогам та має можливість автоматичної зміни виконавчого органу: або захвату, або бура.

Для досягнення поставленої мети в процесі дослідження потрібно вирішити наступні **задачі**:

- проаналізувати існуючі конструкції маніпуляторів;

- створити кінематичну схему;
- спроектувати конструкцію маніпулятора;
- розробити механізм зміни робочого органу;
- перевірити ланки на статичне навантаження;
- оптимізацію форм ланок.

Об'єкт досліджень – конструкція маніпуляторів.

Предмет досліджень – кінематика маніпуляторів, механізми зміни РО.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Вперше спроектовано конструкцію маніпулятора для мобільної платформи-ровера.
- Спроектовано механізм зміни виконавчих органів.

Ключові слова: інженерний дизайн, проектування, маніпулятор, зміна робочих органів, адитивні технології, робот, мобільна платформа, ровер.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МАНІПУЛЯТОРІВ	9
1.1 Історія розвитку промислових маніпуляторів	9
1.1.1 Створення перших промислових роботів	9
1.1.2 Розвиток промислових маніпуляторів	11
1.2 Загальні поняття та характеристики маніпуляторів	17
1.2.1 Основні визначення	17
1.2.2 Технічні характеристики маніпуляторів	18
1.3 Типи та структура маніпуляторів	24
1.3.1 Типи промислових маніпуляторів	24
1.3.2 Структура промислових маніпуляторів	27
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ	30
2.1 Розгляд існуючих аналогів	30
2.2 Кінематика руху маніпулятора	36
2.3 Конструювання перехідної ланки та механізму зміни РО	42
2.4 Матеріали та приводи промислових роботів	55
2.5 Аналіз силового навантаження	68
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАНОК	74
3.1 Вибір заготовки	74
3.2 Вибір технології виготовлення	76
3.3 Тривимірний друк	78
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ	82
4.1 Оптимізація форми основи	82
4.2 Оптимізація форми ланок	85
4.3 Фінальна конструкція маніпулятора	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПР	—	промисловий робот;
РЗ	—	робоча зона;
СК	—	система координат;
РО	—	робочий орган;
ЗП	—	захоплювальний пристрій;
КС	—	керувальна система;
КП	—	кінематична пара;
КЛ	—	кінематичний ланцюг;
ОФ	—	оптимізація форми.

ВСТУП

Двадцять перше сторіччя повне наукових відкриттів. Заглядаючи в недалеке минуле і порівнюючи розвиток технологій, можна сміливо сказати, що людство надзвичайно швидко рухається вперед. Промислова революція стала на початку стрімкого росту нових методів виконання різноманітних завдань та операцій. Неможливо переоцінити значення промислового перевороту, він був сукупністю економічних, соціальних та політичних змін, відмічало перетворення машин в основний засіб виробництва, що привело до нового матеріального рівня життя суспільства.

Сучасний рівень розвитку виробництва дозволяє не лише механізувати певні операції, нове обладнання та програмне забезпечення дає змогу оптимізації всього процесу виробництва.

Автоматизація виробництва стала можливою з появою програмованих роботів, які здатні виконувати складні та високоточні операції не тільки транспортування, а й більшості процесів механічної обробки.

За роки розвитку стан екології значно погіршився, вміст шкідливих речовин в повітрі постійно росте. Одночасно росте кількість важкохворих та збільшується смертність.

Для зниження цих факторів виробництво має бути орієнтованим на збільшення строку використання окремих елементів, а також зменшення виготовлення та використання пластику, дотримуючись концепту циркуляційного виробництва.

Тому важливим питанням є створення та вдосконалення роботизованих машин, які будуть оптимізовувати процес виробництва, а також матимуть змінні модулі, які після заміни будуть відправлені на переробку.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МАНІПУЛЯТОРІВ

1.1 Історія розвитку промислових маніпуляторів

1.1.1 Створення перших промислових роботів

На початку розділу по історії промислових роботів потрібно віддати належне науковій фантастиці, з якої, власне, все і почалося. Навіть слова «робот» та «робототехніка» були придумані письменниками-фантастами. В 1922 році Карел Чапек подарував світу робота в своїй п'єсі «R.U.R.», а на початку 1940-х років Айзек Азімов придумав слово «робототехніка» для пояснення тієї галузі, якою ми зараз займаємося.

Ці два фантасти в своїх поглядах розходяться, оскільки Чапек вважав, що роботи з часом захоплять людство. Айзек вважав навпаки, що роботи приносить лише користь і не вийдуть з-під влади людини.

Залишимо фантастику. Відлік часу в історії промислових роботів можна сміливо ввести від 1956 року. В цьому році Девол втілював свої думки про виробничу діяльність підприємства та знання сучасних (на той час) технологічних прийомів в інженерну концепцію робота. Патентна заявка на програмований маніпулятор було зроблена в 1954р, а отримав він її у 1961 році. Цей і наступні патенти лягли в основу конструкції першого промислового робота.

В тому ж 1956 році Девол знайомиться з Енгельбергом почалась їх співпраця, яка з часом переросла в створення фірми «UNIMATION», разом вони почали аналізувати потенційний ринок збути промислових роботів, в 1956 році були проаналізовані понад 30 різних підприємств.

Такий детальний аналіз дав змогу Unimation легко визначати які промислові операції потребують простих, але незручних і небажаних для людини дій, що одразу ставало поштовхом для проектування. На початку 1959 року з'явився

працюючий робот — «Юнімейт», який був спроможний замінити офіціанта на створенні чергового коктейлю.

До 1961 року робота по створенню експериментальних роботів дозволила зробити наступний крок — створити промислового робота, який експлуатувався у виробничих умовах на ливарній ділянці заводів фірми «Дженерал Моторс».

На той час були опубліковані дослідження ВВС, які хотіли визначити умови для успішного впровадження будь-якого новизни. Отже було виділено три умови:

- має бути дозрілою потреба;
- мають існувати необхідні технологічні прийоми та спеціалісти;
- має бути достатня фінансова підтримка.

В роки другої світової війни виникли три нових технології, які надали рішучий вплив на успіх робототехніки. По-перше, була створена теорія сервокерування. По-друге, почався розквіт Електронних Обчислювальних Машин (ЕОМ). По-третє, успіхи фізики твердого тіла зробили це економічно доцільним.

В 1961 році був введений в експлуатацію перший промисловий робот. З того часу компанія почала отримувати реальний грошовий прибуток. Перший робот став широко відомим і спричинило багаточисленні спроби конкурентів створити подібний. Проте ті, хто платили гроші були незадоволені повільним прогресом. Зараз цей робот знаходиться в Смітсонівському інституті (рис. 1.1).

Більшість з його аналогів працювали ще в 1989-х роках, маючи понад 100 000 робочих годин. Чому ж довівши свою користь та життєздатність, шлях до визнання роботів був таким довгим?

Виявилось, що роботи були нікому не потрібні! Все, що міг роботи робот, могла робити і людина. Єдине що, у роботів була більш низька вартість роботи, але і це не грало рішучої ролі.

Справа в тому, що в США роботам не вдалося заволодіти увагою підприємців. В 1967 році Енгельберга запросили зробити доклад в Токіо. Цікавість проявили понад 700 підприємців. В 1968 році фірма «KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES» закупила ліцензію на всю технологію, розроблену фірмою

«UNIMATION», а в 1971 році була заснована перші асоціація по промисловим роботам в Японії.



Рисунок 1.1 – Перший промисловий робот «Юнімейт» [1]

З часом інші країни, в тому числі і США, об’явили, що розвиток робототехніки входить в круг їх національних інтересів, і прагнуть всіляко активувати діяльність, пов’язану з нею. В цей час розвиток робототехніки зазнав значного прискорення [2].

1.1.2 Розвиток промислових маніпуляторів

«Як уже було сказано, сучасна робототехніка виникла в другій половині XX сторіччя, коли в ході розвитку виробництва з’явилася реальна потреба в універсальних маніпуляційних машинах-автоматах (роботах - від чеського "robota"), подібних "механічним людям", описаним К. Чапеком, і одночасно

виникли необхідні для їхнього створення науково-технічні передумови й, насамперед, кібернетика й обчислювальна техніка.

Сучасними попередниками роботів є різного роду пристрої для маніпулювання на відстані об'єктами, безпосередній контакт людини з якими небезпечний або неможливий. Це маніпулятори з ручним або автоматизованим керуванням. Перші пристрої такого роду були пасивними, тобто механізмами без приводів, і служили для повторення на відстані рухів руки людини цілком за рахунок його мускульної сили. Потім були створені маніпулятори із приводами й керовані людиною різними способами аж до біоелектричного.

Уперше такі маніпулятори були створені в 1940-1950 р. для атомних досліджень, а потім і для атомної промисловості. Подібні пристрої стали застосовуватися в глибоководній техніці, металургії та інших галузях промисловості.

В 1962 р. на ринку США з'явилися перші роботи марки "Версатран" (фірми "Америкен мешин енд фаундрі"), призначені для промислового застосування.

Перші повністю автоматично діючі, маніпулятори були зроблені й США в 1960—1961 р. В 1961 р. був розроблений такий маніпулятор, керований від ЕОМ та оснащений загарбним пристроєм і різного типу датчиками— контактними та фотоелектричними. Цей маніпулятор МН-1 одержав назву "рука Ернста" на прізвище його творця Ернста. Відповідно до сучасного визначення, це був прообраз робота з адаптивним керуванням, що дозволило йому, наприклад, знаходити й брати довільно розташовані предмети.

Одночасно виник термін "промисловий робот" (Industrial Robot), запропонований цією ж фірмою. У той же час у США з'явилися роботи "Юнимейт-1900", які одержали перше застосування в автомобільній промисловості на заводах фірм "Дженерал моторі", "Форд" і "Дженерал електрик".

За останні 10 років ХХ сторіччя вартість промислових роботів упала в 5 разів при одночасному поліпшенні їхніх технічних характеристик. У результаті зросла економічна ефективність використання роботів.

Перше місце у світі по виробництву й застосуванню роботів упевнено займає Японія, де зосереджена більша частина світового парку роботів. Далі впливають США, Італія, Франція, Швеція. Більша частина цього парку використовується в промисловості, приблизно половина - для виконання основних технологічних операцій, де потрібні найбільш складні роботи. Частка таких роботів неухильно росте.

Перші промислові роботи з розвиненою сенсорною системою і мікропроцесорним керуванням з'явилися на ринку й набули практичного застосування й 1980-1981 р. насамперед на зборці, дуговому зварюванні, контролі якості для узяття неорієнтованих предметів, наприклад, з конвеєра. До їхнього числа ставляться поставлені системами технічного зору роботи "Пума", "Юнимейт", "Аутоплейс", "Цинциннати милакрон", складальні робототехнічні системи фірм "Хитачи", "Вестингауз" (система "Апас"), "Дженерал моторі" (система "Консайт"). Частка таких пристроїв у загальному парку роботів неухильно росте й наближається до 50% незважаючи на те, що вони в кілька разів дорожче роботів із програмним керуванням і значно складніше в обслуговуванні. Однак це окупається незмірно більшими функціональними можливостями, а, отже, і більше широкою областю застосування.

Технічний прогрес у розвитку роботів спрямований, насамперед, на вдосконалювання систем керування. Перші промислові роботи мали програмне керування, в основному запозичене у верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Ці роботи одержали назву роботів першого покоління. Друге покоління роботів - це роботи, оснащені сенсорними системами, головними з яких є системи технічного зору (СТЗ).

В 1967 р. у США (Станфордський університет) був створений лабораторний макет робота, поставленого технічним зором і призначеного для дослідження й відпрацювання системи "око-рука", здатної розпізнавати об'єкти зовнішнього середовища й оперувати ними відповідно до завдання.

В 1968 р. у СРСР (Інститутом океанології Академії наук СРСР разом з Ленінградським політехнічним інститутом і іншими вузами) був створений

телекерований від ЕОМ підводний робот "Манта" з загарбним пристроєм, оснащеним сенсорною системою, а в 1971 р. - наступний його варіант із технічним зором і системою цілевказівки на телевізійному екрані.

В 1969 р. у США (Станфордський науково-дослідний інститут) у рамках робіт зі штучного інтелекту був розроблений експериментальний макет рухливого робота "Шейки" з розвинутою системою сенсорного забезпечення, включаючи технічний зір, та елементами штучного інтелекту, що дозволило йому цілеспрямовано пересуватися в заздалегідь невідомій обстановці, самостійно приймаючи необхідні для цього рішення.

В 1971 р. у Японії також були розроблені експериментальні зразки роботів з технічним зором і елементами штучного інтелекту: робот "Хивип", здатний самостійно здійснювати механічну збірку простих об'єктів по пред'явленому кресленню, і робот ЭТЛ-1.

У цей же період і в ряді інших країн створюються подібні експериментальні установки так званих інтегральних роботів, що включають маніпулятори, які керуються від ЕОМ, різні сенсорні системи та засоби спілкування з людиною-оператором, які призначені для проведення досліджень в області штучного інтелекту й створення інтелектуальних роботів.

Одночасно були розгорнуті роботи в новій специфічній області робототехніки, що займається побудовою крокуючих машин як принципово нового транспортного засобу підвищеної прохідності, зразком для якого є ноги тварин і людини. Були створені експериментальні зразки чотирьох і шестиногих транспортних машин, а також протезів ніг людини, так званих екзоскелетонів, для паралізованих і важкохворих.

Наприкінці ХХ в. відродився інтерес до роботів-андроїдів. На відміну від їхніх перших реалізацій останні досягнення робототехніки уможливили створення подібних пристроїв для забезпечення цілком реальних потреб.

Одночасно роботи починають усе більш широко проникати й в інші галузі господарства, включаючи гірничу справу, металургію, будівництво, транспорт,

легку й харчову промисловість, сільське господарство, а також у медицину, сферу обслуговування, освоєння океану й космосу, військова справа.

В останні роки усе більше швидкими темпами росте частка парку роботів, зайнятих поза промисловістю - у сфері обслуговування, у побуті, (сервісні роботи-прибиральники, продавці, вахтери, іграшки й т.д.), вона вже наближається до 50% парку.

На рубежі ХХІ в. робототехніка підійшла до наступного етапу свого розвитку — створенню інтелектуальних роботів. Це стало природним етапом удосконалювання роботів, що відповідають вихідній ідеї появи подібних пристроїв як заміників людей у їхній професійній діяльності. (Зрозуміло, ні про яке технічне відтворення людини взагалі, включаючи всі його основні функції й духовний мир, мову при цьому не йде.) Інтелектуальний робот - це робот конкретного призначення, в основних функціональних системах якого використовуються методи штучного інтелекту, що дозволяє розширити сферу застосування робототехніки практично на всі області людської діяльності. Поки такі роботи - в основному ще предмет наукових досліджень і лабораторних випробувань, однак перші їхні зразки вже починають з'являтися на ринку.

Майже у всіх технічно розвинених країнах створені національні асоціації по робототехніці. У ряді країн є фінансовані державою національні програми щодо цієї проблеми. Розвиваються такі програми на міжнародному рівні.» [3].

Деякі історичні факти:

1982 - IBM розробляє мову програмування для роботів, компанія створила потужну і легко застосовувану мову програмування.

1984 - Компанія Adept представила на ринку новий тип роботів SCARA із застосуванням електродвигунів. Нова конструкція зробила роботи більш простими і надійними, зберігши високу швидкість.

1985 - Вперше, роботи почали робити роботів. Перші хто використовував власні промислові роботи для створення роботів, була компанія Fanuc

1992 - ABB представила принципово новий контролер S4, який значно полегшив створення робочих програм за рахунок зручного зовнішнього інтерфейсу.

1996 - KUKA випустила перший контролер на базі Windows. Вперше контролер запропонував користувачу зрозумілий інтерфейс також створено 6d мишку для спрощення і прискорення процесів створення керуючих програм.

2003 - Місія Mars Exploration Rover почалася з моменту відправлення двох роботів-марсоходів, для дослідження Марса.

2003 - KUKA, перший з виробників промислових роботів, представила Robocoaster. Robocoaster застосовується в парках розваг і спеціалізується на екстремальному обертанні для любителів гострих відчуттів.

2004 – Motoman представив перший контролер керуючий до 38 осей Motoman, Японія представив покращений контролер (NX100), який забезпечував синхронне керування чотирма роботами, до 38 осей. NX100 отримав сенсорний екран і базувався на операційній системі WindowsCE.

2007 - KUKA створила промисловий робот вантажопідйомністю 1000 кг [4].

Підсумовуючи, можемо сказати, що така галузь, як робототехніка пройшла випробування часом та зазнала значних змін від свого початку, ставши невід’ємною частиною нашого сучасного життя. Її розвиток та вдосконалення відбувається і нині, відкриваючи нові можливості застосування.

Все більше набирає обертів галузь по створенню мобільних роботів, які здатні інтерактивно, а в деяких задачах і автоматично виконувати певні операції, чи то транспортування чи навіть знешкодження бомб. Тому створення маніпулятора, якого можна буде кріпити на невелику за розмірами мобільну платформу є дуже актуальною темою. Завдання роботи полягає у створенні маніпулятора з 5-ма степенями рухомості. Новизна конструкції полягає у наявності механізму швидкої зміни РО в автоматичному режимі.

1.2 Загальні поняття та характеристики маніпуляторів

1.2.1 Основні визначення

Промисловий робот (ПР) — це багатозадачний пристрій, який має в собі дві складові: механічного маніпулятора та систему керування, яку можна програмно змінювати, ПР використовується для переміщення в просторі об'єктів та виконання різних виробничих процесів [11].

«Таким чином ПР мають механічні пристрої, різних виконавчих приводів та сенсорів, які забезпечують потрібну швидкість і точність переміщення робочого органа, апаратів керування приводами з силовими перетворювачами та пристроєм програмного керування.

Промислові роботи мають велике значення для автоматизованих гнучких виробничих систем, які дають змогу підвищити продуктивність праці. Типовим застосуванням ПР є здійснення таких операцій, як фарбування, складання, зварювання, пакування, контроль продукції та випробовування, які потрібно виконати з високою швидкістю, точністю та надійністю.

Маніпулятор – пристрій або машина, що керується для здійснення рухових функцій, аналогічних руці людини при перенесенні об'єктів у просторі, що має робочий орган.

В залежності від типу систем керування поділяють маніпулятори з ручним та автоматичним керуванням.

Маніпулятори ручного типу керування приводять у рух робочий орган (РО) завдяки оператору, який діє на ланки механізму керування.

Маніпулятори з автоматичним типом керування вузли виконавчого механізму рухаються за допомогою двигунів, які працюють за вже раніше зробленою програмою.

Автооператор – це маніпулятор, який використовують в машинах-автоматах, котрі неухильно виконують рухи по створеній програмі і оперують об'єктами по зазначеному циклу машини.

Використовують автооператори для автоматизації повторюваних переміщень об'єктів в умовах виробничих ліній, наприклад, автоматична установка заготовки на верстаті та видалення готової деталі

Об'єктом маніпулювання називають тіло, переміщуване в просторі маніпулятором. До об'єктів маніпулювання відносять заготовки, деталі, загарбні пристрої, допоміжний, мірятьний або обробний інструмент, технологічне оснащення й т.п.

Механічна система (МС) - забезпечує виконання рухових функцій і реалізацію технологічного призначення ПР. Її часто називають властиво маніпулятором. МС являє собою просторовий механізм із розімкнутим кінематичним ланцюгом. Конструктивно складається з наступних вузлів: несучих конструкцій, приводів, передавальних механізмів, виконавчих механізмів і загарбних пристроїв, які можуть використовувати різні конфігурації затискачів.

Виконавчий механізм ПР - сукупність рухливо з'єднаних ланок МС, призначених для впливу на об'єкт маніпулювання або оброблюване середовище. Виконавчий механізм, що здійснює транспортуючі рухи, що й орієнтують, називають рукою ПР. Якщо 3 ланки виконавчого механізму ПР з'єднані між собою тільки обертальними кінематичними парами, то в сукупності вони утворюють руку шарнірного типу (шарнірну руку) [5].» [11]

1.2.2 Технічні характеристики маніпуляторів

Здатність маніпуляторів до роботи можна охарактеризувати рядом технічних характеристик: робоча зона, зона обслуговування, число ступенів рухомості, вантажопідйомність, швидкість руху тощо (Рис.1.2)

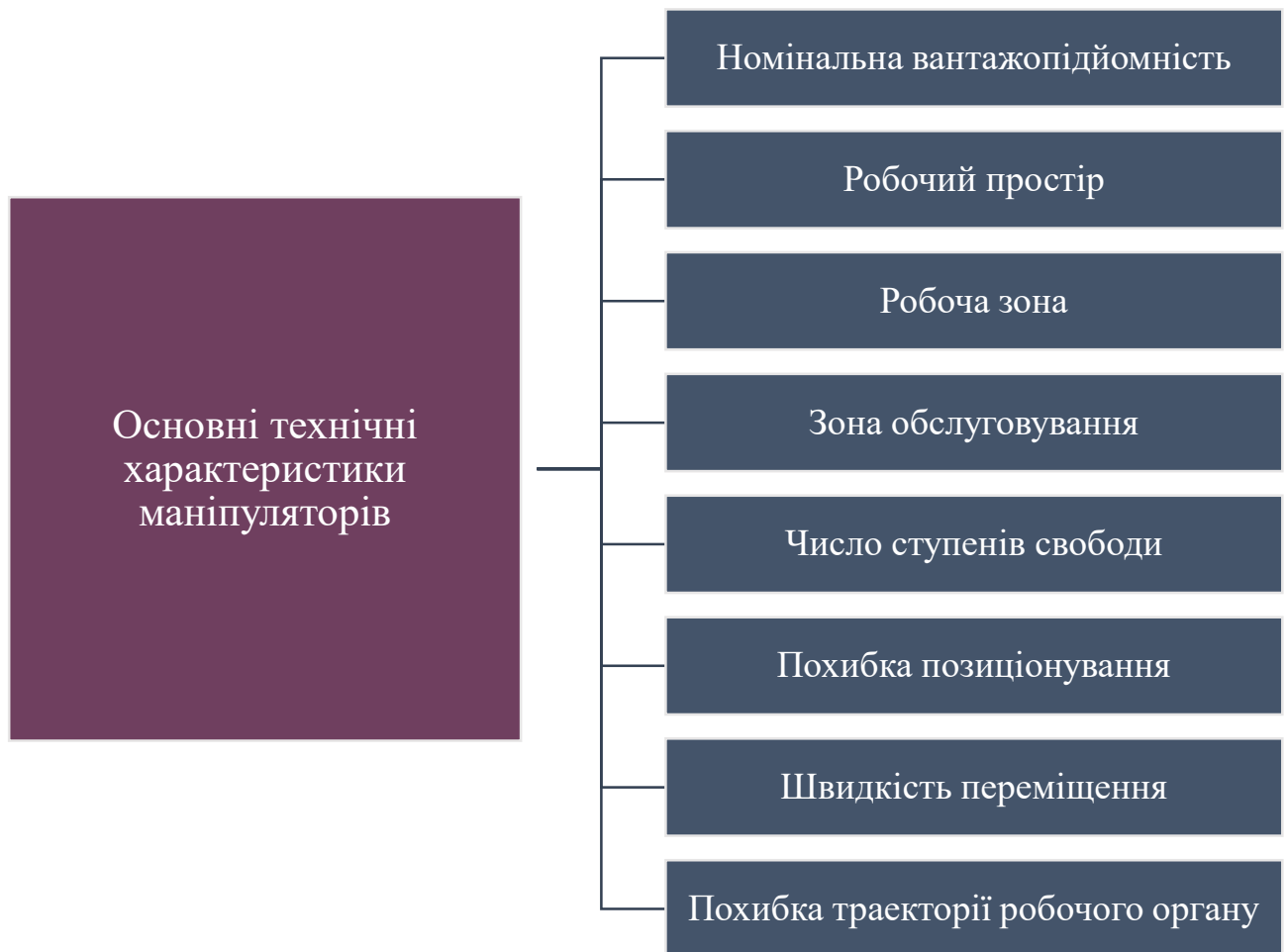


Рис. 1.2 – Основні технічні характеристики маніпуляторів

Номінальна вантажопідйомність маніпулятора — це максимальне значення маси об’єктів виробництва та технологічної оснастки, включаючи масу захоплювального механізму, за якою буде забезпечено їх утримання та гарантовано встановлені показники експлуатаційних характеристик.

«Вантажопідйомність — найбільше значення маси предметів маніпулювання, разом з масою робочого органу, що можуть переміщатися «рукою» при встановлених умовах. Якщо таких «рук» декілька, то загальна вантажопідйомність рахується, як сума їх вантажопідйомностей.

Для певних типів ПР важливим показником є крутний момент, який здійснює виокнавчий механізм. Такими є зусилля затиску предмета маніпулювання захоплювальним пристроєм (ЗП), крутний момент при ротації ЗП тощо [11].

Робочий простір

Робочий простір маніпулятора або ПР — це простір, в якому фізично може розташовуватися виконавчий пристрій при роботі маніпулятора. Його визначають не враховуючи габаритних розмірів предмету маніпулювання.

Зона обслуговування

Зона обслуговування — це простір, де робочий орган виконує свої функції, у відповідності до поставлених задач маніпулятора.

При сумісній праці декількох ПР, розглядається зона спільного обслуговування – частині простору, де переміщення предмету може здійснюватися декількома ПР одночасно.

Швидкість переміщення по мірі рухомості

Розрізняють швидкість лінійних та кутових переміщень.

Швидкість переміщень ланок маніпулятора характеризують важливий аспект маніпулятора – швидкодію, яка впливає на час обслуговування технологічного устаткування. Загалом швидкості лінійних переміщень робочих органів маніпуляторів становлять до 1,5 м/с, хоча є зі до 9 м/с. Швидкості кутових переміщень робочих органів переважно знаходяться в межах від 15 до 360 град/с (до 6,3 рад/с) [11].

Робоча зона — простір, в якому може розташовуватися робочий орган при його роботі. Характеризується формою і обсягом.

Форма, або вид робочої зони — це просторова фігура, яку описує робочий орган ПР при подоланні ним кінцевих положень.

Обсяг робочої зони – об’єм фігури, описаної робочим органом по крайнім положенням.» [11]

Маніпулятор, який працює з робочою зоною декартової (прямокутної) системи координат (Рис. 1.3), є простим в керуванні і має дуже високу точність позиціонування. Захват маніпулятора поступально переміщується вздовж 3-х осей та може обертатися.

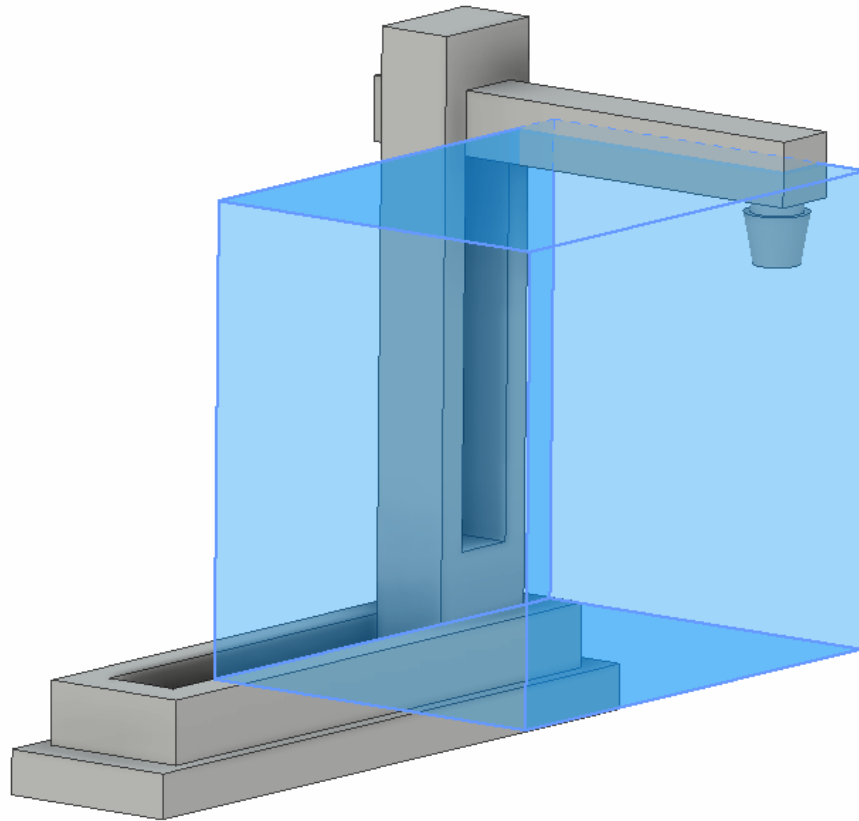


Рисунок 1.3 - Маніпулятор декартового типу з виділеною робочою зоною

Шарнірний маніпулятор (Рис. 1.4), який діє в ангулярній системі координат, не має поступальних кінематичних пар, лише обертальні. ПР такого типу схожі на руку людини, бо має декілька ланок схожих на суглоби. В нього зона обслуговування більша, ніж у інших ПР. Він має більше варіантів для того, щоб обійти перешкоди, а також він може компактно складатися. Проте ним складно керувати. Частіше за все їх використовують для транспортування на певну дистанцію об'єктів різної форми, розмірів та маси.

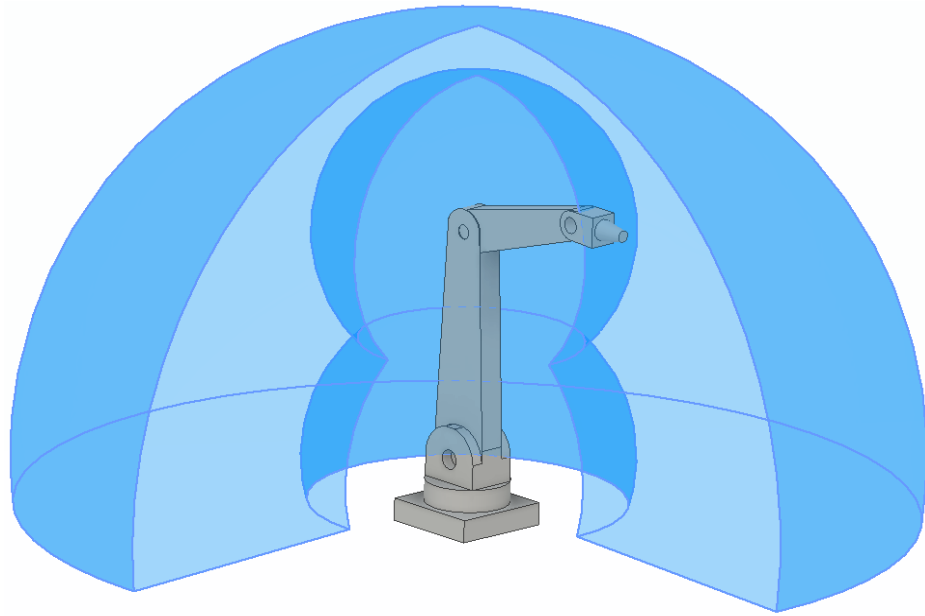


Рисунок 1.4 - Ангулярний тип маніпулятора з виділеною робочою зоною

Маніпулятор з циліндричною системою координат, такий ПР працює в робочій зоні, яка має форму обрізаного циліндра з поржнім циліндром всередині (Рис. 1.5). Захват має змогу рухатися вперед-назад, а також переміщуватися вгору-вниз вздовж стійки. Вся конструкція може повертатися навколо осі стійки, але не на 360° , оскільки конструкція передбачає певні обмеження для обертання першої ланки.

