

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

**Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані  
механічні системи»  
спеціальності 131 Прикладна механіка**

**на тему: «Гідравлічний маніпулятор з автоматизованою траєкторією руху»**

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-71

Федотов Євгеній Олександрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: \_\_\_\_\_

доцент, к.т.н., доцент, Ганпанцурова О.С. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Гідравлічний маніпулятор з автоматизованою траєкторією руху

керівник проєкту: Ганпанцурова Оксана Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту документація мобільного маніпулятора Brokk 110, встановлене \_\_\_\_\_ штатне обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки Розділ 1. Аналіз маніпуляторів з автоматизованою траєкторією руху, Розділ 2. Модернізація стріли маніпулятора, Розділ 3. Охорона праці, Розділ 4. Технологія машинобудування, Висновок

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо) Гідроциліндр складальне креслення, деталювання, зміни при заміні гідроприводу вигляд загальний, Brokk 110 вигляд загальний, маніпулятор схема гідравлічна принципова, презентація.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	ст.викл. Ковтун А.І.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	<b>Аналіз наявних маніпуляторів.</b>	<b>8.04.2021</b>	
2	<b>Аналіз наявних доступних підходів до створення автоматичного керування.</b>	<b>15.04.2021</b>	
3	<b>Аналіз різних типів датчиків. Вибір типу.</b>	<b>18.04.2021</b>	
4	<b>Підбір моделі датчика.</b>	<b>25.04.2021</b>	
5	<b>Розробка гідроциліндра. Розрахунок конструктивних елементів.</b>	<b>10.05.2021</b>	
6	<b>Гідравлічний розрахунок.</b>	<b>16.05.2021</b>	
7	<b>Кінематичний прорахунок різних підходів</b>	<b>22.05.2021</b>	
8	<b>Перевірка цеху на норми охорони праці</b>	<b>25.05.2021</b>	
9	<b>Розробка технології виготовлення деталі гідроцилінда</b>	<b>1.06.2021</b>	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Євгеній Федотов

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

Оксана Ганпанцурова

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## Анотація

В даній роботі розглядаються два методи модернізації наявного гідравлічного маніпулятора Brokk 110 шляхом встановлення на його гідравлічний привід системи відслідковування положення кожного гідроциліндру. Головною особливістю даного мобільного маніпулятора є його компактність при високій потужності, а отже при заміні гідроприводів потрібно зберегти ці властивості на схожому рівні. Дипломна робота в собі має аналіз наявних слідкуючих систем, датчиків, варіантів їх встановлення. Прийняте рішення встановлення магнітострикційного внутрішнього датчика, та розроблений гідроциліндр за допомогою якого максимально зберігається кінематика всього пристрою. Добра візуалізація забезпечується наявними 3D моделями стріли маніпулятора та розробленого гідроциліндра. В гідравлічну систему встановлено додатковий розподільник, який може вмикати та вимикати проходження гідравлічної рідини через апарат теплообміну. Цей розподільник збільшує ККД системи, коли гідравлічна рідина холодна, шляхом зменшення опору від обладнання. Таким чином модернізований маніпулятор має переваги перед штатною моделлю у випадках, коли потрібно встановити жорсткі обмеження по руху, коли є повтор операції, потрібна точна робота по координатах, запуск декількох паралельних процесів. Автоматизація траєкторії дає можливість встановлювати даний маніпулятор на серійному виробництві. На загальному вигляді показані ключові положення маніпулятора для візуального аналізу зміни розмірів.

Ключові слова: маніпулятор, магнітострикційний датчик, слідкуюча система.

## Annotation

**Summary** This paper considers two methods of modernization of the existing hydraulic manipulator Brokk 110 by installing on its hydraulic drive a system for tracking the position of each cylinder. The main feature of this mobile manipulator is its compactness at high power, and therefore when replacing hydraulic actuators it is necessary to keep these properties at a similar level. Thesis has an analysis of existing monitoring systems, sensors, options for their installation. The decision was made to install a magnetostrictive internal sensor, and a hydraulic cylinder was developed with the help of which the kinematics of the whole device is preserved as much as possible. Good visualization is provided by the available 3D models of the manipulator boom and the developed hydraulic cylinder. An additional distributor is installed in the hydraulic system, which can switch on and off the passage of hydraulic fluid through the heat exchanger. This valve increases the efficiency of the system when the hydraulic fluid is cold, by reducing the resistance of the equipment. Trajectory automation makes it possible to install this manipulator in series production. Thus, the upgraded manipulator has advantages over the standard model in cases where you want to set strict restrictions on movement, when there is a repetition of the operation, you need accurate work on the coordinates, the start of several parallel processes. The general view shows the key positions of the manipulator for visual analysis of resizing.

**Keywords:** manipulator, magnetostrictive sensor, tracking system.

# **Пояснювальна записка до дипломного проєкту**

на тему: «Гідравлічний маніпулятор з автоматизованою траєкторією руху»

---

---

Київ – 2021 року

## Зміст

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МАНІПУЛЯТОРІВ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ ТРАЄКТОРІЄЮ РУХУ .....	9
1.1. Класифікація типів роботизованих маніпуляторів .....	9
1.2. Порівняльний аналіз датчиків контролю положення виконавчих пристроїв роботизованих маніпуляторів .....	16
1.3. Мета за задачі проекту .....	28
РОЗДІЛ 2. МОДЕРНІЗАЦІЯ СТІЛИ МАНІПУЛЯТОРА .....	30
2.1. Характеристики маніпулятора Brokk 110 в штатному виконанні ....	30
2.2. Розробка гідроциліндра із зворотнім зв'язком по положенню .....	33
2.3. Модернізація гідравлічної системи стріли маніпулятора .....	44
2.4. Порівняльний перерахунок кінематики руху ланок стріли маніпулятора .....	53
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	69
3.1. Основні положення .....	69
3.2. Санітарно-гігієнічна характеристика цеху. ....	69
3.3. Система опалення виробничого цеху .....	71
3.4. Розрахунок природного та штучного освітлення .....	73
3.5. Електробезпека та пожежна безпека .....	75
3.6. Висновки до розділу .....	77
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ. ....	78
ВИСНОВКИ .....	88
Список використаної літератури .....	89

					МА 71.14.ДП.001.0000.0000.ПЗ			
	А	№ докум	Підп	П				
Розробив	Федотов				Гідравлічний маніпулятор з автоматизованою траєкторією руху.	Лист	Анк.	Апкшнік
Перевірив	Ганпанцова						6	90
						КПІ ім. І.Сікорського		

## Вступ

Сучасні технології з кожним роком стають все більш доступними та поширеними, таким чином не використовувати їх у процесі роботи не є логічним і доцільним. Електронні системи керування дозволяють більше використовувати людські ресурси в розробці бізнес процесів і нових продуктів, а не у виготовленні одиниці продукту. Велику частину процесів, у виготовленні продукції, з сучасними технологіями можна реалізувати без участі людини. Використання програмованих контролерів також дає гнучкість у виробництві шляхом швидкої заміни керуючої програми, а також швидке налаштування на конкретних пристроях, наприклад для регулювання положення точок зварювання більше не потрібно перезакріплювати датчики положення чи переставляти шестерні, достатньо на пульті керування оновити координати операції.

Для точного позиціонування можна використати кілька різних підходів. Один з них це зовнішнє спостереження за положенням всіх компонентів, спостереження може здійснюватися як за рахунок оптичних камер так і за допомогою датчиків відстані і об'єму різних конструкцій, таких як ультразвукова, мікрохвильова, лазерна, тощо. Інший підхід це контроль за положенням всіх приводів. Для такого підходу добре підходять сервоприводи, але вони мають значну ціну, і тому використовувати їх у всіх подібних системах не є раціональним. Для економії фінансових ресурсів можна використати звичайні приводи, будь то електричні, пневматичні чи гідравлічні, і комплект датчиків і контролерів для перетворення, декодування сигналів останніх.

Підхід з зовнішнім контролем добре підходить для цехів, де можливо забезпечити пряму видимість для датчиків, в залежності від типу датчиків, що використовуються. Також такий спосіб ігнорує механічні люфти в механізмах, вібрацію, слідкуючи лише за вихідною ланкою, від якої і залежить точність та якість виконання операції. Потрібно також замітити, що не у всіх умовах можливо використати такий підхід через наявність в середовищі різних

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		



об'єктів, що заважають вимірюванню, це може бути змазувально-охолоджувальна рідина чи стружка в процесі різання, пиль в процесі виготовлення.

Використання відслідковування положення приводів має свої плюси у вигляді захищеності датчиків від зовнішнього середовища, кращій точності у порівнянні з першим підходом, хорошій роботі у важкодоступних місцях. Вібрація та люфти в механічних з'єднаннях також дають свою похибку при такому способі вимірюванні.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МАНІПУЛЯТОРІВ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ ТРАЄКТОРІЄЮ РУХУ

## 1.1. Класифікація типів роботизованих маніпуляторів

Маніпулятор – керована машина з декількома виконавчими пристроями в своєму складі, яка використовується для подачі робочих інструментів, здійснення операцій по переміщенню чи складанню певних об’єктів. Основна частина маніпуляторів - це просторові механізми з багатьма ступенями свободи. Від кількості ступенів свободи залежить простір, у межах якого може рухатися керований орган [1].

В залежності від сфери застосування маніпулятори можна розділити на наступні класи.

*Автоматичне або гнучке виробництво.* Цей клас охоплює більшу частину промислових роботів, які виконують широкий круг процесів, пов’язаних зі зварюванням, різанням, інспекцією, транспортуванням матеріалів, заготовок, готових виробів, збіркою, фарбуванням тощо.

*Віддалене дослідження.* Ці роботи-маніпулятори проектуються для роботи в недоступних або небезпечних для людини місцях. В якості прикладів маніпуляторів цього класу можна навести марсохід Curiosity, запущений в 2011 році для дослідження Марсу, гідравлічний маніпулятор Cybernetix Maestro, який використовується для дослідження підводних об’єктів, різноманітні бурові маніпулятори тощо.

*Протезування та біомедицина.* Робототехнічна технологія та пов’язана з нею технологія сенсорів можуть бути об’єднанні для виготовлення протезів кінцівок.

*Маніпулятори небезпечних речовин.* Машини цього класу працюють для знешкодження бомб, мін та інших вибухонебезпечних та токсичних речовин.

*Обслуговування.* Маніпулятори, що створені з метою забезпечення безпеки, чистоти, швидкості роботи не тільки підприємств, а й звичайних людей [1].

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

На практиці виділяють такі основні позитивні моменти заміни людської праці на працю роботизованих маніпуляторів:

- Підвищення продуктивності праці.
- Ефективне використання обладнання.
- Зменшення виробничих затрат.
- Покращення якості виробництва.
- Підвищення гнучкості виробничого процесу.
- Зменшення часу запуску виробництва.
- Гнучке і спрощене програмування.
- Збільшення конкурентоспроможності.
- Покращення якості виробничих площ.
- Мінімальні затрати на діагностику та налаштування певних параметрів.
- Малі терміни окупності.
- Високий прибуток капітальних вкладів.

З недоліків обов'язково потрібно виділити необхідність масового або хоча б багатосерійного виробництва, так як маніпулятори, а особливо високоточні, мають досить високу ціну і на малих об'ємах виробництва це призводить до підвищення вартості кінцевого продукту [2].

#### *Геометричні конфігурації роботів.*

Робочий простір або об'єм робота – це область його рухів, в якій виконавчі механізми або захвати можуть переміщатися у будь-яку точку всередині цього простору [2]. З точки зору механіки більшість роботів відносяться до однієї з п'яти наведених категорій:

- Роботи, що працюють в декартовій системі координат.
- Роботи, що працюють у циліндричній системі координат.
- Роботи, що працюють у сферичній або полярній системі координат.
- Роботи з поворотними шарнірами.
- Багатоланкові маніпулятори.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

*Роботи, що працюють у декартовій системі координат.*

Прикладами таких роботів є, наприклад, моделі IBM RS-1, IBM 7565 рис 1.1, White Cloud, Olivetti SIGMA. Рух в таких маніпуляторів відбувається вздовж трьох взаємоперпендикулярних осей [8].

Переваги:

- Висока роздільна здатність та точність роботи.
- Хороша можливість по обходу перешкод.
- Незалежність гравітаційного навантаження.

Недоліки:

- Великі габарити конструкції.
- Обмежена сумісність з іншими роботами в робочій зоні.
- Ускладнена конструкція для створення лінійних переміщень.
- Обмежена робоча область.

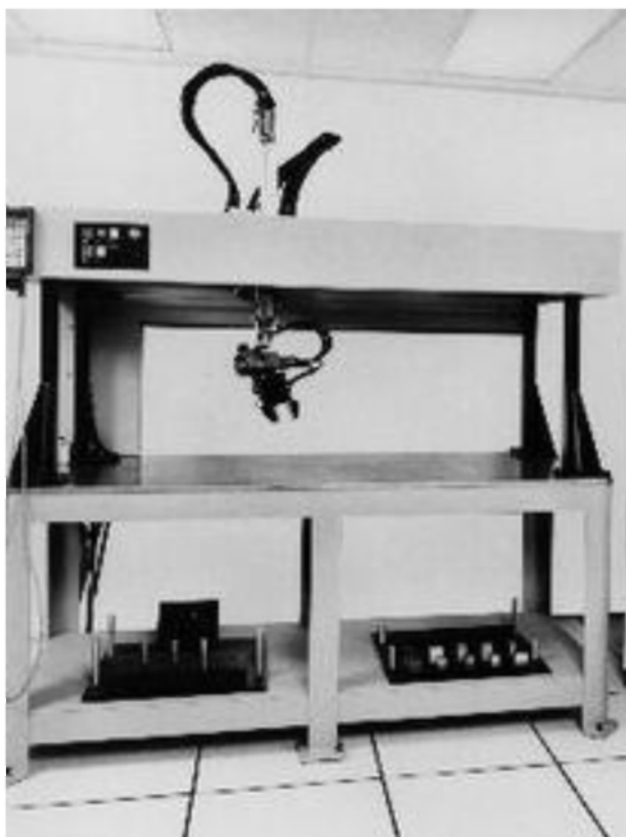


Рис. 1.1. IBM 7565 з декартовою системою координат [3]



*Роботи, що працюють в сферичній чи полярній системі координат.*

У цих роботів маються дві обертові і одна лінійна ступені вільності, наприклад як у маніпулятора Kawasaki UNIMATE (рис. 1.3.). Цей робот був запатентований ще в 1961 році та став переломним моментом у використанні роботів у автомобілебудуванні, він виконував прості, одноманітні завдання, переважно це було встановлення в автомобілі важких деталей, таких як двигун, сидіння, тощо. Згодом, після встановлення більш точних компонентів почалося широке використання у якості маніпулятора точкової зварки. Ця модель показала спектр можливостей та доцільності застосування подібних пристроїв у виробництві, та вже у 1962 році почався випуск подібних апаратів від інших виробників[7].

Основні переваги таких роботів:

- Сумісність з іншими роботами і обладнанням у робочій зоні.
- Малі рухи у вузлах при виконанні великої кількості рухів.
- Достатньо мінімальна вага та відносно проста конфігурація.
- Помилки позиціонування направлені перпендикулярно, що дає хорошу роздільну здатність.

Недоліки:

- Низька спроможність оминати перешкоди.
- Помилка позиціонування залежить від радіусу, на якому відбувається оперування, і є великою через використання обертових рухів.
- Високі змінні моменти у другій і третій ланці, при операціях з великими вантажами необхідно їх збалансовувати.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

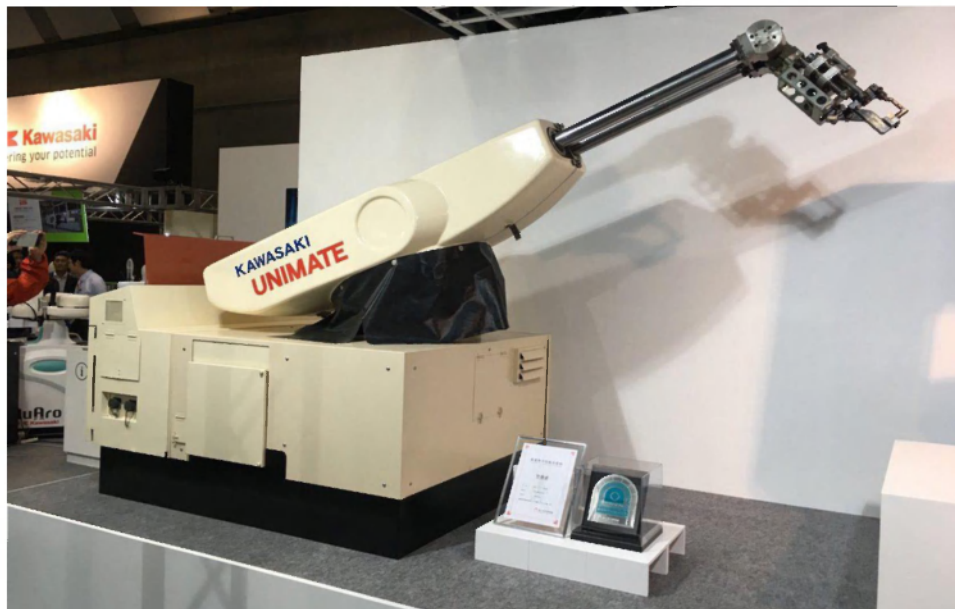


Рис. 1.3. Маніпулятор Kawasaki UNIMATE з полярною системою координат [6]

*Багатоланкові роботи з поворотними шарнірами.*

Маніпулятори з кількістю ступенів вільності більше шести широко застосовуються на виробництві у зв'язку з великою кількістю можливих положень кількох ланок при одному положенні інструменту, що дозволяє оминати перешкоди. Наприклад, робот Epson C4, Kawasaki K-series рис. 1.4, 1.5. Ці роботи є дуже універсальними за рахунок електричного приводу з точним позиціонуванням ( $\pm 0,15 \dots \pm 0,5$ -мм в Kawasaki K-series), та різноманіттям інструментів, мають п'яти і шестиосеву конструкцію.

Переваги:

- Гнучкість у досягненні точок об'єму робота.
- Хороша сумісність з працюючими у тій же зоні роботами.

Недоліки:

- Найменша точність через накоплення помилки кожною із ланок.
- Великі моменти в шарнірах, що може призвести до необхідності їх збалансування.



Рис. 1.4. Маніпулятор Kawasaki K194 з багатоланковою конструкцією[5].

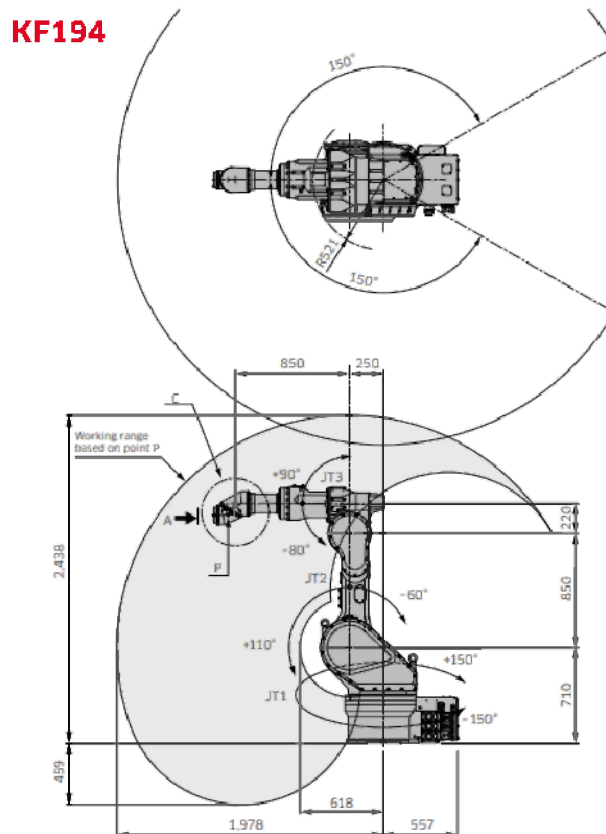


Рис.1.5. Схема маніпулятора Kawasaki K194 [5].

*Багатоланкові маніпулятори.*

Маніпулятори, що можуть приймати будь-яку форму у просторі. Такі маніпулятори складаються з багатьох елементів, що можуть переміщуватися по



відношенню один до одного. Також до цього типу відносять роботів з гнучкими частинами.

### *Статистичний аналіз помилок роботи.*

Важливим моментом у робототехніці є те, що просторова роздільна здатність, а також помилки мають статистичний розподіл. Приймається, що цей розподіл є гаусовим (нормальним), тобто таким, в якому існує середнє та середнє квадратичне відхилення похибки. Для конкретної цільової точки позиціонування в просторі можна рахувати як допуски на розміри деталей для захвату. Середнє квадратичне відхилення не повинно перевищувати 1/3 цього допуску. При таких умовах можливий розрахунок відсоткового шансу зіткнення з деталлю. Даний шанс розраховують за допомогою таблиць нормального розподілу похибок.

## **1.2. Порівняльний аналіз датчиків контролю положення виконавчих пристроїв роботизованих маніпуляторів**

З 1970-х почалася масштабна розробка датчиків для забезпечення потоку інформації про виконувані операції роботи. Такі датчики можна розділити на дві підкатегорії: датчики внутрішньої інформації та датчики зовнішньої інформації. Головна відмінність в цих двох категоріях в тому, що перші дають роботу інформацію про його внутрішній стан, наприклад, про положення будь-якої ланки, зусилля, запас енергії тощо, а другі - інформацію про навколишнє середовище, як то розмір, положення, відстань до заготовки, об'єкту дослідження. Деякі з датчиків можуть бути використані, як зовнішні, так і як внутрішні в залежності від встановлення та характеристик. Основний прорив був у сфері визначення положення та орієнтації об'єктів, таким чином немає необхідності подавати останні точно в одному і тому ж положенні, що значно прискорює процеси на виробництві. За допомогою поєднання точності датчиків та гнучкості програмованих систем можна добитися високої точності та швидкості знаходження, наприклад, бракованих деталей, невідповідність

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

встановлення елементів. Також зараз розвиваються системи машинного зору, в яких гнучкість роботи ще вища, але є і мінуси у вигляді необхідності прямої оптичної видимості, важкості розробки програмного забезпечення, дороговизни, забезпечення хорошого освітлення та ін [16].

Більшість датчиків мають зовнішнє живлення, а на виході передають сигнал у підсилювач, компаратор, блок АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) тощо.

Класифікація датчиків - це дуже складна тема, враховуючи те, що у даних пристроїв дуже багато параметрів, по яким їх можна класифікувати. Зараз виділяється три основні характеристики, по яких їх і поділяють - це тип функції, яку собою замінює датчик, радіус дії, спосіб перетворення сигналу.

За типом функцій, які замінює датчик, існує декілька категорій.

*Кінестетичні* датчики, що формують масив інформації про загальні координати і сили. Дані датчики формують основну інформацію про положення і навантаження на робочі ланки. До даної категорії відносяться датчики положення, швидкості, зусилля і моменту.

*Локаційні* датчики вимірюють форму, розміри та інші фізичні параметри об'єктів. Такі системи часто працюють на принципі випромінювання і уловлювання звуків, світла, електромагнітного випромінювання.

*Візуальні* датчики отримують інформацію про геометричні і фізичні властивості середовища на принципі аналізу освітленості в оптичному діапазоні включаючи інфрачервоне, рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове.

*Тактильні* датчики дозволяють визначити тип контакту з об'єктами в робочому середовищі для розпізнавання.

*Генераторні* датчики базуються на генерації та/або вимірюванні електромагнітного сигналу. Наприклад, датчики, що використовують ефект Хола, електромагнітної індукції, фоторезистори тощо [19].

В сучасному світі є гостра необхідність частину операцій передавати електронним автоматичним системам керування. Однією з таких систем є система автоматичного керування маніпулятором. При цьому для побудови

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

траєкторії руху маніпулятора та можливості її динамічного контролю та внесення змін, необхідно контролювати поточне положення виконавчих пристроїв. Для вирішення такої задачі можливе використання наступних датчиків:

- акселерометр з компасом та гіроскопом (інклінометри);
- оптичні та електричні енкодери;
- лазерні датчики відстані;
- ультразвукові датчики відстані;
- індукційні датчики;
- магнітострикційні датчики;
- потенціометри.

Розглянемо більш детально вище перераховані варіанти.

*Акселерометр в комплекті з компасом та гіроскопом.*

Дані датчики дуже часто є одним модулем (рис. 1.6.) і мають ряд переваг та недоліків.

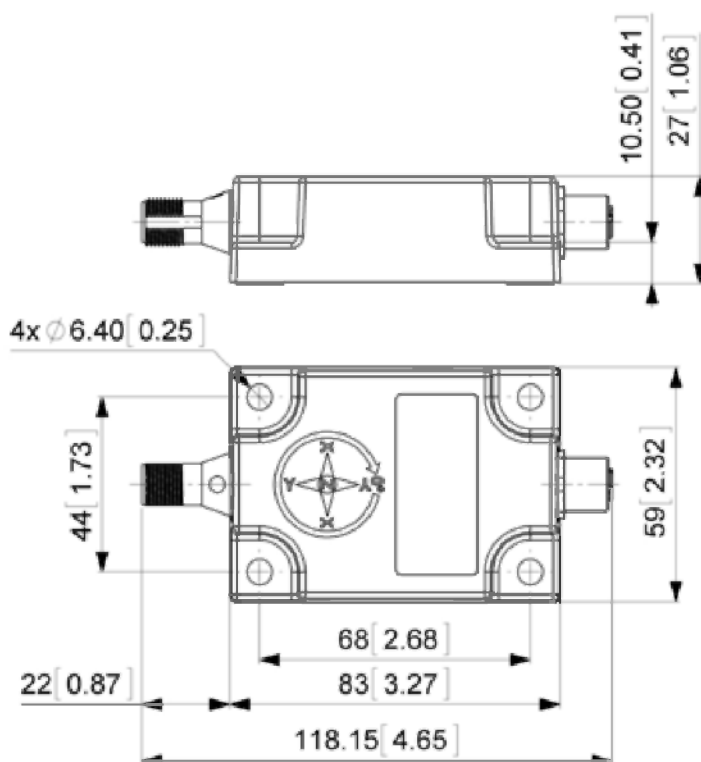


Рис. 1.6. Загальний вигляд та габарити інклінометра Posital AKS-090-2-CA01-HK2-PW [12]

#### Основні переваги інклінометрів:

- Немає необхідності замінювати штатні виконавчі модулі, зовнішнє встановлення.
- Простота встановлення.
- Компактність.
- Захист від зовнішнього негативного впливу, наприклад, механічних пошкоджень, попадання хімічно активних речовин тощо.
- Можливість встановлення на вихідну ланку і відслідковувати саме її, а не виконавчий модуль, що додасть точності із-за меншої кількості механічних з'єднань.
- Можливість відслідковувати лінійні і обертові переміщення одночасно.

#### Недоліки інклінометрів:

- Низька вібростійкість, це і є основним недоліком, так як основна частина маніпуляторів є вібронавантаженими.
- Низька точність в порівнянні з іншими системами.
- Важкий процес калібрування.

Датчики працюють за рахунок того, що компас відслідковує кут повороту в одній площині, а гіроскоп в іншій, таким чином покриваються осі обертання. Акселерометр, в свою чергу, відповідає за швидкість та прискорення модуля. Основні параметри, які необхідно враховувати при виборі інклінометра, це в першу чергу кут вимірювання та кількість осей вимірювання. Наприклад, датчик Posital AKS-090-2-CA01-HK2-PW має 2 осі вимірювання (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1. Основні характеристики Posital AKS-090-2-CA01-HK2-PW

[12]

Характеристика	Одиниці виміру	Значення
Вимірюваний кут	°	0...90

Розширення	°	0,01
Кількість осей вимірювання	шт.	2
Вібраційна стійкість		1,5мм 10-58 Гц, 20g при 58-2000 Гц (EN 60068-2-6)
Час вимірювання	мс	50
Напруга живлення	В	9...30

#### *Оптичні та електричні енкодери.*

На даний момент є найбільш поширеними у виробництві, використовуються для орієнтації зварювального, різального, паяльного, контрольного обладнання в просторі. На сьогоднішній день існують енкодери як для контролю обертового руху, так і прямолінійного. Принцип роботи датчиків полягає в тому, щоб уловлювати оптичні позначки на лінійці, в оптичних моделях і на неспівпадінні часу електричних сигналів. Головним параметром є кількість імпульсів на оберт, у обертових енкодерів, або на метр, у лінійних енкодерів. Від цієї характеристики залежить точність і вібростійкість, чим більше тіків, тим більша точність і менша вібростійкість і навпаки.

#### Переваги енкодерів:

- Відносна дешевизна.
- Великий вибір моделей.
- Достатньо висока точність.
- Цифровий сигнал.
- Надійність.
- Наявність лінійних і обертових варіантів.
- Висока вібростійкість.

#### Недоліки:

- Датчик з самого початку не знає в якому положенні знаходиться маніпулятор, тому потрібно спочатку встановити у крайнє положення.
- Мертва зона між тіками.



повернення відбитого сигналу. Таким чином дуже зручно виставляти вихідну ланку на точній відстані до об'єкту, ігноруючи похибки в ланках, люфтах тощо. Отже, немає місця накоплення похибки. Такий спосіб добре підходить для орієнтації ріжучого інструменту, паяльного, зварювального, де важливо позиціонування вихідного інструменту відносно заготовки. Швидкість, як і точність вимірювання, одна із найкращих серед усіх представлених варіантів. Із мінусів потрібно виділити тяжкість виміру дзеркальних, блискучих поверхонь та необхідність мати хорошу лазерну проникність середовища. Для прикладу розглянемо WayСоп LAS-T5-500, його розміри та загальний вигляд наведено на рис. 1.8., а загальні характеристики - в табл. 1.3.

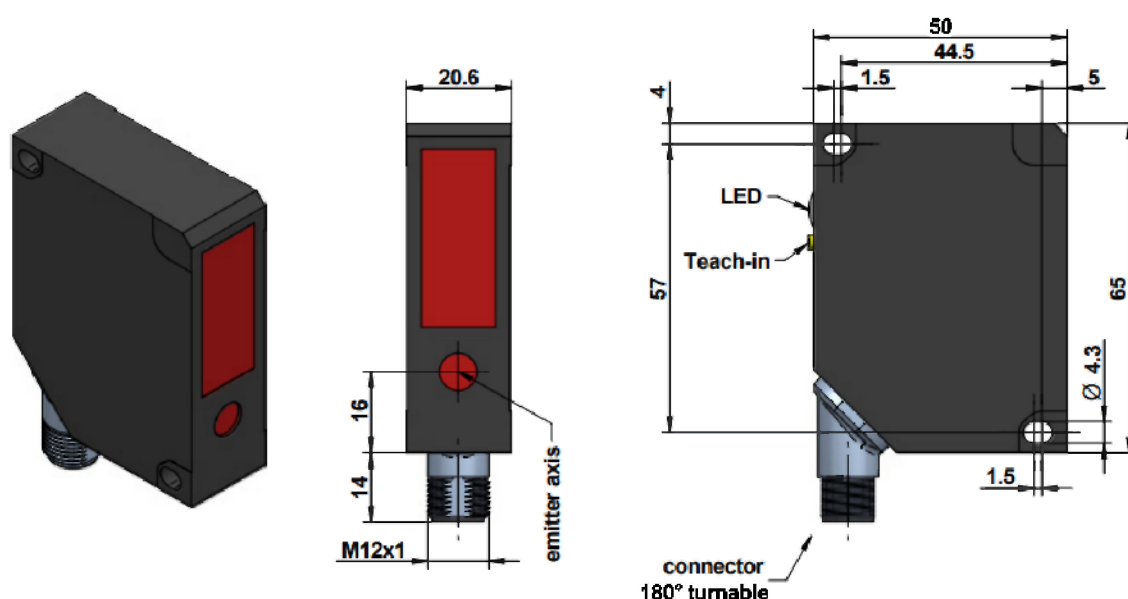


Рис. 1.8. Загальний вигляд та розміри WayСоп LAS-T5-500 [14]

Таблиця 1.3. Загальні характеристики ультразвукового датчику відстані [14]

Характеристика	Одиниці виміру	Значення
Вимірювальна відстань	мм	100...500
Розширення	мм	0,015...0.67
Розмір точки вимірювання	мм	2
Частота вимірювання	Гц	1
Частота роботи	кГц	175
Напруга живлення	В	12...28

## Ультразвуковий далекомір

Принцип роботи такого датчика ідентичний до лазерного, але посилається ультразвуковий сигнал. Також кут, на якому проводиться вимірювання, значно більший. Відстань, яка вказується на виході буде дорівнювати мінімальній в конусі вимірювання, це відбувається із-за фізичного змісту вимірювання. Для прикладу розглянемо WayСоп UX micro 500, його розміри та загальний вигляд можна побачити на рис. 1.9., а загальні характеристики в табл. 1.4.

### Переваги:

- Робота на високих частотах, що ніяк не впливають на здоров'я людини.
- З налаштуванням можуть працювати в різних середовищах, наприклад у воді.

### Недоліки:

- Деякі речовини в середовищі можуть повпливати на швидкість руху звуку, а отже і на точність вимірювання.
- Вимірювання іде до першого об'єкту, що відбиває звук.

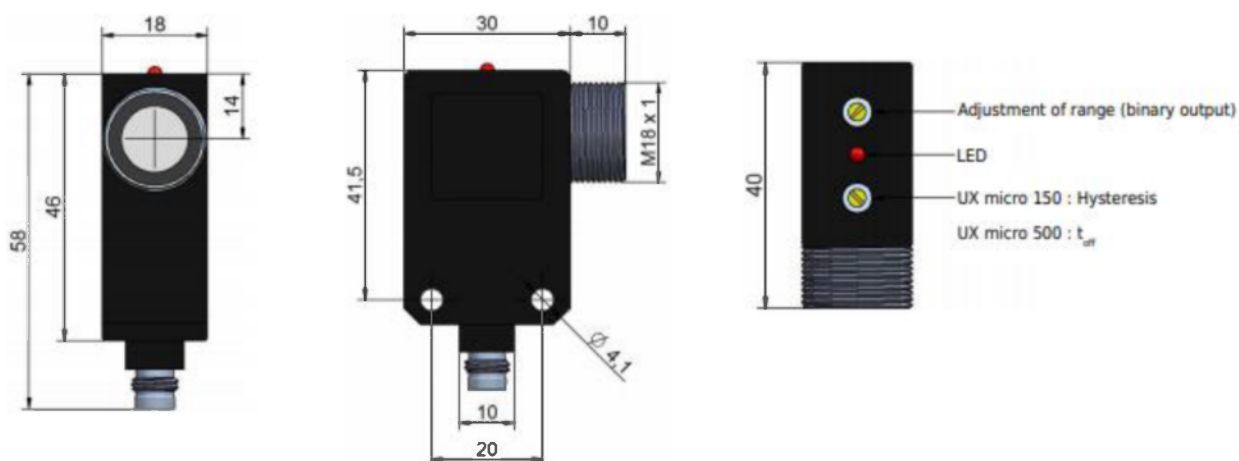


Рис. 1.9. Загальний вигляд WayСоп UX micro 500 [11]

Таблиця 1.4. Загальні характеристики ультразвукового датчику відстані [11]

Характеристика	Одиниці виміру	Значення
Вимірювальна відстань	мм	0...500
Повторюваність	%	<1
Частота опитування	Гц	2



Частота роботи	кГц	175
Напруга живлення	В	12...28

*Магнітострикційні, індуктивні і потенціометричні датчики.*

Ці типи датчиків варто розглядати разом, так як вони мають схожу конструкцію, спосіб кріплення та використання рис. 1.10, 1.11, 1.12.

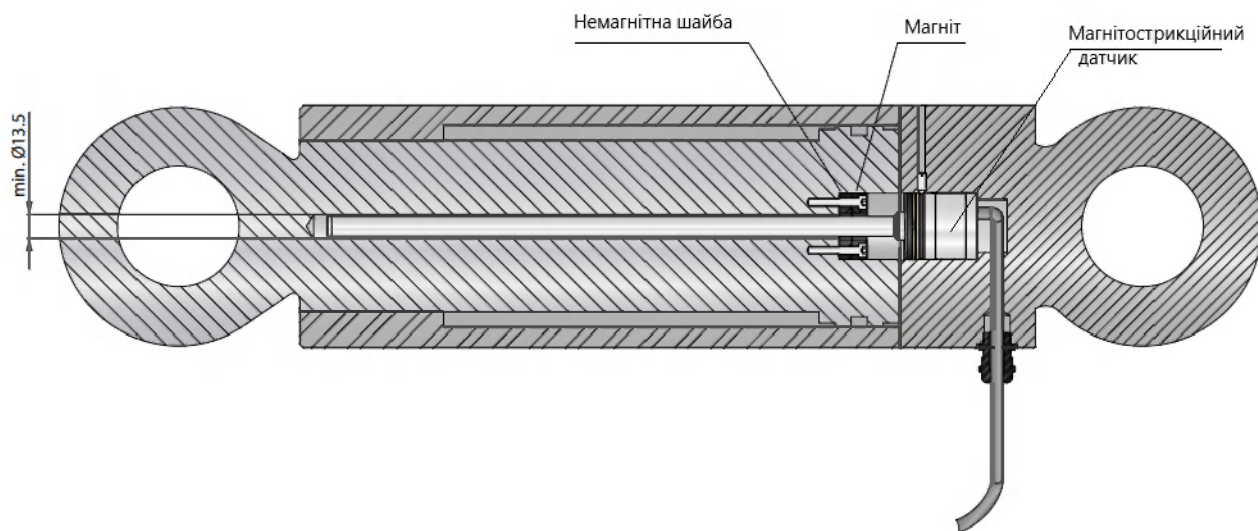


Рис. 1.10. Встановлення магнітострикційного датчика у гідроциліндр

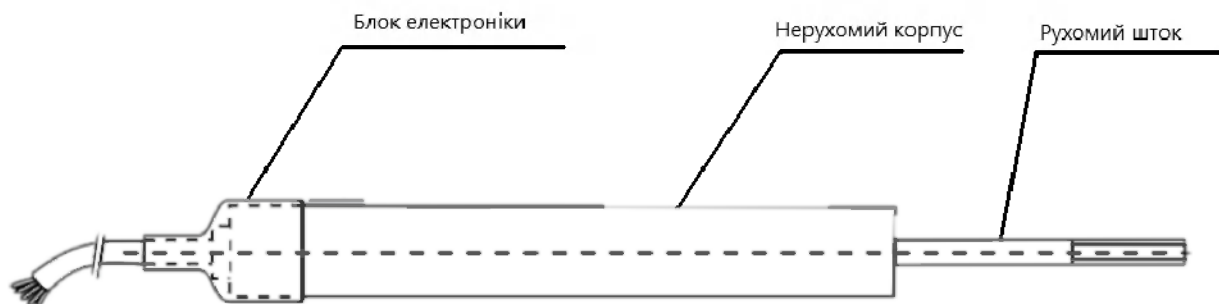


Рис. 1.11. Основні деталі індуктивного датчика положення



Рис.1.12. Схема встановлення потенціометричного датчика положення

Магнітострикційна технологія традиційно є переважною технологією для використання у високоточних системах. Ці датчики, часто звані LDT або MLDT, включають трубчастий зонд (стержень) з нержавіючої сталі і короткий тороїдальний вузол з постійним магнітом навколо нього, який встановлений у порожнині з поршнем. Найпоширеніший пакет включає корпус електроніки датчика з ущільнювальним кільцем у задній частині циліндра та довгий тонкий щуп, що вставляється в отвір штока, а також постійний магніт. Ця технологія використовує принцип "часу польоту" для визначення положення магніту з дуже високою точністю та помірним часом відгуку [18]. Під час роботи магніт використовується для відображення крутильного механічного імпульсу, що

передається по спеціальному дроту (який називається хвилеводом) всередині зонда.

Як правило, кожен виробник магнітострикційних датчиків має свій власний стиль магніту з унікальними особливостями кріплення, такими як кількість отворів та схема отворів. Магнітострикційні датчики можуть споживати значну кількість енергії і не є найбільш механічно захищеними датчиками. Вони пропонують електричні характеристики порівняно з механічною міцністю, оскільки вони часто стикаються з проблемами удару та вібрації. Тим не менше, навіть з урахуванням цих потенційних недоліків пакет магнітострикційних датчиків положення спеціально розроблений для використання у проточці в штоці.

Датчики типу потенціометра зі змінним опором, які зазвичай називають горщиками, в більшості випадків використовуються там, де вартість придбання є основним параметром, а висока точність не має першочергового значення. Він використовує ізольований круглий носій, прикріплений до внутрішнього кінця просвердленого в поршні циліндра, що підтримує електропровідний контакт у вигляді щітки, який контактує з поверхнею частково провідного пластикового зонда. Коли контакт рухається вздовж цього пластикового елемента, його опір змінюється лінійно, що дозволяє досить легко визначити положення носія і, отже, положення поршня. Потенціометри розглядалися, як хороше рішення для вимірювання положення для використання в циліндрах через їх міцність, хороше відношення ходу до довжини та високу аналогову вихідну напругу постійного струму. Основним недоліком опорів є зношування, особливо якщо циліндр приводиться в дію з високою частотою - або, що ще важливіше, з'являється значне погіршення точності на невеликій частині датчика, що регулярно використовується [19].

Лінійні датчики положення перетворювача індуктивності (LVIT) використовувались у виробництві циліндрів, але не мали загальновизнаного розпізнавання магнітострикційних датчиків або потенціометрів опору. Ця безконтактна технологія має багато суттєвих переваг перед потенціометрами

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

опору щодо терміну служби виробу та довготривалої надійності, і зазвичай може вигідно конкурувати з роботою магнітострикційних датчиків з точки зору лінійності, роздільної здатності та частотної характеристики, але при значно нижчих вартість. Не менш важливим є той факт, що перетворювачі індуктивності зі змінною індуктивністю можуть витримувати набагато більші удари та вібрацію, такі як ті, що часто зустрічаються у важкій промисловій енергетичній рідині та мобільному обладнанні [18].

Лінійні датчики перетворювача індуктивності (LVIT) охоплюють золоту середину між вищим рівнем продуктивності та гнучкістю кріплення зовнішнього блоку, порівняно з магнітострикційним датчиком, та кращою міцністю та нижчою ціною вбудованого потенціометра. Ці датчики працюють шляхом вимірювання резонансної частоти осциляторної схеми індуктивного зонда, індуктивність якого змінюється положенням провідного штока, просвердленого над ним, за допомогою вбудованої електроніки. Зазвичай пропонуються в широкому діапазоні розмірів від 100 мм до 900 мм, доступні як вмонтовані в порт, так і вбудовані пакети з роз'ємами та кабельними закінченнями. Датчики LVIT пропонують або аналоговий вихід напруги постійного струму, або різні типи цифрових виходів, доступних для додатків OEM. Датчик LVIT представляє безконтактне рішення, для якого не потрібен кільцевий магніт. Фактично, якщо датчик LVIT був встановлений для заміни існуючого магнітострикційного датчика, магніт можна залишити на місці в кінці штока циліндра, не заважаючи основній роботі датчика. Датчики LVIT пропонуються у герметичній версії, що дозволяє користувачеві встановити датчик і циліндр у підводних середовищах, або на виробництвах, де можливе попадання хімічно активних речовин, що можуть спричинити вихід з ладу електроніки.

Дистанційне калібрування поля - це стандартна функція, що пропонується на багатьох датчиках змінної індуктивності. Ця функція дозволяє користувачеві калібрувати датчик після його встановлення на циліндр. Після встановлення нуля та контрольних точок датчик видасть бажаний вихідний сигнал у

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

новоствореному діапазоні, і при подальшій роботі більше не потрібно буде калібрувати пристрій у відповідній системі координат.

Для порівняння характеристик взято моделі одного виробника, а саме WayCon (табл. 1.5.). З доступних потенціометричних датчиків вибрано лінійку LRW [15], з індуктивних – LVPН [16], з магнітострикційних – MSB [13].

Таблиця 1.5. Порівняльна характеристика датчиків фірми WayCon

Характеристика	Одиниці виміру	Значення		
		LRW	LVPН	MSB
Вимірювана довжина	мм	50-900	25-500	50-4000
Допуск лінійності	%	±0,05	±0,5 (опціонально ±0,1)	±0,04
Чутливість	мм	0,01	0,01	0,01
Швидкість переміщення	м/с	<10	<5	<10
Максимальне прискорення	м/с <sup>2</sup>	200	200	100
Вихід	-	Аналоговий, 0...5кОм	Аналоговий 0...10В, 4...20мА	Аналоговий 0,1...10,1В, 4...20мА
Максимальний тиск	бар	400	350	350
Вібраційна стійкість	-	20g до 2кГц	20g до 2кГц	12g до 2кГц
Матеріал корпусу	-	AISI304	AISI304	AISI304

### 1.3. Мета за задачі проекту

Головною метою даного проекту є модернізація роботизованого маніпулятора шляхом автоматизації траєкторії руху стріли. Для цього в першу необхідно забезпечити контроль поточного положення стріли та передачу цих

даних в контролер. Саме розробка рішення по наданню даної інформації контролеру лежить в основі проекту.