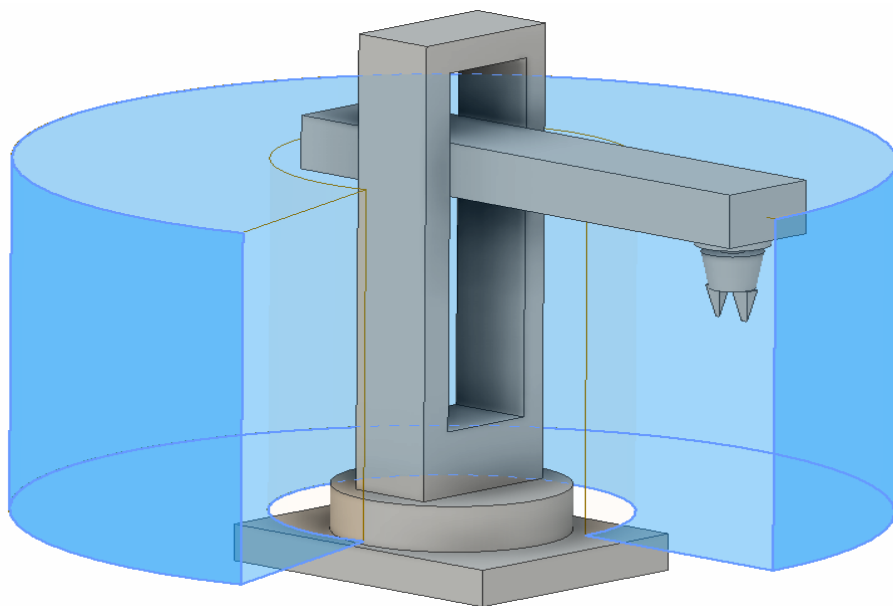


Рисунок 1.5 - Циліндричний тип маніпулятора з виділеною робочою зоною

Маніпулятор, який працює в сферичній (полярній) системі координат. Захват може рухатися вперед-назад (Рис. 1.6), вертикальні переміщення виконуються шляхом повороту його у площині вузла, схожого на плечовий суглоб. Поворот всієї конструкції відбувається в основі маніпулятора навколо осі стійки [6].

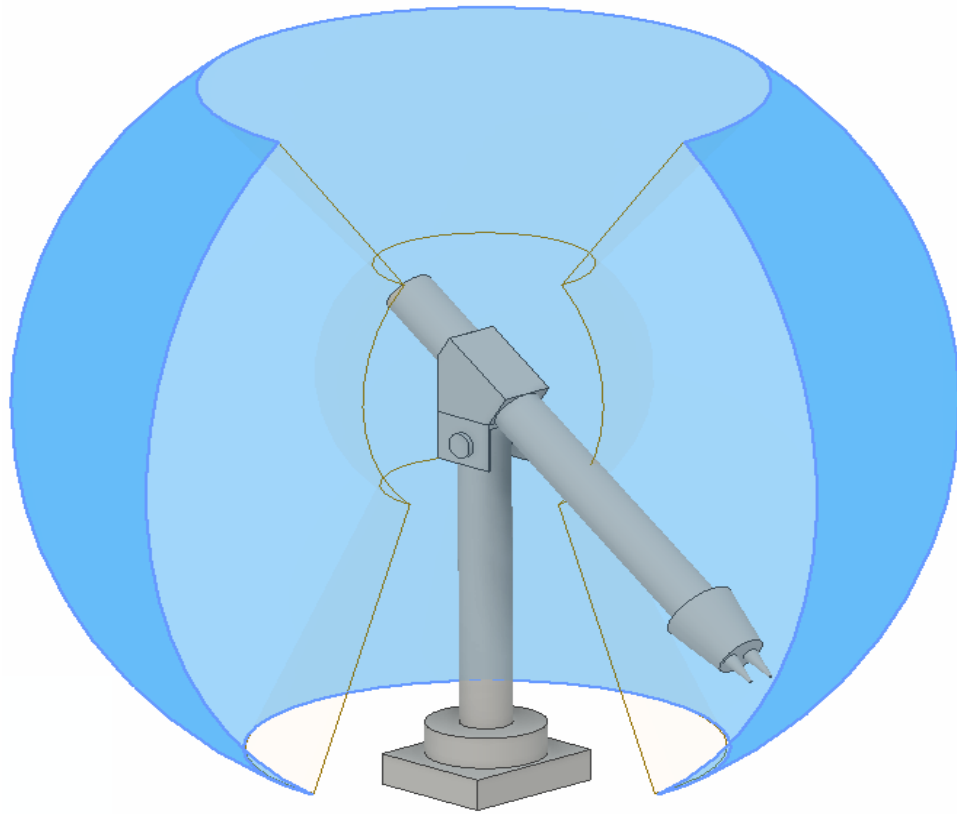


Рисунок 1.6 – Маніпулятор зі сферичною СК та виділеною робочою зоною

Кількість степенів вільності

Їх кількість є сумою координатних рухів робочого органу або предмета маніпулювання, відносно нерухомої системи.

За числом ступенів рухомості маніпулятори поділяють на три групи: з малою рухливістю (до 3-х); з середньою (від 4 до 6); з високою рухливістю (понад 6). Найчастіше використовують конструкції маніпуляторів з 4-ма або 5-ма степенями.

Похибка розташування робочого органу маніпулятора [11]

Похибкою позиції робочого органу ПР є відхилення його положення від програмно заданого. Означенням такої похибки також можна назвати відхилення розташування робочого органу (РО) від того положення, яке задане програмою при багаторазовому повторенні руху, вимірюється в кутових або лінійних одиницях.

Така відхилення відносять не тільки до РО але й до інших механізмів конструкції ПР.

Похибка проходження траєкторії робочого органу ПР

Похибка є відхилення траєкторії ПР від програмно заданої. Перелік технічних характеристик може доповнюватися залежно від типу ПР та завдань, які потрібно виконати, для мобільних роботів додаються такі характеристики як швидкість пересування, похибка розташування робота при пересуванні тощо [11].

1.3 Типи та структура маніпуляторів

1.3.1 Типи промислових маніпуляторів

За конструктивними особливостями можна виділити, наприклад, такі промислові роботи, які мають свої особливості структури [10].

1. Підлогові промислові роботи.
2. Підвісні промислові роботи.
3. Спеціальні промислові роботи.
4. Мобільні промислові роботи:
5. Промислові роботи агрегатно-модульного типу.

Підлогові промислові роботи є найпростішими роботами, оскільки мають лише маніпуляційну систему та пристрій керування. Переміщення робочого органу здійснюється тільки за допомогою маніпулятора, який жорстко встановлений на підлозі.

Якщо є потреба, то для переміщення робота використовують додаткові засоби, їх встановлюють на підлозі (рис.1.7)

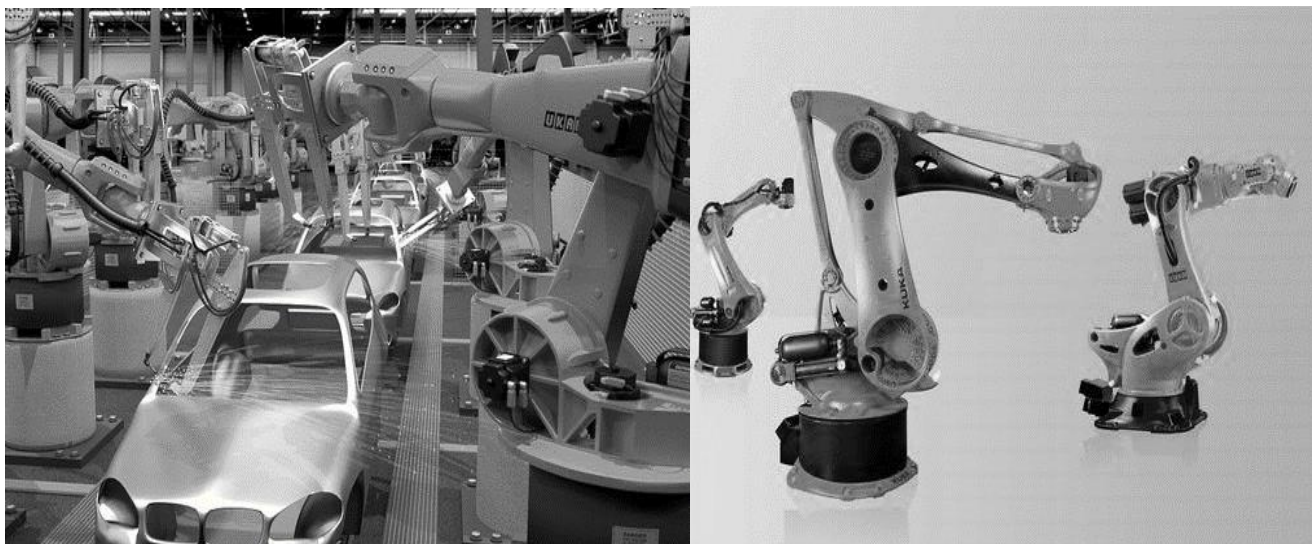


Рисунок 1.7 – Підлогові промислові роботи [7]

Підвісні промислові роботи зазвичай працюють в декартовій системі координат, маючи два основних рухи- уздовж осі порталу та в перпендикулярному до нього напрямку, а також в полярній системі координат, і накінець в циліндрично-кутовій системі координат [10].

Також використовують ПР тельферного типу, які кріпляться на рейки прямокутної або зігнутої форми (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Підвісний маніпулятор фірми “Toyota” [8]

Спеціальні ПР (рис. 1.9) за ступенем спеціалізації можна поділити на: одноцільові, тобто ті, які виконують одну або кілька операцій одного типу (збірка, зварювання тощо); багатоцільові, які виконують операції різного характеру [10].

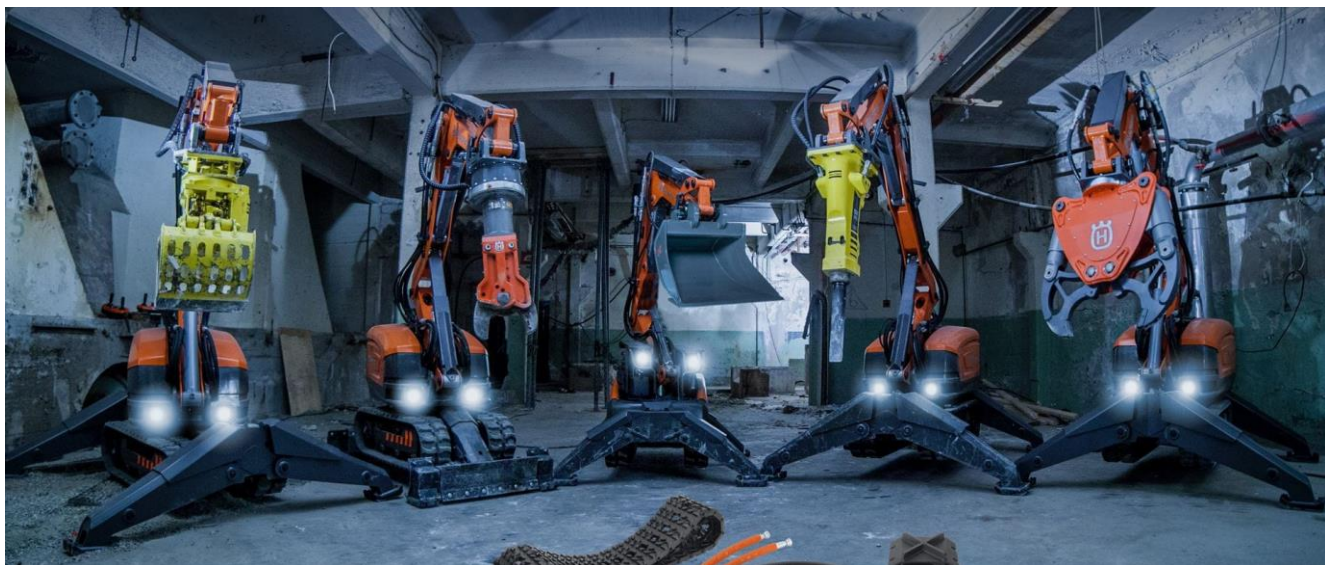


Рисунок 1.9 – Спеціальні демонтажні роботи компанії Husqvarna [9]

Мобільні промислові роботи можна умовно поділити на транспортні, виробничі та спеціальні.

Виробничі мобільні роботи найчастіше мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіях переміщення [11].

Виробничі мобільні роботи можна поділити на маніпуляційні та технологічні мобільні роботи.

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо. Мобільні роботи можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі [10].

1.3.2 Структура промислових маніпуляторів

«Як структура так і елементи з яких складається ПР залежать від поставлених задач, умов використання, типу та конструктивних особливостей маніпулятора.

Роботів можна розділити на дві категорії: **стаціонарні** та **мобільні**.

Стаціонарним роботом називають автоматичну машину, яка має виконавчий пристрій, котрий має декілька ступенів свободи та блоку програмного керування. Такого типу роботи встановлюють на підлогу, або такі ПР мають підвісне або порталне виконання.

Мобільним називають робота, в якого також є засіб пересування з програмно керованими приводами. Такі роботи можуть мати різні пристрої для руху: колісної, гусеничної та крокуючої конструкції. Також є особливого виконання, такого типу роботи повзують, плавають і літають.

Узагальнену структуру для промислових роботів показано на рисунку 1.10.

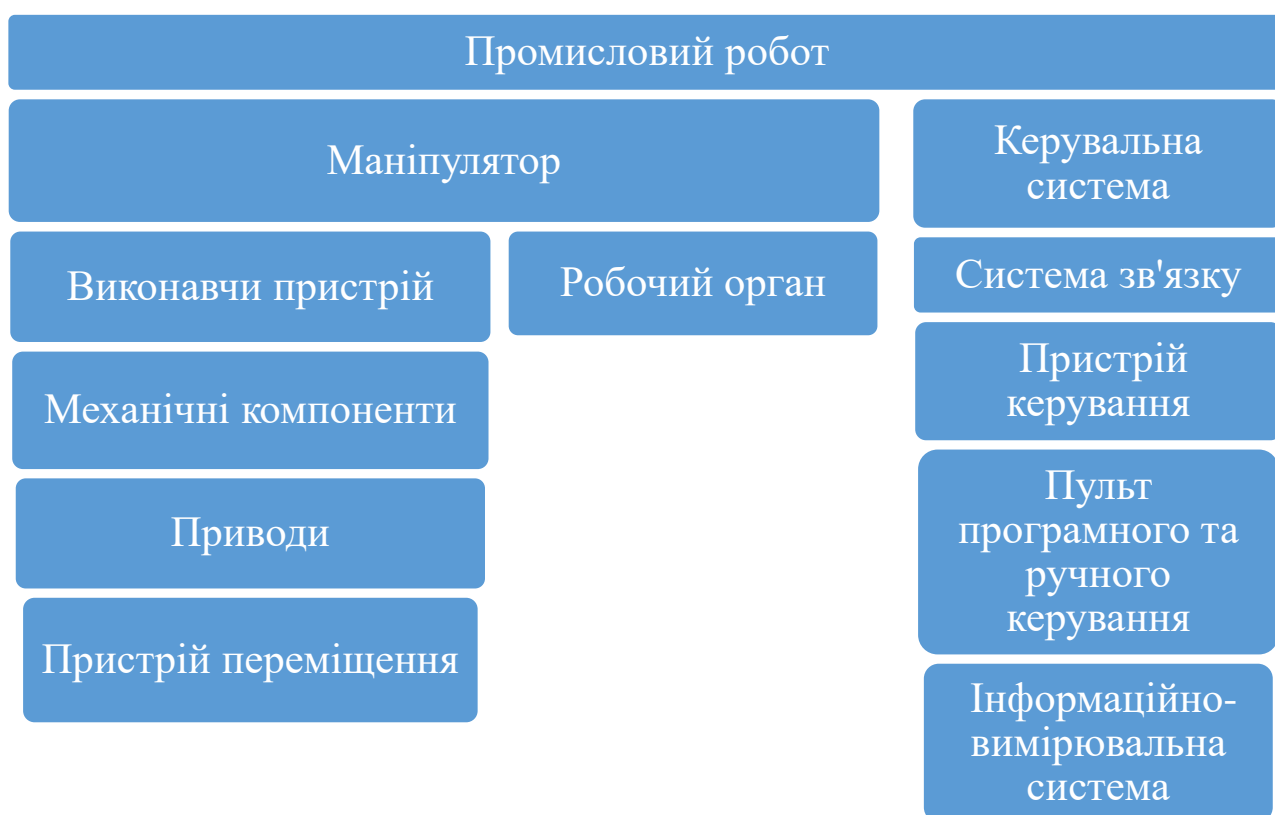


Рис. 1.10 – Структура промислових роботів

Маніпулятор та керувальна система, є головними складовими ПР. Кожна з них включає в собі ряд компонентів. Тобто загальна структура має в собі такі компоненти.

Маніпулятор, як механічна система, це керований пристрій ПР, котрий виконує його рухові функції. Його компонентами є виконавчий пристрій та робочий орган.

Виконавчий пристрій маніпулятора — це механізм робота, що виконує його рухові функції.

Виконавчий пристрій є багатоланковим просторовим механізмом, який може мати поступальні, обертальні, циліндричні, сферичні та інші кінематичні пари (КП).

У відповідності до наявних завдань маніпулятор може мати різне число ступенів вільності. Виконавчий пристрій, зазвичай, є відкритим кінематичним ланцюгом, його ланки послідовно сполучені між собою з'єднаннями різних типів; проте найчастіше зустрічаються КП, які мають один ступінь рухливості, виконуючи поступальні та обертальні рухи [11].

Переміщення виконавчого пристрою здійснюється за допомогою приводів поєднаних з механічними компонентами.

Робочий орган маніпулятора — це складова ПР, котра разом з виконавчим приладом призначена для виконання технологічних операцій або переходів.

Робочий орган здійснює переміщення об'єктів за допомогою захоплюваного пристрою, або технологічні функції за допомогою додаткового обладнання, наприклад, пристроїв для фарбування, зварювання, обробки поверхні, лазерного різання тощо.

Приводи призначені для виконання переміщень механічних компонентів виконавчого пристрою. Відповідно вимог до засобів переміщення користуються електричними, гідравлічними, та пневматичними регульованими приводами.

Мобільність маніпулятора забезпечують пристрої переміщення, приводи, які можна класифікувати таким чином [10]:

- В залежності від виду енергії, що використовує привод для здійснення робочого руху:
 - пневматичні;
 - гідравлічні;
 - електромеханічні;
 - комбіновані.
- По методу відліку координат:
 - з відносним відліком координат - по приростам (кроковий двигун);
 - з абсолютним відліком координат.

Вибір типу привода залежить від призначень ПР, умов експлуатації, вантажопідйомності, динамічних характеристик і виду системи керування.

Керувальна система (КС) маніпулятора формує і надає керувальні дії виконавчому приладу у відповідності до керувальної програми.

КС складається з: пристрою керування, що здійснює програмне керування з можливістю перепрограмування інформаційно-вимірювальної системи, яка визначає внутрішній стан робота та стан зовнішнього середовища; системи зв'язку, яка забезпечує зв'язок з пристроями роботехнічних систем; пульта програмування та ручного керування.» [11]

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ

2.1 Розгляд існуючих аналогів

Аналогами для мого прострою є велика кількість промислових роботів-маніпуляторів з різною рухомістю та робочою зоною, а також з різною кількістю степенів вільності. Також будуть розглянуті різні конструкції механізму зміни РО, оскільки майбутній виріб має забезпечити швидку зміну РО без зовнішнього втручання.

Будуть розглянуті ПР різної обхідної здатності з мінімальною вантажопідйомністю, оскільки максимальне навантаження, для якого буде розрахована конструкція і затискний механізм — 10 Н або 1 кг. Роботів з такою невеликою вантажопідйомністю не так багато, тому це є ще одним доказом актуальності дослідження цього питання.

Оскільки рухома платформа вже спроектована, відомо, що її висота становить 160 мм. Тому, для того щоб задовільнити умови змагань, висота маніпулятора в складеному вигляді не повинна перевищувати 540 мм.

Отже шукані варіанти конструкцій маніпуляторів використовуються для переміщення малогабаритних предметів невеликої маси, окремими випадками використання такого типу роботів є натискання на кнопки та керування регуляторами

Їх рух забезпечують крокові приводи або лінійні актуатори, тому вони мають достатньо високу точність.

Базовими елементами конструкцій цих маніпуляторів є: ланки; основа, яка обертається; сервоприводи або лінійні актуатори; процесор, система керування та захват.

Перш ніж перейти до розробки конструкції маніпулятора, розглянемо найбільш розповсюджені, на сьогодні, види маніпуляторів схожих за принципом роботи та зі схожим завданням, проаналізувавши переваги й недоліки різних конструкцій, почнемо створення прототипу.

Розглянемо конструкцію промислового маніпулятора від компанії KUKA, а саме робот KR 4 AGILUS (рис. 2.1). Він є одним із найновіших роботів, був випущений в червні 2020 року. Він володіє підвищеною лінійною точністю та надзвичайно високою точністю відтворення, 0,02мм. Швидкість такту дуже висока та становить до 0,4с. Також цей робот в своїй конструкції передбачає безперешкодне функціонування системам подачі стиснутого повітря, інформації, та електроенергії [12].

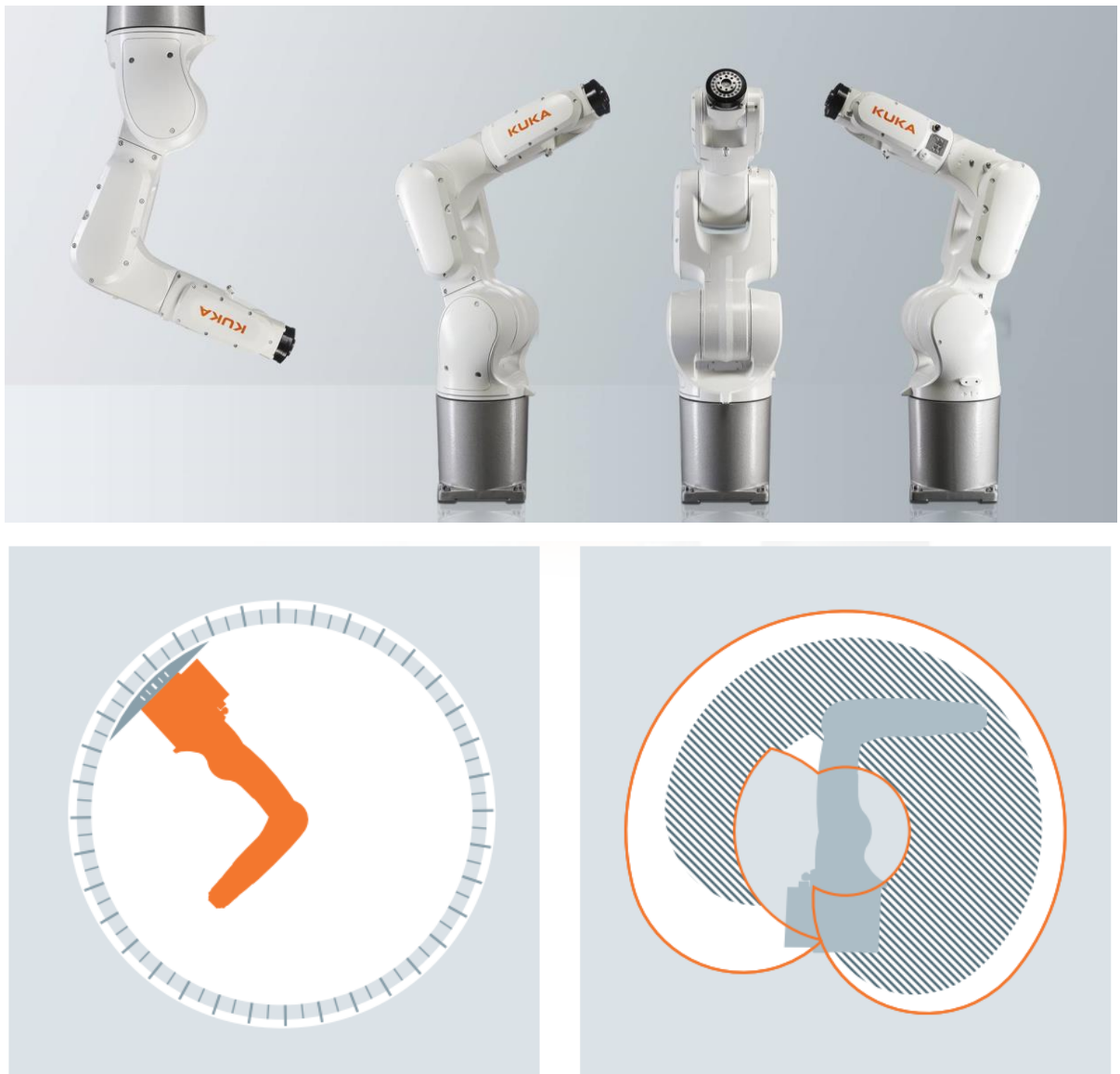


Рисунок 2.1 – Робот-маніпулятор KR 4 AGILUS від компанії KUKA [12]

Розглянемо також конструкцію ПР CRX-10iA (рис. 2.2) від компанії FANUC. Він має 6 ступенів вільності, захищений від пилу та від вологи. Має високий

показник повторюваності, 0.04мм. Радіус дії сягає 1249мм та вантожопідйомність 10кг, що є достатнім для застосування його, як робота помічника в наукових лабораторіях тощо[13].



Рисунок 2.2 – Робот-маніпулятор CRX-10iA компанії FANUC [13]

Розглянуті роботи є перевіреними часом та протестовані, вони пройшли всі етапи перевірки і заявили себе як надійні помічники в лабораторіях та в малих виробництвах. Однак, попри всю їх високу точність та захищеність вони мають ряд факторів через які вони не підходять для наявної мобільної платформи.

Першим фактором є вага, з двох розглянутих маніпуляторів найлегшим є робот компанії Fanuc, його вага складає 40 кг, що є не посильним для платформи та приводів які приводять її у рух.

Другим фактор є номінальне навантаження яке ці роботи здатні сприймати, це 10 кг, що в 10 разів перевищує навантаження, яке буде сприймати маніпулятор, який ми проектуємо.

Третім фактором, який просто неможливо ігнорувати, це висока ціна придбання таких роботів. Ціна CRX-10iA становить 35 500\$, що є непосильним для невеликої фірми, не говорячи вже про звичайних громадян України.

Отже потрібно розглядати варіанти існуючих малобюджетних конструкцій, які б могли задовільнити вимоги поставлені до робота та до ровера в цілому. Тому пошук буде проводитися серед розробок закордонних університетів та робіт зацікавлених в створенні роботів людей.

Роботизована рука, що самонавчається, винайдена групою студентів міського університету, була зіркою на заході, де демонстрували нові технології в університеті у вівторок, отримавши похвалу від роботодавця будівельної галузі, який сподівається, що його можна буде застосувати для промислового використання.

Інновація стала одним із 40 винаходів, показаних сотням роботодавців на заході.

Цифровий інструмент, що активується голосом і рухом, називається Jarvis, який оснащений набором ручок, навчається системою маніпуляції AI, яка використовує великі дані для розпізнавання моделей і характеристик і має діапазон рухів, подібних до рухів людини [13].

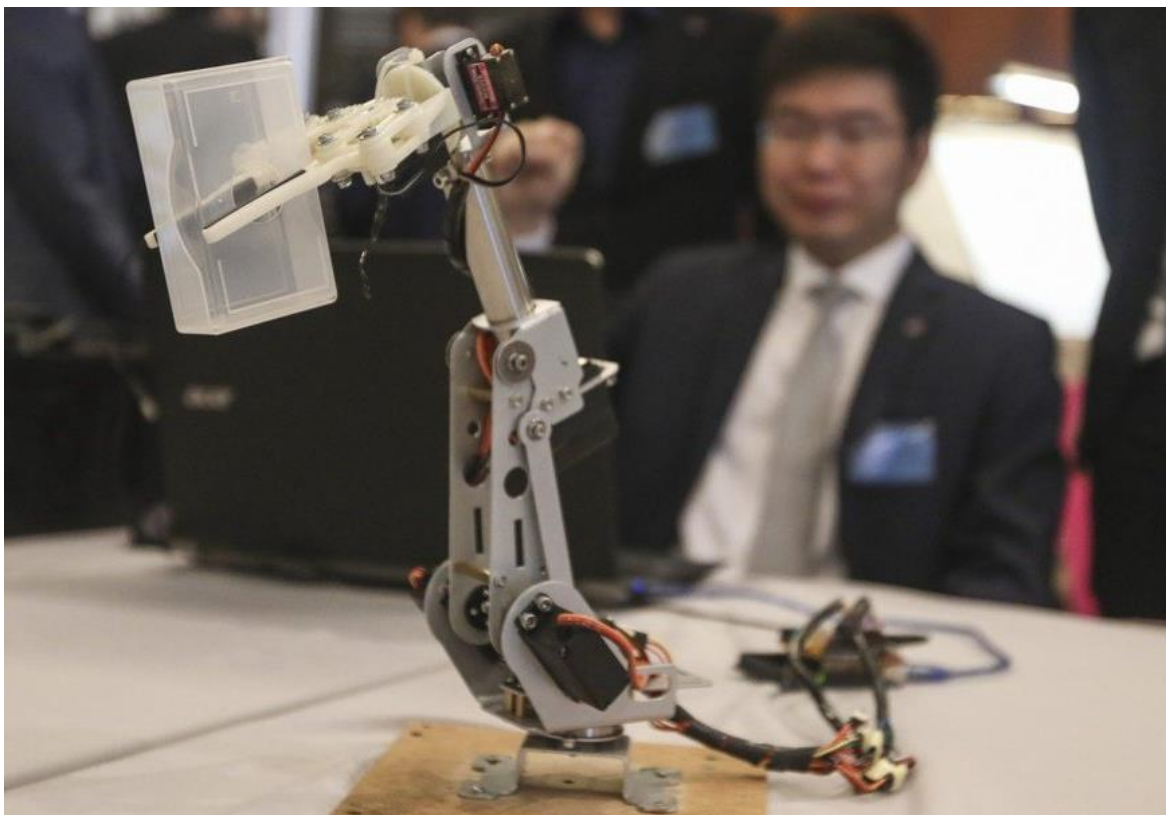


Рисунок 2.3 – Jarvis, an AI-manipulated robotic arm, designed by City University students [13]

Конструкція робота Jarvis є дуже простою, однак вона виконує всі необхідні для нашого проекту функції, окрім однієї, в Jarvis не передбачена зміна РО, що є дуже важливим.

Нижче розміщені варіанти конструкцій маніпуляторів, які використовуються для транспортування малогабаритних предметів невеликої маси (рис. 2.4), окремим випадком використання таких роботів є натискання на кнопки та керування регуляторами. Дані пристрої доступні для придбання, вони мають невисоку ціну, достатню точність позиціонування та вантажопідйомність яке задовольняє вимогу нашого проекту.

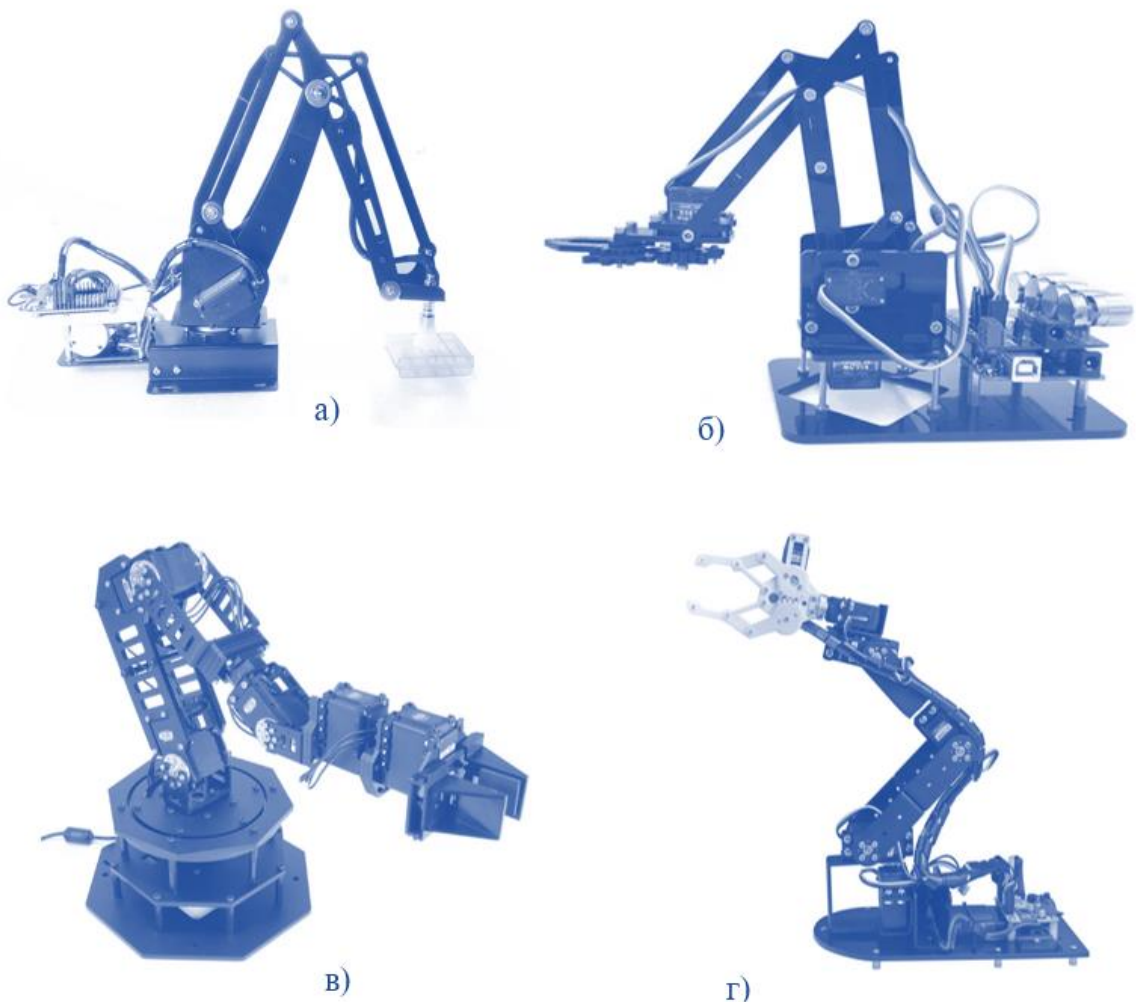


Рис. 2.4 – Варіанти конструкцій маніпулятора (а, б, в, г – з 3-ма, 4-ма, 5-ма та 6-ма степенями вільності відповідно) [11]

Розглянувши існуючі варіанти було проведено аналіз переваг та недоліків різних за кількістю ступенів вільності конструкції маніпуляторів. Виявлено, що зі збільшенням ступенів вільності змінюються певні показники. Переваги і недоліки підвищення кількості ступенів рухомості:

Переваги:

- Зменшується обмеженість траєкторії руху;
- Збільшується робоча зона;
- З'являється можливість обходу перешкод;

Недоліки:

- Зростає ціна;
- Зменшується повторюваність;
- Падає точність позиціонування;
- Зростає складність в управлінні;
- Складність виготовлення росте;
- Збільшується маса конструкції;
- Жорсткість конструкції знижується;
- Затрати енергії ростуть.