Першочерговим завданням при такій розробці є аналіз доступних на ринку способів визначення положення маніпулятора в кожен момент часу, а не тільки в конкретних позиціях. Ця задача вирішується за допомогою датчиків, найкраще підходять потенціометричні, індуктивні і магнітострикційні. Проведення порівняльного аналізу і вибір потрібної технології, а після і моделі, необхідний момент для подальшої розробки та розрахунку.

Так як при наявних у штатному виконанні циліндрів неможливо організувати встановлення внутрішніх магнітострикційних датчиків, необхідно переробити гідропривод. При даній заміні потрібно розглянути два варіанти виконання: збереження зовнішнього габариту за рахунок втрати довжини ходу, збереження ходу за рахунок збільшення зовнішнього габариту. Для вирішення цих питань необхідно розробити конструкцію гідроцилінда з встановленим датчиком відслідковування положення.

Після розробки гідроприводів можна перейти до розрахунку конструктивних елементів і проектування, розробки креслень приводу. Потрібен також розрахунок зміни зусилля на штоці, швидкості руху, кінематики всього маніпулятора.

Так як основна задача полягає саме в модернізації наявного маніпулятора, а не в розробці нового, то не допускається модифікація кріплень, силових елементів, конструкції стріли.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. МОДЕРНІЗАЦІЯ СТРИЛИ МАНІПУЛЯТОРА

### 2.1. Характеристики маніпулятора Brokk 110 в штатному виконанні

Даний маніпулятор широкої сфери застосування, на це також вказує площадка для змінних інструментів (рис. 2.1). Серед цих інструментів відбійний молоток кількох конструкцій, дробильна установка для бетону, ножиці по металу, ковші та захвати різних конструкцій, бурова та свердлильні установки, рубанок, циркулярна пила. Маючи такий арсенал інструментів, важко прогнозувати, в яких експлуатаційних умовах буде працювати маніпулятор. Передбачається, що машина буде працювати в максимально тяжких умовах, саме для цього встановлено гусеничний привід та поворотна система стріли. Наприклад даний маніпулятор підходить для роботи на лісопильному виробництві, де потрібне перевантаження матеріалу в умовах малої кількості вільного місця. Малі розміри корпусу та поворотна башта дає перевагу в таких операціях, жорсткість розташування забезпечують чотири лапи з гідравлічним приводом. Керування роботом можливе по кабелю і радіо з дальністю роботи до 300 м, що дозволяє вийти людині з зони роботи маніпулятора для організації більшої безпеки. Але це все ще залишається ручне керування оператором, неможливо організувати повтор операції чи повне автоматичне керування по заданій програмі, так як в маніпулятора немає зворотнього зв'язку.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

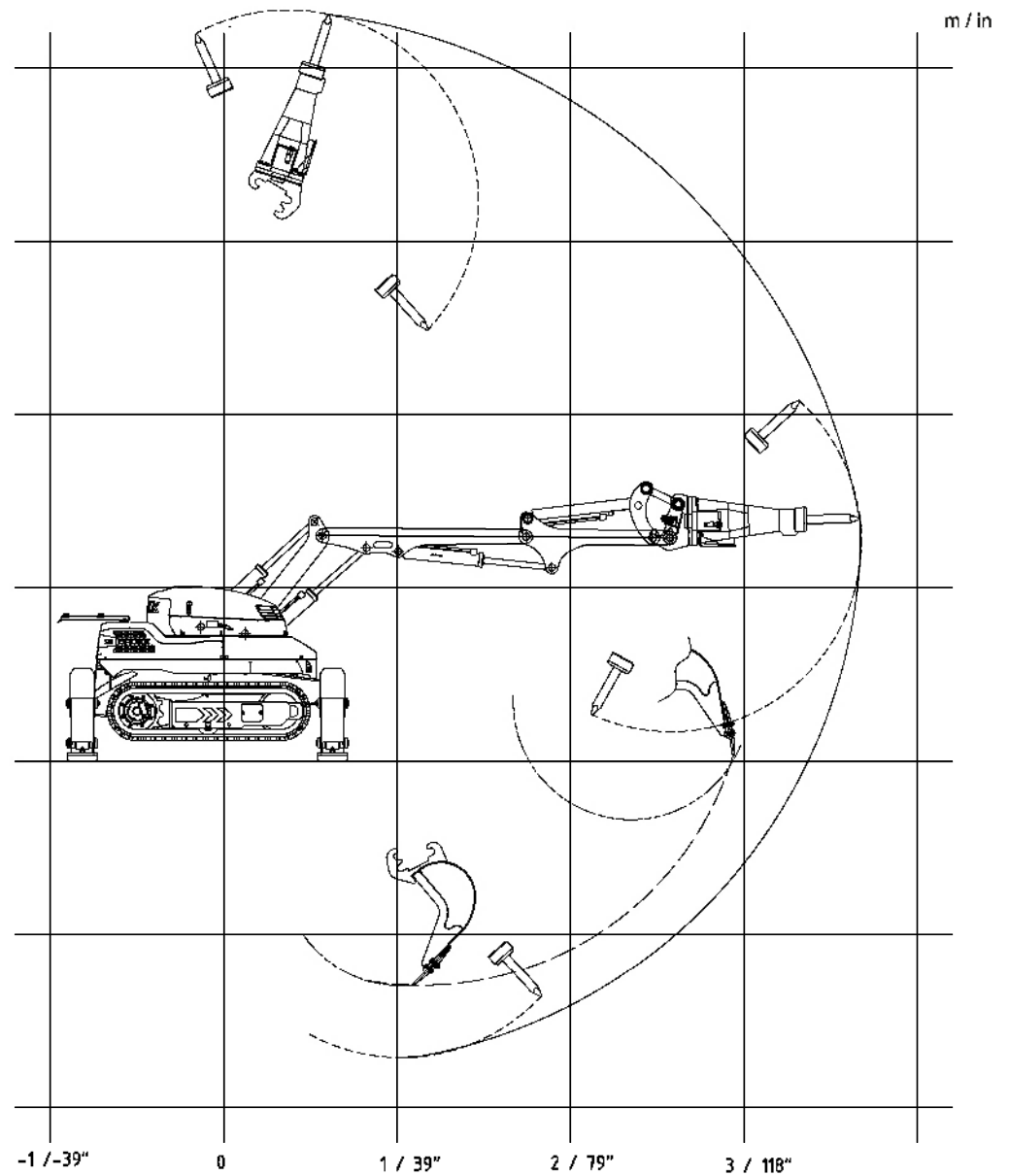


Рис. 2.1. Схема руху виконавчого блоку маніпулятора Brokk 110

Зм	Арт	№ документа	Підпис	Дата

МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ

Арк.

31



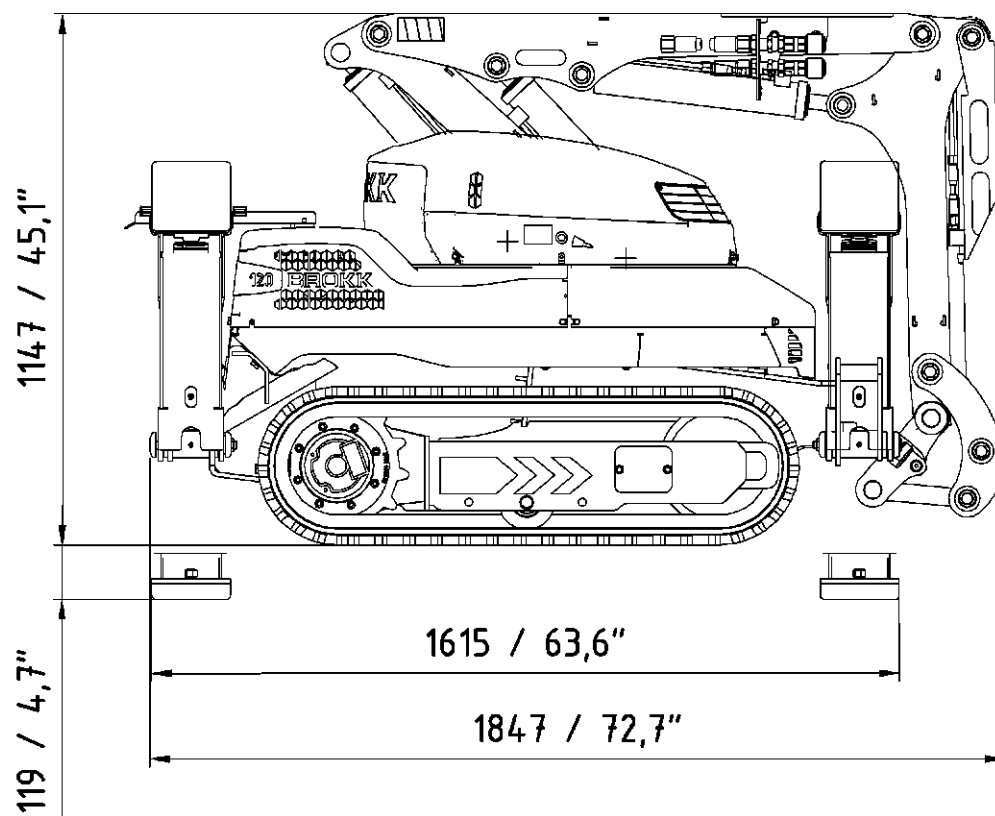


Рис. 2.2. Розміри машини в складеному вигляді

Маніпулятор Brokk 110 має наступні характеристики (табл. 2.1) [17].

Таблиця 2.1. Основні характеристики маніпулятора

Швидкість повороту	10с/360°
Швидкість руху	до 2,5 км/год
Максимальний кут підйому	30°
Тип електромотору	ABB
Потужність	19,5 кВт
Рекомендований струм запобіжника	32 А
Контролююча система	SmartRemote, портативна
Тип сигналу	цифровий
Передача даних	радіо/кабель
Дальність роботи радіо	до 300 м
Вага	990 кг

Рекомендована вага інструменту	до 160 кг
Об'єм гідравлічної системи	40 л
Максимальний тиск	18МПа
Максимальна витрата насосу	54 л/хв
Висота в складеному вигляді	1147 мм
Довжина в складеному вигляді	1847 мм
Хід гідроциліндрів	350 мм
Діаметр поршня	63 мм
Діаметр штоку	32 мм
Мінімальна міжосьова відстань	550 мм
Максимальна міжосьова відстань	900 мм

## 2.2. Розробка гідроциліндра із зворотнім зв'язком по положенню

Для відслідковування положення гідроциліндру потрібно встановити електронні датчики, одним із таких є магнітострикційний датчик положення.

Принцип роботи магнітострикційних датчиків побудований на магнітострикційному ефекті, що полягає в зміні форми і розмірів тіла при дії на нього електромагнітного поля. Основною деталлю в даному датчику є сердечник, що виготовлено з феромагнітного матеріалу, який також називають хвилевід. Також для роботи необхідний постійний магніт, що встановлено на рухомій частині, у даному випадку – поршні. При подачі на сердечник змінного струму в останньому наводиться магнітне поле, що перетинається з магнітним полем постійного магніту, чим викликає торсіонний імпульс. Імпульс поширюється від точки перетину магнітних полів, а отже від знаходження поршня, у вигляді ультразвукової хвилі з константною швидкістю, до точки вимірювання. Сигнал, прийнятий вимірювальною головкою, передається на електроніку, яка обробляє час, затрачений на шлях по стержні, після чого видає відстань на якій знаходиться магніт.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

В нього є певні плюси і мінуси. Плюси: внутрішнє встановлення, що захищає датчик від механічних пошкоджень, які можуть виникати в процесі експлуатації, хороша точність, висока максимальна швидкість переміщення поршня, різноманіття варіантів виходів, що аналогових, що цифрових, хороша частота передачі даних.

Із мінусів можна виділити те, що для встановлення даного типу датчиків часто не підходять стандартні гідроциліндри, потрібно або вибирати гідроциліндри спеціалізовані під встановлення слідкуючої апаратури, або виготовляти власні приводи. Мінусом першого наведеного вирішення проблеми встановлення є прив'язка до конкретних компаній-виробників апаратури і приводів, що не завжди вигідно, особливо якщо в ній використовуються свої протоколи обміну даними. В другому вирішенні є нюанс з кінцевою ціною маніпулятора, так як виготовлення власного гідроциліндра є дуже затратним, через відсутність серійного виробництва. Також датчики такого типу встановлюються всередині гідроциліндру, що забирає частину внутрішнього простору і приводить до обмеження свободи руху маніпулятора. У всіх пристроїв подібного типу є зони, де проводиться вимірювання, біля електронного блоку (poll zone) та в кінці штоку вимірювання (poll / dead zone). Для збереження руху чим менші зони тим краще. Далі наведено приклади датчиків, а саме German jet 17 Series рис.2.3, MTS Sensors MH Series рис.2.4, MTS Sensors MH-Safety Series рис.2.5, WayCon MSB series рис.2.6, WayCon LMI12-...-SL series рис.2.7, WayCon LMI12-...-SE series рис.2.8.

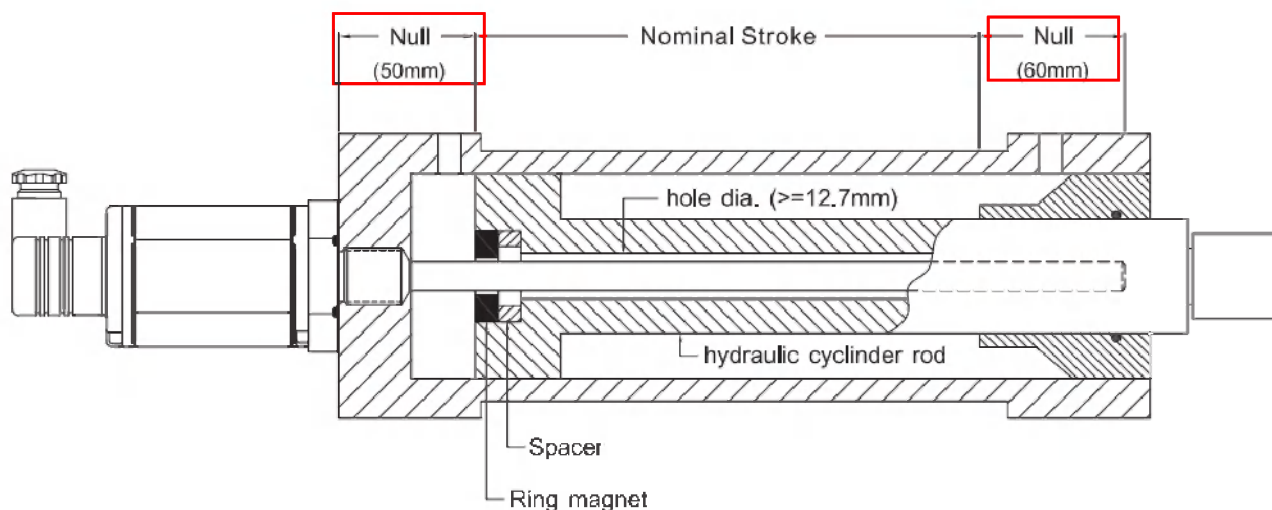


Рис. 2.3. Схема встановлення датчику German jet 17 Series

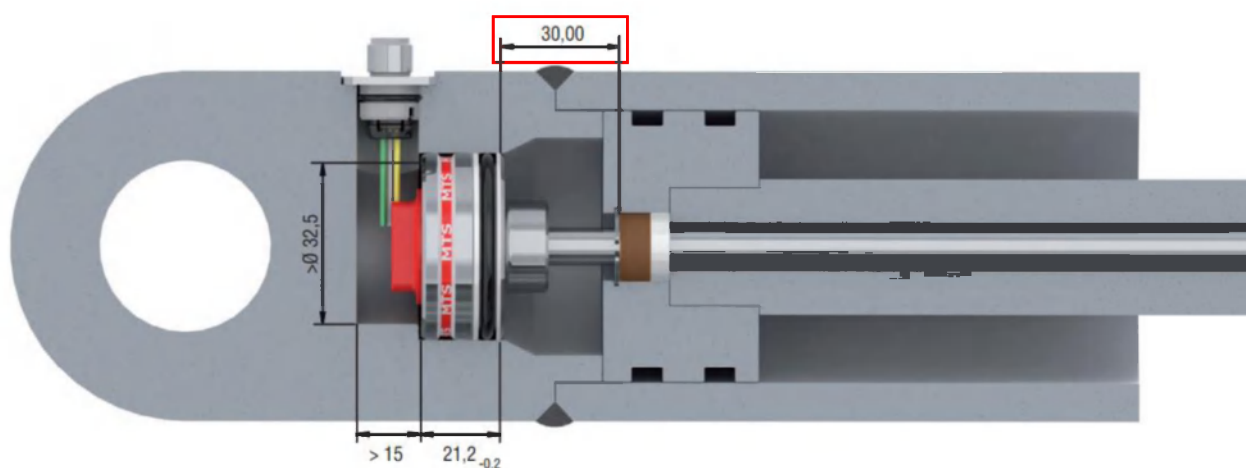


Рис. 2.4. Схема встановлення датчику MTS Sensors MH Series

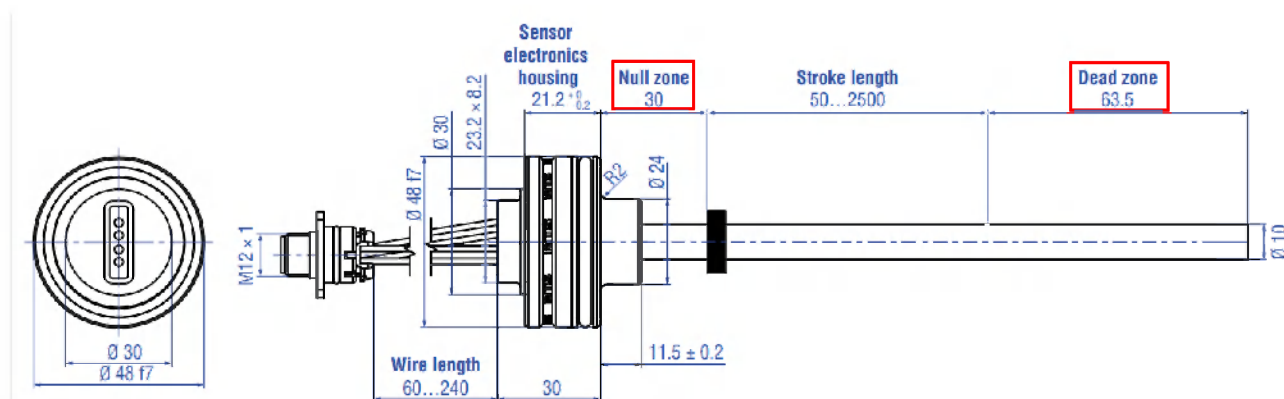


Рис. 2.5. Схема датчику MTS Sensors MH-Safety Series

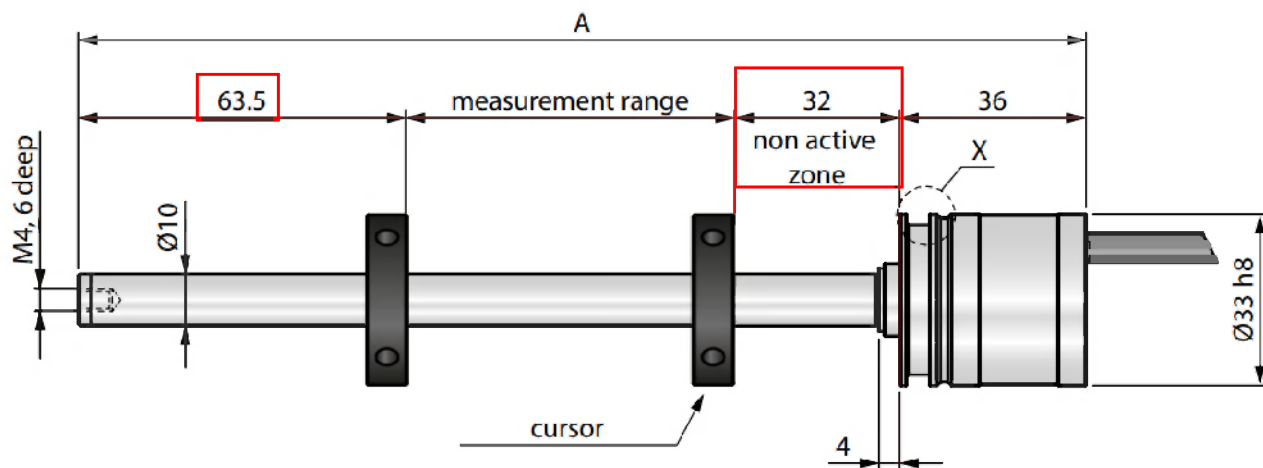


Рис. 2.6. Схема датчику WayCon MSB series

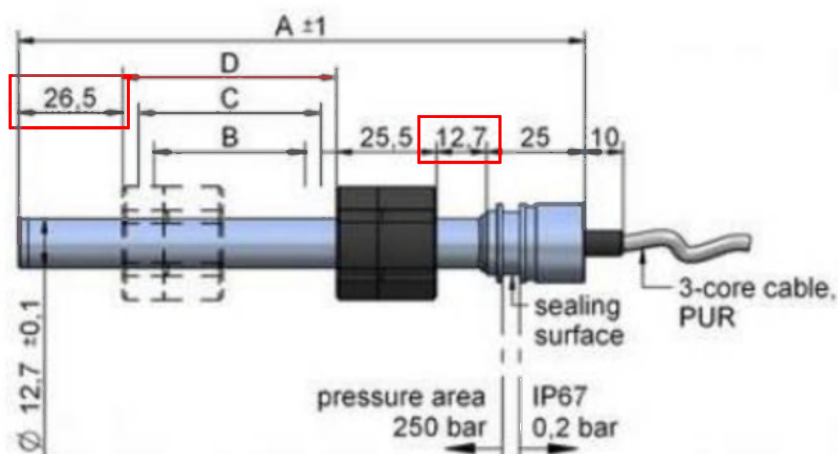


Рис. 2.7. Схема датчику WayCon LMI12-...-SL series

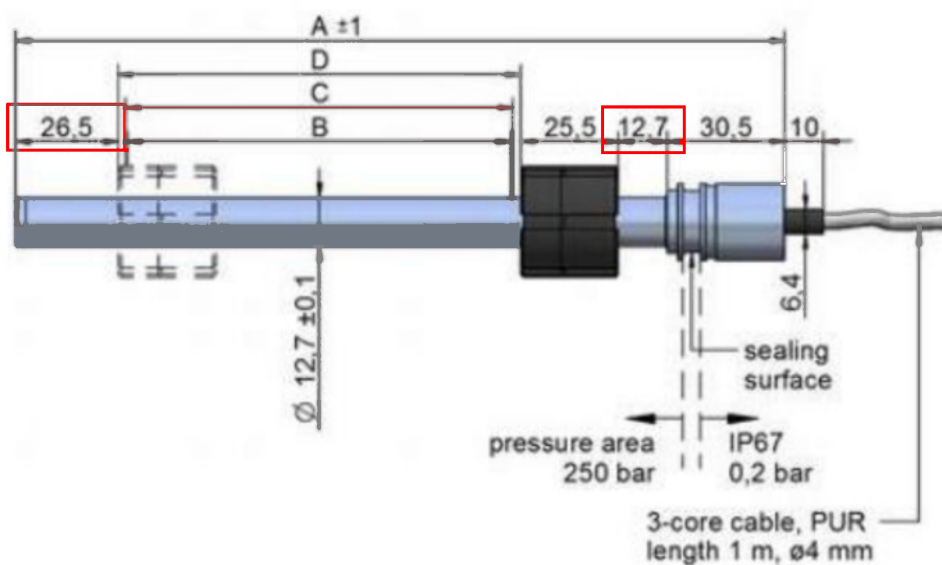


Рис. 2.8. Схема датчику WayCon LMI12-...-SE series

Для даного проекту було вибрано датчик фірми WayСоп LMI 12 – 350 – F. Основним критерієм було спосіб встановлення всередині приводу, даний датчик встановлюється за допомогою установочних гвинтів і повністю всередині кришок, що не буде заважати робити на останній провусину. Схема встановлення показана на наступній схемі (рис. 2.9).