Таким в результаті аналізу було обрано конструкцію маніпулятора з 5-ма степенями рухомості, яка забезпечить необхідну маневреність, точність позиціонування та простоту керування.

Однак в процесі пошуку не було знайдено конструкції маніпулятора, яка б забезпечувала швидку автоматичну зміну РО, тому вона також буде розроблятися.

2.2 Кінематика руху маніпулятора

Традиційне призначення ПР полягає в переміщенні об'єкта (деталі або інструмента) всередині робочої зони не більше ніж по шести ступенів рухомості (трьом поступальним і трьом обертальним) зі зміною орієнтації. Вимоги до кінематичної схеми визначається складністю операцій.

ПР представляє собою кінематичний ланцюг, який складається з шарнірів та ланок. Кількість незалежних керованих осей, необхідних для переміщення тіла в просторі в заданому напрямі, визначається кількістю степенів рухомості системи.

Для відтворення просторової траєкторії лише однієї точки захвату потрібно 3 ступені рухомості. Наявність понад трьох дає можливість оптимізувати кінематичні, динамічні та енергетичні якості маніпулювання. Варіативність траєкторії маніпулювання у стиснених умовах зростає разом з підвищенням кількості степенів вільності. Така характеристика має назву **маневреність**. Вища маневреність збільшує робочий простір та зменшує мертві зони.

«Траєкторію переміщення об'єктів маніпулювання встановлюють прокреслюванням відповідно вимог найменшого шляху та мінімізації працюючих степенів вільності ПР. Також траєкторія залежить від форми, розмірів, числа роботизованих позицій та від методу навантаження робочої позиції та знаходження об'єкта на ній.

Механізмом називають механічну систему, створену для одержання потрібного руху одного або декількох тіл. Основними складовими механізму є ланки і кінематичні пари.

Ланка – це одне або кілька жорстко з'єднаних твердих тіл, які є складовими елементами механізму.

Кінематичною парою (КП) називають поєднання двох суміжних ланок, яке дозволяє їх відносний рух. Між собою ланки можуть дотикатися поверхнями, лініями або точками. Якщо ланки дотикаються по лінії або в тоці, то така КП називається «вищою», якщо ж по поверхні, то – «нижчою».

Якщо рух ланок КП можливий лише в паралельних площинах, то така КП називається плоскою, в іншому випадку КП є просторовою.

КП класифікують за кількістю ступенів свободи. Вільне тіло в просторі має шість ступенів свободи: три поступальних і три обретаельних в напрямках просторової системи координат XYZ.

Кількість ступенів свободи для однієї ланки КП, при умові, що інша нерухомо закріплена:

$$W=6-U$$

де U – число зв'язків КП, якщо $U=0$, то з'єднання ланок відсутнє.

Тому діапазон можливої кількості ступенів вільності складає від 1 до 5. Відповідно КП ділять на 5 класів.

При створенні конструкції маніпуляторів уникають використання КП з 1-го по 2-й клас, бо ці КП можуть розірвати ланцюг.

А пари 4-го та 3-го класу замінюють на 2 або 3 пари 5-го класу, тобто виконується заміна вищих КП нижчими.» [11]

Зап'ястя. Представляє собою послідовність ланок між маніпулятором та РО, призначених для орієнтації РО відносно деталі. Зап'ястя слугує для зміни орієнтації та корегування положення РО.

На рис. 2.5 вказані системи координат при виконанні завдання роботом. В базовій системі координат визначається положення робота і в більшості випадків початкові положення ланок і зап'ястя.

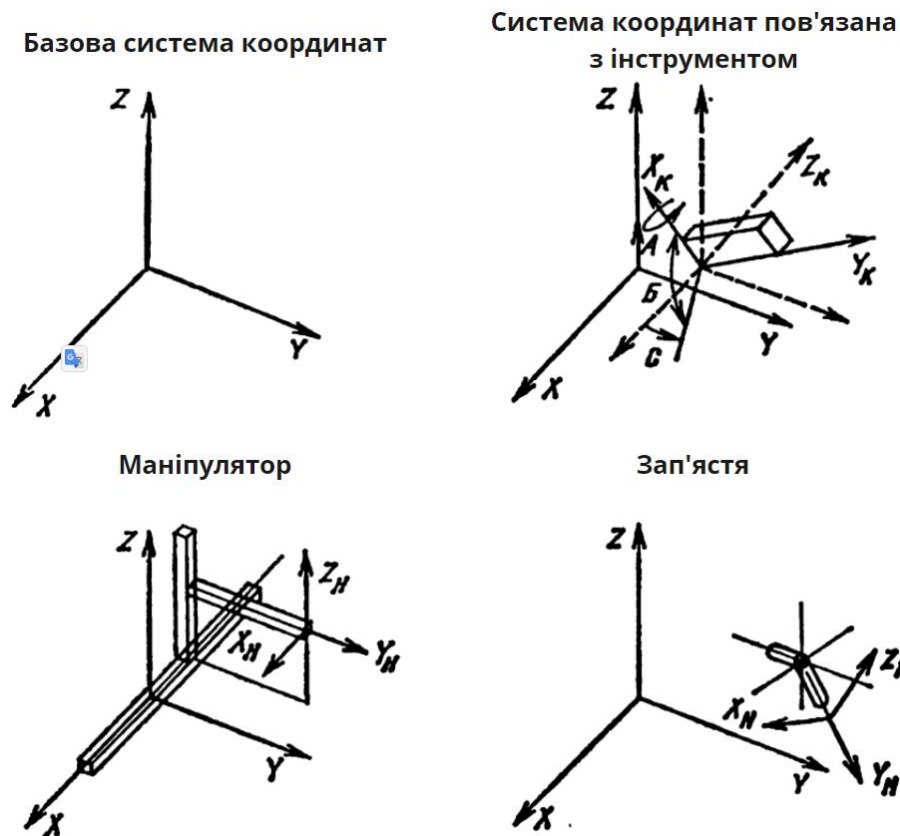

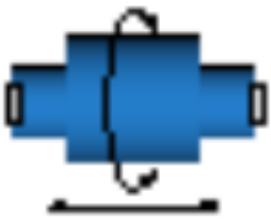





Рисунок 2.5 – Визначення СК при виконанні завдання роботом [2]

В системі координат пов'язаній з інструментом виражаються параметри положення інструмента на 6 степенях рухомості (X , Y , Z , A , B , C). Робот, маніпулятор і зап'ястя зв'язують базову СК з СК інструмента.

Таблиця 2.1

Назва з'єднання	Відображення	Опис
Сферичне з пальцем		Дозволяє відносне обертання навколо однієї осі
Циліндричне		Дозволяє відносне обертання та переміщення навколо однієї осі.

Призматичне		Дозволяє відносне переміщення навколо однієї осі.
Сферичний шарнір		Дозволяє три ступені свободи обертання навколо центру суглоба.
Планарне		Дозволяє відносне переміщення на площині та відносне обертання навколо осі, перпендикулярної до площини.

Кількість ступенів свободи механізму визначається як кількість незалежних змінних, які необхідні для повного визначення його конфігурації в просторі.

Кількість ступенів свободи для маніпулятора можна обчислити за формулою:

$$n = \lambda(n - 1) - \sum_{i=1}^k (\lambda - f_i)$$

Де n — кількість ланок (включаючи початкову), k — кількість з'єднань, f — кількість ступенів рухомості рядкової кінематичної пари, $\lambda = 3$ для планарних та $\lambda = 6$ для просторових механізмів [14][15].

Отже переходимо до проектування кінематичного ланцюгу (кінематичної схеми) майбутнього маніпулятора. Кінематичним ланцюгом (КЛ) називають послідовне з'єднання ланок між собою за допомогою кінематичних пар (КП). Якщо КЛ рухається в декількох паралельних площинах, то такий КЛ є плоским, в іншому випадку просторовим.

Для продуктивного використання ПР його КЛ має бути плоским, тобто всі з'єднання в ланцюгу повинні мати кінематичні пари 5 класу, для забезпечення максимальної жорсткості та в майбутньому, легкості керування.

Залежно від виду використовуваних в структурі маніпулятора кінематичних пар, забезпечуються поступальні, обертальні та комбіновані рухи. Зазвичай ланки утворюють обертальні та поступальні кінематичні пари п'ятого класу, тобто з одним ступенем рухомості, проте застосовуються і більш складні кінематичні схеми маніпуляторів, які містять паралельно з'єднані ланки або сферичні шарніри кінематику маніпуляторів ПР можна спостерігати на рис 2.6.

Кінематична структура	Робоча зона	Приклад переміщення	Вид переміщення
			Поступальний рух (П)
			Обертальний рух (О)
			Комбінований рух (П, О)

Рисунок 2.6 — Кінематика маніпуляторів промислових роботів [16]

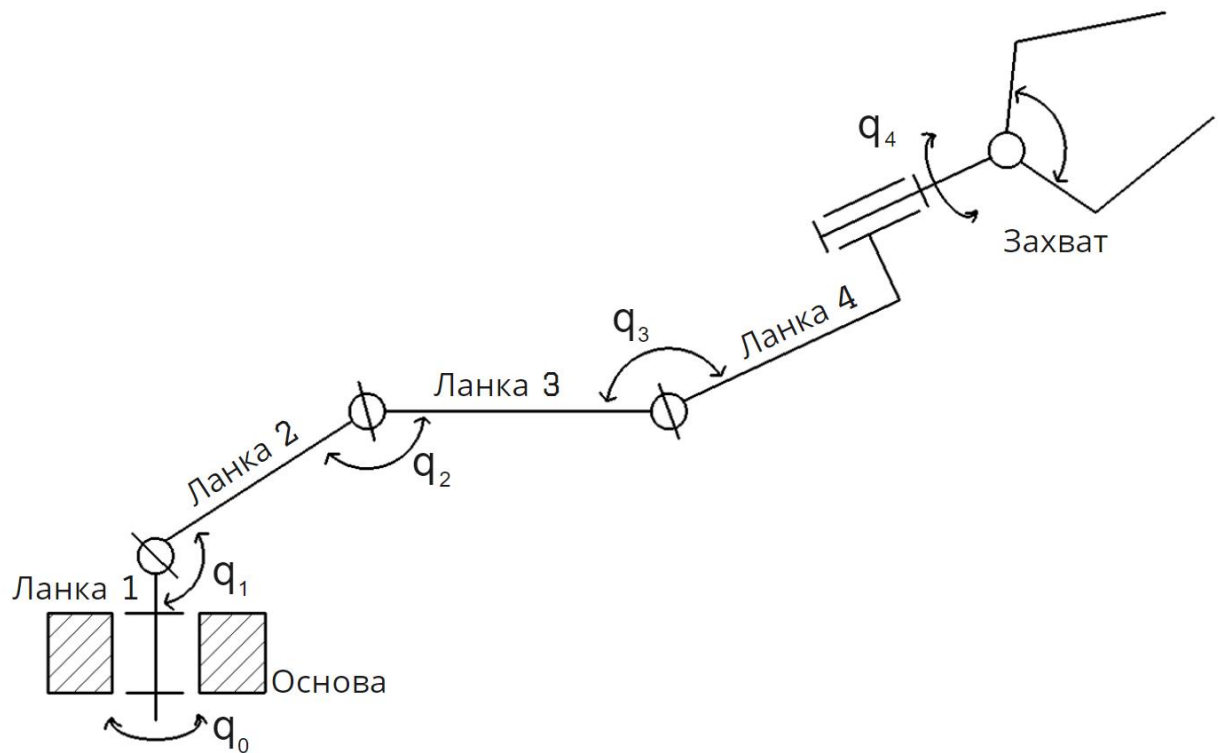


Рисунок 2.7 — Кінематична схема та механізми переміщення 5-вісного проектного маніпулятора

Створений КЛ майбутнього маніпулятора (ри. 2.7) складається з 4 ланок та РО. Така конструкція при порівнянні з маніпуляторами, що мають два або три ступені рухомості, дозволяє мати кращу рухливість, маневреність та достатньо високу жорсткість, при відносно нескладному керуванні.

Маючи кінематичну схему майбутнього маніпулятора ми переходимо до наступного етапу — вибору матеріалу та приводів (актуаторів).

2.3 Конструювання перехідної ланки та механізму зміни РО

Інформація попередніх розділів дає можливість перейти до процесу формування конструкції маніпулятора. Було створено КЛ та прораховано кількість ступенів вільності створюваного механізму.

Було проведено попередній огляд мобільної платформи, вона розділена на два блоки з'єднаних між собою валом, який надає більшої рухомості конструкції платформи. Кожна частина мобільної платформи має по 2 пари коліс закріплених на 2 валах, пари коліс можуть незалежно обертатися.

В середовищі проєктування Autodesk Inventor 2022 було спроектовано тривимірну модель платформи (рис. 2.8) для комфортної роботи та наглядності. Створена модель за розмірами відповідає існуючій платформі, що є дуже зручним, оскільки є можливість маніпулювання об'єктом і можливість бачити його з усіх сторін, тому маючи тривимірну модель та перебуваючи в середовищі Inventor ми можемо зробити оцінку розмірів майбутнього маніпулятора.

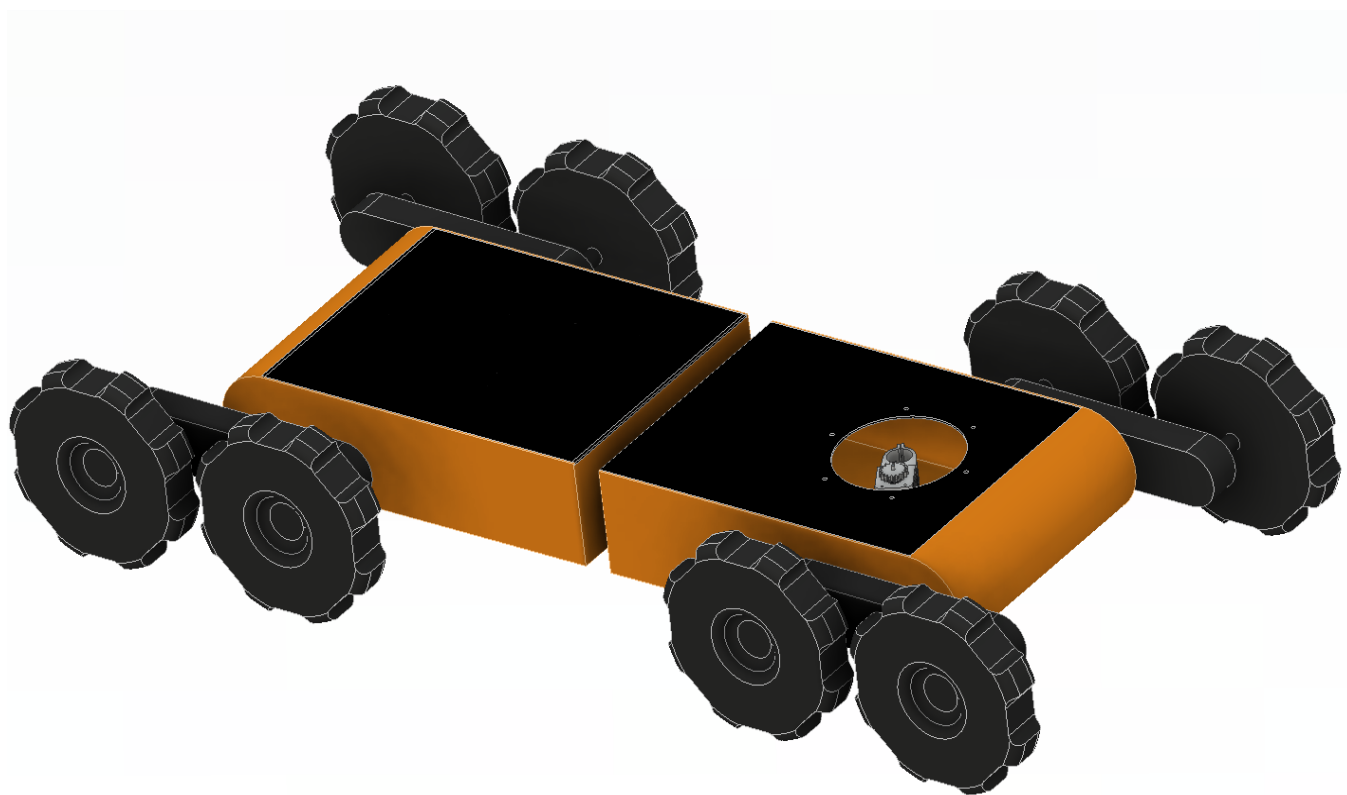


Рисунок 2.8 — Тривимірна модель мобільної платформи

Переходимо до проектування. Основні розміри платформи, точніше її половини, зображені на рис. 2.9. Отже бачимо, що від землі до верхньої (кріпильної) поверхні дистанція 256 мм, а для вдалого буріння потрібно ще додати 100 мм, округлюючи, отримуємо 360 мм. Цю відстань по висоті має забезпечити конструкція, а також відстань від основи до краю платформи з запасом 260мм.

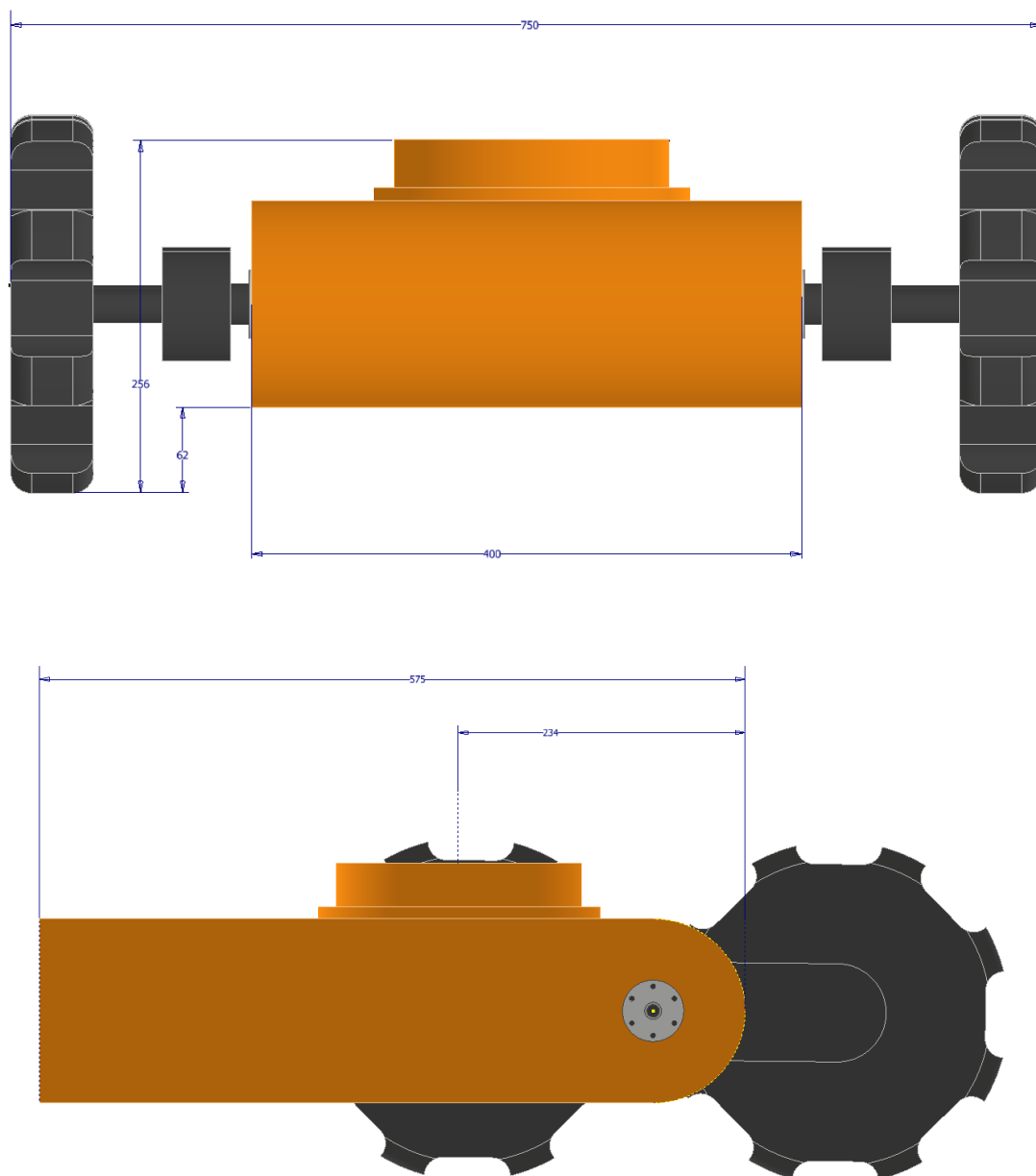


Рисунок 2.9 — Основні розміри платформи для проектування маніпулятора

Отже перша ланка має кріпитися на основі та виконувати обертальні рухи навколо вертикалі. Вона сприйматиме навантаження всієї конструкції, тому її

виконання буде зроблено з товстішого листа металу ніж інші ланки. Розміри основи для кріплення вказані на рис. 2.10.

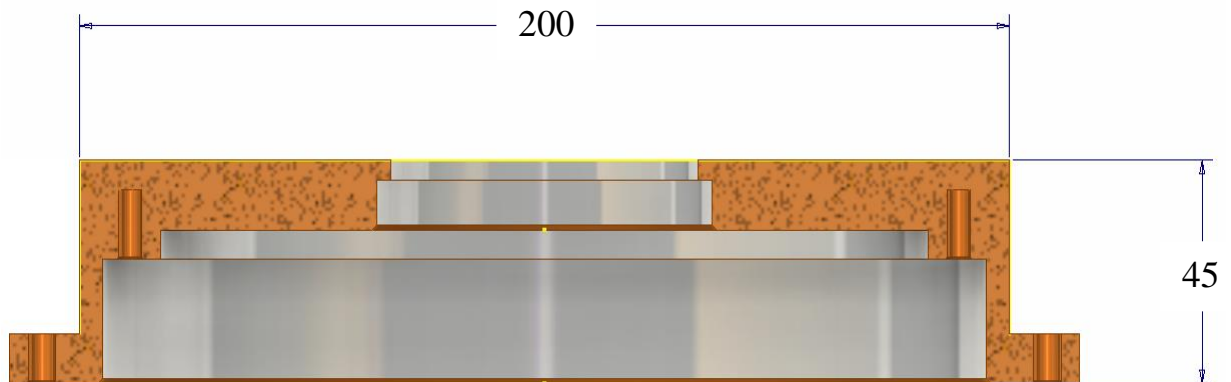


Рисунок 2.10 — Розміри основи для кріплення першої ланки

Формуючи початкову ланку не потрібно забувати і про естетичну складову, вона не повинна мати більший діаметр ніж сама основа, але і не надто малий, щоб була можливість без складнощів закріпити на ній наступну ланку та актуатор. Тому було обрано діаметр 185 мм. Для зменшення маси було обрізано два сегменти кола, та для естетики додані скруглення.

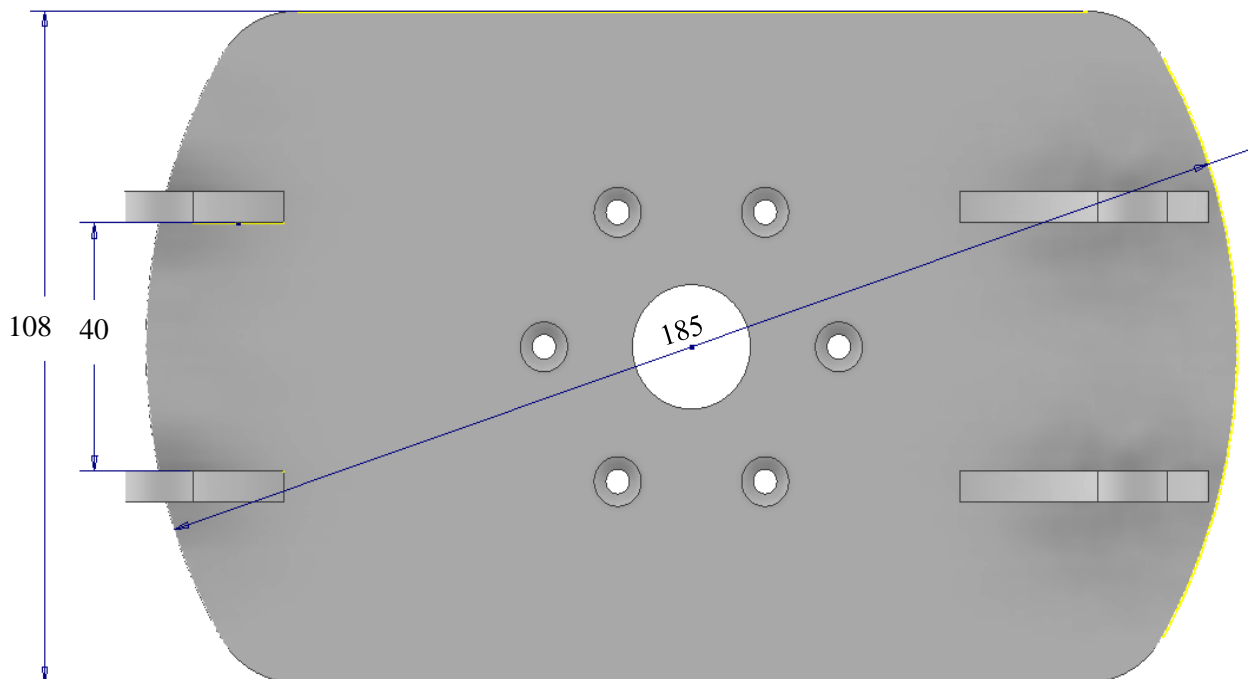


Рисунок 2.11 — Розміри початкової ланки, вид зверху

Розміри центрів отворів під кріплення актуатора та наступної ланки вказані на рис. 2.12, форма упорів підібрана таким чином, щоб ефективно сприймати навантаження від стиску-розтиску актуатора та з'єднувальної ланки відповідно.

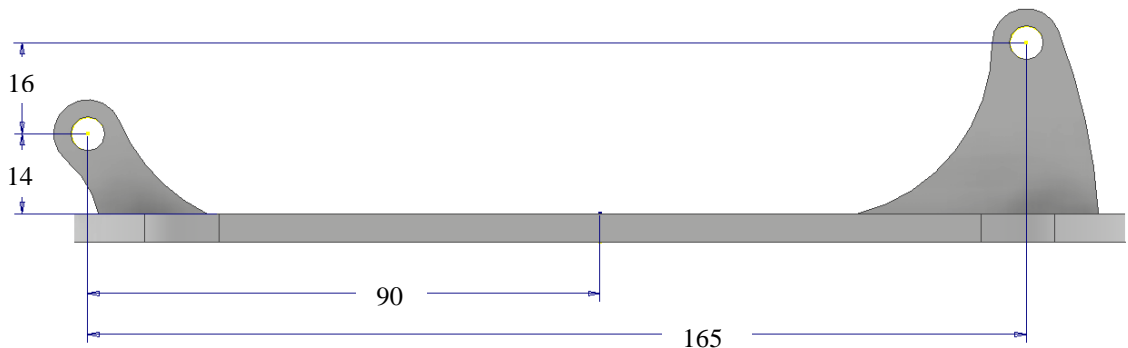
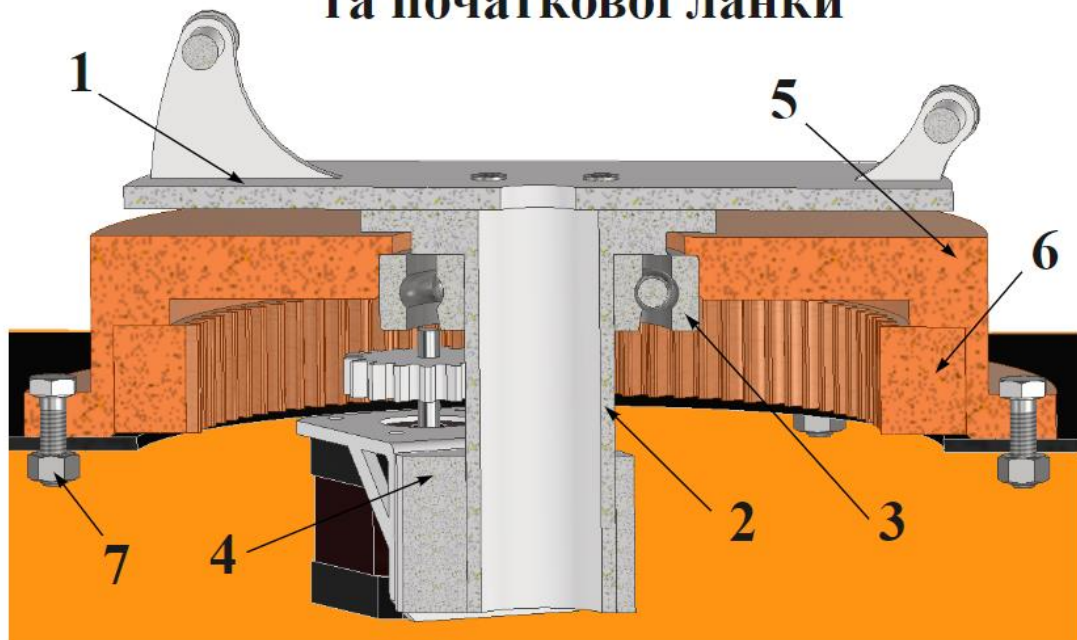


Рисунок 2.12 — Розміри початкової ланки, фронтальний вид

Товщина листового металу 5мм. Початкова ланка кріпиться на вал за допомогою болтового з'єднання. Вал в свою чергу фіксується та центрується завдяки підшипникам, зверху радіальному та внизу радіально-упорному.

Принципова схема з'єднання основи та початкової ланки



- 1 - Початкова ланка 2 - Вал обертання 3 - Підшипник
4 - Двигун з кріпленням 5 - Корпус основи
6 - Зубчаста вставка 7 - Кріплення основи

Рисунок 2.13 — Принципова схема з'єднання основи та початкової ланки

На принциповій схемі (рис. 2.13) можна спостерігати розміщення об'єктів маніпуляторів та кріплення їх на мобільній платформі. Основні елементи було спроектовано, такі як кріплення для крокуючого двигуна, попередньо, двигун NEMA 17 та елемент кріплення його на валу. Не вказано на принциповій схемі наявність стопорного кільця на валу, для додаткової фіксації підшипника. Як можна спостерігати, обертальний рух першої ланки здійснюється за рухунок колових рухів шестірні в зацепленні зі зубчастою вставкою, шестірня закріплена на валу та обертатиме навколо вертикальної осі вала всю майбутню конструкцію маніпулятора.

Проектуючи другу ланку потрібно з уважністю віднестися до її розмірів, оскільки вона має бути довгою, але її довжина не повинна перевищувати розмір платформи, щоб не ускладнювати керування роботом під час руху. Отже маємо, що частина платформи має довжину 575 мм, та 398 мм від осі обертання вала до з'єднання з наступною частиною, тому керуватися будемо саме цим розміром.

Спроектовану ланку можна спостерігати на рис. 2.14, її довжина по кріпильним точкам становить 420 мм, що цілком задовольняє вимогам.

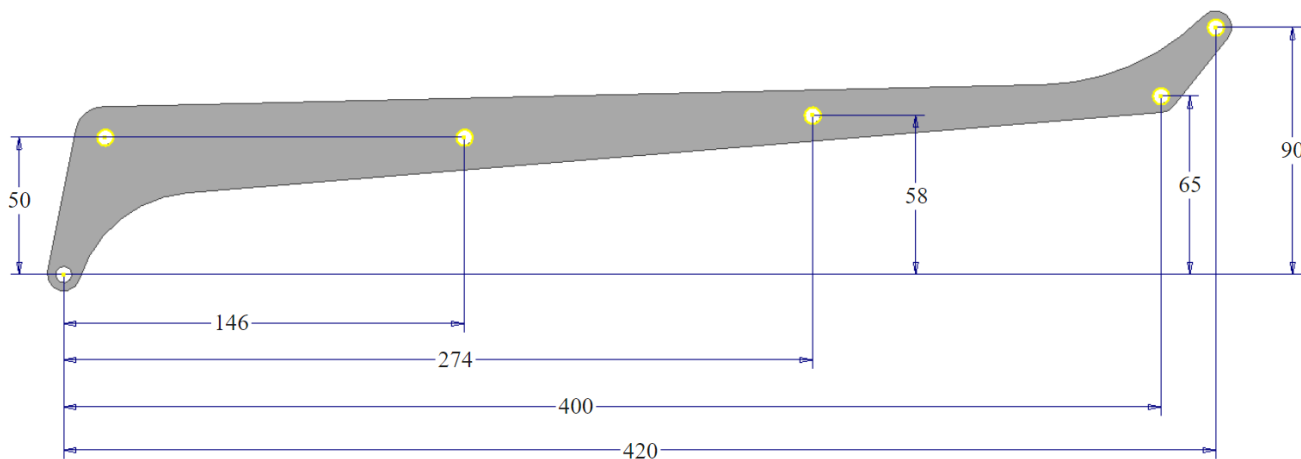


Рисунок 2.14 — Положення та розміри кріпильних отворів 2-ї ланки

На рис 2.14 також видно, що діаметри деяких отворів більші ніж інші, це через те, що декі з них мають додаткове призначення, окрім надавання жорсткості конструкції, вони слугують кріпленням для лінійних актуаторів. Лінійні актуатори поступальним рухом циліндра будуть рухати ланку. Ланка 2 виконує обертальний

рух, але її рух обмежений довжиною циліндра актуатора, тобто вона може рухатися в межах сектора, дозволеного базовими характеристиками лінійного актуатора.

На рис. 2.15 зображено, як виглядатиме ланка та лінійний актуатор у зібраному стані, знаходячись закріпленими на платформі. Оскільки початкова ланка здійснює обертальний рух — нема особливої необхідності створювати об'ємний рух в наступних ланках, достатньо плоского кінематичного ланцюга, просторовість якого буде надаватись обертанням всієї конструкції в основі.

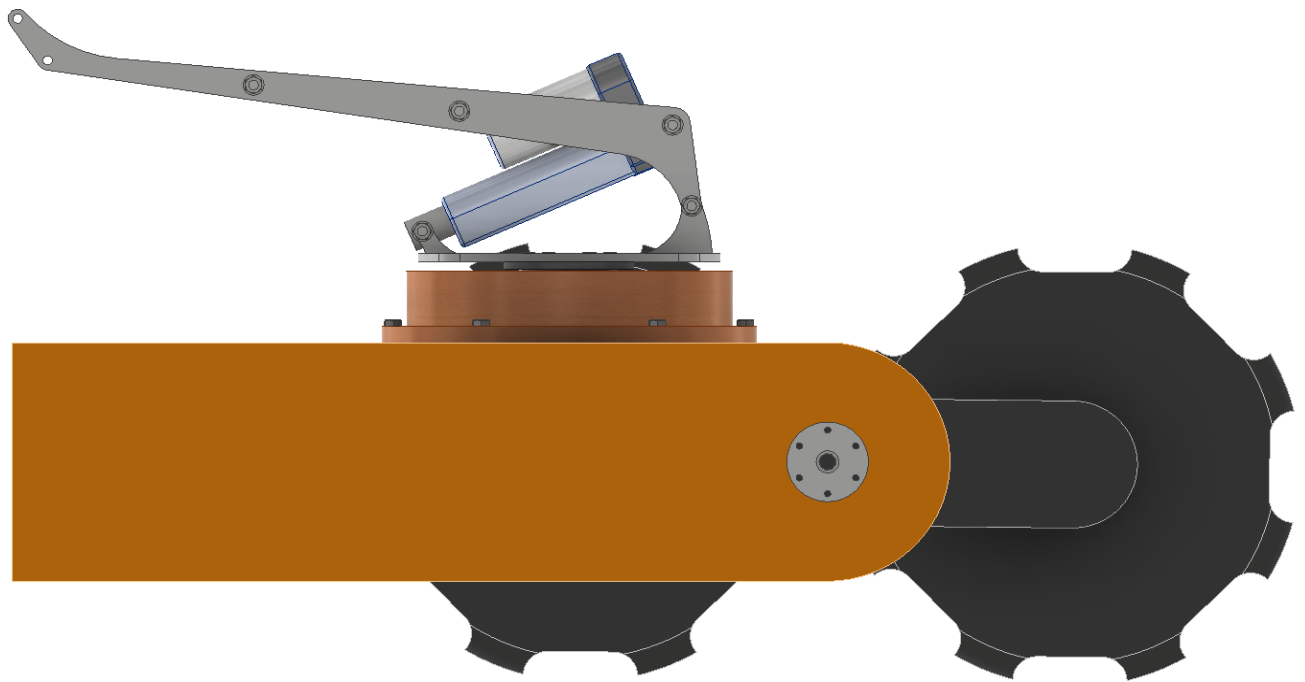


Рисунок 2.15 — Положення та розміри кріпильних отворів 2-ї ланки

Також такий вигляд дає можливість візуально оцінити правильність вибраних розмірів та елементів. Виникає здатність перевірити естетичну складову та переконатися в тому, що конструкція працездатна.

Наступними кроками буде створення ще двох ланок (3-ї та 4-ї) та чотирьох допоміжних елементів. Оскільки послідовність така ж сама, то доцільним буде просто показати їх розміри та вигляд у збірці.

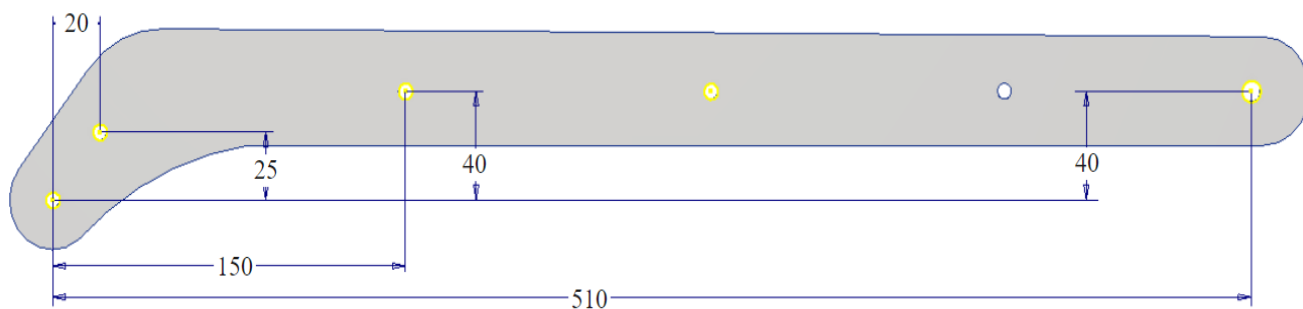


Рисунок 2.16 — Положення та розміри кріпильних отворів 3-ї ланки

Стосовно РО, були розглянуті варіанти різних констркцій захватного механізму, та обрано кращий варіант. На рис. 2.17 зображено тривимірну модель захвату та схему його роботи. Механізм затиску працює наступним чином: при затиску, двигун обертається за годинниковою стрілкою спричинюючи поступальниц рух плоского елемента (№3 рис. 2.17) в сторону двигуна, рух цього компоненту створює паралельно-поступальний рух губ затиску у протилежні сторони. При розтиску відбувається зворотній процес, плоский компонент рухається від двугуна в результаті чого губи затиску паралельно розходяться.

Гніздо для крокуючого двигуна NEMA 17 (№1 рис. 2.17) являє собою вал на якому розміщаються два радіальні підшипники, зафіксовані в блоці (№2 рис. 2.17) для кріплення на ланку. Також гніздо має в своїй будові зубчасте колесо, яке буде відтворювати обертальні рухи від зацеплення з шестрінею.

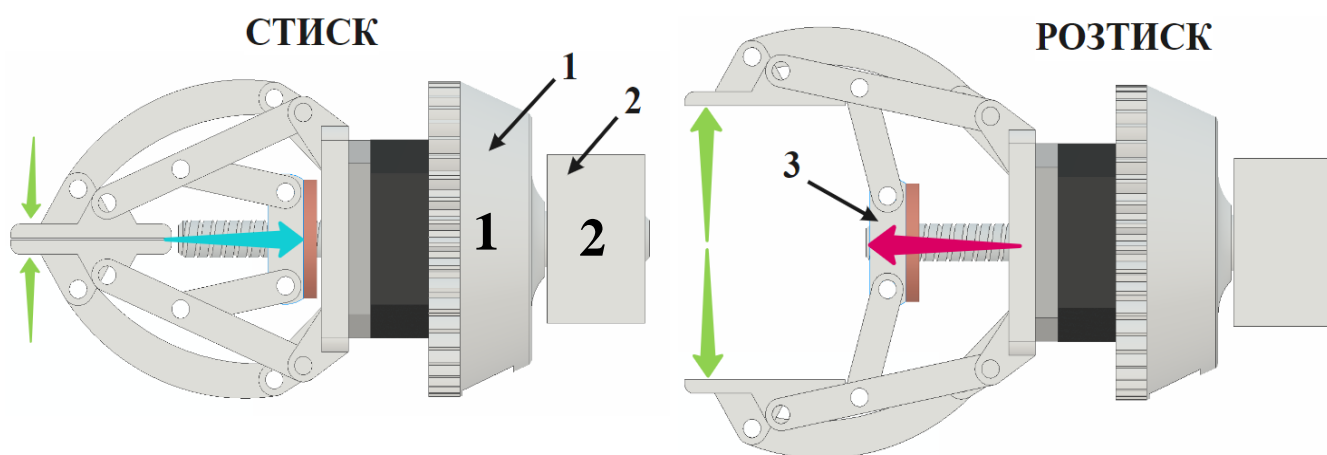


Рисунок 2.17 — Механізм роботи захвату

Отже тепер ми маємо всі елементи для створення маніпулятора. Маніпулятор складається з 4-х ланок та захвату. На рис. 2.18 зображений вигляд маніпулятора у збірці з захватом та двигунами.

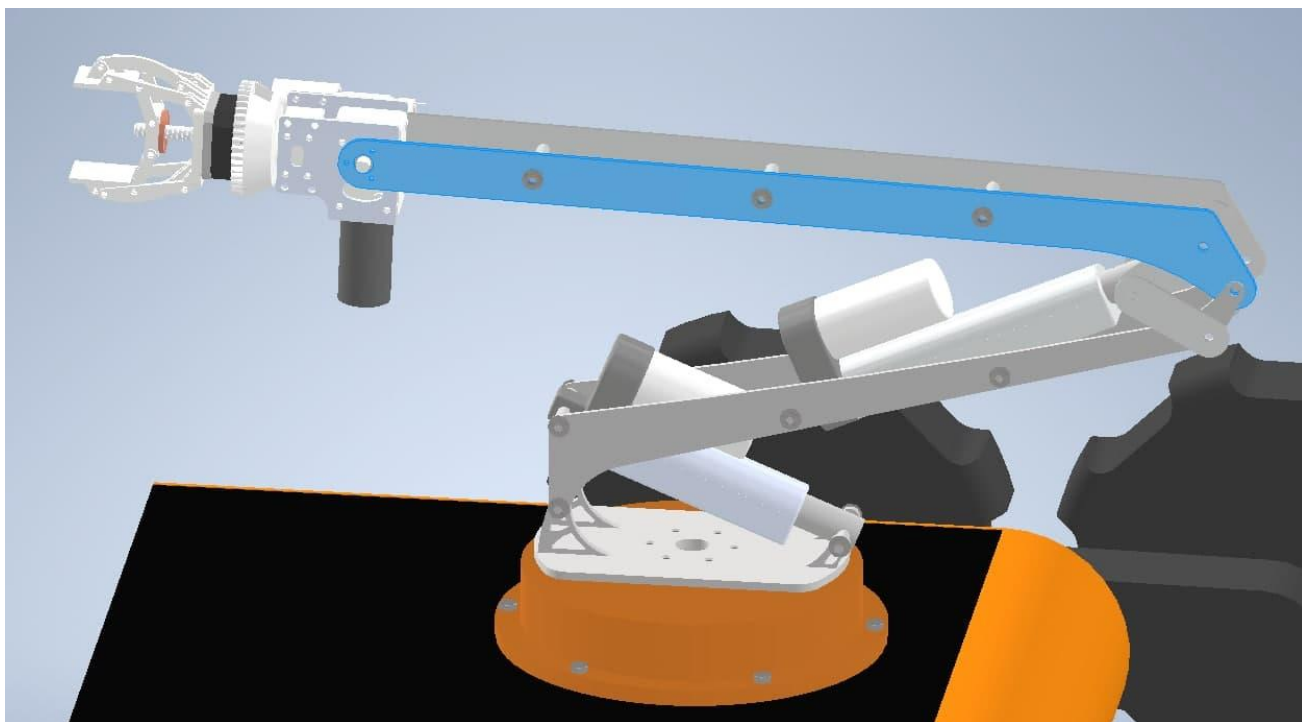


Рисунок 2.18 — Попередній вигляд маніпулятора у збірці

Така структура маніпулятора дуже часто зустрічається на простих виробництвах де потрібно просте перенесення об'єктів з точки А в точку Б. Однак така конструкція не передбачає у собі ніякої зміни робочого органу. Тому наступним завданням є створення механізми зміни РО.

Одним з РО є захват (рис. 2.17), а другим — бур збірний (рис. 2.19) для видобутку проб ґрунту. «Корпус проектованої бурильної головки складається з двох частин, перша для кріплення на трубі бурильної установки та механізму фіксації породи, друга – кріплення різальних елементів. Повному розкриванню назовні перешкоджають виступи на поверхні фіксатора керна, які стикаються з пазами в конструкції нижнього шару пелюсток, також виступи присутні на інших групах пелюсток та відповідні пази на решті пелюсток, які запобігають розкривання. В свою чергу при закриванні на поверхні пелюсток є виступи, які дозволяють кожній групі займати відповідне положення, що дозволяє отримати максимальне перекриття отвору.

Друга частина корпусу слугує для кріплення різальних елементів – три твердосплавні пластини (прямокутна форма, радіус вписаного кола 6.35 мм та задній кут 7 градусів), які сточено з боків на кут 2 градуси до трапецеїдальної форми. Спосіб кріплення різальних елементів – гвинтом, такий метод дозволяє надійне кріплення, легке встановлення/демонтівання, а також простота методу дозволить уникнути проблем під час експлуатації.» [17]

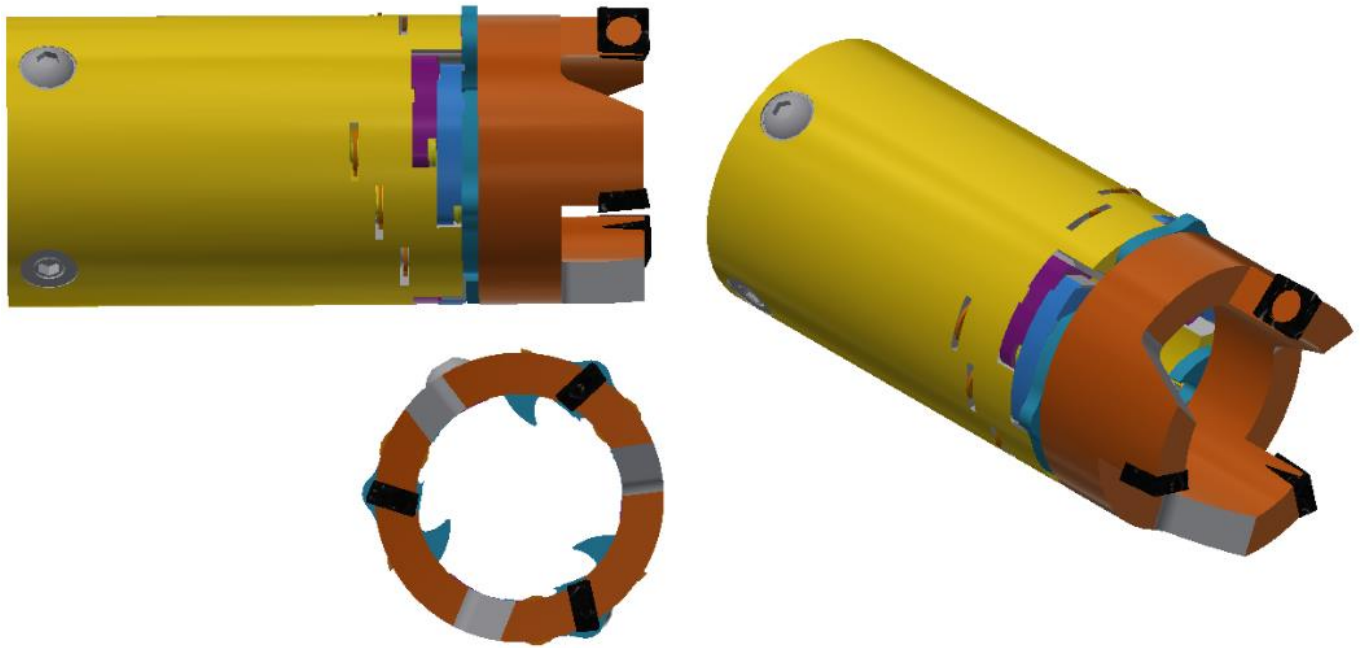


Рисунок 2.18 — Другий РО, бур збірний для видобутку проб ґрунту [17]

З'являється необхідність в доповненні вже існуючої конструкції маніпулятора, потрібно додати ще одну ланку, в якій буде розміщений механізм для зміни РО, оскільки нинішня форма не передбачає такої можливості.

Головною ідеєю яку необхідно втілити в життя є саме автоматична зміна РО, на даний момент існують конструкції зі змінними насадками, які дозволяють замінити, наприклад, захват на зварювальний апарат або інший інструмент. Проте, така структура не є кращою в нашому випадку, тому що на платформі обмежений простір і вбудовувати ще кріплення для змінних насадок приведе до збільшення маси та можливих незручностей при русі робота.

Для аналізу було обрано кілька пристроїв з револьверним типом зміни інструменту (рис. 2.19). В токарному станку (рис. 2.19, б) револьверного типу

вбудований тримач інструментів, при необхідності він обертається і таким чином відбувається зміна. Також за схожим принципом працює зміна об'єктивів на камері для смартфона (а, рис. 2.19).

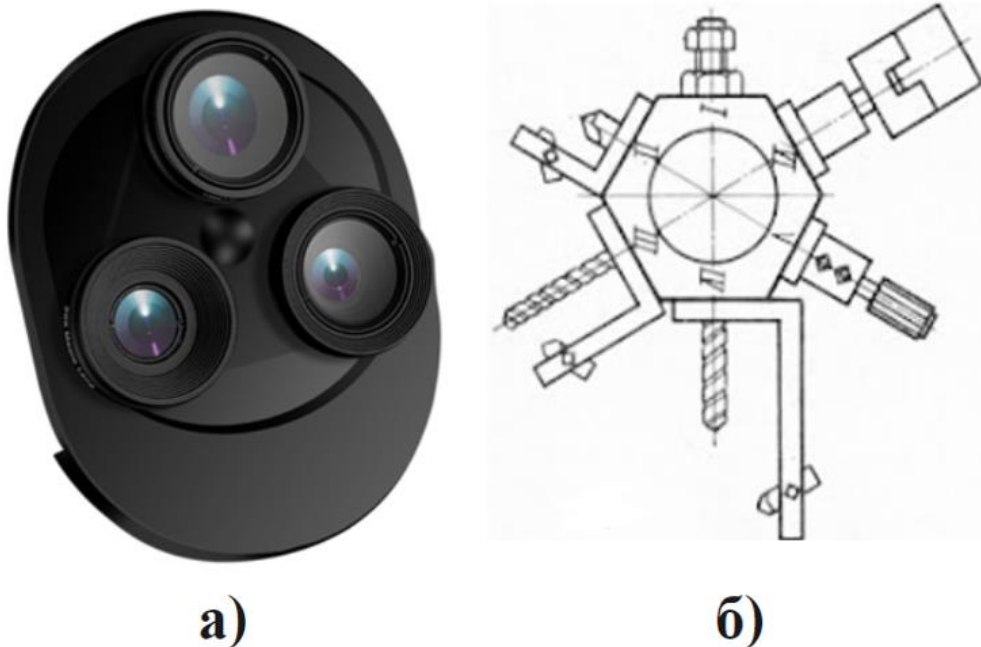


Рисунок 2.19 — Механізми зміни РО (а – на камері смартфона[18] б – револьверний станок[19])

Для наших умов краще підходить механізм зміни інструментів в токарному станку револьверного типу, тому проєктування буде проводитись опираючись саме на вже відому конструкцію (рис. 2.19, б). Подальше проєктування механізму буде спрямоване на забезпечення зміни РО шляхом обертання.

Оскільки робочих органів лише два, доцільним є розташування їх на одній осі. Обидва РО виконують обертальні рухи, тому з цілю економії енергоресурсів їх буде приводити в коловий рух один двигун. Оскільки два РО знаходяться на одній осі, їх зміна буде означати поворот на 180° , таким чином виникає потреба в ще одному двигуні, який буде обертати цю вісь.

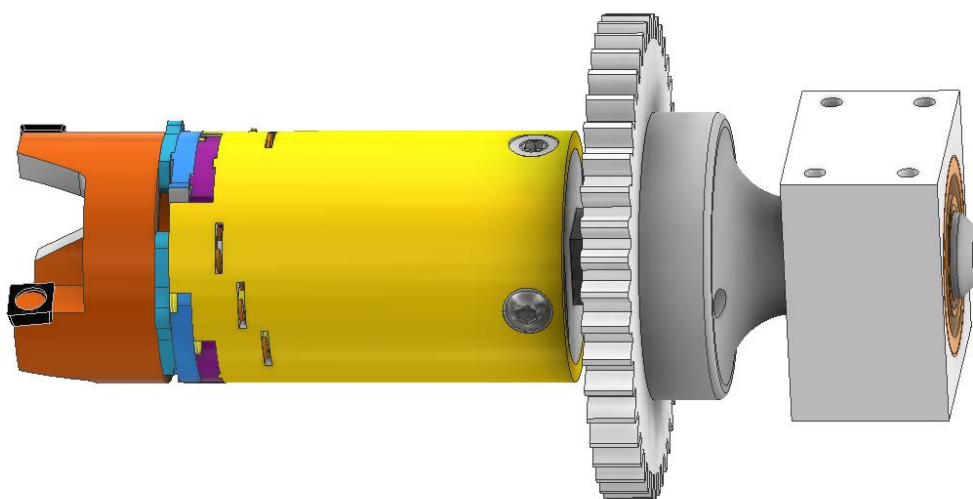


Рисунок 2.20 — Бур закріплений на зубчастому колесі

Було прийнято рішення додати ще одне зубчасте колесо (рис. 2.20) ідентичне до того, що знаходиться на захваті. Закріплення бура на зубчастому колесі дало можливість йому обертатися навколо тієї ж осі, що і захват. Таким чином ми маємо два РО на одній осі, готові до зчеплення з шестірньою та виконанню обертальних рухів. Фіксація бура на зубчастому колесі здійснюється за рахунок спроектованого в ньому отворі, а крутний момент передається за рахунок лисок (рис. 2.21).

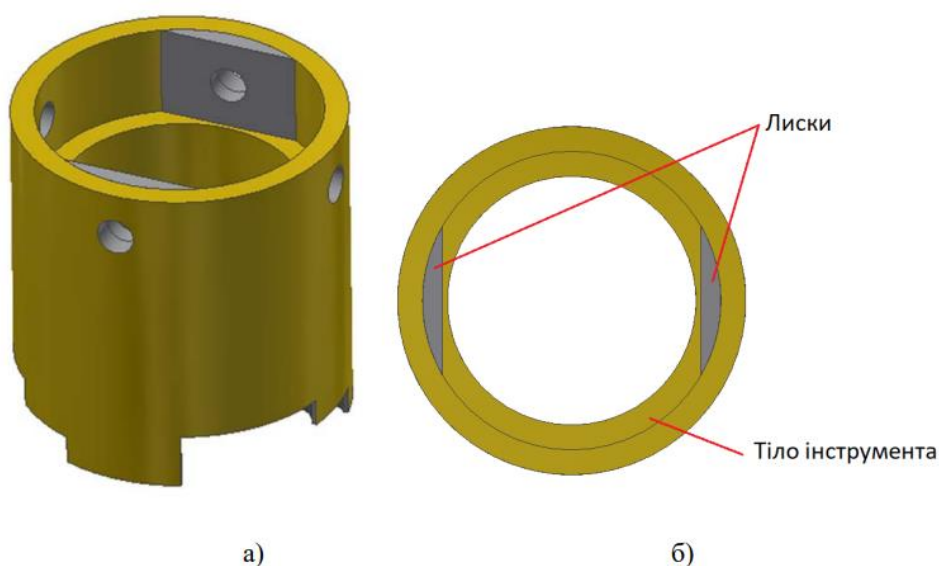


Рисунок 2.21 — Лиски (а – аксонометрія, б – вид зверху) [17]

Лишилася задача по обертанню осі робочих органів маніпулятора. Була розроблена наступна конструкція (рис. 2.22).

МЕХАНІЗМ ЗМІНИ РО

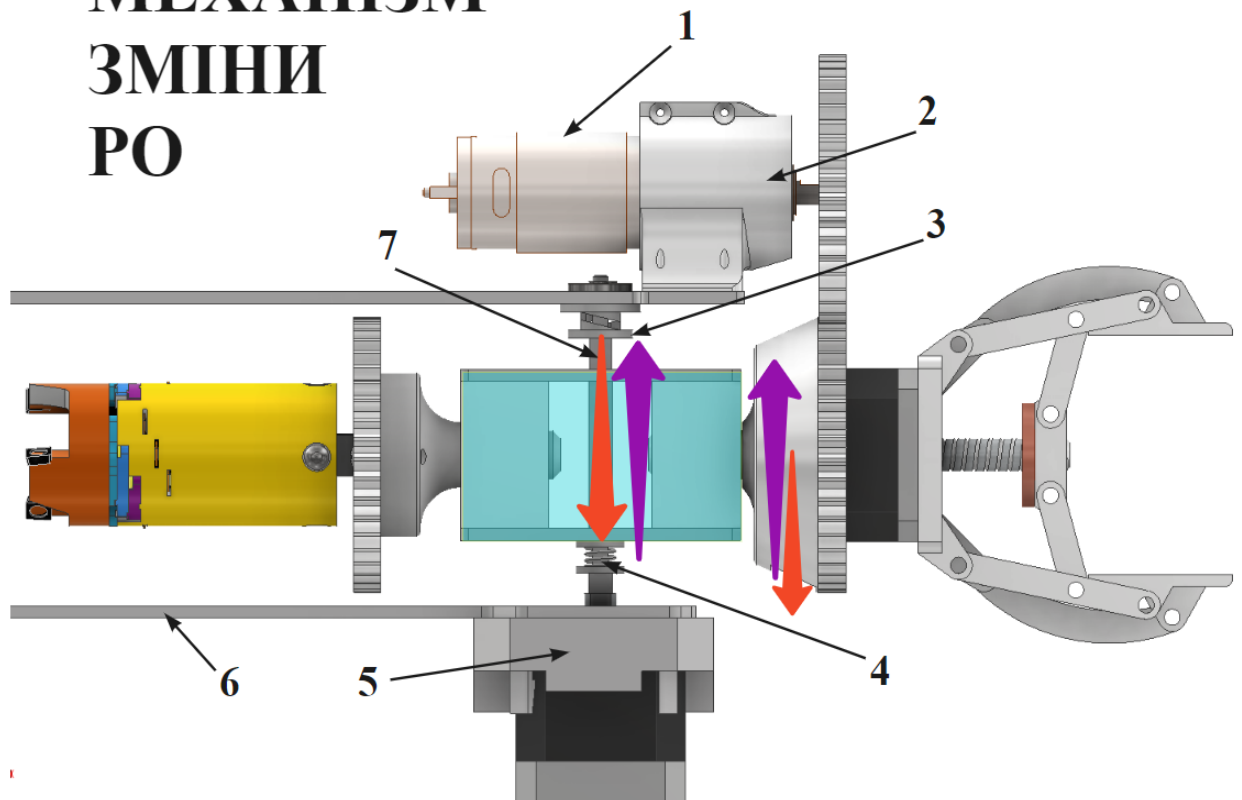


Рисунок 2.22 — Механізм зміни РО

Основними елементами конструкції є:

- 1 — Двигун для обертання РО;
- 2 — Кріплення для (1);
- 3 — Храповий механізм для виведення з зацеплення зубчастої пари;
- 4 — Пружина, яка повертає зацеплення зубчастих пар;
- 5 — Кріплення та двигун для зміни РО;
- 6 — Кінцева ланка маніпулятора;
- 7 — Вал, на якому кріпляться РО.

На рисунку 2.22 зображено не лише конструкцію механізму зміни РО, а й схему її роботи. Отже, дивлячись на схему можна побачити, в робочому режимі

працює лише один двигун для РО (1, рис 2.22), через зубчасту пару він обертає бур або захват. Для зміни РО активується кроковий двигун (5, рис. 2.22), який своїм обертанням приводить у рух вісь робочих органів, на початку храповий механізм частково виводить із зачеплення зубчасту пару, для того, щоб не пошкоджувати зубці, а потім відбувається поворот осі РО на 180 градусів, коли кут досягає близько 180 градусів, храповий механізм спрацьовує та з'єднує шестірню з зубчастим диском.

Для кріплення всіх елементів механізму потрібно спроектувати нові ланки, які б мали відповідні отвори та форму для оптимального використання. На рис. 2.23 можна спостерігати створену форму ланок.