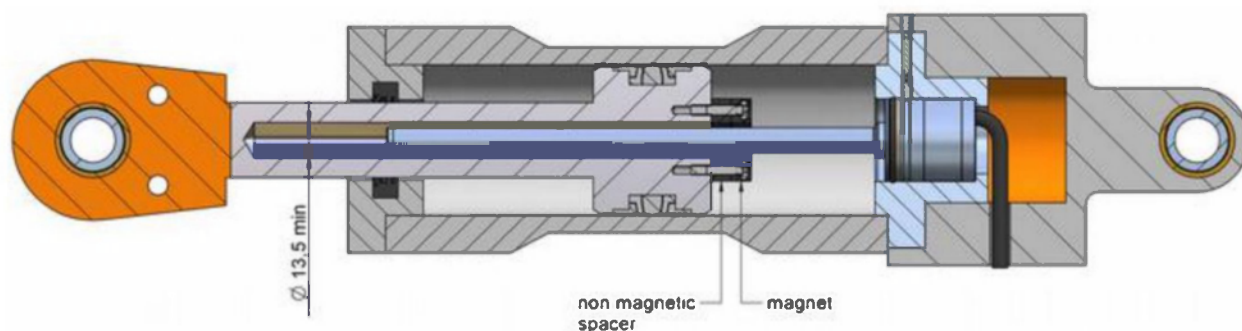


Рис. 2.9 Схема встановлення магнітостикційного датчика всередині гідроциліндра

Як видно зі схем, вибраний датчик має найменшу зону, де не відбувається вимірювання, а також найменші габарити блоку електроніки. Для коректної роботи пристрою на поршень встановлюється магніт та дімагнетна проставка.

Також даний слідкуючий пристрій має наступні характеристики:

Таблиця 2.2. Характеристики WayСоп LMI 12 – 350 – F – SL

Характеристика	Одиниці виміру	Значення
Вимірювана довжина	мм	350
Допуск лінійності	%	±0,35
Чутливість (без гістерезису)	мм	0,05...0,1
Гістерезис	мм	<0,25
Зусилля переміщенні	Н	<0,5
Швидкість переміщення	м/с	<5
Прискорення	м/с <sup>2</sup>	<10
Вихід	-	дільник потенціалу
Опір	кОм	10

Погрішність опору	%	±20
Допустима напруга	В	60
Рекомендований струм курсора	мкА	<0.1
Максимальний струм курсора	мА	10
Температурний коефіцієнт	ppm/°C	±200
Температури роботи	°C	-30...+100
Температури зберігання	°C	-50...+120
Максимальний тиск	бар	250, 400 піковий
Вібраційна стійкість	-	5...2000 Гц, $A_{\text{макс}} = 0,75 \text{ мм}$ , $a_{\text{макс}} = 20 \text{ g}$
Ударна стійкість	-	50 g, 11мс
Довжина кабелю	м	1
Матеріал	-	нержавіюча сталь AISI 304

Наближений розрахунок втрати максимального навантаження на штоці.

Так як ми вже знаємо максимальну швидкість руху гідроциліндрів у штатному виконанні, видно що даний пристрій підходить по швидкості руху. Тепер знаючи параметри діаметру штоку датчика можна порахувати наскільки зміниться максимальне зусилля, якщо залишити діаметр поршня і штоку незмінним.

Максимальне зусилля без датчику:

$$P_{\text{ш}} = S * p_{\text{max}} = \frac{\pi * D^2}{4} * p_{\text{max}} = \frac{(\pi * 0.063^2)}{4} * 18 * 10^6 = 56\,110 \text{ Н}$$

Максимальне зусилля з встановленим датчиком:

$$P_{\text{м}} = S * p_{\text{max}} = \frac{\pi * (D^2 - d_{\text{отв}}^2)}{4} * p_{\text{max}} = \frac{(\pi * (0.063^2 - 0.0135^2))}{4} * 18 * 10^6 \\ = 53\,533 \text{ Н}$$

Різниці в зусиллі зворотнього ходу не буде, так як площа на яку діє гідравлічна рідина залишається незмінною.

$$P_{\text{вт}} = S * p_{\text{max}} = \frac{\pi * (D^2 - d_{\text{шт}}^2)}{4} * p_{\text{max}} = \frac{(\pi * (0.063^2 - 0.032^2))}{4} * 18 * 10^6$$

$$= 41\,613 \text{ Н}$$

Різниця в максимальному зусиллі 2 577 Н, або 4,59%. Зусилля змінилося менше ніж на 5%, отже можна не змінювати діаметр поршня, що дозволить залишити всі інші деталі без змін і робить встановлення даної системи доцільним.

### 2.2.1. Розрахунок геометричних параметрів гідроциліндру.

В схемі гідроциліндру незмінним залишається кріплення приводу до інших деталей механізму. Проектування кришок і підводів потрібно організувати так, щоб максимально зменшити зовнішні розміри циліндру, так як зворотнє значно вплине на кінематику і динаміку всього маніпулятора, включаючи його розміри в складеному стані, що ускладнює його транспортування до місця роботи, і максимальний виліт стріли, що тяж обмежує сферу його використання.

Діаметри підводу.

Нормальна швидкість руху рідини на нагнітальній лінії 5 м/с, знаючи витрату можна порахувати необхідний діаметр підводів.

$$S_n = \frac{Q}{v} = \frac{54}{60\,000 * 5} = 0,00018 \text{ м}^2$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00018}{\pi}} = \sqrt{2.29 * 10^{-4}} = 0,015 \text{ м} = 15 \text{ мм}$$

Маючи ці дані можна прийняти діаметр підводів 12 мм.

Реальна швидкість рідини у нагнітальній лінії

$$V_H = \frac{Q}{S_H} = \frac{54 * 4}{\pi * 12^2 * 10^{-6} * 60 * 1000} = 7,96 \text{ м/с}$$

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		



Діаметр трубопроводу на всмоктувальній лінії

$$d_{вс} = \sqrt{4 \frac{Q_{max}}{\pi * V_{вс}}} = \sqrt{4 * \frac{54}{60000 * \pi * 1}} = 0,0337 \text{ м} = 33,7 \text{ мм}$$

Прийнятий діаметр трубопроводу на всмоктувальній лінії 32мм.

Реальна швидкість рідини у всмоктувальній лінії:

$$V_{вс} = \frac{Q}{S_{вс}} = \frac{54 * 4}{\pi * 32^2 * 10^{-6} * 60 * 1000} = 1,12 \text{ м/с}$$

Діаметр трубопроводу на зливній лінії:

$$d_{зл} = \sqrt{4 \frac{Q_{max}}{\pi * V_{зл}}} = \sqrt{4 * \frac{54}{60000 * \pi * 2}} = 0,0239 \text{ м} = 23,9 \text{ мм}$$

Прийняти діаметр на зливній лінії 25мм.

$$V_{зл} = \frac{Q}{S_{зл}} = \frac{54 * 4}{\pi * 25^2 * 10^{-6} * 60 * 1000} = 1,83 \text{ м/с}$$

Передня кришка.

Складається з двох половин, у внутрішній встановлено ущільнення шток-кришка, будоз'ємник, направляюче кільце, ущільнення гільза-кришка. Зовнішня слугує для утримання внутрішньої на своєму місці і додаткової герметизації за допомогою торцевого ущільнення, кріпиться на гільзі за допомогою різьби.

Задня кришка.

У цій деталі встановлюється корпус магнітострикційного датчика і для його охолодження робиться порожнина і проточка в корпусі, також приварюється штуцер, виготовляється провущина для закріплення на корпусі маніпулятора за допомогою пальця. Виконане нарізання різьби для закріплення на гільзі і спеціальний упор для поршня.

Гільза.

Деталь має різьбу з обох сторін для кріплення кришок, проточки під ключ для круглих гайок, фрезеровану площадку для приварювання штуцера.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

Шток.

Має складну конструкцію яка з'єднується зварюванням, одна деталь – сам шток, інша – провушина, що кріпиться до корпусу. Всередині штоку є проточка для вміщення магнітострикційного датчика та два різьбових отвори для кріплення магніту за допомогою гвинтів. Кріпиться до поршня різьбовим з'єднанням.

Поршень.

Як і шток має складну конструкцію, має всередині чотири отвори для ключа, яким і закручується на шток. У якості ущільнення використовується компактне комбіноване ущільнення, яке в собі має два направляючі кільця та одне ущільнювальне.

### 2.2.2. Розрахунок на міцність конструктивних елементів

#### Розрахунок різьбових з'єднань

Розрахунок з'єднання поршень-шток

Формула визначення нормальних напружень в різьбі:

$$\sigma = \frac{4 * P_p}{\pi * d_b^2 * z} = \frac{4 * P * k_3}{\pi * (d - S_p)^2 * z}$$
$$\sigma_{пш} = \frac{4 * P_p}{\pi * d_b^2 * z} = \frac{4 * P * k_3}{\pi * (d - S_p)^2 * z} = \frac{4 * 53\,533 * 2,5}{\pi * (24 * 10^{-3})^2} = 295,98 \text{ МПа}$$

Визначення дотичних напружень в різьбовому з'єднанні:

$$\tau = \frac{P_p * d_0 * k_1}{0.2 * d_b^2}$$
$$\tau_{пш} = \frac{53\,533 * 2.5 * 0.12 * 27 * 10^{-3}}{0.2 * ((27 - 3) * 10^{-3})^3} = 156,8 \text{ МПа}$$

Визначення сумарних напружень:

$$\sigma_{sum} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{295.98^2 + 3 * 156,8^2} = 401,74 \text{ МПа} < 700 \text{ МПа}$$

Для даного матеріалу, нержавіюча сталь AISI 4340, аналог такі навантаження допустимі.

Напруження в з'єднанні гільза-задня кришка:

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\text{ГЗК}} = \frac{4 * P_p}{\pi * d_b^2 * z} = \frac{4 * P * k_3}{\pi * (d - S_p)^2 * z} = \frac{4 * 53\,533 * 2,5}{\pi * (71 * 10^{-3})^2} = 33,82 \text{ МПа}$$

Визначення дотичних напружень в різьбовому з'єднанні:

$$\tau_{\text{ГЗК}} = \frac{53\,533 * 2,5 * 0,12 * 75 * 10^{-3}}{0,2 * ((75 - 4) * 10^{-3})^3} = 16,83 \text{ МПа}$$

Визначення сумарних напружень:

$$\sigma_{\text{sum}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{33,82^2 + 3 * 16,83^2} = 44,65 \text{ МПа} < 215 \text{ МПа}$$

Для даного матеріалу, нержавіюча сталь AISI 304, аналог 08X18H10, такі навантаження допустимі.

Напруження в з'єднанні гільза-передня кришка:

$$\sigma_{\text{ГЗК}} = \frac{4 * P_p}{\pi * d_b^2 * z} = \frac{4 * P * k_3}{\pi * (d - S_p)^2 * z} = \frac{4 * 53\,533 * 2,5}{\pi * (79 * 10^{-3})^2} = 27,31 \text{ МПа}$$

Визначення дотичних напружень в різьбовому з'єднанні:

$$\tau_{\text{ГЗК}} = \frac{53\,533 * 2,5 * 0,12 * 85 * 10^{-3}}{0,2 * ((85 - 6) * 10^{-3})^3} = 13,84 \text{ МПа}$$

Визначення сумарних напружень:

$$\sigma_{\text{sum}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{27,31^2 + 3 * 13,84^2} = 36,34 \text{ МПа} < 215 \text{ МПа}$$

Для даного матеріалу, нержавіюча сталь AISI 304, аналог 08X18H10, такі навантаження допустимі.

#### Розрахунок слабких місць штоку

Одним із найслабших місць у всій конструкції гідроциліндру є проточка для виходу різьби на штоці (рис. 2.10), в це місце накручується поршень і воно сприймає навантаження, коли шток втягується. Напруження в матеріалі в цей час:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{шт}} &= \frac{P_{\text{ВТ}}}{F} = \frac{4 * P_{\text{ВТ}}}{\pi * (D^2 - d^2)} = \frac{4 * 41\,613}{\pi * (0,02^2 - 0,032^2)} = 161\,365\,532 \text{ Па} \\ &= 161,37 \text{ МПа} < 700 \text{ МПа} . \end{aligned}$$

#### Розрахунок мінімально товщини стінки гільзи

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

Матеріал AISI 304,  $\sigma_{\text{доп}} = 215 \text{ МПа}$ .

$$S = \frac{p * D}{2 * \sigma_{\text{доп}}} = \frac{18 * 10^6 * 63 * 10^{-3}}{2 * 215 * 10^6} = 0,0026 \text{ м} = 2,6 \text{ мм}$$

Максимальний зовнішній діаметр гідроциліндра обмежено конструкцією маніпулятора і складає 100мм.

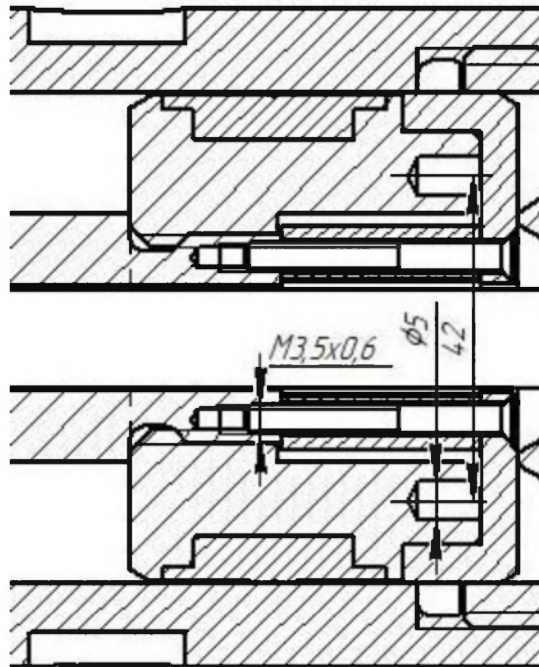


Рис. 2.10. Проточка на штоці для виходу різьби

#### Розрахунок стійкості штоку

Також враховуючи те, що в отворі тепер є отвір варто перевірити на стійкість. Формула критичного напруження в стержні:

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

Найменша стійкість буде тоді коли шток повністю висунуто, а отже схема опор і навантаження буде наступною.

Максимальне навантаження в нас відоме з приблизного розрахунку зусилля на штоці гідроциліндра.

Момент інерції:

$$I = 0.049 * (D^2 - d^2) = 0.049 * (0.032^2 - 0.0135^2) = 41.2 * 10^{-6} \text{ м}^2$$

Мінімальний радіус інерції

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арт	№ документа	Підпис	Дата		43

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{4 * I}{\pi * (D^2 - d^2)}} = 0,25 \text{ м.}$$

Приведена довжина

$$l_{прив} = \mu l = 2 * 0.46 = 0,92 \text{ м.}$$

Приведена гнучкість стержня:

$$\lambda = \frac{l_{прив}}{i_{min}} = \frac{0,92}{0,25} = 3,68.$$

Критичне напруження в штоці:

$$\sigma_k = \frac{3.14^2 * 80 * 10^9}{3.68^2} = 58,2 * 10^9 \text{ Па.}$$

### 2.3. Модернізація гідравлічної системи стріли маніпулятора

В даній гідравлічній системі розглядаються чотири гідроциліндра, які і потрібно замінити на варіанти з відслідковуванням поточного положення кожного з виконавчих елементів. Для приведення їх в рух використовуються пропорційні розподільники 6/3 з електрокеруванням, після яких зразу ж встановлено клапани перепаду тиску для точного виставлення швидкості руху вихідних модулів. В схемах гідроциліндрів 3 і 4 також є додаткові клапани тиску КТ1...4 для обмеження максимального тиску в камерах, при перевищенні заданого значення відбувається скидання рідини в бак. Встановлено додаткові зворотні клапани КЗ1...4 між лінією зливу і лініями гідроциліндрів, для того щоб не допустити розриву середовища. В даній системі також встановлено регульований гідронасос, в якому регулювання відбувається за рахунок двох гідроциліндрів і двох розподільників для керування витратою і тиском. Насос такого типу дозволяє значно збільшити ККД всієї системи за рахунок того що не витрачається потужність на нагрів рідини за рахунок втрат. Більшість гідравлічних втрат, що по довжині трубопровода, що на місцевих опорах, що на апаратурі має зв'язок з витратою, чим більша витрата тим більші втрати. Є окремі лінії для пілотного керування гідророзподільників з тиском 32 бар, та лінія додаткового дренажу LS, цю лінію можна перекрити за допомогою АКЗ,

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

тим самим перекривши злив з клапанів перепаду тиску КПП1...4, і збільшивши тиск в гідروциліндрах до максимального. Регулятор потоку РП в такому режимі забезпечує частковий, 1 л/хв, витік рідини в бак. У якості гідравлічної рідини використовується HFDR, вогнестійка гідравлічна рідина з робочою температурою 10-75°C, можливий холодний запуск до -17°C. Має непоганий індекс в'язкості (рис. Х.Х.), що теж сприяє стабільності системи.

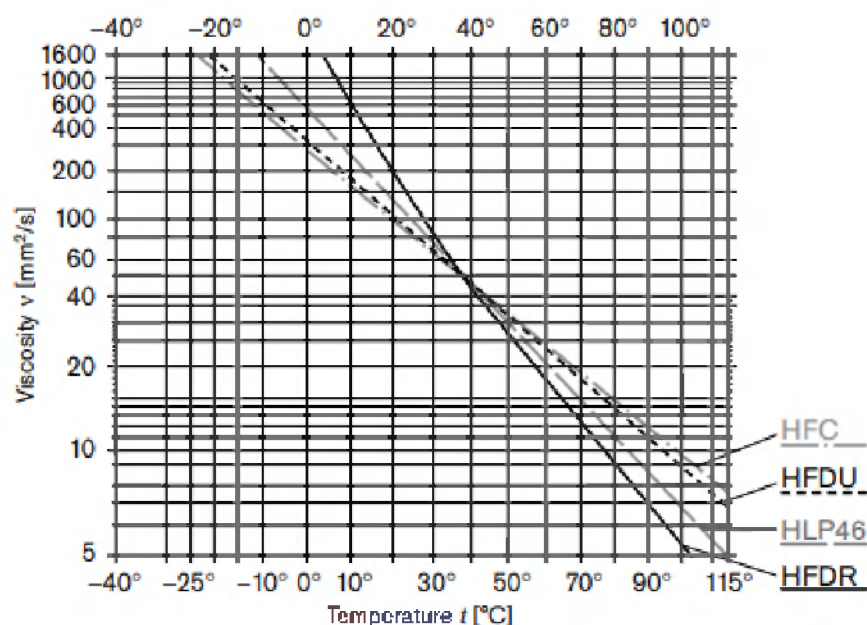


Рис. 2.11. Графік залежності в'язкості від температури гідравлічної рідини.

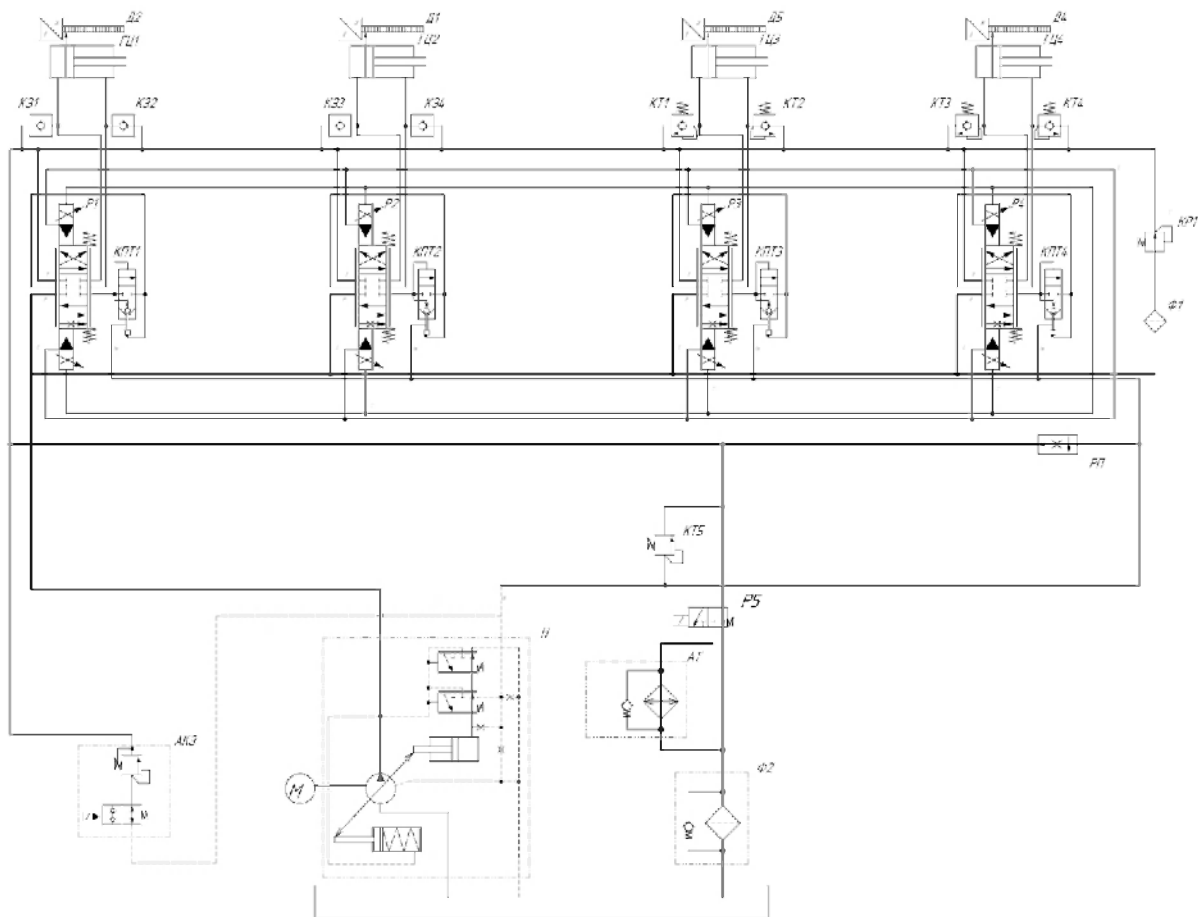


Рис. 2.12. Схема гідравлічна принципова

### 2.3.1. Розрахунок швидкості руху гідроциліндрів у штатному виконанні.

Даний маніпулятор у своїй установці має лише один регульований насос, знаючи його максимальну витрату та параметри штатних гідроциліндрів можна вирахувати максимальну швидкість руху останніх в режимах роботи одного і кількох приводів одночасно. Для прямого ходу гідроциліндрів:

$$v_{ш1.max} = \frac{Q_{max}}{S_1} = \frac{54 * 4}{60\,000 * \pi * (D^2)} = \frac{54 * 4}{60\,000 * \pi * (0.063^2)} = 0,289 \text{ м/с}$$

Та для зворотного:

$$v_{ш1.max} = \frac{Q_{max}}{S_1} = \frac{54 * 4}{60\,000 * \pi * (D^2 - d^2)} = \frac{54 * 4}{60\,000 * \pi * (0.063^2 - 0.032^2)} = 0,389 \text{ м/с}$$

Знаючи ці дані також можна сказати, що при одночасній роботі кількох приводів при повному відкритті розподільників та максимальній витраті насосу швидкість буде падати прямопропорційно, так як витрата буде розподілятися на всі циліндри одночасно (навантаження приймаємо однакове).