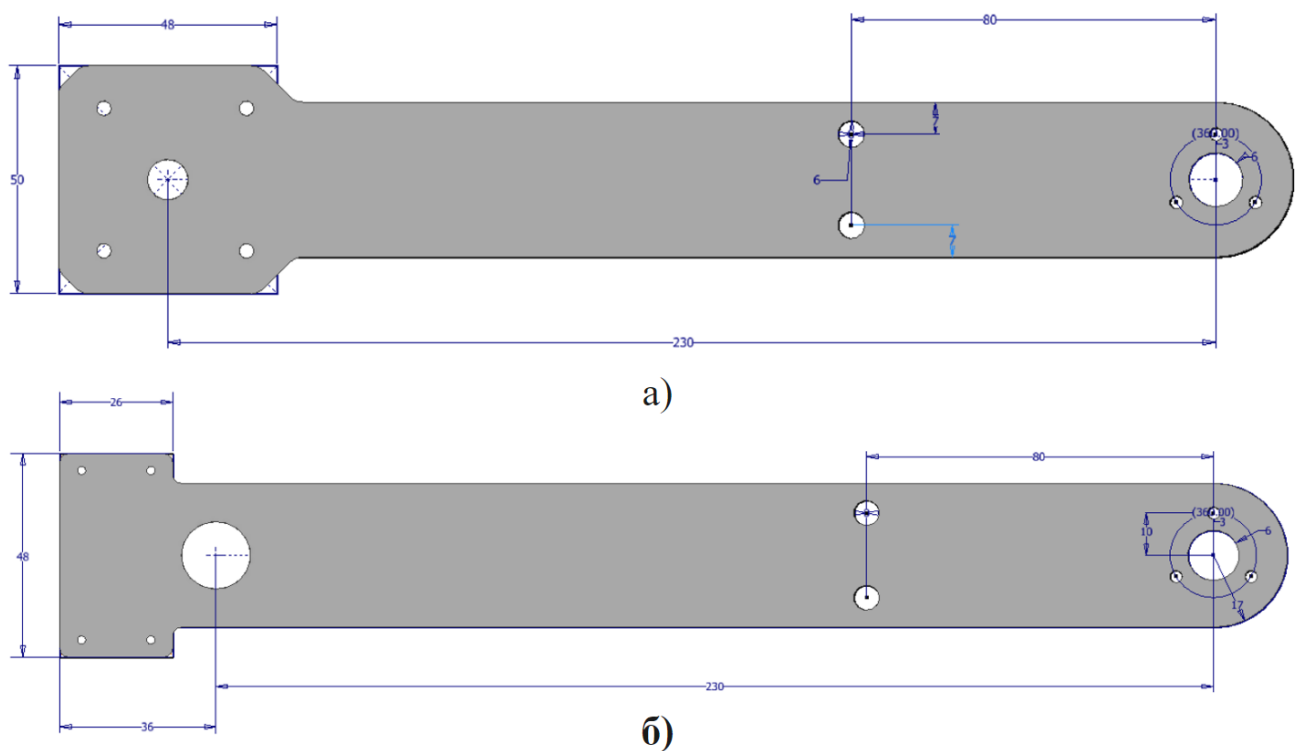


Рисунок 2.23 — Ланка 4 (а — права, б — ліва)

Таким чином маємо всі необхідні елементи конструкції маніпулятора та можемо переходити до підбору матеріалів та двигунів, які будуть забезпечувати нормальну роботу ПР.

2.4 Матеріали та приводи промислових роботів

Приводи.

Силове обладнання робота приводять у рух передавальні механізми, робоче і ходове устаткування. Приводи промислових роботів в значній мірі визначають динамічні характеристики – прискорення, швидкість руху робочого органу, точність позиціонування та ін. Від типу та конструкції приводу залежать експлуатаційні показники, габаритні розміри, споживання енергії, рівень шуму, можливість експлуатації роботів в різних середовищах.

Тип приводу визначається характером виконуваних роботом процесів. Так, приводи з постійною або регульованою швидкістю руху застосовуються в роботах із цикловим керуванням. Регульовані та слідкувальні приводи використовуються в роботах із програмним керуванням. До приводів роботів із контурним керуванням пред'являються вимоги по забезпеченню номінального крутного моменту, як при малій частоті обертання, так і в стані спокою [16].

Приводи роботів класифікують за наступними ознаками: за кількістю двигунів; наявністю та типом передавальних пристроїв; типом двигуна.

За видом використовуваної енергії приводи поділяють на підравлічні, пневматичні, електромеханічні та комбіновані. Частка роботів із гідравлічним приводом складає 43.4%, пневматичним – 43.39%, електричним – 13,39%.

Вибір типу приводу є частиною загальної задачі розробки і проектування промислових роботів і залежить від багатьох факторів, зокрема, таких як:

- характер навантаження на робочий орган робота та його проміжні ланки;
- необхідні лінійні і кутові переміщення, швидкості, закони руху робочого органу;
- кількість точок і точність позиціонування або точність відтворення траєкторії руху;
- умови експлуатації промислових роботів і, перш за все, характеристики навколишнього середовища: вогнебезпечність, вибухонебезпечність, рівень забруднення тощо.

Приводи всіх типів при використанні їх в промислових роботах мають специфічні особливості [16]:

- сучасні промислові роботи мають велику кількість ступенів вільності (рухомості), кожний з яких забезпечується своїм виконавчим двигуном;
- для виконання загальної конкретної технологічної задачі необхідно забезпечити групове керування виконавчими приводами, тобто привід з позицій управління повинен розглядатися як багатовимірна система;
- широка зміна діапазону навантажень на привід з переважанням інерційних навантажень;
- потрібна висока точність виконавчого органу маніпулятора при позиціонуванні;
- потрібні великі ресурси роботи при значних динамічних навантаженнях і без регламентної експлуатації, тобто, висока надійність;
- привід повинен допускати тривалу роботу в загальмованому режимі.

Пневматичний привід

Пневматичні виконавчі механізми – це пристрої, що перетворюють енергію стислого газу, найчастіше, повітря в енергію переміщення вихідної механічної ланки приводу. В загальному пневматичний привід складається з двигуна, розподільного пристрою і регулятора швидкості. У пневмоприводах промислових роботів, в основному, використовують поршневі виконавчі механізми – пневмоциліндри, оскільки вони конструктивно прості, надійні та забезпечують значне робоче зусилля. Виконавчі механізми виконуються як у вигляді пневмоциліндрів односторонньої і двосторонньої дії, неповноповоротних пневмодвигунів різних типів, реверсивних пневмомоторів, так і мембранних камер.

Двигун поступальної дії – пневмоциліндр, складається із гільзи (труби), поршня та штока. Поршень та взаємозв'язаний з ним шток рухаються унаслідок тиску стислого повітря. Напрямок руху залежить від того, в яку з порожнин циліндра подається повітря [16].

Поворотні двигуни з обмеженим кутом повороту складаються із нерухомого корпусу кільцеподібної форми із внутрішньою розділовою перегородкою і рухомою лопаткою, що закріплена на валу. Подача стислого повітря в одну з порожнин приводить в рух лопать, а разом з нею і вал двигуна.

Розподільний пристрій виконується з електромагнітним приводом, управляючі сигнали на які поступають від пристрою управління робота або виробляються за допомогою елементу гнучкої трубки сервоклапана. Регулювання швидкості приводу в заданих межах здійснюється шляхом стабілізації витрати повітря за допомогою дроселя зі зворотним клапаном. Стисле повітря, що подається від компресора, заздалегідь проходить очищення від вологи і сторонніх частинок, а потім змішується із змащувальним маслом (2...4 краплі на 1 куб.м повітря). Заданий для приводу робота тиск повітря забезпечується за допомогою редуктора.

Керування пневмоприводом в більшості випадків циклічне, або, як його ще називають, позиційне по упорах. При цьому привід виконує рух відразу від початкової позиції в кінцеву, положення якої зафіксоване механічним упором, встановленим на штоку пневмоциліндра або валу двигуна. При русі упор зустрічає перешкоду – демпфер, який і остаточно гасить енергію руху. Демпфери виконують гідравлічними і пружинними. Гальмування здійснюють також за допомогою реверсу, шляхом зміни напрямку подачі повітря.

Пневматичний привід широко застосовується в промислових роботах з цикловим програмним керуванням. Згідно статистичних даних, близько 4095 промислових роботів обладнано пневматичним приводом. Промислові роботи із пневматичним приводом зазвичай мають вантажопідйомність до 200 Н.

Переваги пневматичного приводу:

- простота і надійність конструкції,
- висока швидкість вихідної ланки приводу (при лінійному переміщенні до 1 м/с, при обертанні – до 60 об/с);
- застосування стислого повітря у якості робочого тіла – екологічно чистого робочого тіла;
- можливість використання (заводської пневматичної мережі 0,5...0,6 Мпа;
- висока точність позиціонування по точках, що визначені жорсткими механічними упорами;
- можливість працювати в агресивному, вогнебезпечному та вибухонебезпечному середовищах;

Недоліки пневматичного приводу:

- невисока точність позиціонування, якщо не використовуються механічні упори;
- порівняльно низька вихідна потужність;
- велика кількість нелінійних елементів, як в системі управління, так і в пневматичному двигуні;
- нестабільність швидкості вихідної ланки при зміні навантаження;
- необхідність демпфування руху вихідної ланки приводу в кінці ходу для запобігання ударів.

Гідропривід відрізняється високою енергоємністю, швидкодією, малою інерційністю, можливістю реалізації автоматичного керування регулювання швидкості виконавчих органів.

До недоліків гідроприводів відносяться: можливий витік робочої рідини при обривах шлангів і нещільності з'єднань, необхідність підтримки температури робочої рідини при відносно широкому діапазоні. При потужності 500...1000 Вт і вище вони мають кращі малогабаритні характеристики, що і забезпечує їм широке застосування для важких і надважких робіт. Ця обставина є важливою при монтажі великогабаритних залізобетонних конструкцій, що мають масу 8,1т і більше.

Прийнято розрізняти гідродвигуни за ступенем обмеження ходу. Гідродвигуни із обмеженим ходом називають гідроциліндрами, а із необмеженим – гідромоторами.

Прикладом застосування гідромоторів і гідроциліндрів є гідравлічна система робота (рис. 2.24).

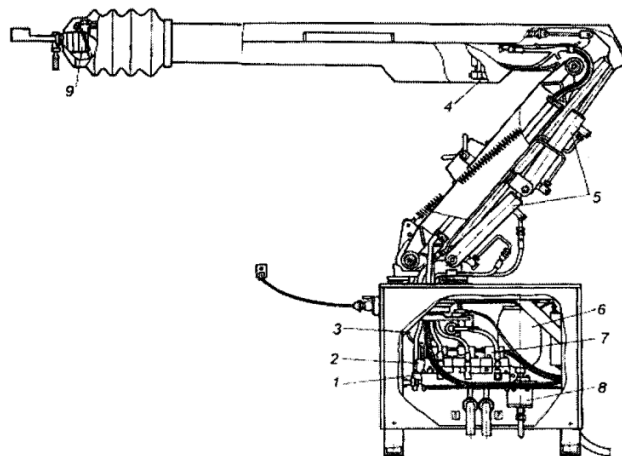


Рисунок 2.24 — Гідравлічна система робота [16]

З гідравлічною станцією система з'єднана двома гнучкими маслопроводами. Управління гідродвигунами здійснюється за допомогою золотників і клапанів (сервоклапанів). Сервоклапани пов'язані з електронним блоком системи управління роботом. Таке керування гідродвигунами із застосуванням сервоклапанів і золотників називають також керуванням за допомогою електрогідравлічних підсилювачів.

Гідравлічна станція забезпечена пластинчастим регульованим насосом. У ній змонтовані повітряний охолоджувач (радіатор з вентилятором), масляний фільтр |

повітряний фільтр, встановлено контрольна апаратура (манометр) і електромагнітний розподільник, який розвантажує систему від тиску під час вмикання насоса.

Гідравлічна система маніпулятора складається з трьох основних блоків: 1) блоку редукування тиску (робочий тиск гідродвигуна із поворотно-ротаційним рухом); 2) блоку приводу і управління гідроциліндрами зі зворотно-поступальним рухом; 3) блоку приводу і управління гідродвигуном зі зворотно-обертальним рухом [16].

Гідравлічні приводи використовують робочу рідину (масло) та застосовуються перш усього в важкому машинобудуванні. Гідравлічні приводи здатні передавати високі зусилля, вони можуть здійснювати швидкі переміщення з керуванням швидкості, тому використовуються для переміщення важких предметів. Але ці приводи також потребують гідравлічні насоси та трубопроводи.

Керування гідравлічними виконавчими пристроями також здійснюється за допомогою різних вентилів, розподільників та регуляторів витрачання та тиску, а для підключення гідравлічних приводів до електронної системи керування використовуються керуючі пристрої з електромагнітним приводом.

Таким чином з боку системи керування при використанні пневматичних та гідравлічних виконавчих пристроїв дискретні керуючі сигнали подаються на електромагнітні приводи, а саме, на котушку індуктивності. Для здійснення пропорційного регулювання тиску використовуються аналогові сигнали. Аналоговий вихід задає тиск, а сигнал датчика тиску поступає на аналоговий вхід, і таким чином замикає контур регулювання.

У сучасних системах керування переміщенням часто використовуються електроприводи, а саме електродвигуни постійного струму, синхронні та асинхронні двигуни змінного струму, а також крокові двигуни. [10]

Електроприводи

Електропривод сучасного ПР є комплекс приводів, кожен з яких керує окремим ступенем вільності. В якості регуляторів швидкості і струму виступають

аналогові, а останнім часом і цифрові. Датчик швидкості також може бути як аналоговим так і цифровим.

Відповідно до з передаточного пристрою, електроприводи класифікують на:

- редукторні – електродвигун передає обертальний рух до робочого органу через редуктор;
- безредукторні – передача руху від електродвигуна здійснюється безпосередньо робочому органу або через передавальний пристрій, що не має редуктора.

За рівнем автоматизації розрізняють наступні електроприводи:

- неавтоматизовані з ручним керуванням;
- автоматизовані, керовані автоматичним регулюванням параметрів;
- автоматичні, в яких керуючий вплив виробляється автоматичним пристроєм без участі оператора.

В якості привідних двигунів можуть використовуватися крокові електродвигуни, електродвигуни постійного та змінного струмів.

Крокові двигуни

«Високу точність позиціонування без датчиків зворотного зв'язку (швидкості або положення) можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на визначений кут. Імпульси поступають послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Спрощена схема уніполярного крокового двигуна наведена на рис. 2.25 та показана послідовність подачі сигналів, яка потребується для обертання двигуна.

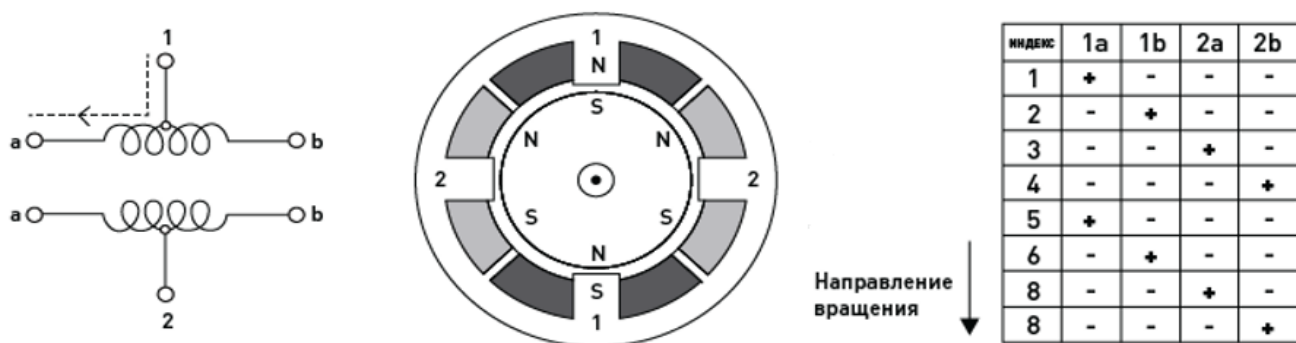


Рисунок 2.25 — Уніполярний кроковий двигун (спрощена схема та послідовність подачі сигналів)

Змінюючи період проходження імпульсів можна змінювати швидкість обертання крокового двигуна по заданому закону. Позицію задає кількість імпульсів, які поступають на кроковий двигун.

Універсальні системи і пристрої керування мають умонтовані функції керування кроковими двигунами.



Рисунок 2.26 — Вигляд крокуючого двигуна NEMA [22]

Контролери з апаратно-програмного комплексу Arduino мають бібліотеки дл керування кроковими двигунами, наприклад, бібліотека Stepper Library» [10].

Підключення крокуючого двигуна до Arduino є не складним, але потребує базового розуміння електротехніки (рис. 2.27). Для підключення необхідно мати драйвер L298N.

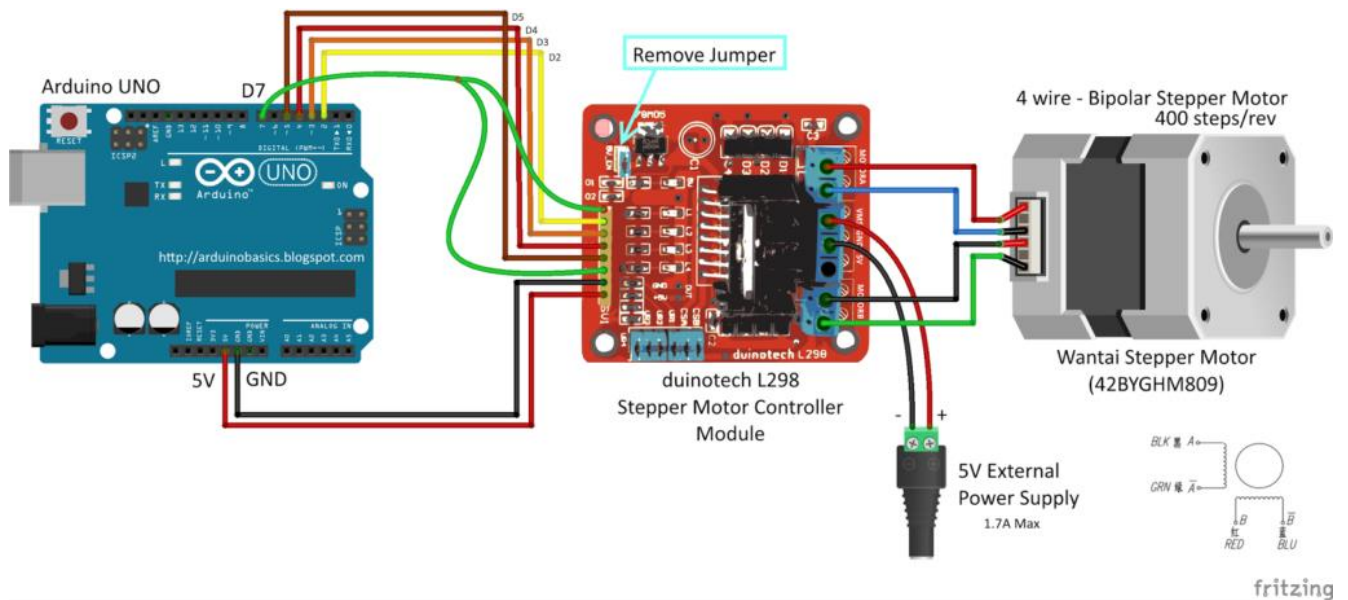


Рисунок 2.27 — Підключення крокового двигуна до контролера [21]

Ми розібрали три основні типи приводів, що використовуються ПР. Було розглянуто гідравлічні, пневматичні та електродвигуни. Так, як в нас дуже невеликі навантаження, то гідравлічні не підходять нам. Пневматичні мають найбільшу складність у керуванні. Тому був обраний тип електродвигуни, а саме крокуючі та лінійні актуатори.



Рисунок 2.28 — Лінійний актуатор робочий хід 100 мм [23]

Для основної ланки було підібрано лінійний актуатор (рис. 2.28) з довжиною робочого ходу 100мм та швидкістю в 20мм/с, він має експлуатаційну надійність при навантаження в 100Н та 0,8 кг маси, що цілком нас задовольняє [23].

Для наступної ланки також було обрано лінійний актуатор, але з меншим робочим ходом, 50 мм, він має більшу швидкість, 40 мм/с та меншу масу – 0,6 кг [23].

Для третьої ланки був обраний мотор-редуктор GW31ZY, який має високий крутний момент, має невелику масу, лише 0,4кг та невеликий за розміром [24].

Для останньої ланки, точніше, для механізму зміни РО потрібно два приводи, один для обертання бура, а інший для зміни РО. Так, як маси захвата та бура приблизно однакові, то нам не потрібен надпотужний двигун.

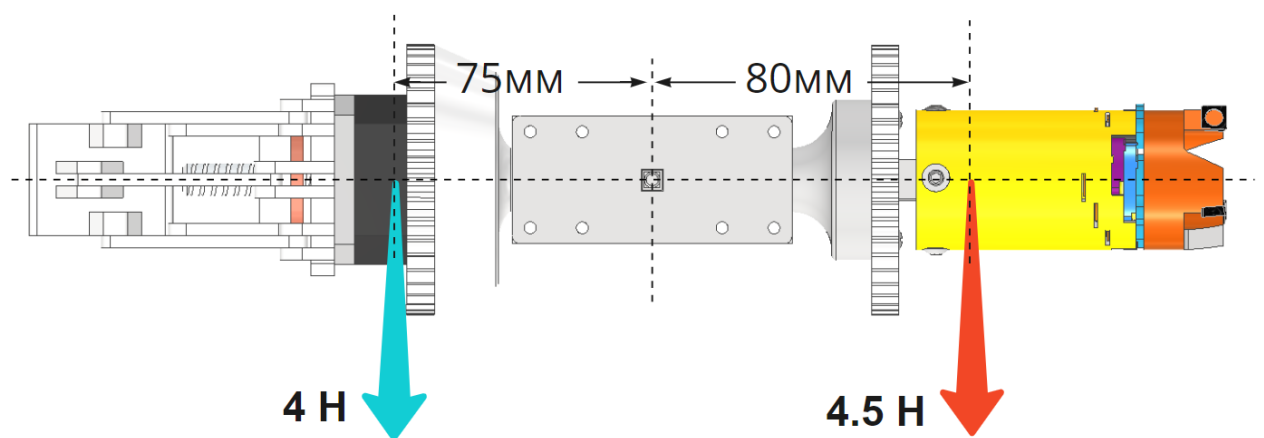


Рисунок 2.29 — Крутні моменти РО

Користуючись інформацією з рис. 2.29 можемо порахувати який мінімальний крутний момент потрібен для обертання РО навколо осі.

Маємо:

$m_z = 4 \text{ Н}$ – маса захвата разом з NEMA17;

$m_b = 4,5 \text{ Н}$ – маса бура разом з кріпленням;

$r_1 = 75 \text{ мм} = 0,075 \text{ м}$ – плече захвата;

$r_2 = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$ – плече бура;

Отже:

$$m_z * r_1 - m_b * r_2 = 4 * 0,075 - 4,5 * 0,08 = - 0,06 \text{ Н*м}$$

Ми маємо, що моменти, створені РО майже однакові, тому двигуном було обрано NEMA 17 (рис. 2.26), його маса становить 0,28 кг та він має досить високий крутний момент 40 Н/см, що цілком задовольняє нашим потребам.

Також для нормального процесу буріння потрібно забезпечити рекомендовану швидкість обертання бури $V_{\text{кол}} = 0.8 \dots 1.8 \text{ м/с}$. [17]. Тому потрібно визначити частоту обертання двигуна. Обираємо середнє значення швидкості — 1,2 м/с:

$$\omega = \frac{V}{2\pi R} \cdot 60 = \frac{1.2}{2 \cdot 3,14 \cdot 0.035} \cdot 60 = 327 \text{ об/хв}$$

Таким чином, маючи частоту можна знайти відповідний двигун. Було обрано планетарний двигун BMM515M, він має крутний момент 5 Н*м та частоту обертання 580 об/хв, що цілком достатньо.

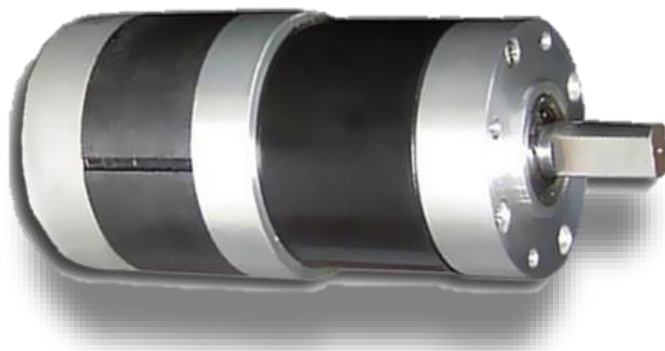


Рисунок 2.30 — Планетарний двигун BMM515M [25]

Вибір матеріалів.

Ланки маніпулятора будуть виготовлені з листового алюмінію **марки АМг5**. АМг5 – алюмінієво-магнієвий сплав, що володіє середніми показниками міцності та пластичності та відмінною зварюваністю та антикорозійною стійкістю. Використовуються алюмінієві сплави АМг5 для виробів кольорового металопрокату методами холодної та гарячої деформації.

Сплав АмГ5 виготовляється відповідно до чинного стандарту ГОСТ 4784-97. Цей нормативний документ регулює хімічний склад сплавів, що деформуються, відсоткове співвідношення компонентів, механічні властивості і допустимі відхилення.

Хімічний склад виглядає так:

Алюміній – 91,9-94,68%;

Магній – 4,8-5,8%;

Марганець – 0.5-0.8%;

Цинк – 0,2%;

Титан – 0,2-0,1%;

Мідь – менше 0.1%.

Для підвищення зварюваності до складу додають берилій і кремній. Відпал матеріалу здійснюється при температурах 305-340 градусів з подальшим охолодженням у природних умовах. Питома вага металу – 2 650 кг/м3. Матеріал має аналогічні фізико-хімічні властивості зі сплавом АмГ6. Порівняно з АмГ2 та АмГ3 є більш твердим та міцним, хоча програє їм за пластичністю.

Інші елементи механізму зміни РО будуть створенні з використанням тривимірного друку. Матеріал — **пластик марки PLA.**

PLA (Полілактид) – біорозкладний пластик, в основі якого знаходиться молочна кислота. Виготовляється з цукрової тростини або кукурудзи. Може також виготовлятися з інших натуральних продуктів, таких як картопляний крохмаль або целюлоза.

Технічні характеристики:

Температура плавлення – 175-180 ° С;

Температура експлуатації виробів – -20+40°C;

Відносне подовження при розриві – 3,8%;

Міцність на вигин – 55,3 Мпа;

Міцність на розрив – 57,8 Мпа;

Модуль пружності при розтягуванні – 3,3 Дпа;

Модуль пружності при згині – 2,3 Дпа;

Щільність – 1,23-1,25 г/см³;

Точність друку - $\pm 0,1\%$;

Усадка при виготовленні виробів – ні;

Вологовбирання – 0,2-0,4%.

Даний пластик нетоксичний і представлений різними виробниками в широкій гамі кольорів. Є одним із найпопулярніших пластиків для 3D-друку. Підходить для друку вдома. Причиною цієї популярності є такі характеристики:

Позитивні:

- Не дає усадки під час друку, що дозволяє отримати точну відповідність розмірів надрукованого виробу змодельованому.
- Не вимагає підігрівного столу і не боїться протягів під час друку, а значить може використовуватися для друку на найдешевшому китайському принтері з відкритим корпусом.
- Нетоксичний.
- Твердий, міцний та слизький, широкий діапазон застосувань.
- Виготовляється з натуральних компонентів, може використовуватись для контакту з харчовими продуктами.
- Біорозкладний, речі з даного пластику не завдають шкоди навколишньому середовищу при утилізації.

Негативні:

- Під впливом повітря та ультрафіолету, з часом стає більш крихким, внаслідок чого не рекомендується для довготривалого застосування при великих фізичних навантаженнях або без захисного покриття на відкритому повітрі.
- Вузький температурний діапазон використання ($-20 - +40^{\circ}\text{C}$).
- Висока твердість пластику ускладнює його механічну обробку.
- Пластик деяких виробників, через високий вміст залишкових мономерів, схильний до утворення пробок у суцільнометалевих хотендах.

2.5 Аналіз силового навантаження

Маніпулятор це досить складний механізм, який має бути здатним сприймати навантаження. Конструкція створеного маніпулятора розподіляє навантаження між двома симетричними (окрім ланки 4) ланками і таким чином можливо досягти більшого потенційного навантаження, що сприймається.

Для того, щоб правильно навантажити окремі елементи маніпулятора потрібно розглянути варіант у розгорнутому вигляді (рис. 2.31).

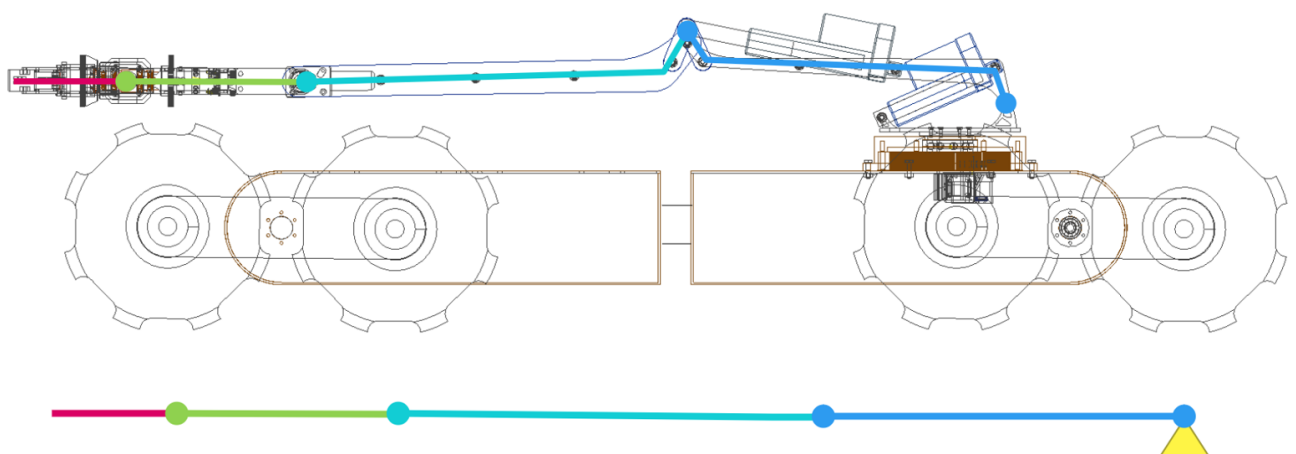


Рисунок 2.31 — Маніпулятор в розгорнутому вигляді та спрощена схема

Розглянемо ланки, як незалежні один від одного елементи. На рис 2.32 можна спостерігати, що кожна ланки защемлена з одного боку, це зроблено з розрахунком на те, що в з'єднаннях не буде випадкових рухів. Отже бачимо, що всі ланки мають посередині навантаження, це навантаження від маси самої ланки, є певні відхилення від реальних точок прикладання та центрів мас, але для простішого розрахунку було обрано саме половину довжини.

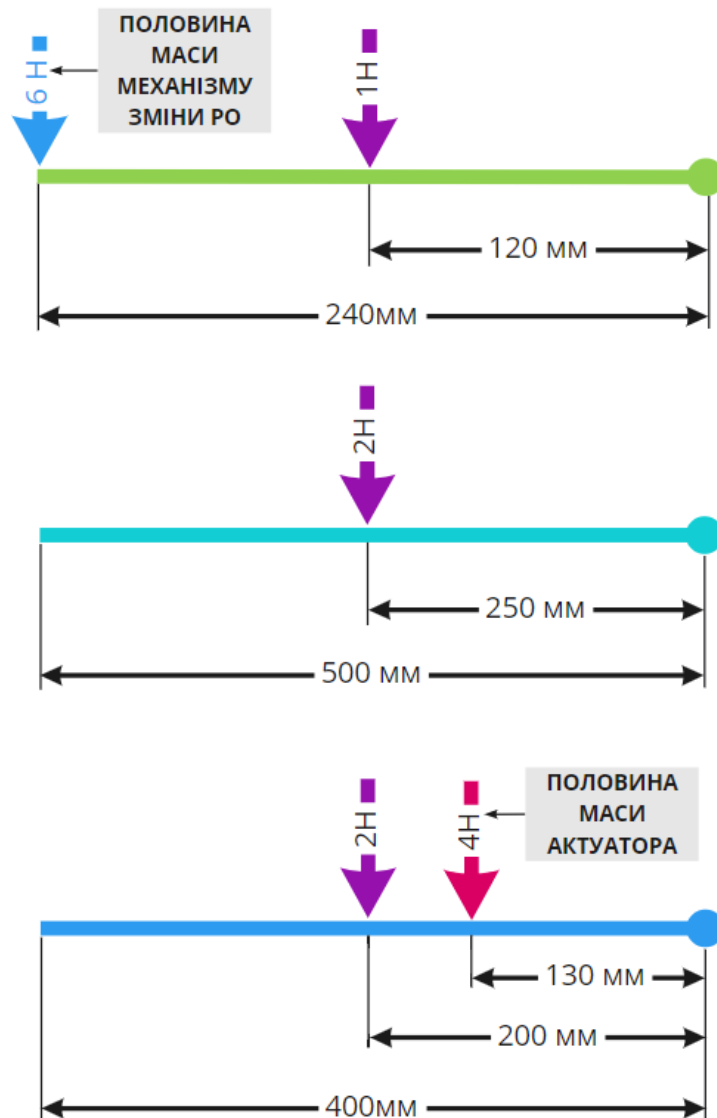


Рисунок 2.32 — Навантаження які сприймають ланки незалежно одна від одної

Отже сумарна вага механізму для з'їмки РО складає $1,2\text{ кг}$, навантаження на одну ланку складає $0,6\text{ кг}$ або $6H$. Крім того потрібно враховувати максимальну вагу об'єкту транспортування, задача була поставлена так, що маніпулятор повинен

бути здатним піднімати та транспортувати об'єкт вагою 10Н. Тоді сумарне навантаження на ланку буде $(12\text{Н}+10)*0,5=11\text{Н}$. Отже, маючи значення навантаження зробити симуляцію в середовищі Autodesk Fusion 360 (рис. 2.33).