Так як після встановлення магнітострикційних датчиків площі, на які діє тиск зміняться, то і максимальне зусилля теж зміниться так, як максимальний тиск від насоса залишиться сталим, опір трубопроводу і апаратури теж змінюватися не буде.

### 2.3.2. Гідравлічний розрахунок.

Гідравлічні втрати поділяються на три основних типи: місцеві, по довжині трубопроводу та на апаратурі. В усіх гідропристроях втрати тиску залежать від витрати, чим більша витрата тим більші втрати, тому для розрахунку прийнято витрату в системі 54 л/хв.

Втрати по довжині трубопроводу:

$$\Delta p_T = \frac{0.5 * \lambda * l * \rho * v^2}{d_T},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя,  $l$  – довжина трубопроводу,  $\rho$  – щільність рідини,  $v$  – дійсна середня швидкість рідини,  $d_T$  – діаметр трубопроводу.

Коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини і визначається по числу Рейнольдса. При ламінарному режимі руху рідини ( $Re < 2300$ ):

$$\lambda = \frac{75}{Re}$$

При турбулентному русі ( $Re > 2300$ ):

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{Re}}$$

Розрахунок числа Рейнольдса при температурі гідравлічної рідини 10°C та 75°C. Кінематична в'язкість гідравлічної рідини HFDU на глікольній основі при 10°C 190 мм<sup>2</sup>/с, при 75°C – 20 мм<sup>2</sup>/с.

$Re = (V_{cp} * d_T) / \nu$ , де  $V_{cp}$  – середня швидкість рідини,  $d_T$  – діаметр трубопроводу,  $\nu$  – кінематична в'язкість.

Всмоктувальна лінія

$$Re_{BC10} = (V_{cp} * d_T) / \nu_{10} = (1.12 * 32 * 10^3) / 190 = 188,63$$

$$Re_{BC75} = (V_{cp} * d_T) / \nu_{75} = (1.12 * 32 * 10^3) / 20 = 1792$$

$$\lambda_{BC10} = \frac{75}{188.63} = 0,398$$

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		



$$\lambda_{BC75} = \frac{75}{1792} = 0,041$$

Нагнітальна лінія

$$Re_{H10} = (V_{cp} * d_T) / v_{10} = (7,96 * 12 * 10^3) / 190 = 502,73$$

$$Re_{H75} = (V_{cp} * d_T) / v_{75} = (7,96 * 12 * 10^3) / 20 = 4\,776$$

$$\lambda_{H10} = \frac{75}{502,73} = 0,149$$

$$\lambda_{H75} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{4\,776}} = 0,038$$

Зливна лінія

$$Re_{3Л10} = (V_{cp} * d_T) / v_{10} = (1,83 * 25 * 10^3) / 190 = 240,79$$

$$Re_{3Л75} = (V_{cp} * d_T) / v_{75} = (1,83 * 25 * 10^3) / 20 = 2\,287,5$$

$$\lambda_{3Л10} = \frac{75}{240,79} = 0,311$$

$$\lambda_{3Л75} = \frac{75}{2\,287,5} = 0,033$$

Розрахунок втрат тиску на тертя по довжині трубопроводу.

Всмоктувальна лінія

$$\Delta p_{T.BC10} = \frac{0,5 * \lambda_{BC10} * l_{BC} * \rho * v_{BC}^2}{d_{T.BC}} = \frac{0,5 * 0,389 * 0,5 * 0,97 * 1,12^2}{0,032} = 3,78 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{T.BC75} = \frac{0,5 * \lambda_{BC75} * l_{BC} * \rho * v_{BC}^2}{d_{T.BC}} = \frac{0,5 * 0,041 * 0,5 * 0,97 * 1,12^2}{0,032} = 0,39 \text{ Па}$$

Нагнітальна лінія

$$\Delta p_{T.H10} = \frac{0,5 * \lambda_{H10} * l_H * \rho * v_H^2}{d_{T.H}} = \frac{0,5 * 0,149 * 4 * 0,97 * 7,96^2}{0,012} = 1526,27 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{T.H75} = \frac{0,5 * \lambda_{H75} * l_H * \rho * v_H^2}{d_{T.H}} = \frac{0,5 * 0,038 * 4 * 0,97 * 7,96^2}{0,012} = 389,25 \text{ Па}$$

Зливна лінія

$$\Delta p_{T.3Л10} = \frac{0,5 * \lambda_{3Л10} * l_{3Л} * \rho * v_{3Л}^2}{d_{T.3Л}} = \frac{0,5 * 0,311 * 4 * 0,97 * 1,83^2}{0,025} = 80,82 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{T.3Л75} = \frac{0,5 * \lambda_{3Л75} * l_{BC} * \rho * v_{BC}^2}{d_{T.BC}} = \frac{0,5 * 0,033 * 4 * 0,97 * 1,83^2}{0,032} = 8,58 \text{ Па}$$

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

Таб. 2.3. Втрати на тертя по довжині трубопроводу

Лінія	Втрати тиску при 10°C, Па	Втрати тиску при 75°C, Па
Всмоктувальна	3,78	0,39
Нагнітальна	1526,27	389,25
Зливна	80,82	8,58
Сумарна втрата	1 610,87	398,22

Місцеві втрати тиску.

До місцевих втрат відносяться трійники, коліна, трикутники, входи в апаратуру - різке розширення та різке звуження – вихід з апаратури.

$\Delta p_M = 0,5 * \xi * \rho * v^2$ , де  $\xi$  коефіцієнт місцевого опору ділянки (таб. 2.4).

Таб. 2.4. Залежність коефіцієнта місцевого опору від його типу

Вид опору	$\xi$
Раптове звуження	0,5...0,7
Раптове розширення	0,8...0,9
Штуцер, перехідник	0,1...0,15
Трійник	2...2,5
Трикутник	1...1,5
Зворотній клапан	2...2,5
Коліно	0,3...0,6

Всмоктувальна лінія

$$\Delta p_{M,BC} = 0,5 * \xi * \rho * v^2 = 0,5 * 970 * 1,12^2 * (0,5 + 2 * 0,35) = 730,06 \text{ Па}$$

Нагнітальна лінія

$$\Delta p_{M,H} = 0,5 * 970 * 7,96^2 * ((0,6 + 0,85) * 12 + 0,35 * 12 + 2,25 * 4 + 1,25 * 4) = 1\,094\,001 \text{ Па} = 10,9 \text{ бар.}$$

Всмоктувальна лінія

$$\Delta p_{M.3Л} = 0,5 * 970 * 1,83^2 * ((0,6 + 0,85) * 12 + 0,35 * 8 + 2,25 * 2 + 1,25 * 4) = 48\,239 \text{ Па.}$$

Сумарні втрати на місцевих опорах:

$$\Delta p_M = \Delta p_{M.BC} + \Delta p_{M.H} + \Delta p_{M.3Л} = 1\,142\,970 \text{ Па.}$$

#### Втрати на гідроапаратурі.

Втрати доцільно рахувати для максимальної витрати і тиску, так як в цих режимах будуть найбільші втрати. Для ще більшого підняття ККД доцільно використати гідророзподільник 3/2 для вмикання і вимикання охолодження через теплообмінник АТ. Також це добавить терміну експлуатації за рахунок того, що при холодному пуску буде менше втрат.

Постійні втрати. Втрати на деяких елементах будуть завжди, незалежно від того в якому режимі зараз працює машина. На даній схемі це фільтри Ф1 та Ф2, гідророзподільник Р5.

$$\Delta p_{\Phi 1} = 0,3 \text{ бар}$$

$$\Delta p_{\Phi 2} = 1,5 \text{ бар}$$

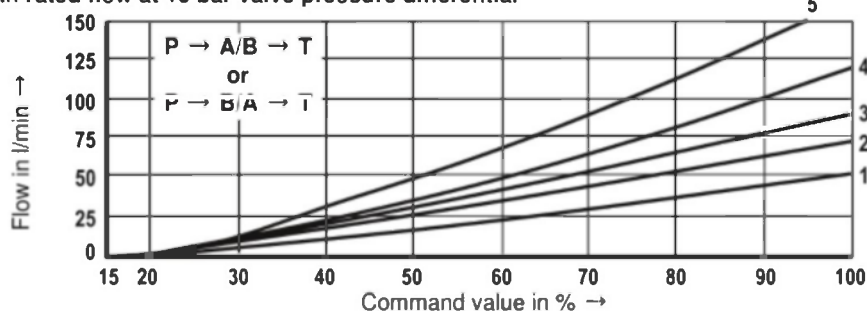
$$\Delta p_{P5} = 7,8 \text{ бар}$$

Елементи К31...К34, КТ1...КТ5, А3 є захистними, на випадок нештатної ситуації і тому в звичайних умовах через них рідина не проходить. Таким чином можна не враховувати їх в основному розрахунку.

Втрата тиску на гідророзподільнику з пропорційним керуванням при повному відкритті становить 11 бар.

$$\Delta p_{p1...4} = 11 \text{ бар}$$

50 l/min rated flow at 10 bar valve pressure differential



- 1  $\Delta p = 10 \text{ bar, constant}$
- 2  $\Delta p = 20 \text{ bar, constant}$
- 3  $\Delta p = 30 \text{ bar, constant}$
- 4  $\Delta p = 50 \text{ bar, constant}$
- 5  $\Delta p = 100 \text{ bar, constant}$

Рис. 2.13. Графік втрат на гідророзподільниках

Втрата тиску на апараті теплообміну:

$$\Delta p_{AT} = 0,18 \text{ бар}$$

Втрати на клапані перепаду тиску:

$$\Delta p_{\text{КПТ1...4}} = 7 \text{ бар}$$

### 2.3.3. Розрахунок дійсного зусилля на штоці гідроциліндра

Таб. 2.5. Втрати тиску при різних режимах роботи.

Режим роботи	Втрати на тертя, Па		Місцеві втрати, Па	Втрати на апаратурі, Па	Сумарні втрати	
	10°C	75°C			10°C, Па	75°C, Па
Включено один гідроциліндр, охолодження вимкнено	1610,87	398,22	1142970	2760000	3904580,87	3903368,22
Включено один гідроциліндр, охолодження ввімкнено	1610,87	398,22	1142970	3558000	4702580,87	4701368,22

Так можна вирахувати максимальне зусилля на штоці гідроциліндра до і після заміни. Зусилля знаходиться з рівняння рівноваги:

$$p_H * f_H = p_{зл} * f_{зл} + P$$

Тиск в порожнині нагнітання при 10°C:

$$\begin{aligned}
 p_{H10.max} &= p_{H.max} - \Delta p_{T.H10} - \Delta p_{M.H} - \Delta p_{P1} - \Delta p_{\text{КПТ1}} \\
 &= 18\,000\,000 - 1\,526,27 - 1\,094\,001 - 1\,100\,000 \\
 &= 15\,804\,473 \text{ Па}
 \end{aligned}$$

Тиск в порожнині нагнітання при 75°C:

$$\begin{aligned}
p_{н10.мах} &= p_{н.мах} - \Delta p_{Т.Н75} - \Delta p_{М.Н} - \Delta p_{P1} - \Delta p_{КПТ1} \\
&= 18\,000\,000 - 389,25 - 1\,094\,001 - 1\,100\,000 \\
&= 15\,805\,610 \text{ Па}
\end{aligned}$$

Тиск в порожнині зливу при 10°C:

$$\begin{aligned}
p_{зл10} &= \Delta p_{Т.Зл10} + \Delta p_{М.Зл} + \Delta p_{P5} = 80,82 + 48\,239 + 780\,000 \\
&= 828\,319,82 \text{ Па}
\end{aligned}$$

Тиск в порожнині зливу при 75°C:

$$p_{зл75} = \Delta p_{Т.Зл75} + \Delta p_{М.Зл} + \Delta p_{P5} = 8,58 + 48\,239 + 780\,000 = 828\,247,58 \text{ Па}$$

При включенні охолодження тиск на зливі збільшується на величину перепаду тиску на апараті теплообміну, отже на 0,18 бар = 18 000 Па.

Максимальне зусилля при висуванні при 10°C:

До заміни і висуванні штоку:

$$\begin{aligned}
P_{мах.штат.} &= p_{н10.мах} * F_{пор} - p_{зл10} * (F_{пор.} - F_{шт.}) \\
P_{мах.штат.} &= 15\,804\,473 * \pi * \frac{0.063^2}{4} - 828\,319,82 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.032^2}{4} \\
&= 49\,241,44 - 1\,914,93 = 47\,326,5 \text{ Н}
\end{aligned}$$

Після заміни: і висуванні:

$$\begin{aligned}
P_{мах.мод.} &= p_{н10.мах} * (F_{пор} - F_{магн.датчик}) - p_{зл10} * (F_{пор.} - F_{шт.}) \\
P_{мах.мод.} &= 15\,804\,473 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.0135^2}{4} - 828\,319,82 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.032^2}{4} \\
&= 46\,980,35 - 1\,914,93 = 45\,065,4 \text{ Н}
\end{aligned}$$

Різниця в зусиллі -2 261,1 Н, або -4,8%.

До заміни і втягуванні штоку:

$$\begin{aligned}
P_{мах.штат.} &= p_{н10.мах} * (F_{пор.} - F_{шт.}) - p_{зл10} * F_{пор} \\
P_{мах.штат.} &= 15\,804\,473 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.032^2}{4} - 828\,319,82 * \pi * \frac{0.063^2}{4} \\
&= 36\,537,17 - 2\,580,7 = 33\,956,4 \text{ Н}
\end{aligned}$$

Після заміни: і втягуванні:

$$P_{мах.мод.} = p_{н10.мах} * (F_{пор} - F_{магн.датчик}) - p_{зл10} * (F_{пор.} - F_{шт.})$$

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{\text{max.мод.}} = 15\,804\,473 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.032^2}{4} - 828\,319,82 * \pi * \frac{0.063^2 - 0.0135^2}{4} = 36\,537,17 - 2\,462,26 = 34\,074,9 \text{ Н}$$

Різниця в зусиллі +118,5Н, або +0,3%.

## 2.4. Порівняльний перерахунок кінематики руху ланок стріли маніпулятора

### 2.4.1. Розрахунок кінематики руху штатного виконання стріли.

Рухомість ланок до заміни гідроциліндрів

Перша ланка

Мінімальний кут  $34^\circ 50'$ , максимальний кут  $111^\circ 51'$  рис. 2.14.

$$\beta_{1.1} = 111,85 - 34,83 = 77,02^\circ$$

$$t_{1.1 \text{ прям}} = t_{1.2 \text{ прям}} = t_{1.3 \text{ прям}} = \frac{S}{v_{\text{прям}}} = \frac{0.35}{0.289} = 1,21 \text{ с}$$

$$t_{1.1 \text{ звор}} = t_{1.2 \text{ звор}} = t_{1.3 \text{ звор}} = \frac{S}{v_{\text{звор}}} = \frac{0.35}{0.389} = 0,9 \text{ с}$$

$$\omega_{1.1 \text{ прям}} = \frac{\beta_{1.1}}{t_{1.1 \text{ прям}}} = \frac{77,02}{1,21} = 63,65 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{1.1 \text{ звор}} = \frac{\beta_{1.1}}{t_{1.1 \text{ звор}}} = \frac{77,02}{0,9} = 85,58 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

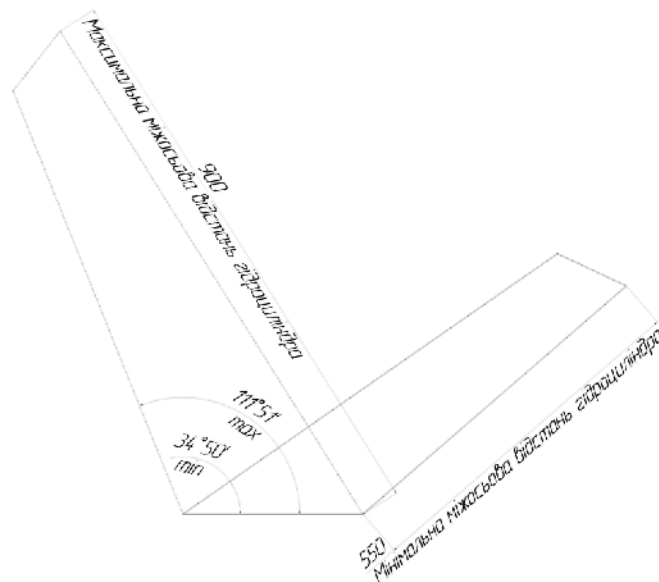


Рис. 2.14. Кінематична схема першої ланки

## Друга ланка

Мінімальний кут  $46^{\circ} 35''$ , максимальний кут  $126^{\circ} 10''$  рис. 2.15.

$$\beta_{1.2} = 126,17 - 46,58 = 79,59^{\circ}$$

$$\omega_{1.2 \text{ прям}} - \frac{79,59}{1,21} = 65,78 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{1.2 \text{ звор}} = \frac{79,59}{0,9} = 88,43 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

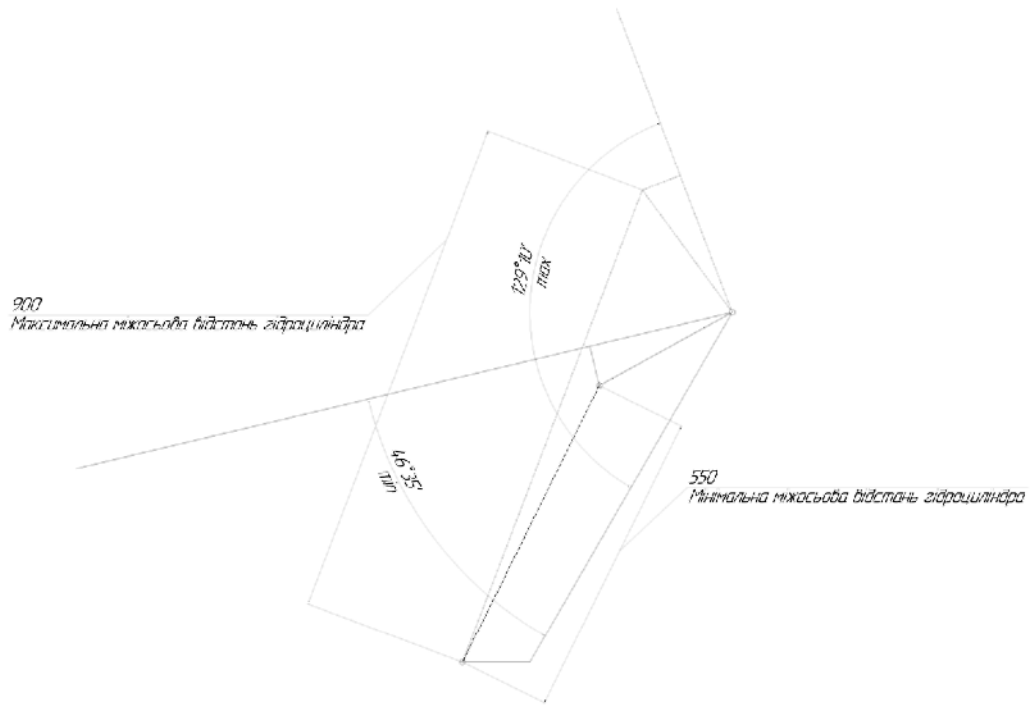


Рис. 2.15. Кінематична схема другої ланки

## Третя ланка

Мінімальний кут повороту  $77^{\circ} 8'$ , максимальний -  $166^{\circ} 44'$  рис. 2.16.

$$\beta_{1.3} = 166,73 - 77,13 = 89,6^{\circ}$$

$$\omega_{1.3 \text{ прям}} - \frac{89,6}{1,21} = 74,05 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{1.3 \text{ звор}} = \frac{89,6}{0,9} = 99,5 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

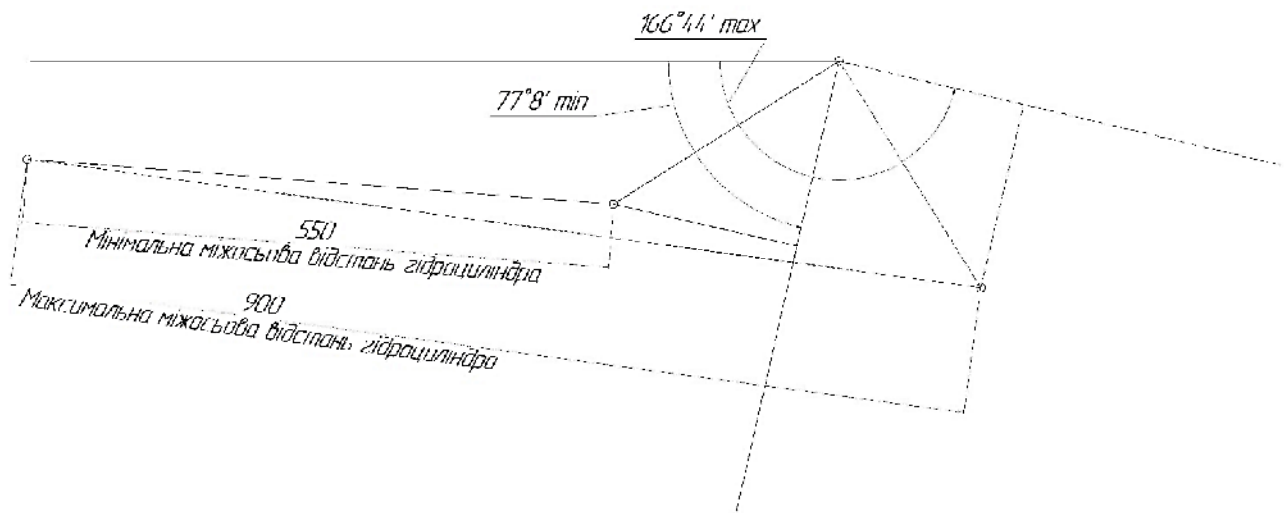


Рис. 2.16. Кінематична схема третьої ланки

Четверта ланка.

Особливість цієї ланки в тому, що неможливо повністю втягнути шток гідроциліндра, мінімальна міжосьова відстань 561,76 мм, при цій відстані кут вихідної ланки  $39^{\circ}25'$ , максимальна міжосьова відстань 900мм, кут вихідної ланки в цьому положенні  $236^{\circ}59'$  рис. 2.17.

$$\beta_{1.4} = 236,98 - 39,42 = 197,56^{\circ}$$

$$t_{1.4 \text{ прям}} = \frac{S_4}{v_{\text{прям}}} = \frac{0.339}{0.289} = 1,17 \text{ с}$$

$$t_{1.4 \text{ звор}} - \frac{0.339}{0.389} = 0.87 \text{ с}$$

$$\omega_{1.4 \text{ прям}} - \frac{197,56}{1,17} = 168,85 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{1.4 \text{ звор}} = \frac{197,56}{0,87} = 227,08 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$



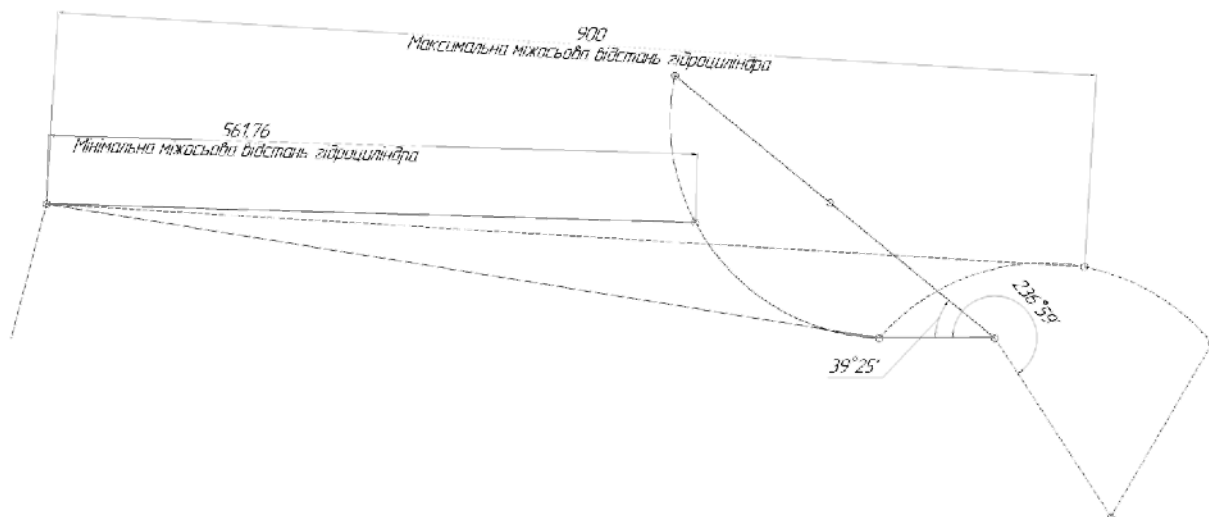


Рис. 2.17. Кінематична схема четвертої ланки

Таб.2.6. Значення кутів і швидкості повороту кожної ланки

Гідроциліндр	Кут повороту, °	Швидкість повороту при прямому русі, град/с	Швидкість повороту при зворотному русі, град/с
1	77,02	63,65	85,58
2	79,59	65,78	88,43
3	89,6	74,05	99,5
4	197,56	168,85	227,08

#### 2.4.3. Розрахунок кінематики руху при заміні гідроциліндрів і збереженні зовнішнього габариту

Рухомість ланок після заміни гідроциліндрів

Підхід перший, збереження зовнішніх розмірів. Хід в такому випадку згідно з схемою буде 246 мм рис.2.18.

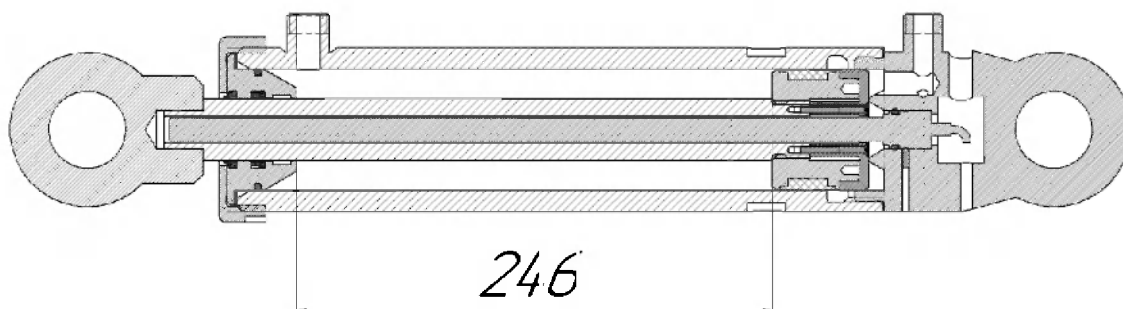


Рис. 2.18.

Перша ланка після заміни гідроциліндра.

Після заміни гідроциліндра мінімальна міжосьова відстань 606 мм,

максимальна – 746 мм. Мінімальний кут повороту  $34^{\circ} 50'$ , максимальний  $78^{\circ} 58'$  рис.2.19.

$$\beta_{2.1} = 78,97 - 34,83 = 44,14^{\circ}$$

$$t_{2.1 \text{ прям}} = t_{2.2 \text{ прям}} = t_{2.3 \text{ прям}} = \frac{S}{v_{\text{прям}}} = \frac{0.246}{0.303} = 0,82 \text{ с}$$

$$t_{2.1 \text{ звор}} = t_{2.2 \text{ звор}} = t_{2.3 \text{ звор}} = \frac{S}{v_{\text{звор}}} = \frac{0.246}{0.389} = 0,63 \text{ с}$$

$$\omega_{2.1 \text{ прям}} = \frac{\beta_{2.1}}{t_{2.1 \text{ прям}}} = \frac{44,14}{0,82} = 53,83 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{2.1 \text{ звор}} = \frac{\beta_{2.1}}{t_{2.1 \text{ звор}}} = \frac{44,14}{0,63} = 70 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

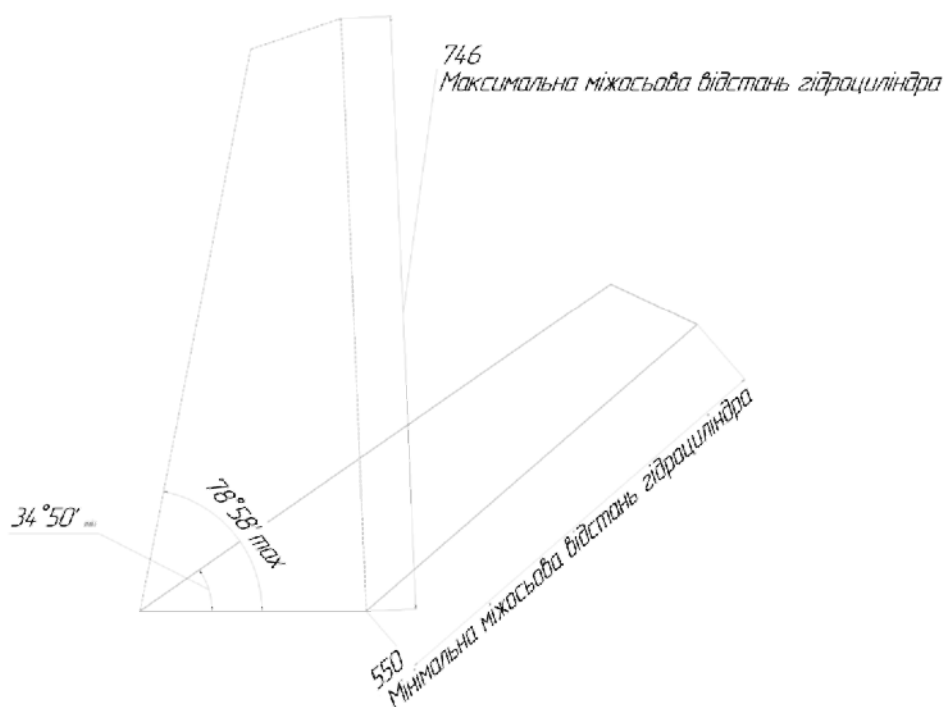


Рис.2.19. Кінематична схема першої ланки після заміни гідроциліндра

Друга ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальний кут повороту  $46^{\circ} 35'$ , максимальний  $94^{\circ} 27'$  рис.2.20.

$$\beta_{2.2} = 94,45 - 46,58 = 47,87^{\circ}$$

$$\omega_{2.2 \text{ прям}} = \frac{47,87}{0,82} = 58,38 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2.2 \text{ звор}} = \frac{47,87}{0,63} = 75,98 \text{ град/с}$$

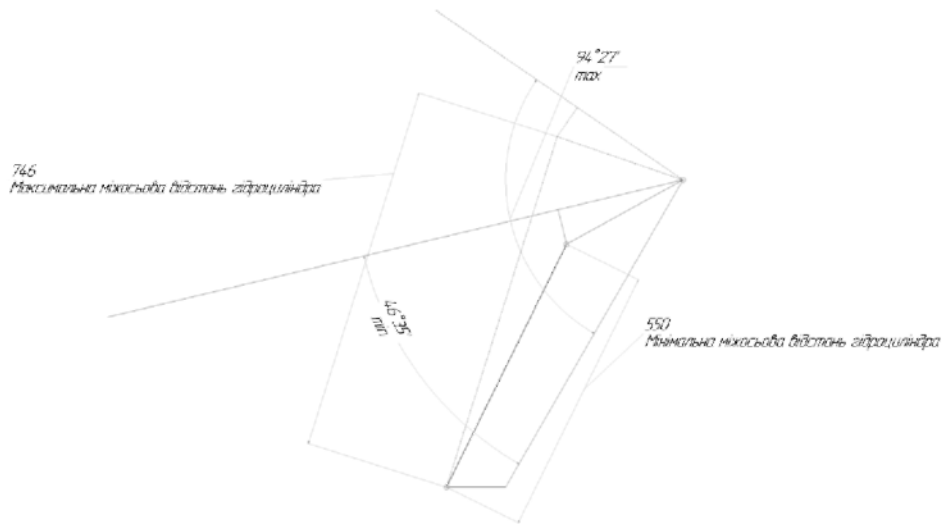


Рис.2.20. Кінематична схема другої ланки після заміни гідроциліндра.

Третя ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальний кут повороту  $77^{\circ}8'$ , максимальний  $127^{\circ}50'$  рис.2.21.

$$\beta_{2.3} = 127,83 - 77,13 = 50,7^{\circ}$$

$$\omega_{2.2 \text{ прям}} = \frac{50,7}{0,82} = 61,82 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2.2 \text{ звор}} = \frac{50,7}{0,63} = 80,47 \text{ град/с}$$

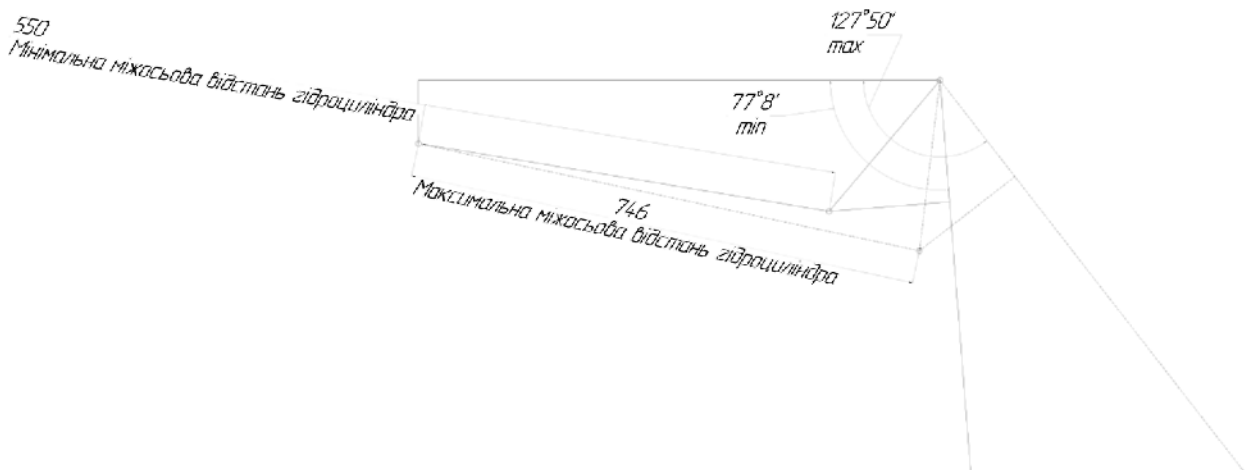


Рис.2.21. Кінематична схема третьої ланки після заміни гідроциліндра.

Четверта ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальна міжосьова відстань, яку може зайняти гідроциліндр 561,76 мм, а

максимальна – 746 мм. Мінімальний кут повороту  $39^{\circ}25'$ , максимальний  $138^{\circ}37'$  рис. 2.22.

$$\beta_{2.4} = 138,62 - 39,42 = 99,2^{\circ}$$

$$t_{2.4 \text{ прям}} = \frac{S_4}{v_{\text{прям}}} = \frac{0,746 - 0,56176}{0,303} = 0,61 \text{ с}$$

$$t_{2.4 \text{ звор}} = \frac{S_4}{v_{\text{звор}}} = \frac{0,746 - 0,56176}{0,389} = 0,47 \text{ с}$$

$$\omega_{2.4 \text{ прям}} = \frac{99,2}{0,61} = 162,62 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2.4 \text{ звор}} = \frac{99,2}{0,47} = 211,06 \text{ град/с}$$

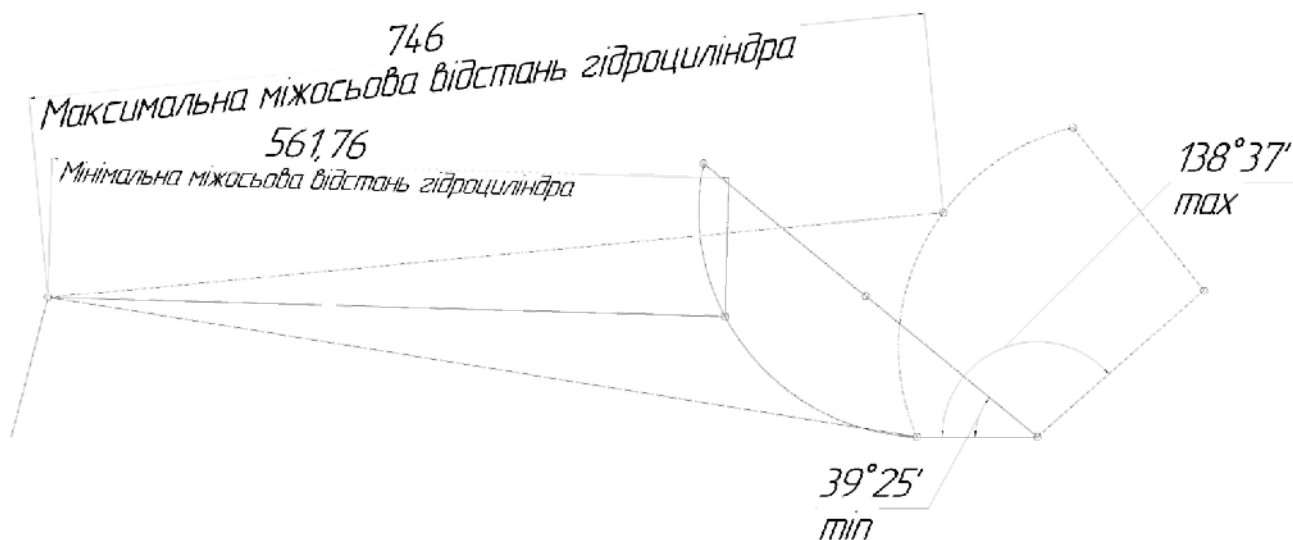


Рис.2.22. Кінематична схема четвертої ланки після заміни гідроциліндра

Таб.2.7. Значення кутів і швидкості повороту кожної ланки після заміни гідроциліндрів

Ланка	Кут повороту, °	Швидкість повороту прямого ходу, град/с	Швидкість повороту зворотного ходу, град/с
1	44,14	53,83	70
2	47,87	58,38	75,98

3	50,7	61,82	80,47
4	99,2	162,62	211,06

Визначення змін при заміні гідроприводів

Таб.2.8. Кути поворотів до і після заміни гідроциліндрів:

Гідроциліндр	максимальний кут повороту до заміни	максимальний кут повороту після заміни	кут повороту ланки до заміни, °	кут повороту ланки після заміни, °	різниця максимального кута, °	Різниця кута повороту ланки, °	Різниця кута повороту ланки, %
1	111,85	78,97	77,02	44,14	-32,88	-32,88	-42,69
2	126,17	94,45	79,59	47,87	-31,72	-31,72	-39,85
3	166,73	127,83	89,6	50,7	-38,9	-38,9	-43,42
4	236,98	138,62	197,56	99,2	-98,36	-98,36	-49,79

Маючи ці дані можна визначити, що даний підхід не є дієвим так як ми втрачаємо до половини (39,85-49,79%) можливих положень стріли маніпулятора.

#### 2.4.2. Розрахунок кінематики руху при збереженні ходу гідроциліндру.

Перша ланка після заміни гідроциліндра. Після заміни гідроциліндра мінімальна міжосьова відстань 606 мм, максимальна – 956 мм. Мінімальний кут повороту 49°30', максимальний 126°12'рис.2.23.

$$\beta_{2.1} = 126.2 - 49.5 = 76.7^{\circ}$$

$$t_{2.1 \text{ прям}} = t_{2.2 \text{ прям}} = t_{2.3 \text{ прям}} = \frac{S}{v_{\text{прям}}} = \frac{0.35}{0.303} = 1.16 \text{ с}$$

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

$$t_{2.1 \text{ звор}} = t_{2.2 \text{ звор}} = t_{2.3 \text{ звор}} = \frac{S}{v_{\text{звор}}} = \frac{0.35}{0.389} = 0.9 \text{ с}$$

$$\omega_{2.1 \text{ прям}} = \frac{\beta_{2.1}}{t_{2.1 \text{ прям}}} = \frac{76.7}{1.16} = 66.1 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

$$\omega_{2.1 \text{ звор}} = \frac{\beta_{2.1}}{t_{2.1 \text{ звор}}} = \frac{76.7}{0.9} = 85.2 \frac{\text{град}}{\text{с}}$$

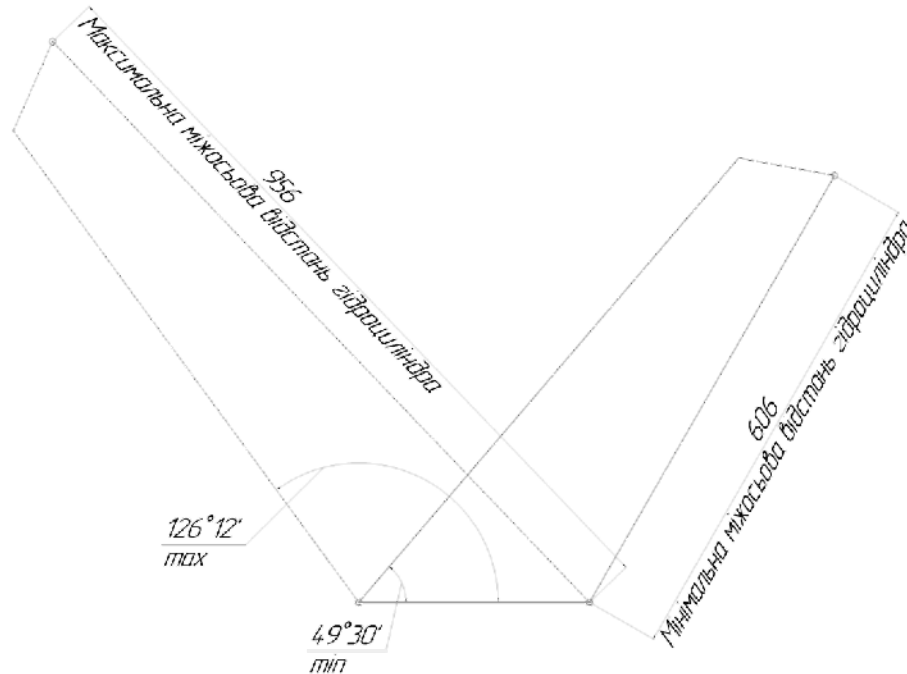


Рис. 2.23. Кінематична схема першої ланки після заміни гідроциліндра

Друга ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальний кут повороту  $63^{\circ}11'$ , максимальний  $144^{\circ}32'$  рис.2.24.

$$\beta_{2.2} = 144.53 - 63.19 = 81.34^{\circ}$$

$$\omega_{2.2 \text{ прям}} = \frac{81.34}{1.16} = 70.12 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2.2 \text{ звор}} = \frac{81.34}{0.9} = 90.37 \text{ град/с}$$

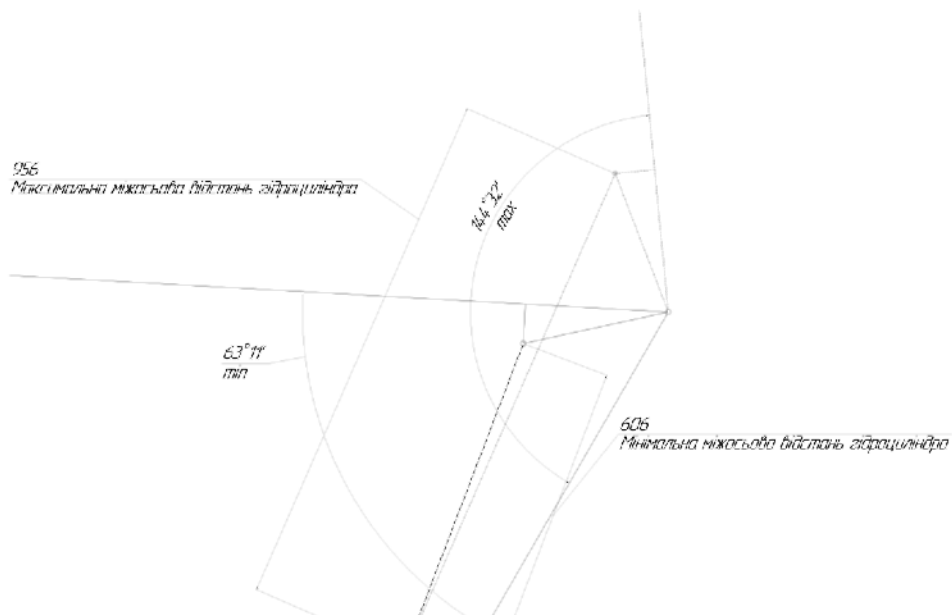


Рис. 2.24. Кінематична схема другої ланки після заміни гідроциліндра.