Можемо спостерігати схему навантаження правою частиною вагою в 15Н та коефіцієнт запасу. Вся деталь одного кольору та має запас міцності 15 (рис. 2.33), що показує здатність ланки витримувати навантаження.

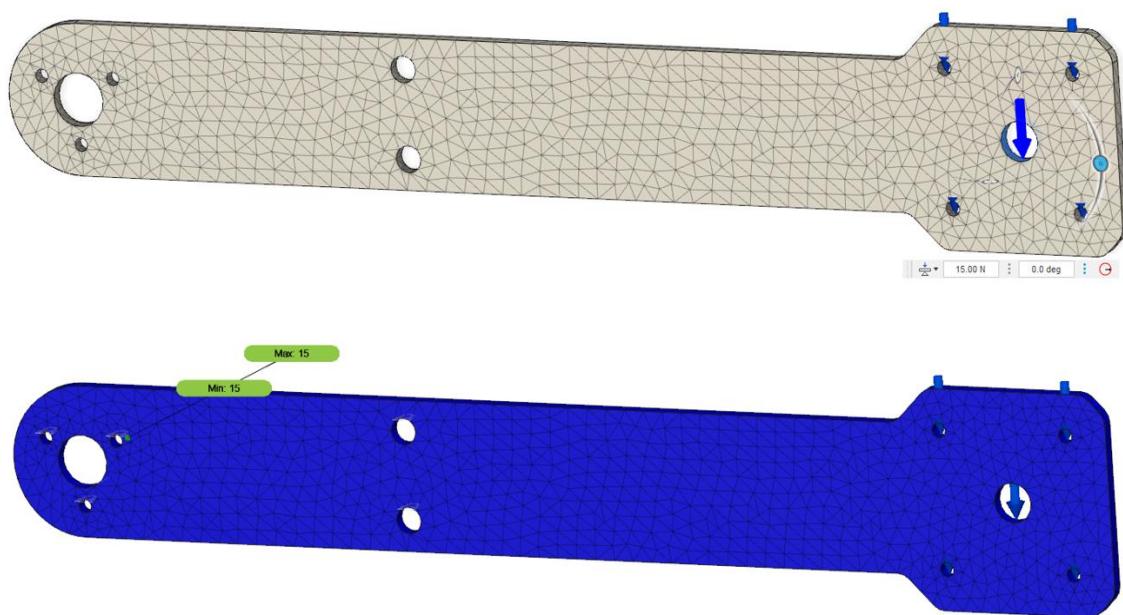


Рисунок 2.33 — Навантажена права частина ланки №4 та симуляція

Відповідним чином робимо навантаження лівої частини ланки №4 (рис. 2.34).

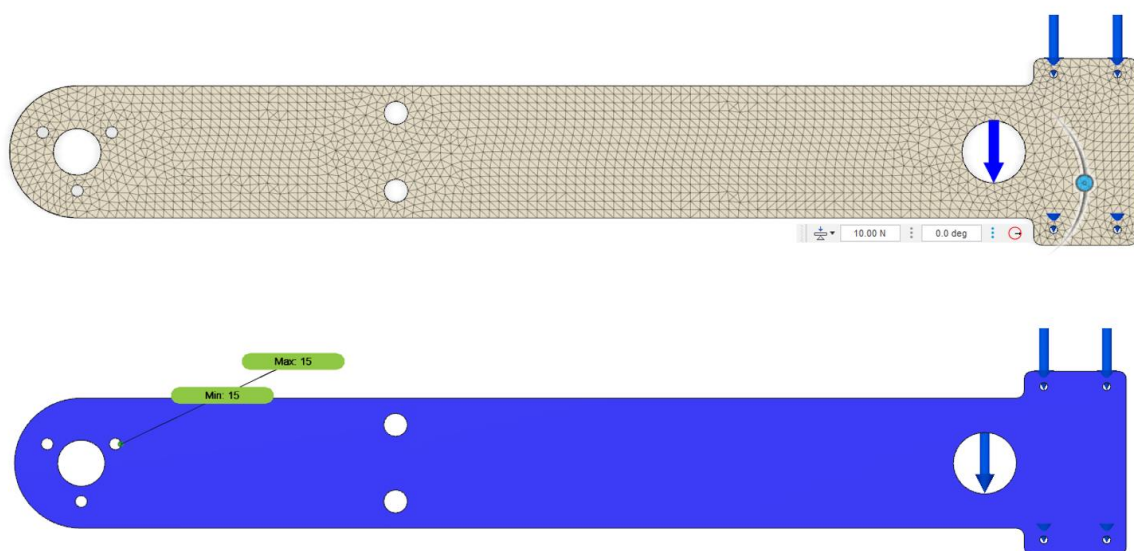


Рисунок 2.34 — Навантажена ліва частина ланки №4 та симуляція

Навантаження всіх наступних ланок буде мати накопичувальний характер. Якщо вихідна ланка №4 сприймала навантаження в 15Н, то ланка №3 (рис. 2.32) буде сприймати сумарне навантаження обох ланок. Таким чином навантаження, яке сприймає ланка №3 буде складати $11Н+2Н=13Н$, але для більшої безпеки буде прикладене навантаження в 16Н. Симуляція навантаження вказана на рис. 2.35.

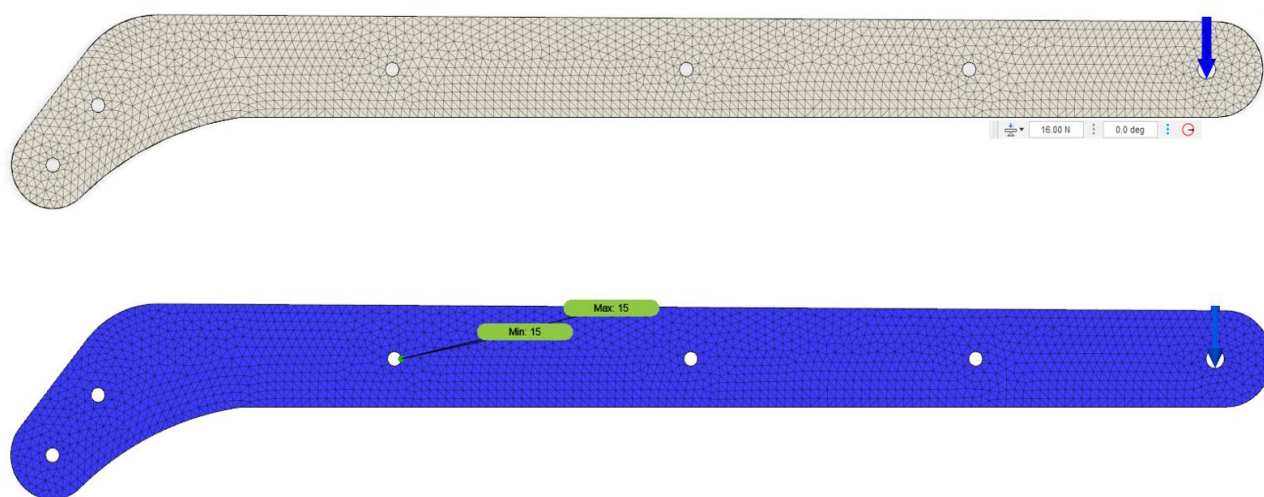


Рисунок 2.35 — Навантаження ланки №3 та симуляція

На рис. 2.35 бачимо, щоб деталь здатна легко витримувати навантаження і має високий коефіцієнт запасу.

Наступною деталлю для перевірки на номінальне навантаження є ланка №2, яка повинна сприймати сумарне навантаження від всіх попередніх, тобто від 3-ї та 4-ї ланок. Крім того вона має додаткове навантаження спричинене вагою лінійного актуатора та звичайно власною також. Отже, навантаження для перевірки буде складати (рис. 2.32) $16Н+4Н+2Н=22Н$, для безпеки приймаємо 25Н.

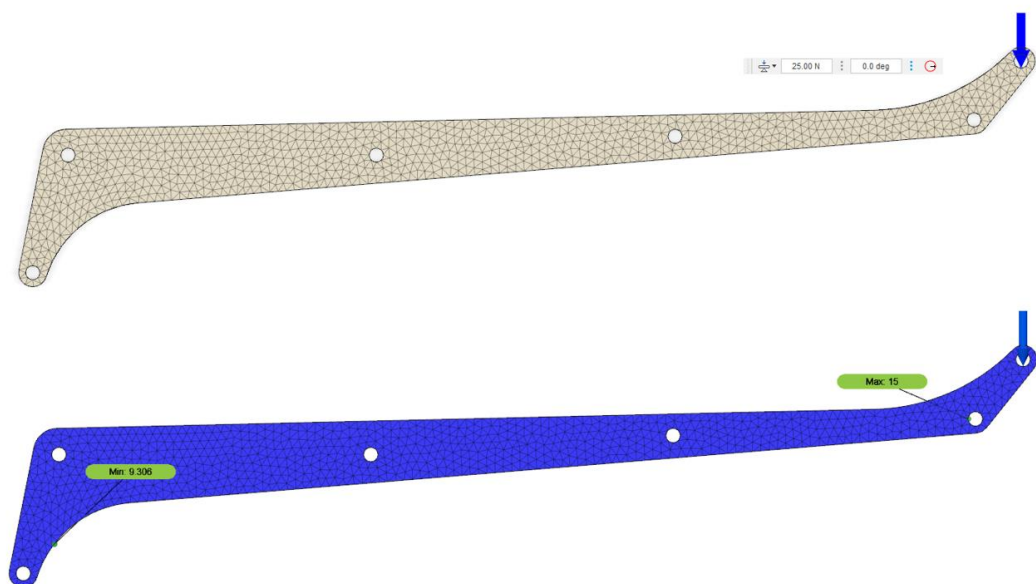


Рисунок 2.36 — Навантаження ланки №2 та симуляція

Можемо спостерігати, що ланка легко сприймає встановлене навантаження, та має коефіцієнт запасу ваги щонайменше в 9 разів.

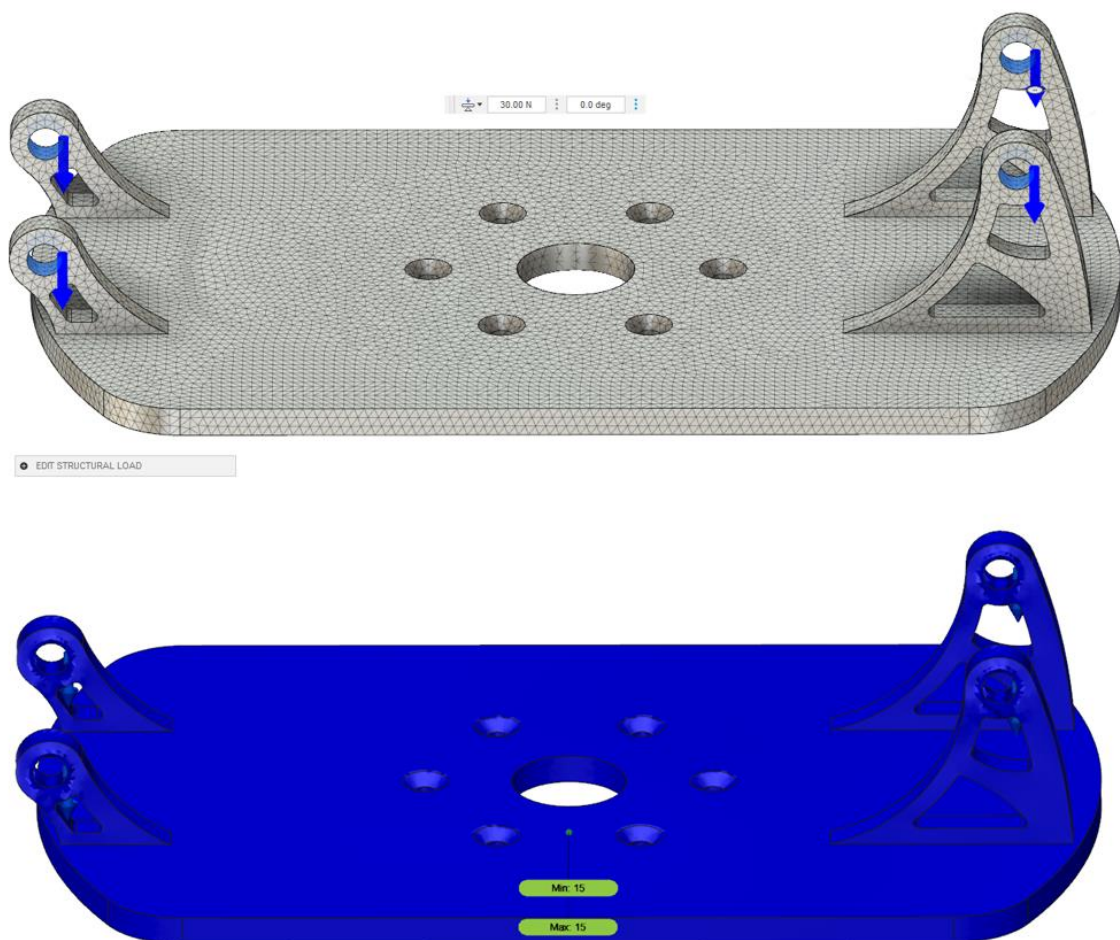


Рисунок 2.37 — Навантаження ланки №1 та симуляція

І останньою ланкою для перевірки є Ланка №1, яка є основою маніпулятора. Вона сприймає найбільше навантаження, тому важливо правильно навантажити та провести аналіз. Основне навантаження становить 25Н, воно розподіляється між двома кріпильними виступами, але для забезпечення нормального сприйняття ланкою навантаження, вирішено перевірити кожен з кріпильних отворів на максимально можливе, тобто 30Н.

Проведений аналіз (рис. 2.37) показує, що деталь витримує навіть надмірні навантаження із забезпеченням високого коефіцієнту запасу, а саме 15.

В цьому розділі були проведені навантаження та перевірка на міцність усіх ланок маніпулятора. Результатами більшості перевірок є надзвичайно високі коефіцієнти запасу, що може свідчити про надмірне використання матеріалу, який застосовується.

Щоб вирішити питання надлишкового матеріалу в ланках, доцільно провести ще один аналіз, а саме топологічну оптимізацію. Основним завданням є збереження міцності конструкції при зменшенні об'ємів матеріалу.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ

У **Розділі 2** було проведений детальний розгляд існуючих ПР різних конструкцій, конфігурацій та призначень. Був обраний тип РЗ маніпулятора, а саме маніпулятор з ангулярним типом. Було розроблено кінематичну схему майбутньої конструкції ПР. Спроектовано ланки та розроблено механізм, який дає змогу швидко змінювати РО з бура на захват.

Були розглянуті різні типи приводів та проаналізувавши підібрано двигуни для розроблюваного пристрою. Обрано матеріали з яких будуть виготовлені елементи маніпулятора, ланки будуть створені з листового алюмінію марки АМг5, а додаткові елементи фіксації для двигунів з пластику марки PLA. Проведений аналіз кожної з ланок маніпулятора на статичне навантаження, виявлено надлишок матеріалу.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАНОК

3.1 Вибір заготовки

Вибір заготовки істотно впливає на якість виробів та значною мірою визначає характер та економічність технологічного процесу в цілому. Тому, вибираючи вид заготовки, слід, насамперед, виходити з особливостей матеріалу деталі та вимог, що висуваються щодо нього з погляду структурного стану і фізико-механічних властивостей.

Особлива увага повинна бути приділена конструктивним формам деталі, технологічним можливостям обраного заготівельного процесу. При цьому повинні враховуватись вид виробництва та обсяг випуску, габаритні розміри, вага деталі, складність її геометричних форм, наявність внутрішніх порожнин, товщина стінок, точність отримання заготовки з урахуванням собівартості подальшої механічної обробки, тощо. Залежно від цих факторів вибирається один із найбільш економічних способів отримання заготівлі.

Основними завданнями при виборі та розрахунку заготівлі є визначення та обґрунтування способу її отримання, визначення припусків для поверхонь, що піддаються механічній обробці, розрахунок номінальних розмірів та встановлення допусків на розміри. Вибір заготівлі – завжди дуже складне завдання, оскільки технічні та економічні вимоги, що пред'являються до деталі, можуть бути забезпечені у різний спосіб. Вибраний спосіб отримання заготовки повинен бути економічним, що забезпечує високу якість деталі, продуктивним та нетрудомістким. Іншими словами, питання про

Виборі заготовки часто зводиться до аналізу, що вигідніше: дати спрощену конфігурацію заготовки і знімати надлишок металу на верстатах або зробити більш точну заготовку, що наближається до конфігурації і розмірів до готової деталі, і завдяки цьому знімати менше металу на верстатах. Тому правильне вирішення питання про вибір заготовок виробляється у результаті техніко-економічних

розрахунків, зіставлення варіантів собівартості готової деталі під час використання того чи іншого способу.

Вибір заготовки є важливим етапом, як з технологічного, так і з економічного боку, оскільки від правильно підібраної заготовки залежить простота виготовлення та одночасно з тим фінансова складова виготовлення. Якщо вона не вірно підібрана, то виробництво фінального об'єкту ускладнюється, зростає час виготовлення, кількість операцій та разом з тим ціна виготовлення. Для багатосерійного виробництва це є одним з важливих питань [27].

«В машинобудуванні заготовки ділять на такі види: виливки, поковки, штамповані, прокат, зварні заготовки. Вибір здійснюють дивлячись на такі фактори: матеріал деталі, розміри та форму, умови роботи, вимоги по точності і тип виробництва.

«Штамповки забезпечують більш велику точність заготовки, чим поковки, але застосування їх обмежується високою вартістю штампів. При виготовленні деталей прокатного обладнання штампування застосовують рідко. Вони можуть бути використані в якості виготовлення великої кількості однотипових деталей.

Прокат застосовують для виготовлення деталей гладких, з невеликим перепадом ступенів, а також для деталей, профіль яких відповідає профілю прокату. Із прокату виготовляють багато деталей прокатного обладнання: осі роликів рольганів, вали редукторів та ін.» [11].

Спроектований маніпулятор складається зі стандартних кріпильних деталей, а також деталей з алюмінію АМг5 та пластику PLA. Переважна кількість ланок конструкції маніпулятора мають плоску форму, тому доцільно виготовлювати їх з листового матеріалу.

Є можливість виготовлювати деталі з пластику фрезеруванням, однак це є недоцільним, через фінансові витрати та потребує спеціального обладнання. Тому доцільніше виготовлювати їх або тривимірним друком або литтям під тиском.

Товщина листового матеріалу з якого будуть виготовлятися більшість ланок (2, 3, 4 та доп. 4) складає 3мм, оскільки для такої товщини був проведений аналіз

навантажень. Товщина листового алюмінію для першої ланки складає 5мм, оскільки вона сприймає максимальне, сумарне навантаження всієї конструкції.

3.2 Вибір технології виготовлення

Є два шляхи виготовлення ланок із листового алюмінію: фрезерування та лазерне різання. Для того, щоб зробити раціональний вибір потрібно провести порівняння за певними показниками, а саме: якість обробки, ціна, швидкість.

Отже, що стосується якості обробки, то потрібно спочатку визначитися з необхідним допуском, вказані допуски H14, h14, $\pm t3/2$, тобто відхилення в межах +0.3мм, що є легко досяжним показником для обох видів обробки. Швидкість обробки вища при лазерній різці, оскільки товщина листа всього 3мм при потужності в 1.5кВт та діаметрі сопла 1.5мм швидкість досягає 3.8м на хвилину, в той час коли фрезерування буде мати до 2м на хвилину при діаметрі фрези 4мм.

Ціна обробки на лазерному різальному верстаті залежить від потужностей, матеріалу та товщини листа. Для обраного матеріалу ціна 48 грн/м в той час, як фрезерування вартує в 5 разів дорожче, 120 грн/м

Отже виходячи з того, що необхідну точність обробки можуть забезпечити обидва методи, в інших показниках переважає саме лазерна обробка.

Різання лазером полягає у використанні потужного сфокусованого пучка світла – чим точніше використовується фокусування, тим вища швидкість роботи. До оброблюваної області подається потік газу, який очищає край різку від розплавлених шматочків металу. Це необхідно, щоб уникнути додаткової обробки, адже розплавлені частинки не встигають осісти на поверхні, і краї різку виходять рівними та гладкими. Зауважимо, що запобігти появі навіть дрібних шорсткостей по краях алюмінієвих виробів дозволяє використання азоту.

Потрібно розуміти, що різання алюмінію відрізняється від обробки інших металів технологічними особливостями. Розрізати алюміній за допомогою звичайних інструментів набагато складніше і результат буде гірше, ніж при

використанні лазерного променя. Справа в тому, що лазер виключає безпосередній контакт інструменту з матеріалом.

Для лазерного різання використовують апарати твердотільного типу та газові пристрої – вони мають різні потужності та режими роботи. Другий варіант вважається найбільш потужним, ще одна його перевага полягає в тому, що він може працювати безперервно або в імпульсному режимі. Тоді як у твердотільного апарату є лише імпульсний режим, який ще називають точковим.

Тонкості технології лазерного різання алюмінію пов'язані з особливостями цього металу: високою теплопровідністю, здатністю поглинати лазерний промінь через свої теплофізичні та оптичні властивості. Все це призводить до того, що його різання виявляється складнішим, ніж робота з іншими металами.

Системи для лазерного різання діють з урахуванням комп'ютерних програм, що значно полегшує управління і весь процес роботи. Наприклад, для обробки алюмінію підвищують потужність променя. Але треба розуміти, що потужність і швидкість роботи підбираються відповідно до товщини металу і частки алюмінію в ньому.

Таблиця 3.1 [29]

h, мм	V _c , м/хв	Ширина різку, мм	Висота ґрата, мм	f, мм
2	8	0,23	0,35	200
3	4,5	0,3	0,4	
5	2,2	0,3	1	
2	15	0,15	0,1	145
3	8	0,15	0,3	
5	3,5	0,23	0,8	

Таким чином, користуючись таблицею 3.1, були обрані параметри для різання: потужність волоконного лазеру 2кВт, об'єктив з f=145, швидкість 8 м/хв та товщиною матеріалу 3мм.

3.3 Тривимірний друк

Деталі з пластику мають складну форму тому їх виготовлення буде реалізовано за допомогою адитивних технологій, а саме тривимірного друку. Найпопулярнішим є FDM-друк

Моделювання наплавленим осадженням, або 3D-друк FDM, є методом адитивного виробництва, коли шари матеріалів об'єднуються разом у шаблон для створення об'єкта. Матеріал зазвичай розплавляють трохи вище температури склування, а потім екструдують у вигляді візерунка поряд або поверх попередніх екструзій, створюючи об'єкт шар за шаром.

Говорячи як неспеціаліст, типовий 3D-принтер FDM бере пластикову нитку і стискає її через гарячий кінець, розплавляючи, а потім шарами накладаючи на друкарське ложе. Ці шари зливаються разом, наростаючи по всьому відбитку, і в кінцевому підсумку вони утворюють готову частину.

FDM — це те саме, що і виготовлення павленої нитки (FFF), але термін «моделювання павленого осадження» і скорочене «FDM» були торговельними марками Stratasys у 1991 році, що створило необхідність у другому імені.

Багато типів матеріалів можна використовувати з методами FDM, включаючи найпоширеніші термопласти, шоколад, пасти і навіть «екзотичні» матеріали, такі як термопласти з металом або деревом.

Широко визнаний як найпростіший спосіб досягнення 3D-друку, FDM є дешевим і досить ефективним. 3D-принтери FDM домінують на ринку 3D-друку, майже заглушаючи більш дорогі методи. Робочий процес тривимірного друку вказаний на рис. 3.1.

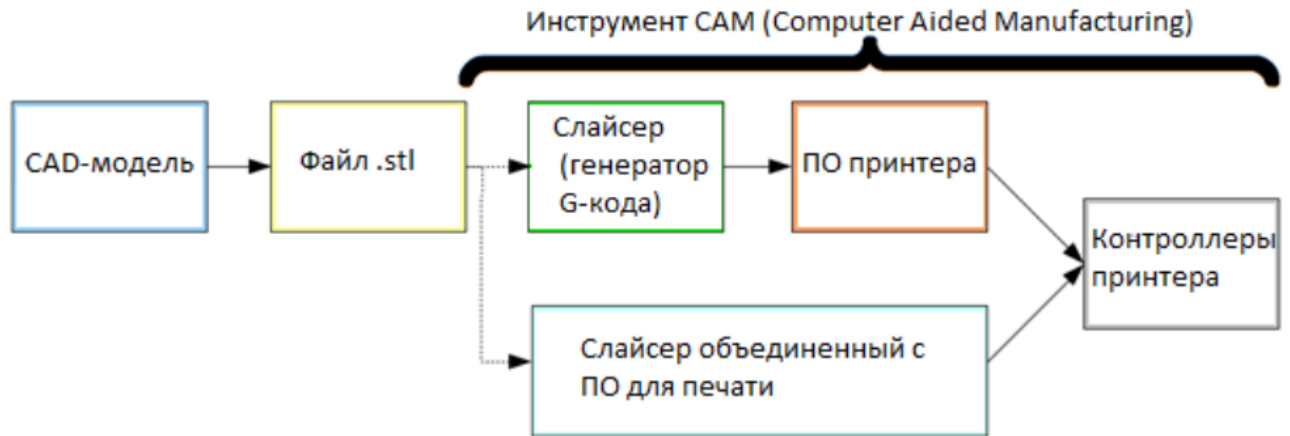


Рисунок 3.1 — Робочий процес тривимірного друку [28]

Для виготовлення моделей тривимірним друком використовується різне програмне забезпечення. Розглянемо друк на устаткуванні Prusa i3 MK3. Для виконання тривимірного друку потрібно завантажити код в принтер. Для створення G-коду дуже зручною є програма Prusaslicer, яка є продуктом тієї ж компанії.

Висота шару

- Висота шару: 0.2 мм
- Висота першого шару: 0.2 мм або %

Вертикальні оболонки

- Периметри: 2 (мінімум)
- Спіральна ваза: ☐

Рекомендована товщина стінки об'єкту для висоти шару 0.20 та 2 радіусі: 0.86 мм, 4 радіусі: 1.67 мм

Горизонтальні оболонки

- Суцільні шари: Верхні: 5, Нижні: 4
- Мінімальна товщина оболонки: Верхні: 0.7 мм, Нижні: 0.5 мм

Верхня оболонка має товщину 1 мм для висоти шару 0.2 мм. Мінімальна товщина верхньої оболонки становить 0.7 мм. Нижня оболонка має товщину 0.8 мм для висоти шару 0.2 мм. Мінімальна товщина нижньої оболонки становить 0.5 мм.

Підтримка

- Створити підтримуючий матеріал: ☐
- Автоматично згенеровані підтримки: ☒

Варіанти для опорного матеріалу та плоту

- Підтримки тільки на столі: ☐

Заповнення

- Щільність заповнення: 20%
- Шаблон заповнення: Гіроїд
- Верхній шаблон наповнення: Монотонне
- Нижній шаблон наповнення: Монотонне

Розмір

- Діаметр сопла: 0.4 мм

Переривання

- Довжина: 0.8 мм (0, щоб вимкнути)
- Підняти Z: 0.4 мм

Попередній перегляд

- Колір екструдера: undef [Скинути до кольору філаменту](#)

Параметри друку : 0.20mm QUALITY (модифікований)

Філамент : Prusa PLA

Принтер : Original Prusa i3 MK3

Підтримки : Жодне

Заповнення : 20% **Край :** ☐

Рисунок 3.2 — Налаштування друку

Перед початком друку потрібно зберегти тривимірну деталь у форматі STL, щоб Prusaslicer міг розпізнати її. Після того потрібно імпортувати STL-файл та

налаштувати переметри друку (рис 3.2). Програма надає велику кількість різних можливостей щодо друку, різна форма заповнення, різний відсоток наповнення, товщина стінок та багато інших параметрів. Тому потрібно уважно їх обирати.

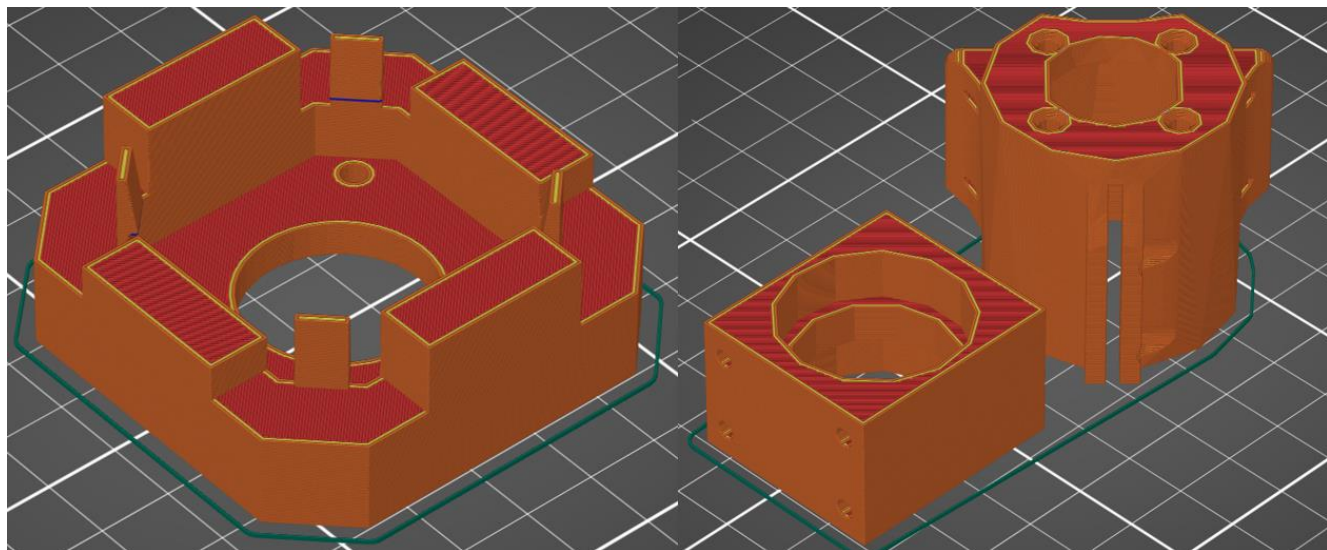


Рисунок 3.3 — Деталі нарізані на шари

Після того, як параметри обрано, потрібно зробити нарізання моделі на шари (рис. 3.3). Програма робить це автоматично, тому процес займає кілька секунд, проводиться не лише нарізання шарів, а й створюється кайма, яка не дає відірватися від столу моделі під час друку. Чим тоншими будуть шари, тим важливішими стануть параметри відхилення діаметра. Товстий шар може приховати таке колювання діаметра. Зручною є можливість попереднього перегляду кожного з шарів, це допомагає відмітити певні сильні та слабкі сторони друку та потім зробити завчасні правлення.