Третя ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальний кут повороту  $94^{\circ}28'$ , максимальний  $185^{\circ}44'$  рис.2.25.

$$\beta_{2,3} = 185.73 - 94.47 = 91.26^{\circ}$$

$$\omega_{2,2 \text{ прям}} = \frac{91.26}{1.16} = 78.67 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2,2 \text{ звор}} = \frac{91.26}{0.9} = 101.4 \text{ град/с}$$

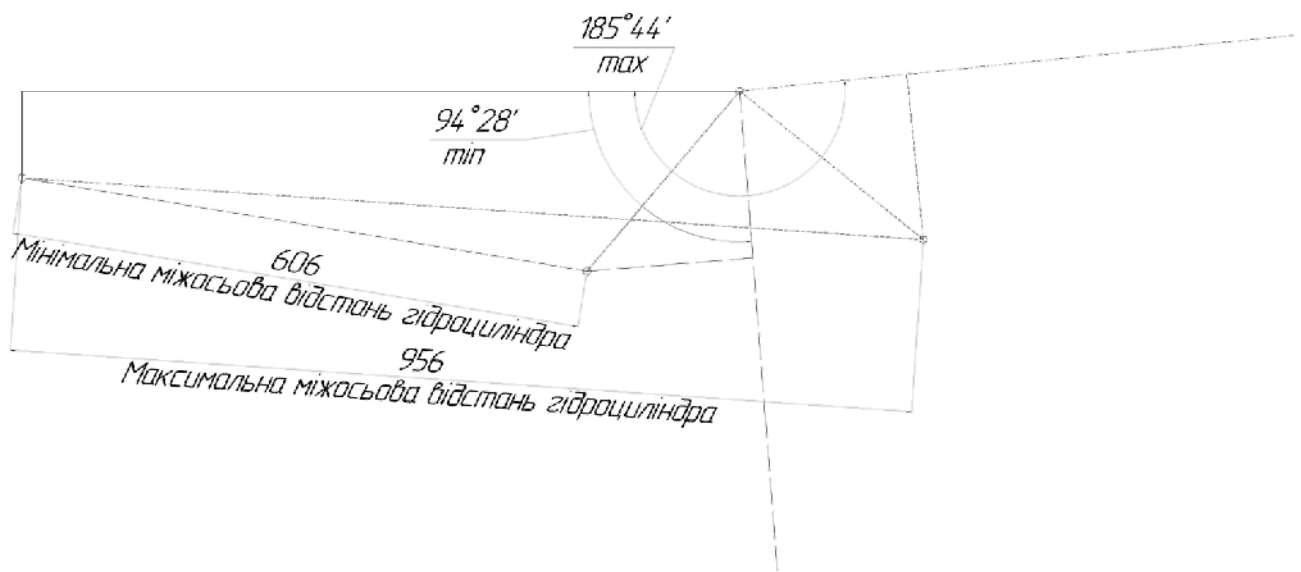


Рис.2.25. Кінематична схема третьої ланки після заміни гідроциліндра.

Четверта ланка після заміни гідроциліндра.

Мінімальна міжосьова відстань, яку може зайняти гідроциліндр 606мм, а максимальна – 918мм. Мінімальний кут повороту 34°22', максимальний 275°12' рис. 2.26.

$$\beta_{2.4} = 275.2 - 34.37 = 240.83^\circ$$

$$t_{2.4 \text{ прям}} = \frac{S_4}{v_{\text{прям}}} = \frac{0.312}{0.303} = 1.03 \text{ с}$$

$$t_{2.4 \text{ звор}} = \frac{S_4}{v_{\text{звор}}} = \frac{0.312}{0.389} = 0.8 \text{ с}$$

$$\omega_{2.4 \text{ прям}} = \frac{240.83}{1.03} = 233.81 \text{ град/с}$$

$$\omega_{2.4 \text{ звор}} = \frac{240.83}{0.8} = 301.04 \text{ град/с}$$

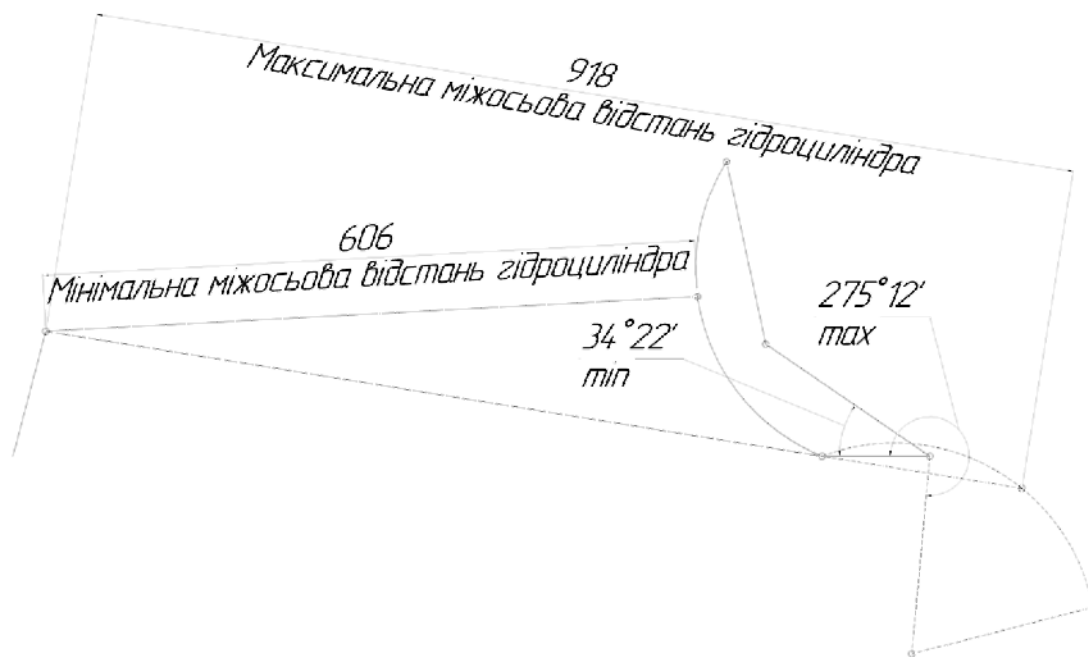


Рис.2.26. Кінематична схема четвертої ланки після заміни гідроциліндра

Таб.2.9. Значення кутів і швидкості повороту кожної ланки після заміни гідроциліндрів

Ланка	кут повороту,	швидкість повороту прямого ходу,	швидкість повороту зворотнього ходу,
-------	---------------	----------------------------------	--------------------------------------



	°	град/с	град/с
1	76,7	66,1	85,2
2	81,34	70,12	90,37
3	91,26	78,67	101,4
4	240,83	233,81	301,04

Визначення змін при заміні гідроприводів

Таб.2.10. Кути поворотів до і після заміни гідроциліндрів:

Гідроциліндр	мінімальний кут повороту до заміни	максимальний кут повороту до заміни	мінімальний кут повороту після заміни	максимальний кут повороту після заміни	Різниця мінімального кута, °	різниця максимального кута, °
1	34,83	111,85	49,5	126,2	+14,67	+14,35
2	46,58	126,17	63,53	144,53	+14,35	+18,36
3	77,13	166,73	94,47	185,73	+17,34	+19
4	39,42	236,98	34,37	275,2	-5,05	+38,02

Таб.2.11. Швидкість повороту до і після заміни гідроциліндрів

Гідроциліндр	Швидкість повороту при прямому русі до заміни, град/с	Швидкість повороту при зворотньому русі до заміни, град/с	Швидкість повороту при прямому русі після заміни, град/с	Швидкість повороту при зворотньому русі після заміни, град/с	Зміна швидкості при прямому русі, град/с	Зміна швидкості при зворотньому русі, град/с
1	63,65	85,58	66,1	85,2	2,45	-0,38
2	65,78	88,43	70,12	90,37	4,34	1,94
3	74,05	99,5	78,67	101,4	4,62	1,9

4	168,85	227,08	233,81	301,04	64,96	73,96
---	--------	--------	--------	--------	-------	-------

#### 2.4.4. Порівняння різних підходів

Таблиця 2.12. Порівняння змін кутів та швидкостей при різних підходах

Параметр	Варіант збереження зовнішнього габариту	Різниця зі штатним	Варіант збереження ходу	Різниця зі штатним	Різниця між варіантами
Кут повороту першої ланки	44,14	-32,88	76,7	-0,32	-32,56
Кут повороту другої ланки	47,87	-31,72	81,34	1,75	-33,47
Кут повороту третьої ланки	50,7	-38,9	91,26	1,66	-40,56
Кут повороту четвертої ланки	99,2	-98,36	240,83	43,27	-141,63

З табл. 2.12 бачимо, що кут повороту кожної ланки у варіанті збереження зовнішнього габариту зменшився не менше ніж на  $40^\circ$ , а у варіанті збереження ходу гідроциліндра зменшився кут повороту першої ланки і менше ніж на  $1^\circ$ , а в інших ланках кут навіть збільшився. Таким чином заміна зі збереженням зовнішнього габариту виглядає не доцільною, в чому також можна впевнитися,

якщо глянути на максимальну висоту в розкладеному вигляді всіх трьох варіантів рис. 2.27.

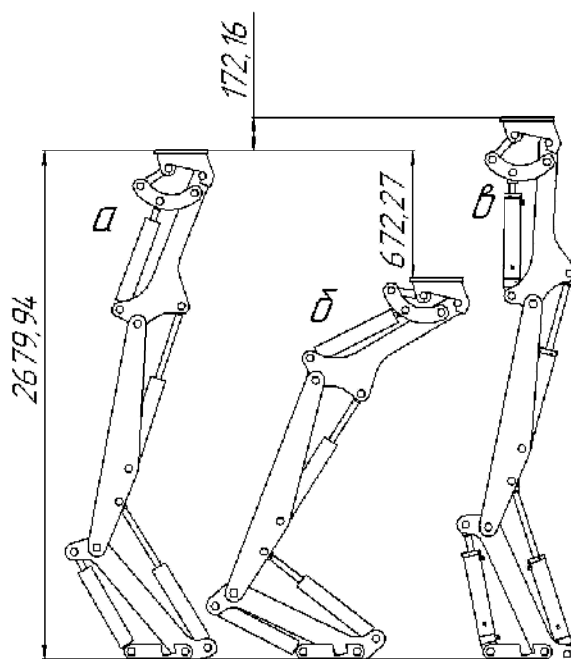


Рис.2.27 Максимальна висота стріли маніпулятора в різних виконаннях гідропривода, а) – штатне виконання, б) – варіант збереження габариту, в) – варіант збереження ходу

#### 2.4.5. Огляд змін в стрілі при заміні.

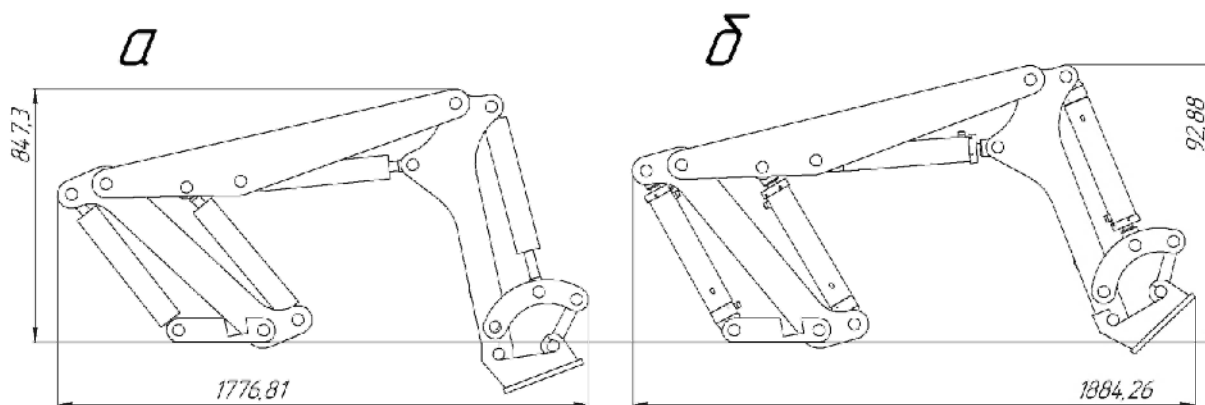


Рис 2.28. Загальний вигляд стріли до (а) та після (б) заміни гідроциліндрів і повністю втягнутими штоками

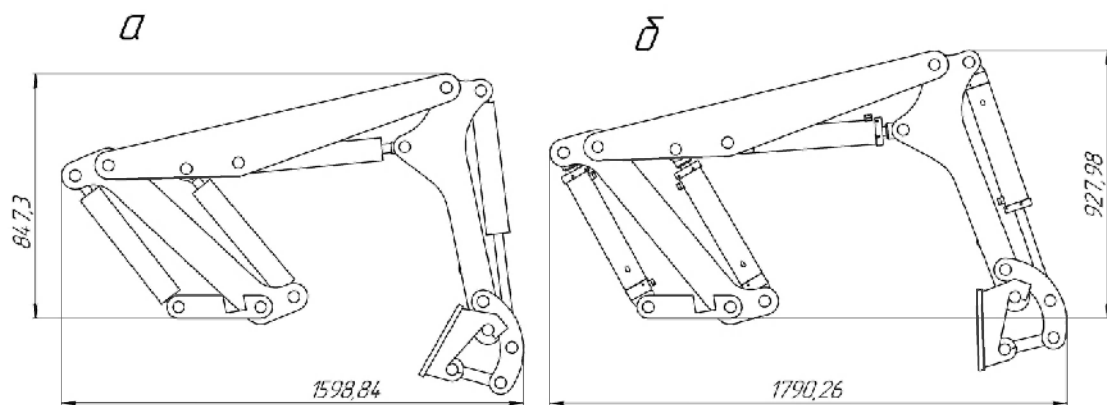


Рис. 2.29. Положення стріли у режимі транспортування до (а) та після (б) заміни гідроциліндрів

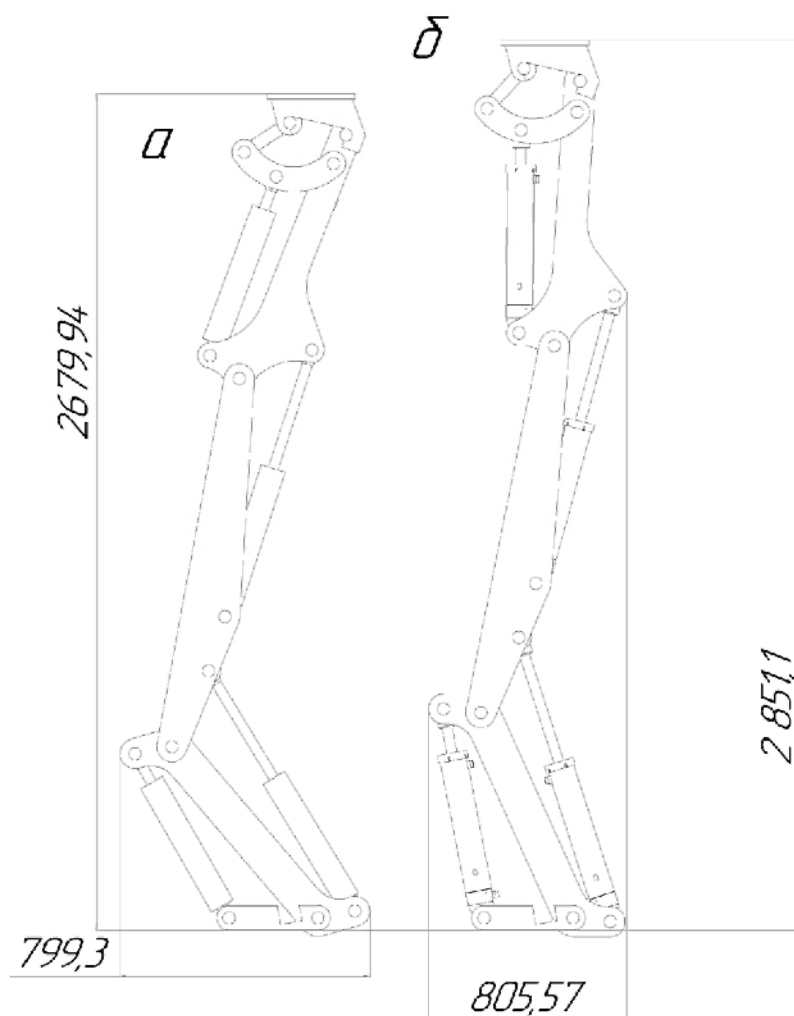


Рис. 2.30. Верхнє положення стріли після (б) та до (а) заміни гідроциліндрів

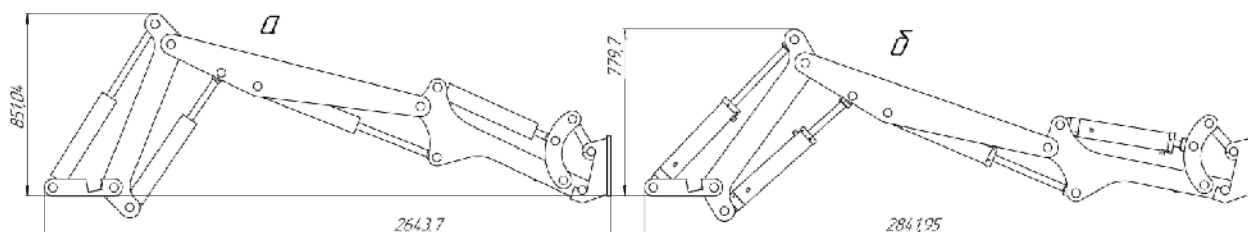


Рис.2.31. Дальнє положення після (б) і до (а) заміни гідропривіду

Таблиця 2.13. Зміна розмірів під час заміни гідроприводу

Розмір	Розмір до заміни	Розмір після заміни	Зміна розміру, мм	Зміна розміру, %
Висота стріли у складеному виді	847,3	928,8	81,5	9,6
Ширина стріли у складеному виді	1776,81	1884,26	107,45	6,0
Ширина у режимі транспортування	1598,84	1790,26	191,42	12,0
Максимальна висота	2679,94	2851,1	171,16	6,4
Максимальний виліт вперед	2643,7	2841,95	198,25	7,5

Так як головною особливістю даного маніпулятора є його компактність, важливо, щоб максимальні розміри в складеному вигляді не дуже змінилися, вони змінилися на 9,6% по висоті і на 6% по ширині. Такі зміни є допустимими і не впливають на сферу застосування, а збільшені розміри в розкладеному вигляді навіть розширюють його можливості.

## РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1. Основні положення

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

У даному розділі дипломного проекту «охорона» буде розглянуто питання, які стосуються безпеки роботи в приміщеннях де буде застосовуватися гідравлічний маніпулятор розроблений в даній роботі, «Гідравлічний маніпулятор з автоматизованою траєкторією руху».

1. Санітарно-гігієнічна характеристика цеху;
2. система опалення виробничого цеху;
3. розрахунок природного та штучного освітлення;
4. електробезпека;
5. пожежна та вибухобезпека;
6. висновки.