Після виконання налаштувань, перевірок та виправлень потрібно провести генерації керуючої програми, іншими словами згенерувати G-код. Для тих, хто не знайомий із програмуванням в цілому, можете розглянути G-код як послідовні рядки інструкцій (рис.3.4), кожна з яких повідомляє 3D-принтеру про виконання певного завдання. Ці рядки називаються командами, і принтер виконує їх один за одним, доки не дійде до кінця коду.

```

; infill extrusion width = 0.45mm
; solid infill extrusion width = 0.45mm
; top infill extrusion width = 0.40mm
; first layer extrusion width = 0.42mm

M73 P0 R117
M73 Q0 S117
M201 X1000 Y1000 Z200 E5000 ; sets maximum accelerations, mm/sec^2
M203 X200 Y200 Z12 E120 ; sets maximum feedrates, mm/sec
M204 P1250 R1250 T1250 ; sets acceleration (P, T) and retract acceleration (R), mm/sec^2
M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E4.50 ; sets the jerk limits, mm/sec
M205 S0 T0 ; sets the minimum extruding and travel feed rate, mm/sec
M107
;TYPE:Custom
M862.3 P "MK3" ; printer model check
M862.1 P0.4 ; nozzle diameter check
M115 U3.10.0 ; tell printer latest fw version
G90 ; use absolute coordinates
M83 ; extruder relative mode
M104 S215 ; set extruder temp
M140 S60 ; set bed temp
M190 S60 ; wait for bed temp
M109 S215 ; wait for extruder temp
G28 W ; home all without mesh bed level
G80 ; mesh bed leveling
G1 Y-3.0 F1000.0 ; go outside print area
G92 E0.0
G1 X60.0 E9.0 F1000.0 ; intro line
G1 X100.0 E12.5 F1000.0 ; intro line
G92 E0.0
M221 S95

; Don't change E values below. Excessive value can damage the printer.
M907 E430 ; set extruder motor current
G21 ; set units to millimeters
G90 ; use absolute coordinates
M83 ; use relative distances for extrusion
M900 K0.05 ; Filament gcode LA 1.5
M900 K30 ; Filament gcode LA 1.0
;LAYER_CHANGE
;Z:0.2
;HEIGHT:0.2
;BEFORE_LAYER_CHANGE
G92 E0.0
;0.2

G1 E-0.80000 F2100.000
G1 Z0.400 F10000.000
;AFTER_LAYER_CHANGE
;0.2
G1 X93.029 Y82.672
G1 Z0.200
G1 E0.80000 F2100.000
M204 S1000
;TYPE:Skirt
;WIDTH:0.42
G1 F1200.000
G1 X102.363 Y73.277 E0.41525
G1 X102.917 Y72.884 E0.02130
G1 X103.556 Y72.665 E0.02119
G1 X146.004 Y72.623 E1.33091
G1 X146.892 Y72.797 E0.02837
G1 X147.648 Y73.287 E0.02825
G1 X156.729 Y82.368 E0.40267
G1 X157.113 Y82.910 E0.02083
G1 X157.331 Y83.534 E0.02071
G1 X157.377 Y126.019 E1.33209
M73 P0 R116
G1 X157.270 Y126.705 E0.02178
G1 X156.971 Y127.328 E0.02166
G1 X147.634 Y136.726 E0.41537
G1 X147.069 Y137.123 E0.02166
G1 X146.414 Y137.341 E0.02166
G1 X103.981 Y137.377 E1.33045
G1 X103.295 Y137.270 E0.02178
G1 X102.672 Y136.971 E0.02166
G1 X93.274 Y127.634 E0.41537
G1 X92.877 Y127.069 E0.02166
G1 X92.659 Y126.414 E0.02166
G1 X92.623 Y83.981 E1.33045
G1 X92.730 Y83.295 E0.02178
G1 X93.003 Y82.726 E0.01978
; printing object mount_nema.stl id:0 copy 0
;WIPE_START
G1 F8640.000
G1 X95.319 Y80.388 E-0.76000
;WIPE_END
G1 E-0.04000 F2100.000
G1 Z0.600 F10000.000
G1 X114.513 Y96.837
G1 Z0.200

```

Рисунок 3.4 — Фрагмент коду

Основні командні рядки відповідають за типи руху у 3D-принтері. Такі команди позначаються буквою "G". Крім управління рухом по трьох позитивних осях, що виконуються друкуючою головкою, вони також відповідають за екструзію нитки.

З іншого боку, різні команди змушують машину виконувати не геометричні завдання. У 3D-друку такі завдання включають команди нагрівання сопла та станини, а також управління вентилятором тощо. Допоміжні команди позначаються літерою "M".

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Оптимізація форми основи

Оптимізація форми (ОФ) — це метод оптимізації, який використовує алгоритмічні моделі для оптимізації компонування матеріалу в межах визначеного користувачем простору для заданого набору навантажень, умов і обмежень. ТО максимізує продуктивність та ефективність конструкції, видаляючи зайвий матеріал із ділянок, які не потребують значних навантажень, щоб зменшити вагу або вирішити такі завдання, як зменшення резонансу або теплового навантаження.

Конструкції, створені з оптимізацією топології, часто включають вільні форми та складні форми, які складно або неможливо виготовити традиційними методами виробництва. Однак конструкції ОФ ідеально підходять для адитивних виробничих процесів, які мають більш прощаючі правила проектування і можуть легко відтворювати складні форми без додаткових витрат.

Оптимізація форми зазвичай відбувається в кінці процесу проектування, коли бажана частина повинна мати меншу вагу або використовувати менше матеріалів. Потім конструктор працює, щоб виявити певні попередньо встановлені параметри, такі як прикладені навантаження, тип матеріалу, обмеження та компонування.

Оптимізація структурної форми спочатку визначає мінімально допустимий простір для проектування, необхідний для оптимізації форми виробу. Потім, практично, програмне забезпечення для оптимізації форми застосовує тиск на проект під різними кутами, перевіряє його структурну цілісність і визначає непотрібний матеріал.

Найпоширенішим і практичним методом оптимізації форми є метод скінченних елементів (FEM). По-перше, FEM враховує геометричний дизайн для мінімального дозволеного простору — разом з іншими факторами — і розбиває проект на частини. Потім він перевіряє кожен кінцевий елемент на жорсткість,

відповідність і надлишковий матеріал. Нарешті, FEM зшиває частини разом, щоб завершити повний дизайн.

Перевірка проекту включає визначення порогу для поля щільності елемента між значенням від 0 до 1. Значення 0 скасовує матеріал у визначеній ділянці конструкції, тоді як значення 1 визначає призначену область як твердий матеріал. Потім дизайнер може видалити з моделі весь непотрібний матеріал і завершити оптимізацію топології [26].

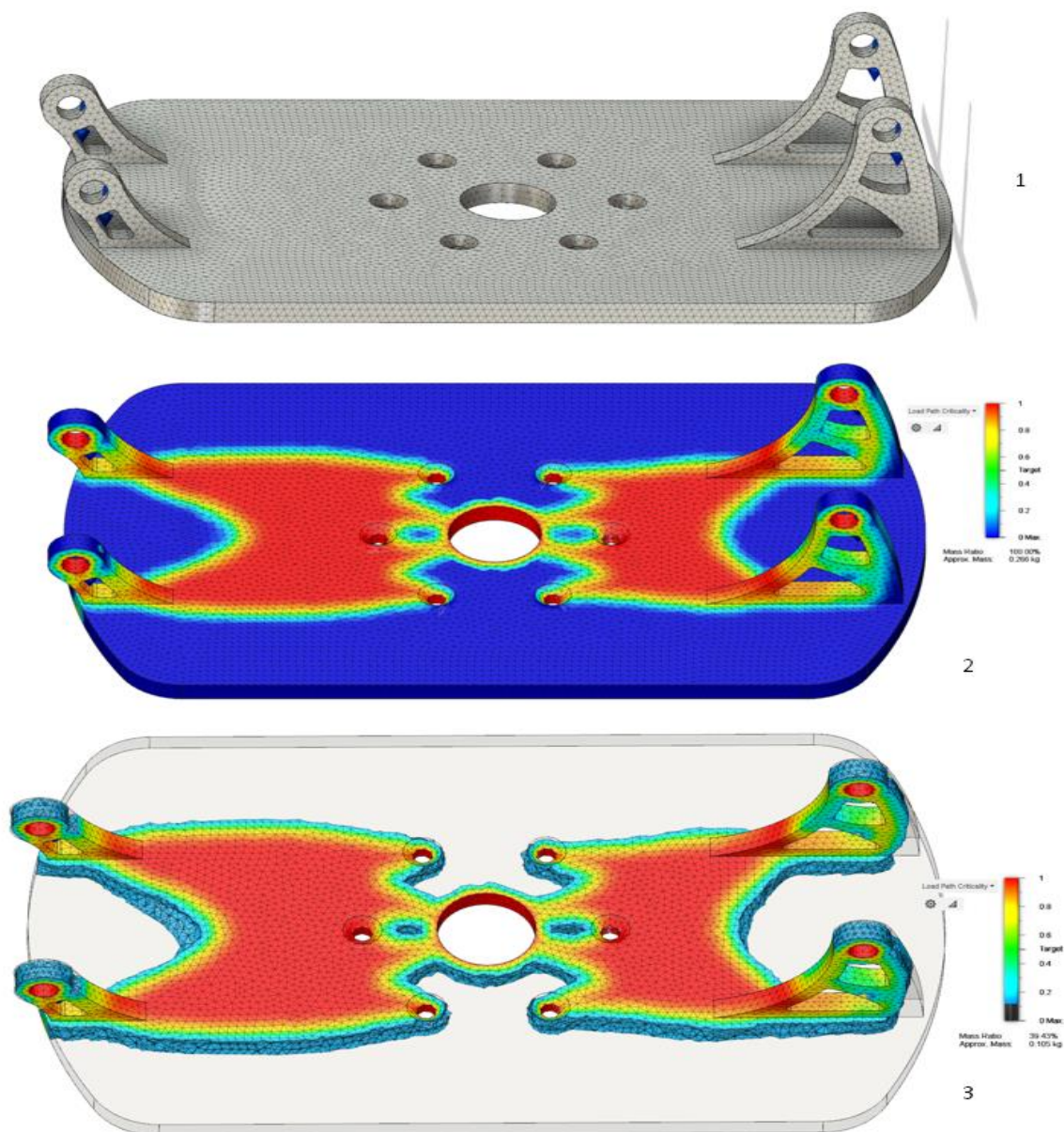


Рисунок 4.1 — Результати топологічного аналізу ланки №1

Отже для зменшення маси кожної з ланок нам потрібно провести аналіз та оптимізацію форми. Для проведення аналізу скористуємось середовищем

автоматизованого програмного керування Autodesk Fusion 360, а саме плагіном Simulation: Shape Optimization.

Навантаження встановлюємо ідентичні попереднім дослідом та спостерігаємо за градацією показаною на рис. 4.1. Бачимо, що більша частина об'єму синього кольору, що свідчить про його непотрібність у використанні.

На рис. 4.1 (3) видно, що прибраний матеріал, який не приймав участі у розподіленні навантаження. Якщо подивитися на шкалу справа, то бачимо, що навантаження повністю сприймається деталлю на лише 40% об'єму, тому є можливість змінити, модифікувати форму деталі та зробити її більш раціональною у використанні ресурсів. Взагалі зменшення маси із збереження міцності та стійкості є одною із головних задач в аерокосмічній промисловості, оскільки кожен грам важливий та може стати причиною більших витрат палива.

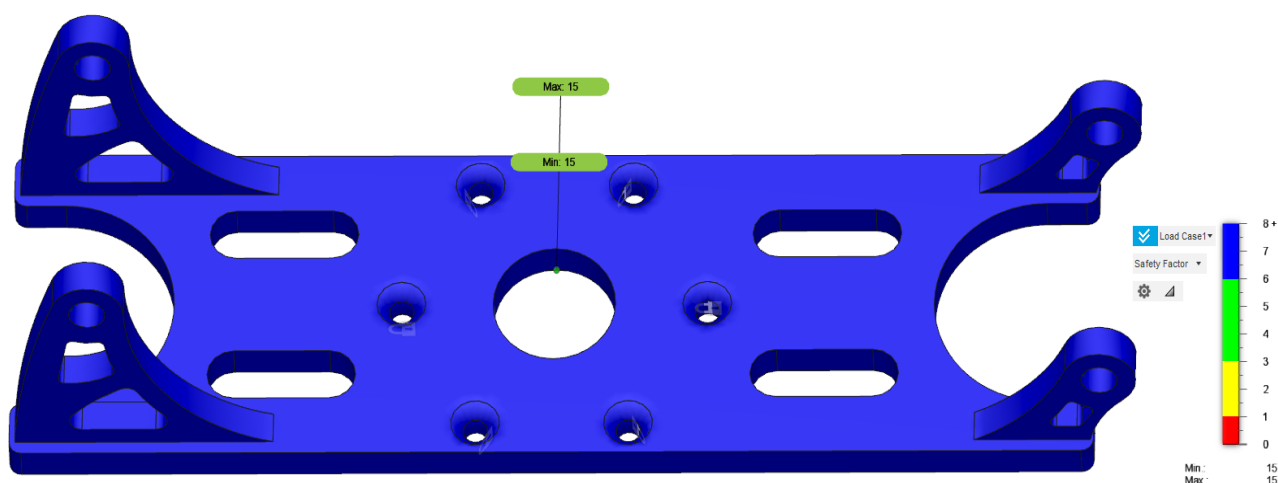


Рисунок 4.2 — Оптимізована ланка №1

В результаті оптимізації було зменшено використання матеріалу на 45%, маса змінилась з 266г на 120г (рис. 4.2) та збережено всі показники міцності, коефіцієнт запасу 15.

4.2 Оптимізація форми ланок

На рисунку 4.3 показано процес оптимізації ланки №2. Результатом є зменшена в плані ваги ланка (рис. 4.3, 3) від 82г до 57г, тобто зменшено масу на 31%.

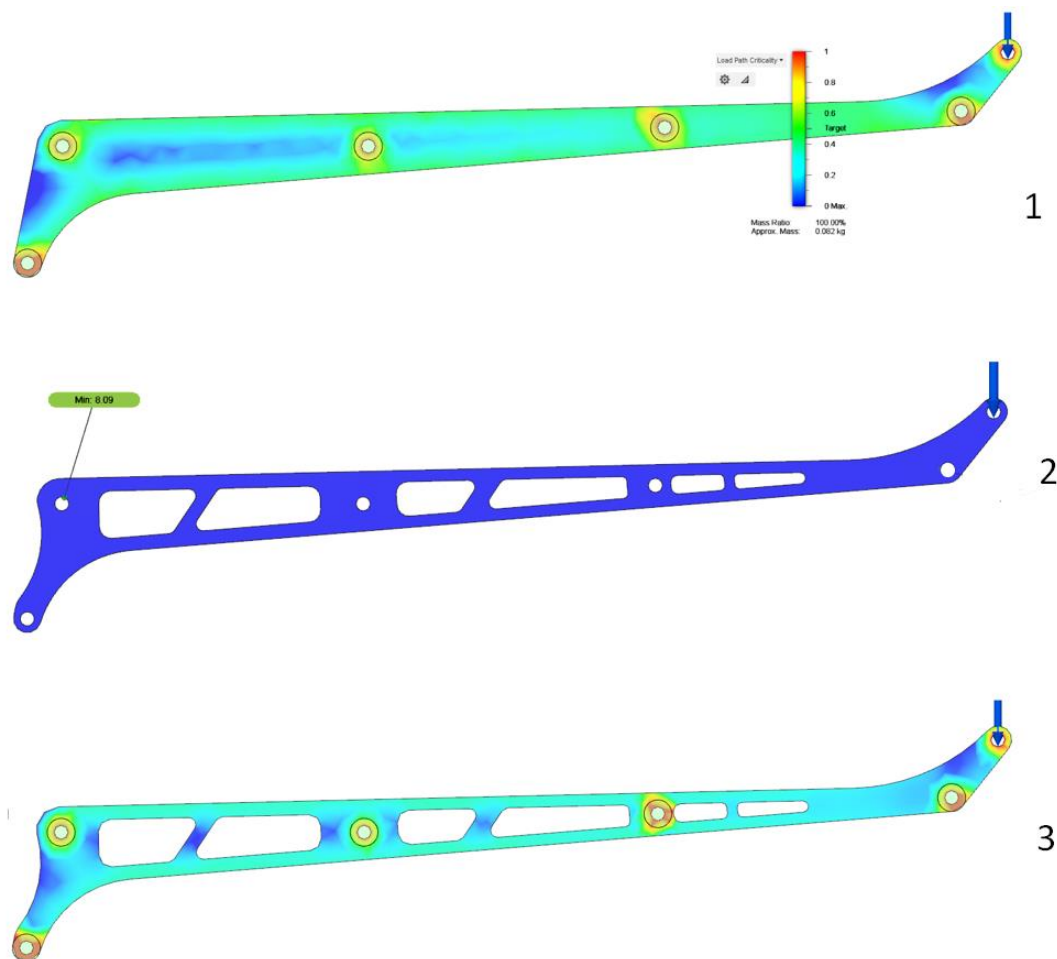


Рисунок 4.3 — Оптимізація ланки №2

На рисунку 4.4 показано процес оптимізації ланки №3. Результатом є зменшена в плані ваги ланка (рис. 4.4, 3) з 188г до 110г, тобто зменшено масу на 39%.

Варто відмітити зручність використання Autodesk Fusion 360, він здатен виконувати симуляції не лише для плоских деталей, і не лише для статичного навантаження, він дає широкі можливості для симуляції, як температурного так і вітрового навантаження. Інтерфейс є інтуїтивним та дуже зручним у використанні.

Більше того всі процеси розрахунків можливо проводити у хмарі, що також є великою перевагою, тому що для аналізу тепер не потрібен надпотужний пристрій, достатньо звичайного планшету.

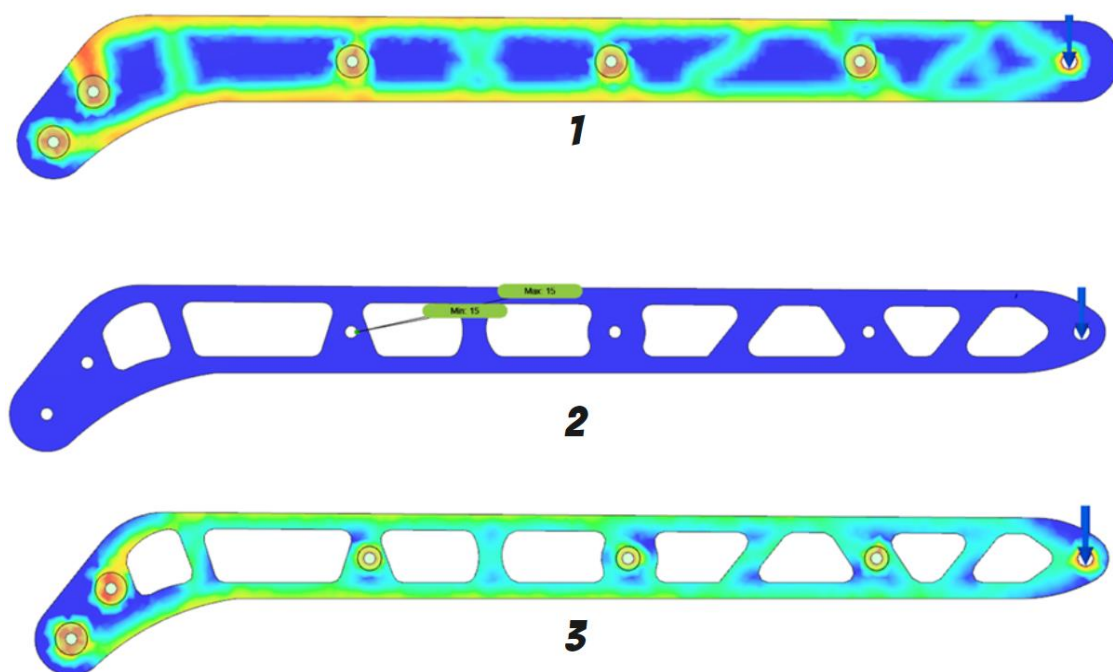


Рисунок 4.4 — Оптимізація ланки №3

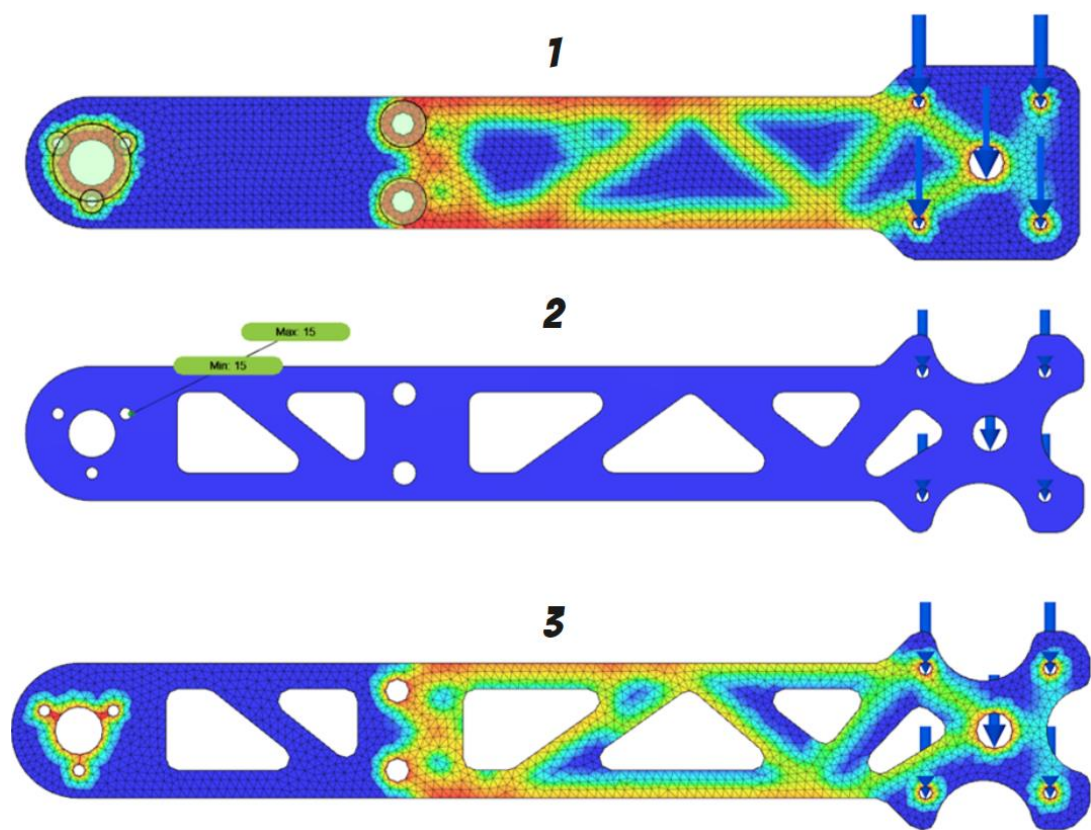


Рисунок 4.5 — Оптимізація правої частини ланки №4

На рисунку 4.5 показано процес оптимізації правої частини ланки №4. Результатом є зменшена в плані ваги ланка (рис. 4.5, 3) з 77г до 52г, тобто зменшено масу на 33%.

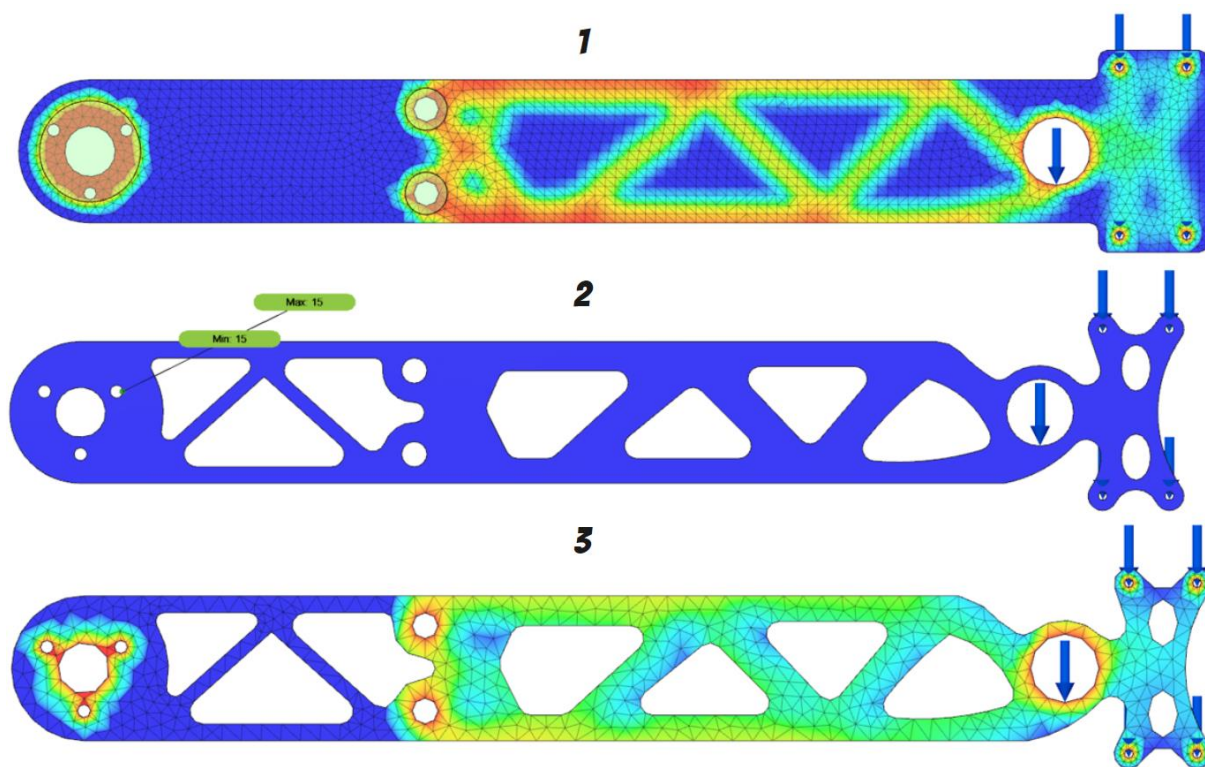


Рисунок 4.6 — Оптимізація лівої частини ланки №4

На рисунку 4.6 показано процес оптимізації лівої частини ланки №4. Результатом є зменшена в плані ваги ланка (рис. 4.6, 3) від 77г до 47г, тобто зменшено масу на 39% та оптимізовано форму додаткової ланки 4 на рис 4.7.

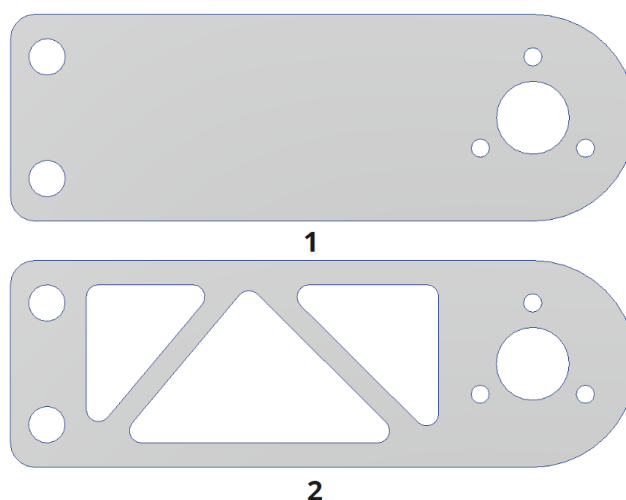


Рисунок 4.7 — Оптимізація форми допоміжної ланки 4

4.3 Фінальна конструкція маніпулятора

Фінальна конструкція включає в себе: 7 основних та 6 допоміжних ланок, 2 лінійних актуатора, 3 крокових двигуна Nema 17, 2 мотор-редуктора, захоплювального механізму та бура, кріпильних елементів. Конструкція є плоским механізмом, який обертається навколо вертикальної осі за допомогою двигуна, розміщеного в основі маніпулятора.

Маніпулятор витримує очікувані навантаження та відповідає заданим вимогам щодо рухомості та розмірів у складеному, закріпленому на платформі маніпулятора, вигляді. На рис. 4.8 зображено маніпулятор закріплений на платформі до проведення оптимізації, сумарна вага ланок складала 1060г. На рисунку відсутній механізм

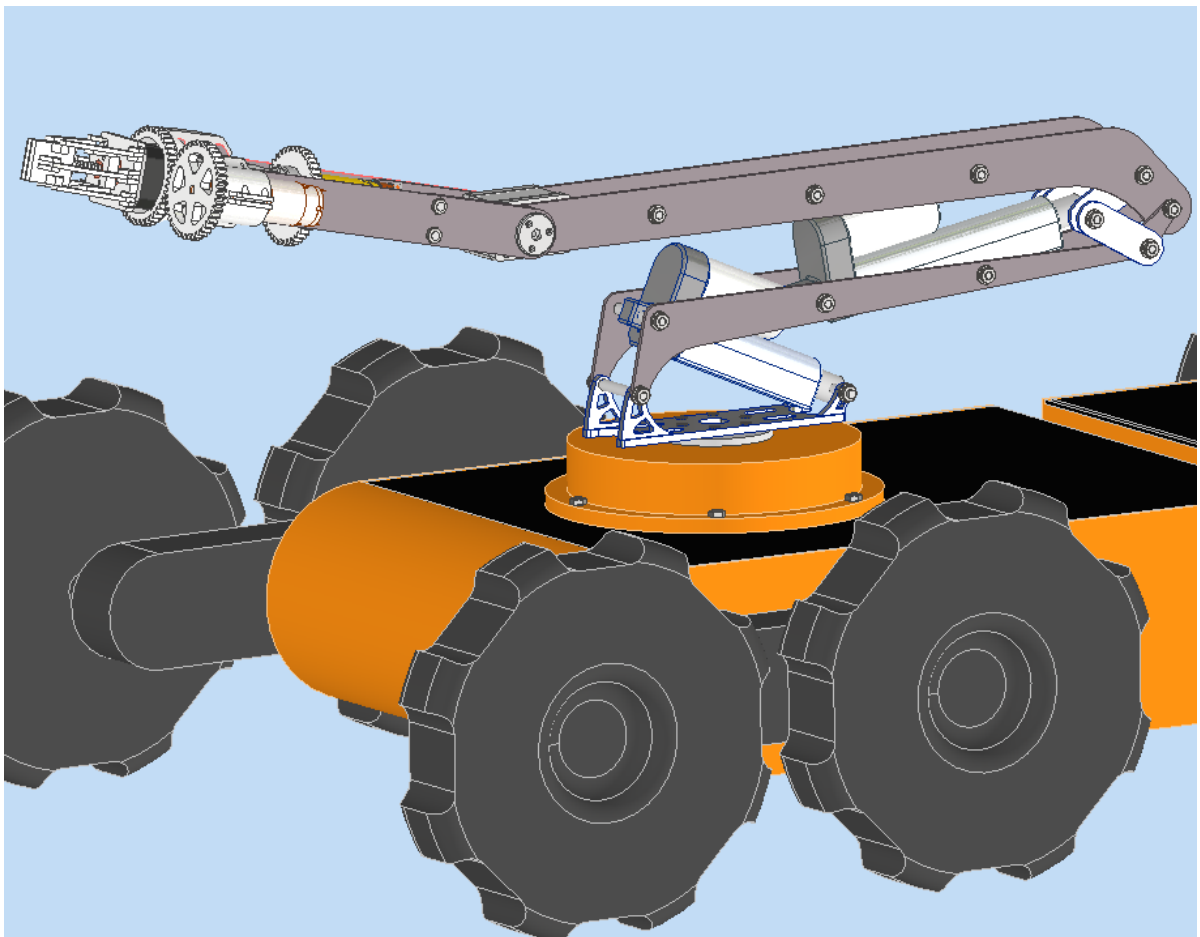


Рисунок 4.8 — Маніпулятор до оптимізації ланок

Після оптимізації конструкція зменшила свою масу, проте зберегла необхідну міцність. Така форма ланок додає не лише раціональності у використанні матеріалу, а й естетичного вигляду.

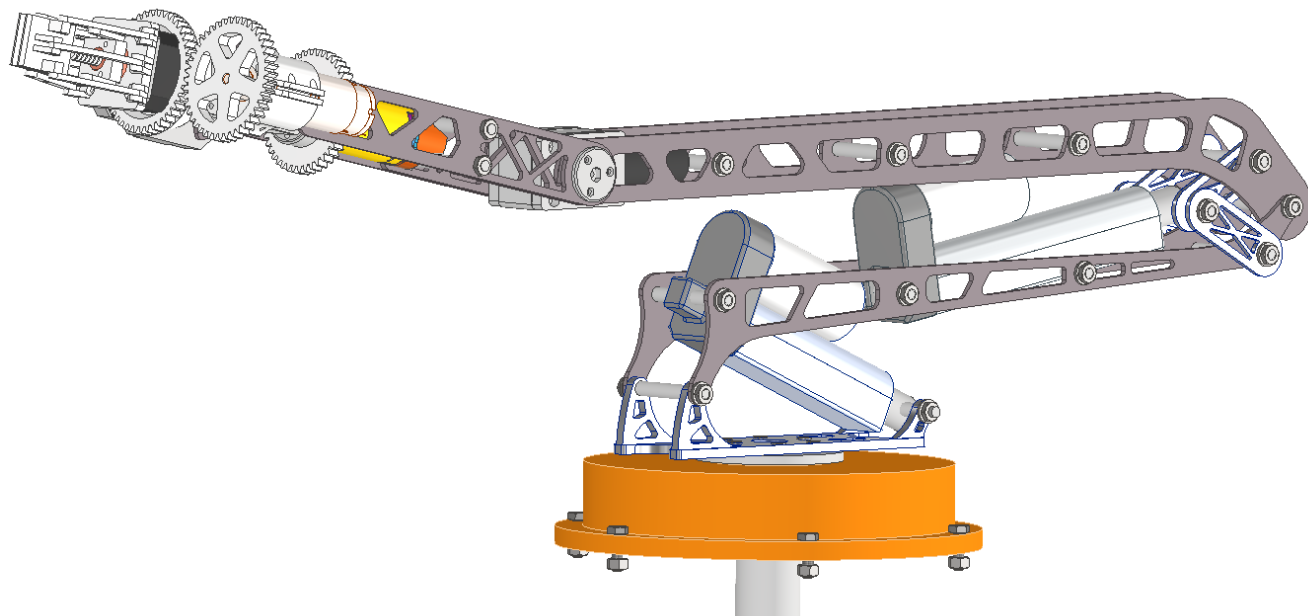


Рисунок 4.9 — Маніпулятор після оптимізації ланок

Отже в результаті оптимізації форми ланок було досягнуто значних змін у формі та вазі маніпулятора. Вдалося зменшити сумарну масу ланок ПР від 1060г (рис 4.8) до 601г (рис. 4.9), тобто загальна маса зменшилась на 41,5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Development of the first industrial robot by George Devol and Joseph Engelberger 1959 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ifr.org/robot-history>
2. Справочник по промышленной робототехнике: В 2-х кн. Кн.1 С74/Под ред. Ш.Нофа; Пер. С англ. Д. Ф. Миронова и др. — Машиностроение, 1989. — 480 с.: ил.
3. Виникнення й розвиток сучасної робототехніки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://inlnk.ru/20D7e>
4. Історичні факти створення промислових роботів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/robototehnika98/rozvitok-robototehniki>
5. Конспект лекцій з дисципліни «Роботи та маніпулятори». Професійне спрямування Підйомно-транспортні машини; Дорохов М. Ю. — Машинобудування, 2019. —53с.
6. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник . – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232с.
7. Виды промышленных роботов от производителя KUKA. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hydromarket.com.ua/a423564-vidy-promyshlennyh-robotov.html>
8. Toyota's robot butler prototype. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.theverge.com/2020/10/1/21496692/toyota-robots-tri-research-institute-home-helping-gantry-ceiling-machine>
9. Husqvarna DXR remote demolition robots. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.husqvarnacp.com/in/machines/demolition-robots/>
10. Навчальний посібник з дисципліни Маніпулятори та промислові роботи. Для студентів бакалаврів, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, / Укладачі.: Михайлов Є. П., Лінгур В.М. Одеса: ОНПУ, 2019. - 233 с.

11. Устимчук, Д. О. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення основи маніпулятора : дипломний проєкт ... бакалавра : 133 Галузеве машинобудування / Устимчук Давид Олександрович. – Київ, 2020. – 96 с.

12. KUKA Robotics, 4 AGILUS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-4-agilus>

13. Praise for robotic arm designed by City University students that could have wide applications in construction, medicine and other industries. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.scmp.com/news/hong-kong/education/article/3005433/praise-robotic-arm-designed-city-university-students-could?module=perpetual_scroll&pgtype=article&campaign=3005433

14. L-W. Tsai. "Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators". NY, 1999, John Wiley & Sons, Inc.

15. W. W. Melek. "ME 547: Robot Manipulators: Kinematics, Dynamics, and Control". Waterloo, ON, 2010, University of Waterloo.

16. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник/ Л.Є. Пелевін, К.І. Почка, О.М. Гаркавенко, Д.О. Міщук, І.В. Русан. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс»», 2016. -258 с.

17. Кривенко, М. О. Бур збірний для видобутку проб ґрунту : дипломний проєкт ... бакалавра : 6.050503 Машинобудування / Кривенко Максим Олександрович. – Київ, 2019. – 97 с.

18. Объективы для мобильного телефона. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://shopurbano.ru/goods/1600208249127>

19. Особенности наладки токарно-револьверных станков. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tochmeh.ru/info/text9.php>

20. Шаговые двигатели. Принцип работы и управление. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://purelogic.ru/articles/shagovye-dvigateli-printsip-raboty-i-upravlenie/>

21. Шаговые двигатели и моторы Ардуино 28BYJ-48 с драйвером ULN2003 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/motor-dvigatel-privod/shagovye-dvigateli-i-motory-arduino/>

22. Шаговый электродвигатель. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://goo.su/Wfx>

23. Лінійні актуатори [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

100мм - <https://aliexpress.ru/item/32608677234.html>

50мм - https://aliexpress.ru/item/32353376474.html?sku_id=56163948574

24. Мотор-редуктор GW31ZY. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.aliexpress.com/item/GW31ZY-DC-12V-14RPM-8mmx13mm-Double-Shaft-Worm-Geared-Motor/32800665941.html>

25. Планетарный двигун BMM515M. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://russian.alibaba.com/product-detail/od-80mm-24v-300w-high-torque-low-rpm-planetary-reduction-gear-motor-bmm515m-1600120783815.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.3a0e6c8dU0Pz0n&s=p

26. Topology Optimization: How to Use Algorithmic Models to Create Lightweight Design. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://formlabs.com/blog/topology-optimization/>

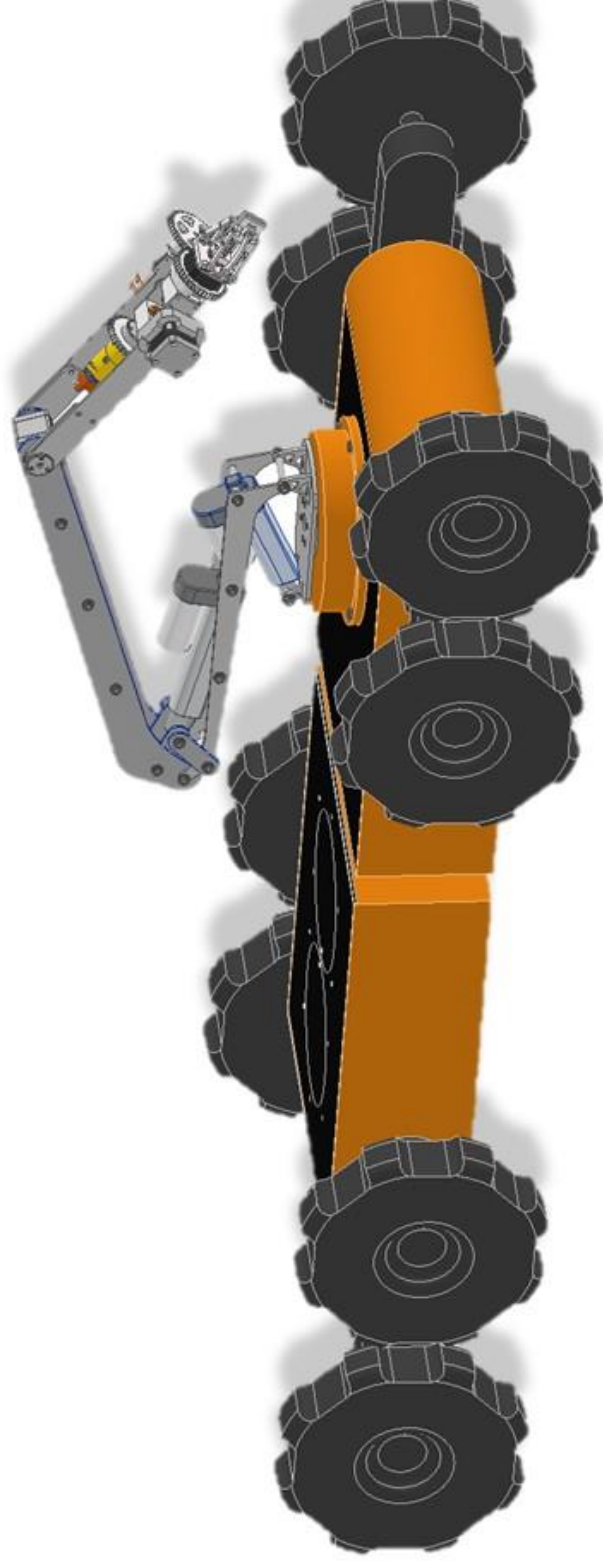
27. Выбор заготовки, оформление чертежа заготовки: методические указания к курсовой работе по технологии машиностроения для студентов направления 15.02.02 всех форм обучения/ сост.: А.В.Гропянов, Н.Н.Ситов, М.Н. Жукова; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2017. – 20с.

28. Программа для создания 3д моделей на русском для 3д принтера – топ-10 бесплатных программ моделирования для 3d-печати. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://toto-school.ru/raznoe-2/programma-dlya-sozdaniya-3d-modelej-na-russkom-dlya-3d-printera-top-10-besplatnyx-programm-modelirovaniya-dlya-3d-pechati.html>

29. Вакс Е.Д., Лебёдкин И.Ф., Миленький М.Н., Сапрыкин Л.Г., Толокнов А.В.
Резание металлов излучением мощных волоконных лазеров. Москва:
ТЕХНОСФЕРА, 2016. 352 с. +4с. цв. вклейки ISBN 978-5-94836-427-8

ДОДАТКИ

ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИЙ МАНІПУЛЯТОР МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ



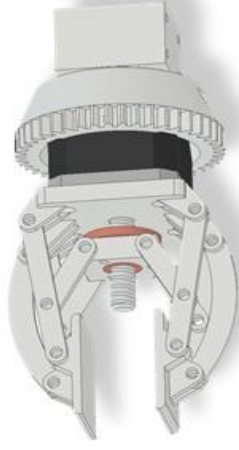
Давид Устимчук
Студент 2-го курсу
Гр. МІ-01мп

ЧАСТИНА ОДНОГО ВЕЛИКОГО ПРОЄКТУ

Бур для видобутку проб ґрунту



Захоплювальний пристрій









Мобільна платформа



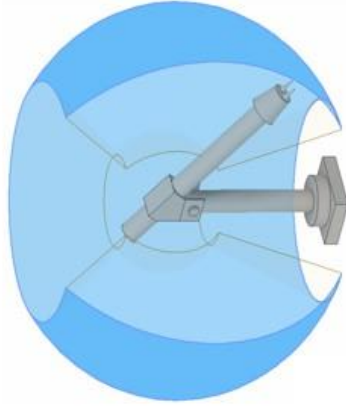
МЕТА РОБОТИ

РОЗРОБИТИ КОНСТРУКЦІЮ МАНІПУЛЯТОРА ІЗ ЗДАТНІСТЮ
АВТОМАТИЧНОЇ ЗМІНИ РОБОЧОГО ОРГАНУ

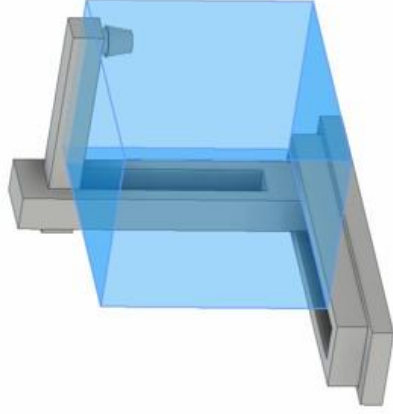
ГОЛОВНІ ЗАДАЧІ

-  ПРОАНАЛІЗУВАТИ ІСНУЮЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРІВ
-  СТВОРИТИ КІНЕМАТИЧНУ СХЕМУ
-  СПРОЄКТУВАТИ КОНСТРУКЦІЮ МАНІПУЛЯТОРА
-  РОЗРОБИТИ МЕХАНІЗМ ЗМІНИ РО
-  ПЕРЕВІРИТИ ЛАНКИ НА СТАТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ
-  ОПТИМІЗУВАТИ ФОРМИ ЛАНОК

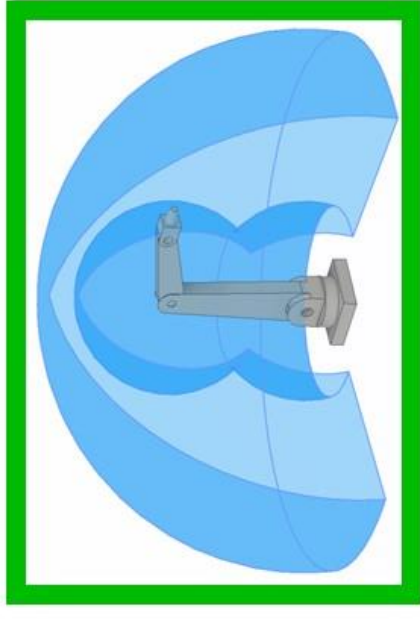
ВИБІР ТИПУ МАНІПУЛЯТОРА



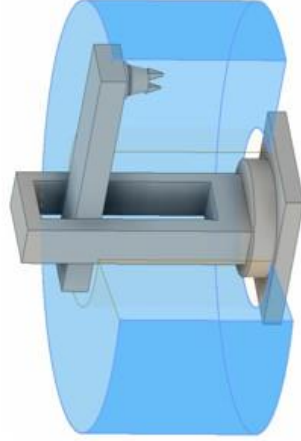
СФЕРИЧНИЙ



ДЕКАРТОВИЙ

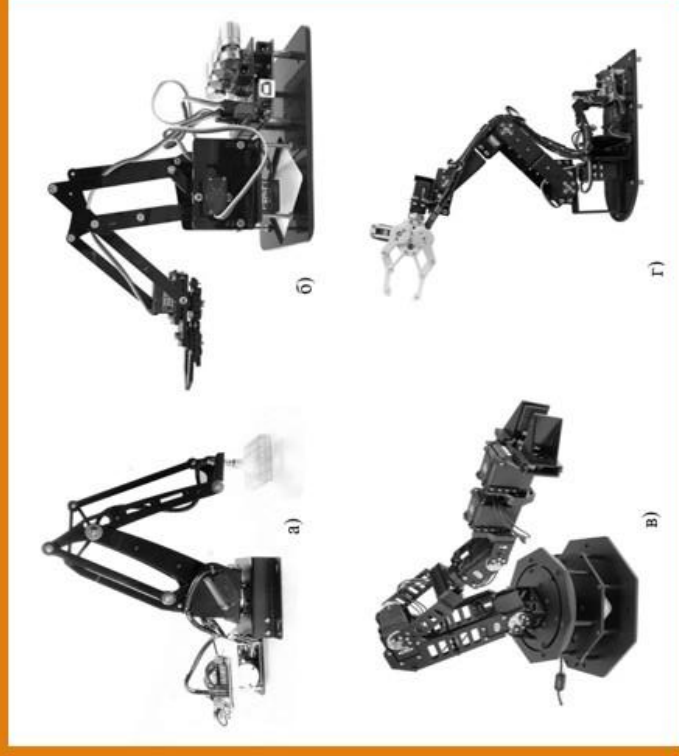


АНГУЛЯРНИЙ



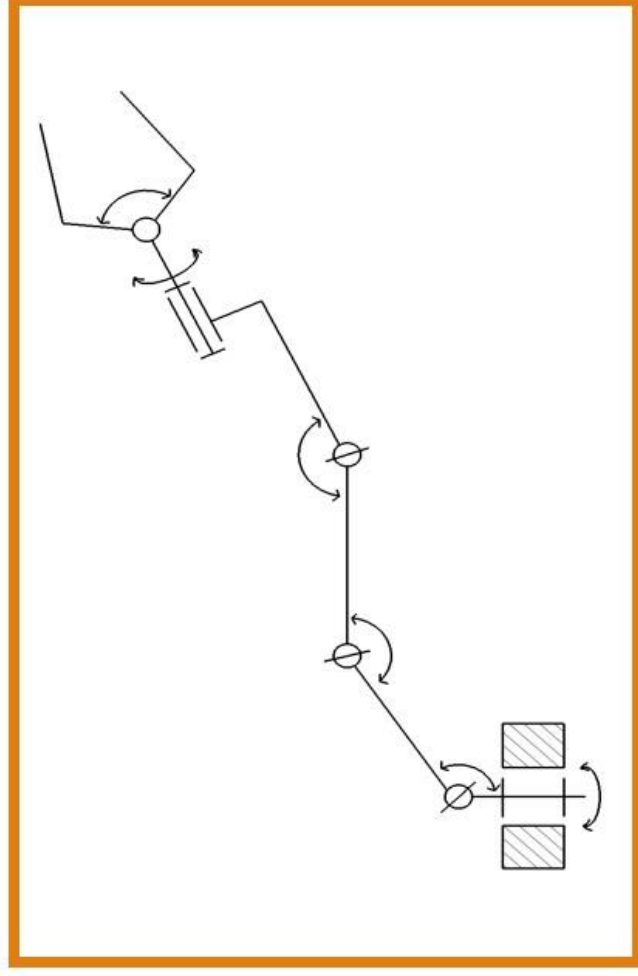
ЦИЛІНДРИЧНИЙ

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ



КІНЕМАТИЧНА СХЕМА МАНІПУЛЯТОРА

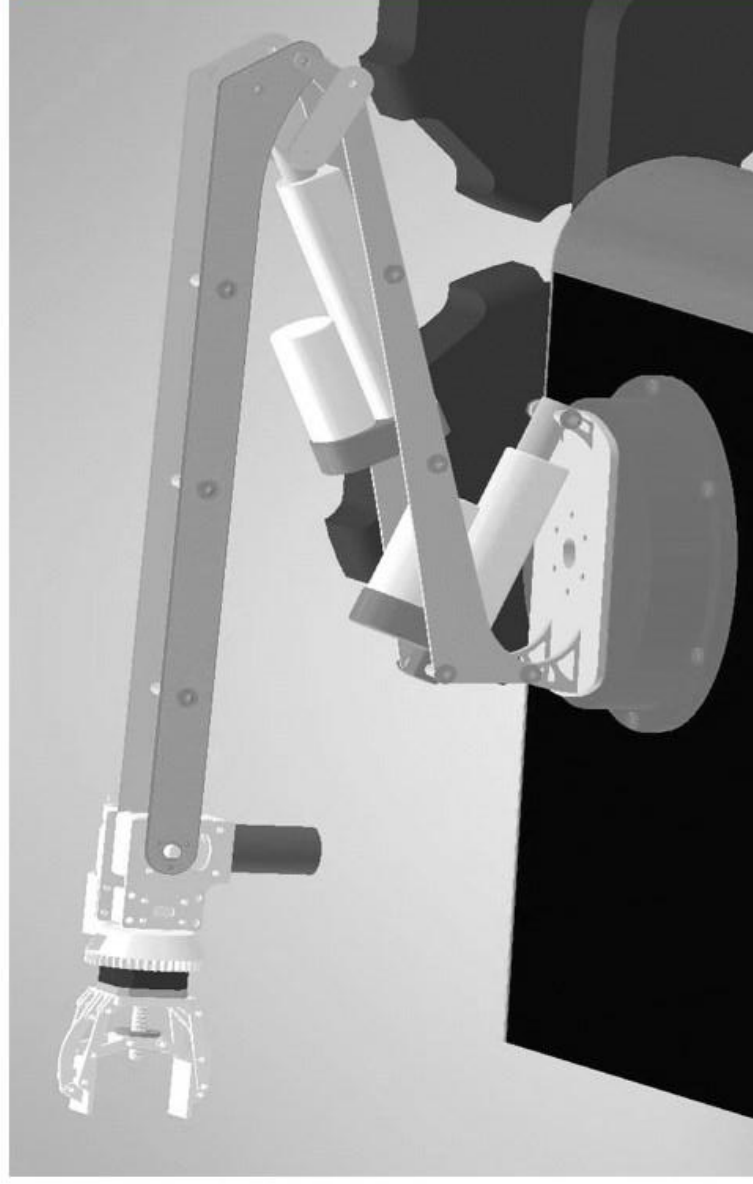
МАНІПУЛЯТОР З 5-МА СТУПЕНЯМИ ВІЛЬНОСТІ



ПЕРЕВАГИ:

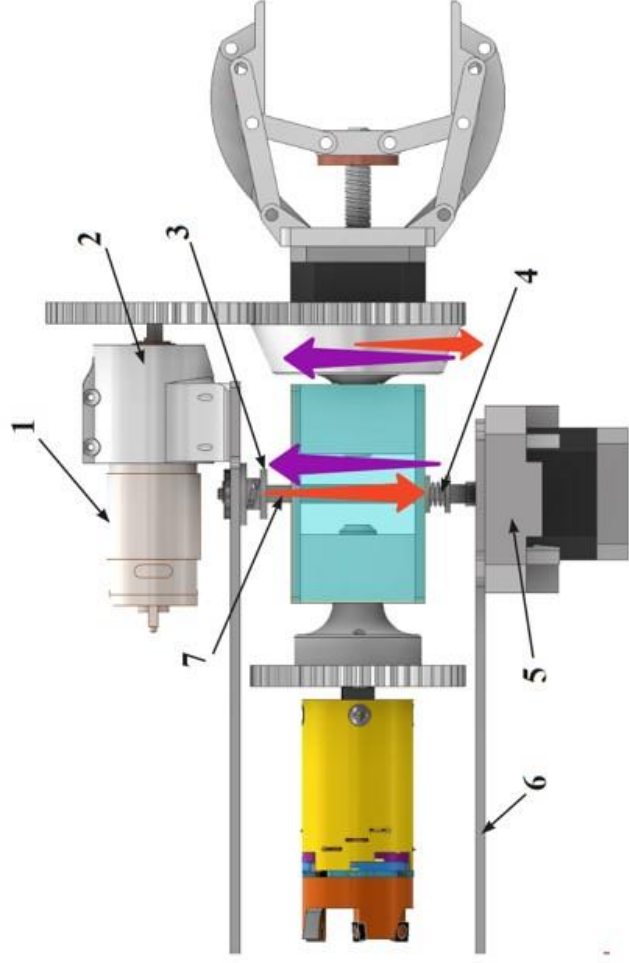
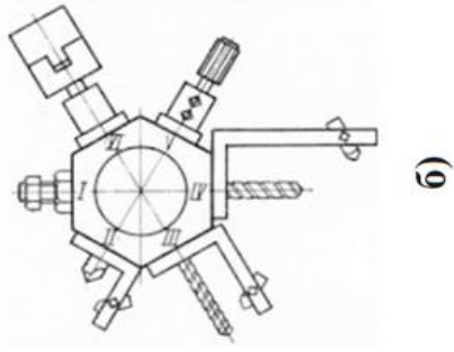
- ГАРНА РУХЛИВІСТЬ;
- ВІДНОСНО ВЕЛИКА РОБОЧА ЗОНА;
- ОПТИМАЛЬНА ЦІНА;
- ВІДНОСНО ТОЧНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ;
- НЕ СКЛАДНА В УПРАВЛІННІ;
- НЕВЕЛИКІ ЗАТРАТИ ЕНЕРГІЇ.

КОНСТРУКЦІЯ МАНІПУЛЯТОРА

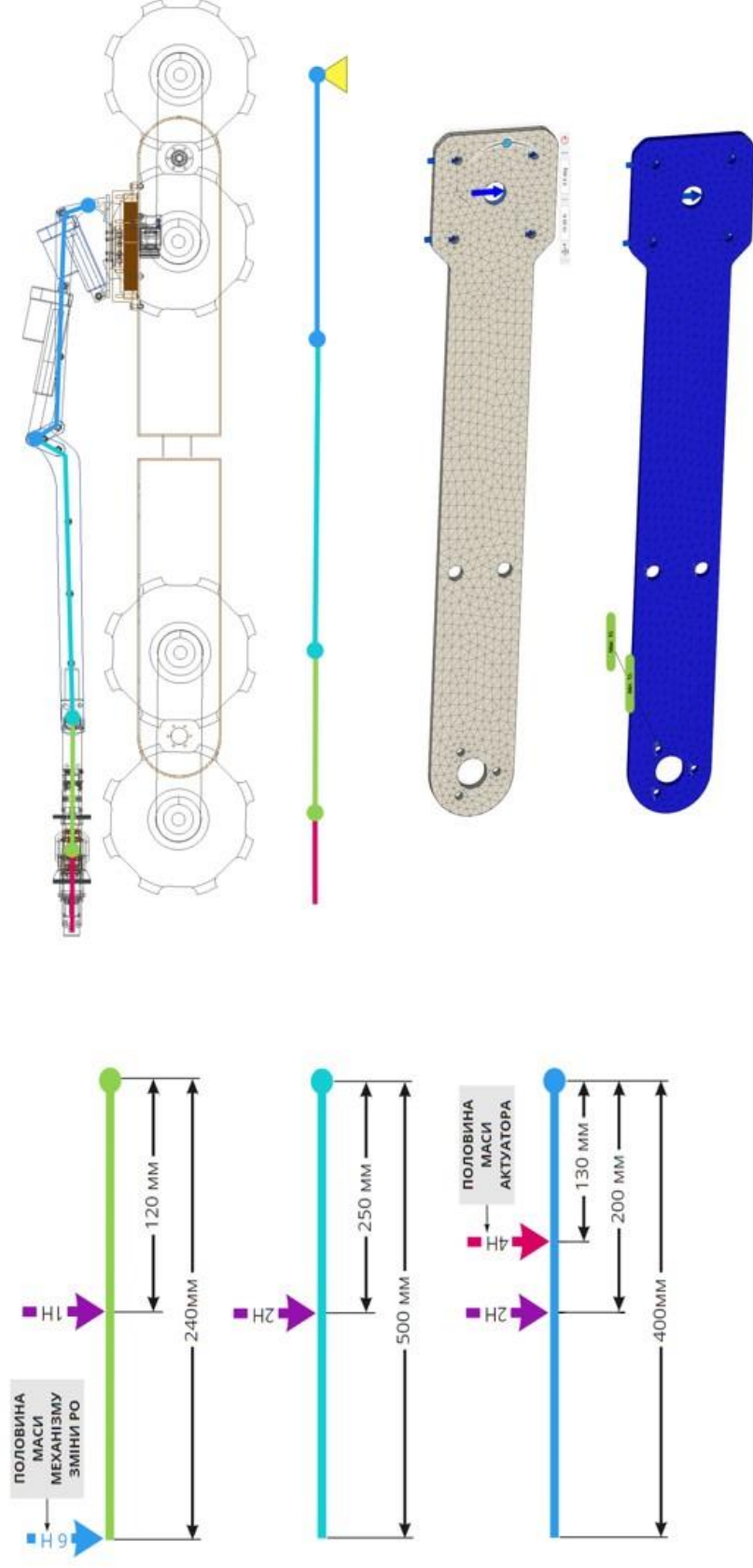


СТВОРЕНА КОНСТРУКЦІЯ
МАНІПУЛЯТОРА З 5-МА
СТУПЕНЯМИ ВІЛЬНОСТІ НЕ
ПЕРЕДБАЧАЄ ЗМІНИ
РОБОЧОГО ОРГАНУ, ТОМУ
НЕОБХІДНО РОЗРОБИТИ
МЕХАНІЗМ, ЯКИЙ БИ МІГ ЦЕ
ЗАВДАННЯ ВИКОНУВАТИ

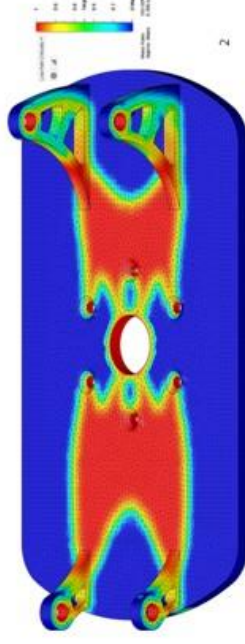
МЕХАНІЗМ ЗМІНИ РОБОЧОГО ОРГАНУ



ПЕРЕВІРКА ЛАНОК НА СТАТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ



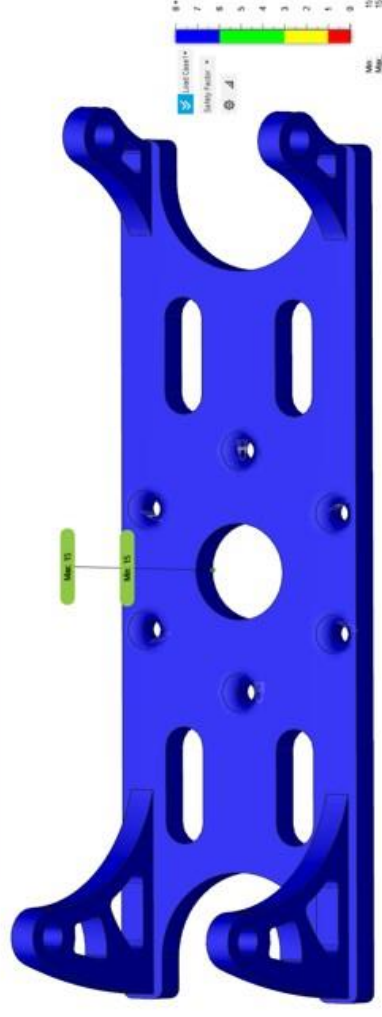
ПРОЦЕС ОПТИМІЗАЦІЇ В ПРОГРАМІ
FUSION 360

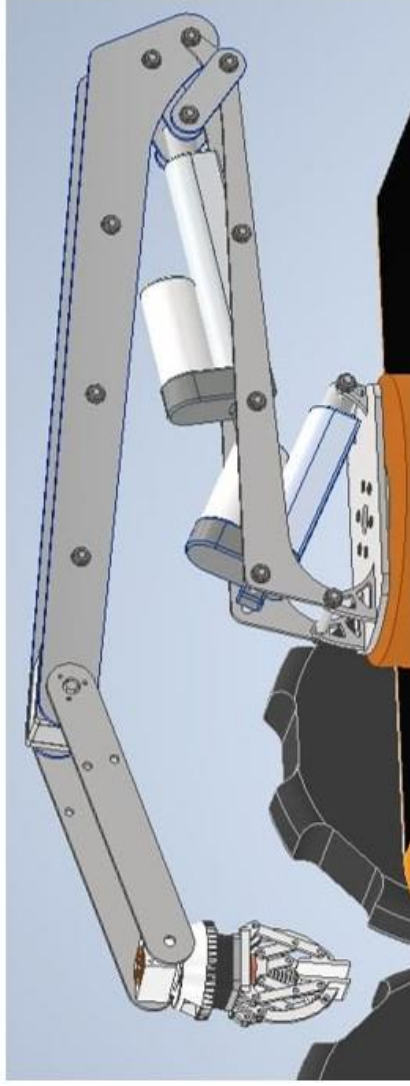


ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ЛАНОК

ОПТИМІЗОВАНА ДЕТАЛЬ

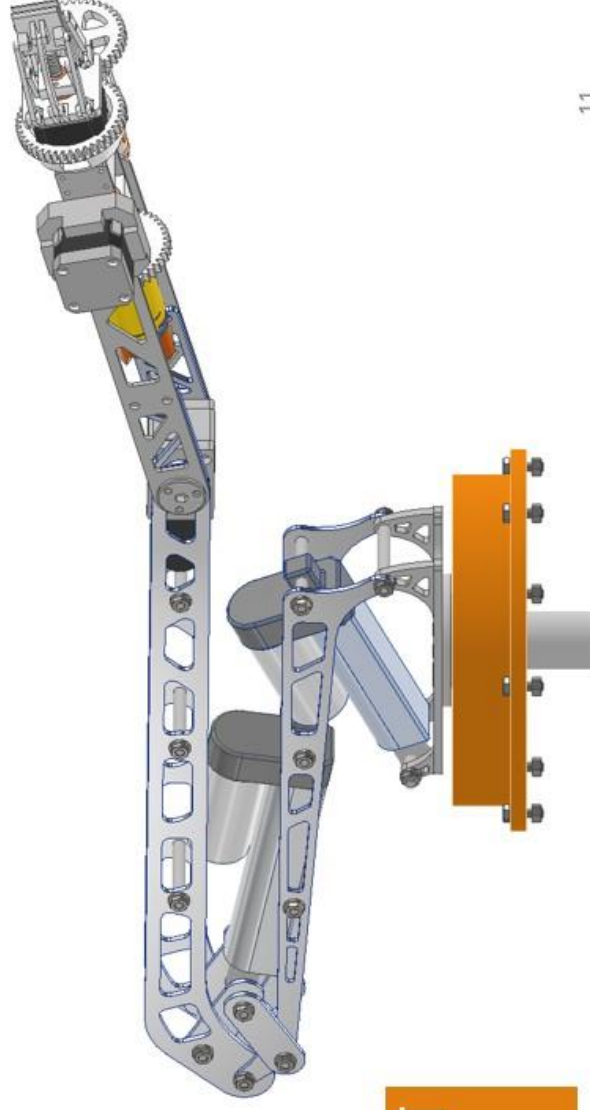
- 45% МАТЕРІАЛУ ВИДАЛЕНО
- МІЦНІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕНО





СУМАРНА ВАГА ЛАНОК ДО
ОПТИМІЗАЦІЇ
1060g

43,4% ЛЕГШЕ



СУМАРНА ВАГА ПІСЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
601g

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