### 3.2. Санітарно-гігієнічна характеристика цеху.

Таб.3.1. Загальна характеристика приміщення

Розмір приміщення	8x10м
Площа	80м <sup>2</sup>
Висота приміщення	3,5м
Кількість робочих місць	5
Природне освітлення	3 вікна
Штучне освітлення	12 світлодіодних панелей Norfen HLS-48

Опалення	Центральне водяне, кондиціонер
Стіни	Шлакоблокові обшиті гіпсокартоном і покриті жовтою водоемульсією фарбою
Підлога	Бетон
Стеля	Полівінілхлоридні матові панелі білого кольору
Вікна	2х1,5м скло подвійне
Двері	2,2 м х 1,5 м

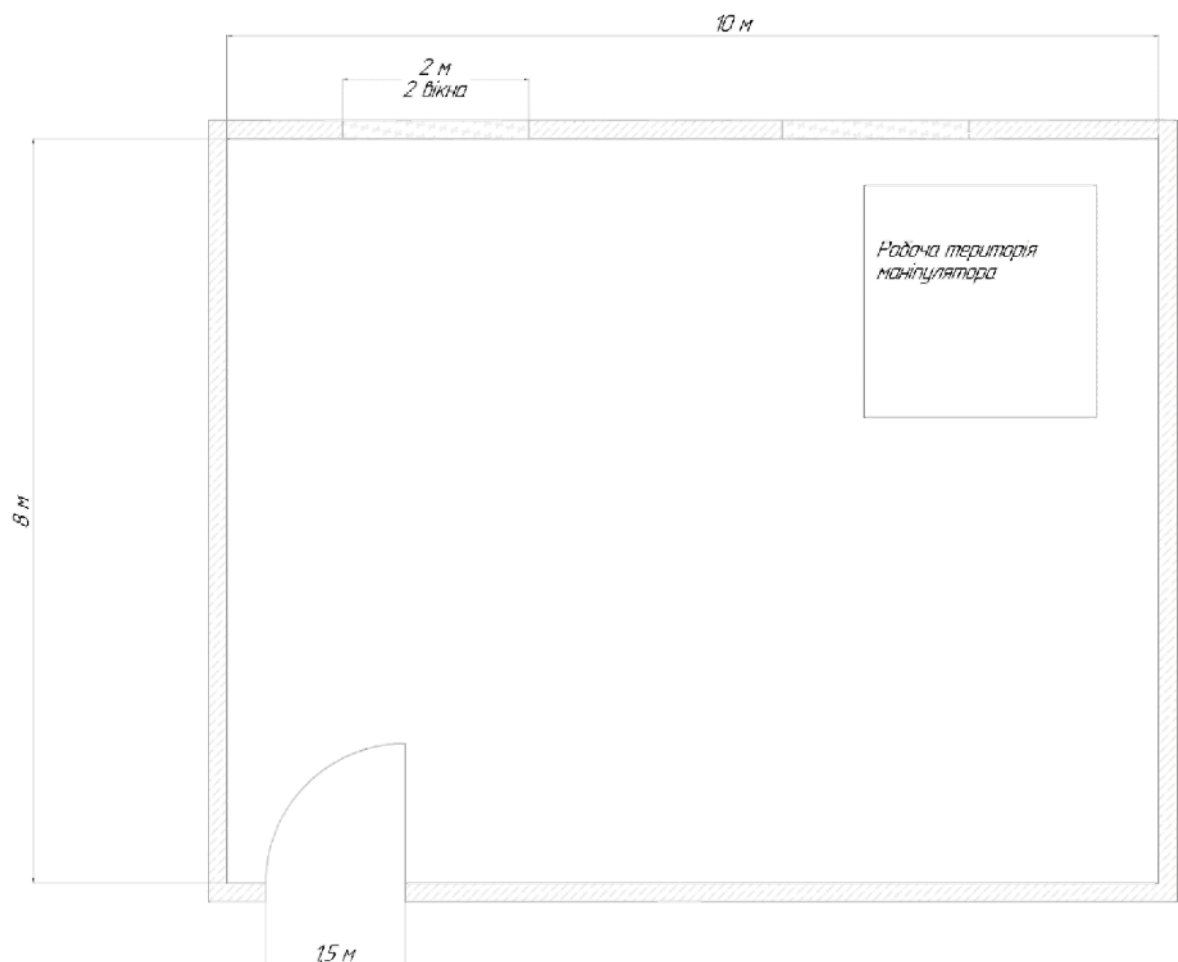


Рис.3.1 Схема робочого приміщення

Таблиця 3.2. Обладнання ділянки цеху

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм	Арт	№ документа	Підпис	Дата		

Найменування	Характеристика	Кількість
Система енергопостачання маніпулятора	3 фази, потужність 35КВт	1
Щитова	0,9 x 1,7 x 0,3м	1
Повітропровід	D = 350мм	1

Площа:  $S_{\text{цех}} = 8 * 10 = 80 \text{ м}^2$

Об'єм:  $V_{\text{цех}} = 80 * 3,5 = 280 \text{ м}^3$

Площа приміщення виділена на одну особу:  $S_{\text{л}} = \frac{80}{5} = 16 \text{ м}^2$

Об'єм приміщення виділений на одну особу:  $V_{\text{л}} = \frac{280}{5} = 56 \text{ м}^3$

Виходячи «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042 99 з площа на одне робоче місце для повинне складати не менше 6.0 м2, а об'єм –не менше 20 м3.Отже, габаритні розміри приміщення повністю відповідають санітарним нормам. Для облицювання стін, стель, підлоги приміщень слід використовувати матеріали, дозволені органами санітарно-епідеміологічного нагляду, а для внутрішньої обробки інтер'єру –матеріали, що дифузно відбиваються, з такими коефіцієнтами віддзеркалення: для стелі – 0.7-0.8; для стін – 0.5-0.6; для підлоги – 0.3-0.5. Отже по всіх цих параметрах дане приміщення повністю задовольняє норми.

### 3.3. Система опалення виробничого цеху

Виходячи з «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042 99, визначаємо дану роботу, як легку фізичну роботу (категорія І) при якій витрата енергії дорівнює 105 – 140 Вт (90 – 120 ккал/год.) категорія Іб, тобто робота, що виконуються сидячи і не потребує фізичного напруження

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		



Для створення необхідних параметрів мікроклімату у приміщенні застосовується система вентиляції та проводиться провітрювання приміщення двічі в день, з ранку і ввечері. Вентиляція приміщення досягається видаленням з них нагрітого та забрудненого повітря і подачею чистого зовнішнього повітря. Основні параметри мікроклімату (таблиця 3.3) (температура повітря, вологість і швидкість руху повітря на робочому місці) повинні відповідати вимогам. Крім того, необхідно забезпечити необхідні концентрації позитивних і негативних іонів в повітрі робочої зони. Результати досліджень показали, що позитивні іони у великій кількості негативно впливають на розумову і фізичну працездатність (з'являється стомлюваність), на діяльність серцево-судинної системи і системи кровотворення, а негативні іони сприятливо впливають на здоров'ї людини. Необхідні концентрації позитивних і негативних іонів в повітрі робочої зони забезпечують:

- генератори негативних іонів;
- установки штучного зволоження;
- кондиціонери
- загально-обмінна проточно-витяжна вентиляція.

В даному приміщенні встановлено кондиціонер, установку штучного зволоження, термометр та загально-обмінна проточно-витяжна вентиляція.

Таблиця 3.3

Період року	Температура, °C			Відносна вологість, %	
	Оптимал ьна	Фактична		Оптимал ьна	Дійсна
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	21 – 24	23	21	40 – 60	57
Теплий	23 – 28	28	25	40 – 60	46

Середня температура приміщення в теплий період року дорівнює 23°C, відносна вологість повітря 46%. У холодний період року, середня

температура складає 23°C. Значення відносної вологості дорівнює 57%.Всі параметри мікроклімату приміщення в теплий та холодний період року знаходяться в діапазоні оптимальних значень, тому можна зробити висновок, що мікроклімат приміщення є сприятливим для праці.

### **3.4. Розрахунок природного та штучного освітлення**

Недостатність освітлення призводить до напруги зору, ослаблю увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різні тіні, відблиски, дезорієнтувати що працює. Всі ці причини можуть привести до нещасного випадку або профзахворювань, тому настільки важливий правильний розрахунок освітлення, визначення необхідного числа світильників, їх типу і розміщення.

З документу ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» штучне освітлення в приміщеннях для повинне здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У випадках переважної роботи з точними деталями, слід застосовувати системи комбінованого освітлення (до загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення, призначені для освітлення зони вимірювання контрольних позицій [24]).

Освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого інструмента і деталі повинна бути 300-500 лк. Освітлення не повинне створювати відблисків на поверхні столу.

Як джерела світла при штучному освітленні слід застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і компактні люмінесцентні лампи або світлодіодні панелі. У світильниках місцевого освітлення допускається застосування ламп розжарювання, зокрема галогенних. В приміщенні застосовується штучне освітлення комбіноване (місцеве і загальне) і природне освітлення бокове. Штучне освітлення виконується за допомогою

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

електричних джерел світла -світлодіодних панелей. Виходячи з цього, проведемо розрахунки освітленості нашого приміщення. Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 80 м<sup>2</sup>, ширина якої 8 м, висота – 3,5 м. Скористаємося методом світлового потоку [24]. Визначимо світловий потік в приміщенні і порівняємо його з допустимим, за формулою:

$$E_{\text{еф}} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S \cdot k_3 \cdot z}$$

де  $E_{\text{еф}}$  - розраховується світловий потік, Лм; E-нормована мінімальна освітленість, Лк (визначається за таблицею). Роботу спеціаліста, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде  $E = 300$  лк;

$S$  – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку  $S = 80$  м<sup>2</sup>);

$z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної (звичайно приймається рівним 1,1 ... 1,2, нехай  $Z = 1,1$ );

$k_3$  – коефіцієнт запасу, враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення й характеру проведених у ньому робіт і в нашому випадку  $K = 1,5$ );

$N$  - кількість світильників;

$n$  - кількість ламп у світильнику;

$\eta$  - коефіцієнт використання, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, які характеризуються коефіцієнтами відображення від стін (РС) і стелі (РП). Стеля приміщення свіжопобілена  $\rho_{\text{ст}} = 70\%$ , стіни мають жовтий колір  $\rho_{\text{ст}} = 50\%$ , підлога з бетону  $\rho_{\text{п}} = 30\%$ . Значення  $\eta$  визначимо по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників [25]. Для цього обчислимо індекс приміщення по формулі:

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

$$I = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{80}{3,5 \cdot (8 + 10)} = 1,27$$

де S - площа приміщення, S= 80 м<sup>2</sup>;

h - розрахункова висота підвісу, h= 3,5 м;

A - ширина приміщення, A= 8 м;

B - довжина приміщення, B= 10 м.

Підставивши значення отримаємо:

Знаючи індекс приміщення I, за таблицею знаходимо η= 0,38. Для освітлення використовується світлодіодні панелі потужністю 48 Вт світловий потік яких F= 4800 Лк. Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку E<sub>еф</sub>:

$$E_{\text{еф}} = \frac{4800 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 0,38}{80 \cdot 1,5 \cdot 1} = 182,4 \text{ лк}$$

Отже, можна зробити висновки, що освітленість приміщення не достатня, саме тому використовується, ще місцеве освітлення.

### 3.5. Електробезпека та пожежна безпека

З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої уваги. Електробезпека –це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

В приміщення одночасно експлуатується і обслуговується маніпулятор з електричним живленням, у доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач та електричний щит з запобіжником, що може повністю виключити електричний струм приміщення, крім освітлення. Заземлення електричного щита виконано із заземленою нейтраллю, а розетки лабораторії виконані з захисним зануленням.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

Для підключення іншої переносної електроапаратури використовуються гнучкі проводи в надійній ізоляції, також з додатковим запобіжником вимикання, також електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у приладів і меблів. Приміщення відповідає усім нормам електробезпеки за ПУЕ 2012 (редакція від 21.02.2017) та є придатним та безпечним для роботи.

#### Пожежна безпека

Приміщення, в яких встановлені ПК та інша техніка, по пожежній небезпеці відносяться до категорії В, і повинні задовольняти вимогам по запобіганню і гасінню пожежі по, з обов'язковою наявністю телефонного зв'язку і пожежної сигналізації. Меблі в приміщенні лабораторії із МДФ, дверні та віконні переплети із металопластика, корпуси ЕОМ і приладів із металу та полімерних матеріалів. По вибуху і пожежонебезпеці приміщення відноситься до категорії В На основі ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

На основі ДСТУ Б В.1.1-36:2016 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою" будівля відповідає II степені вогнестійкості, що потребує від будівельників конструкції норм вогнестійкості (часу опору вогню):

- несучі стіни, стіни сходових кліток і колони - 2 год.
- сходові клітки, сходи, балки і марші у сходових клітках - 1 год.
- зовнішні стіни навісних панелей - 0.25 год.
- внутрішні і зовнішні стіни (перегородки) - 0.25 год.
- плити і настили конструкцій міжповерхового перекриття – 0.75 год.
- плити, настили та інші несучі конструкції - 0.25 год.

Необхідний час евакуації складає –40 секунд. Евакуацію необхідно здійснювати швидко, чітко та без паніки.

Для такого приміщення підбираємо Вогнегасник вуглекислотний ВВК-1,4 (ОУ 2) в кількості 2 шт.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

### 3.6. Висновки до розділу

У цій частині дипломної роботи було визначено потенційно небезпечні шкідливі фактори, при виконанні роботи, розраховано освітленість робочого яке відповідає нормам. Проаналізували пожежну безпеку в приміщенні, та дійшли висновку що вона відповідає вимогам. Також був проведений аналіз електробезпеки приміщення в результаті чого встановлено, що він відповідає ПУЕ 2012 (редакція від 21.02.2017) «Про затвердження правил технічної експлуатації електроустановок споживачів». В результаті було встановлено, що приміщення відповідає державним нормам та забезпечує комфортні умови праці.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.

На сьогоднішній день використання ручного виготовлення відходить на задній план, коли річ заходить не за штучні екземпляри. Використання автоматизованого виготовлення дає переваги в точності, швидкості, використанні матеріалу, кількості доступних операцій.

У цьому розділі описано виготовлення деталі гідроциліндра, а саме зовнішньої передньої кришки. Всі операції вказані в тому порядку в якому доцільно їх проводити на вибраному станку виходячи з можливих деформацій у ході виконання робіт, допустимих похибок, можливостей станку.

Аналіз кресленика та прогнозування необхідних матеріалів.

З креслення видно, що деталь не має особливих умов по точності, 7 квалітет, і шорсткості, Ra2,5 найкраща шорсткість на всій деталі. Це дозволяє використовувати швидку обробку пластинами, що не мають полірових кромek для меншої ціни всього виробництва

Модель та заготовку передньої зовнішньої кришки видно на рис.4.1. Ця деталь виготовлена з нержавіючої сталі з малим вмістом вуглецю AISI420 (аналогі: 40X12, SUS420J2, X40Cr14, 4H13, 17024, тощо [26]), вона обробляється токарним способом і має максимальний діаметр 90 мм, з урахуванням припусків та стандартних кругляків вибираю заготовку 110 мм. Відрізатися заготовки будуть на токарному станку відрізною пластиною з приблизною шириною не більше 5мм. Тому на одну заготовку потрібно 55 мм, враховуючи те що пруток має довжину 3м то з одного прутка маємо 54 заготовки. На 500 деталей потрібно 10 кругляків по 3м, отже маємо 30м сумарною масою 5838 кг. Закупити такий матеріал можна в Києві за ціною (оптовою) 105 грн/кг, а це 612 990 гривень.

Ця деталь має циліндричну форму з багатьма допусками циліндричності, співвісності, точних діаметрів тому має сенс виготовити цю деталь на токарному станку. Так як на деталі маються проточки які можна виконати лише фрезеруванням то доцільніше використати токарно-фрезерний станок з

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

револьверною головкою та комплектом державок та приводів для інструментів [27].

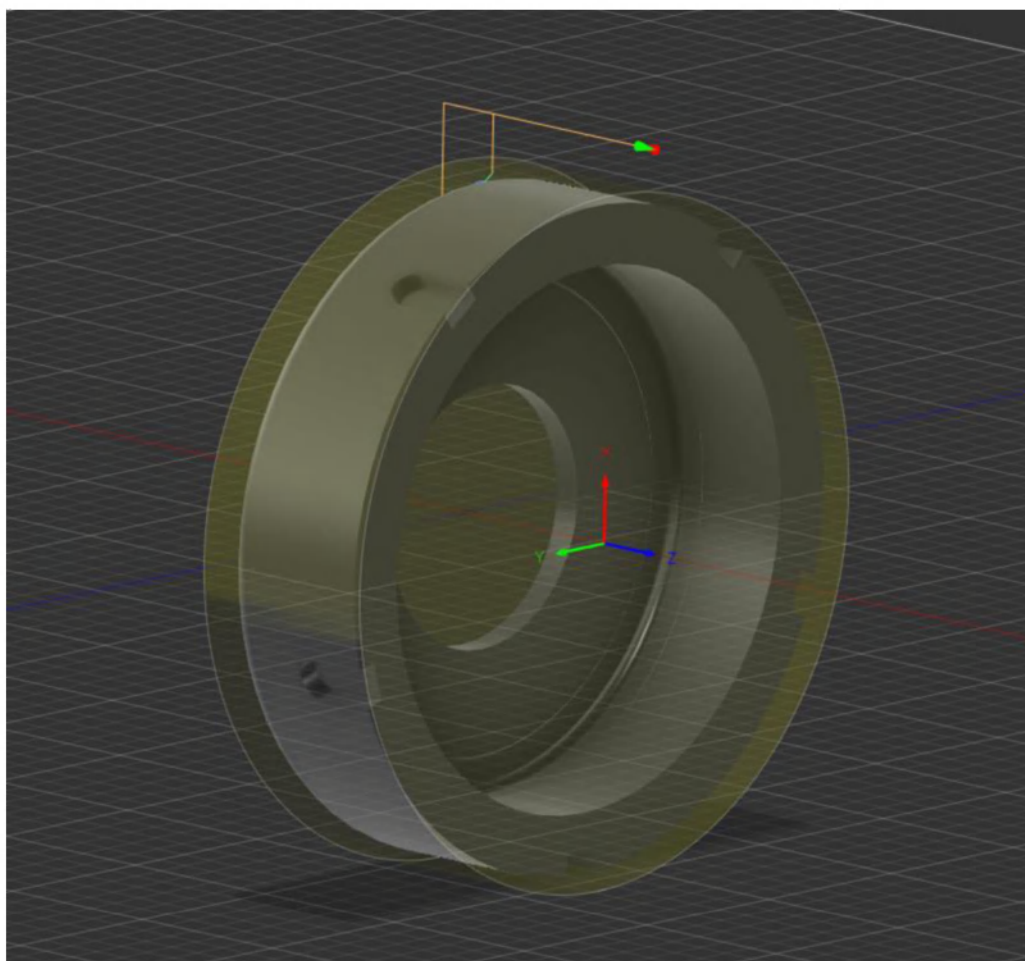


Рис.4.1. Передня зовнішня кришка (сірий колір) та заготовка (жовтий) з якої буде виготовлятися деталь



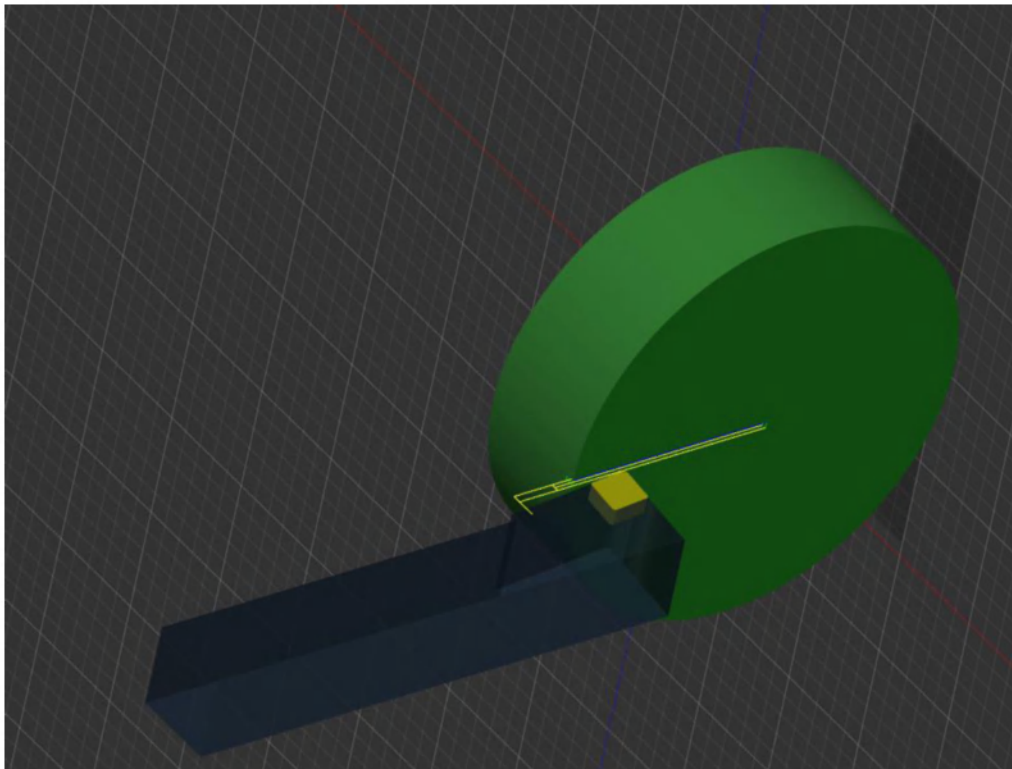


Рис.4.2. Операція 1. Торцювання заготовки.

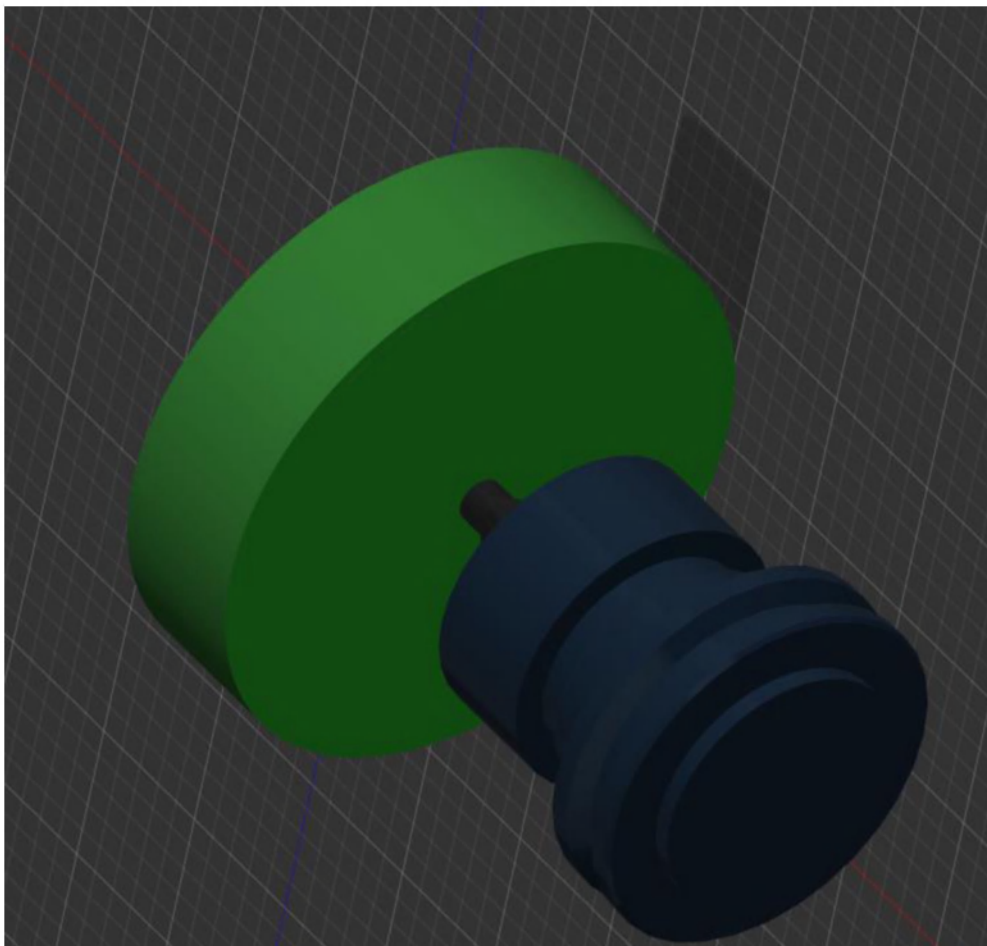


Рис.4.3. Операція 2. Створення центрального отвору.

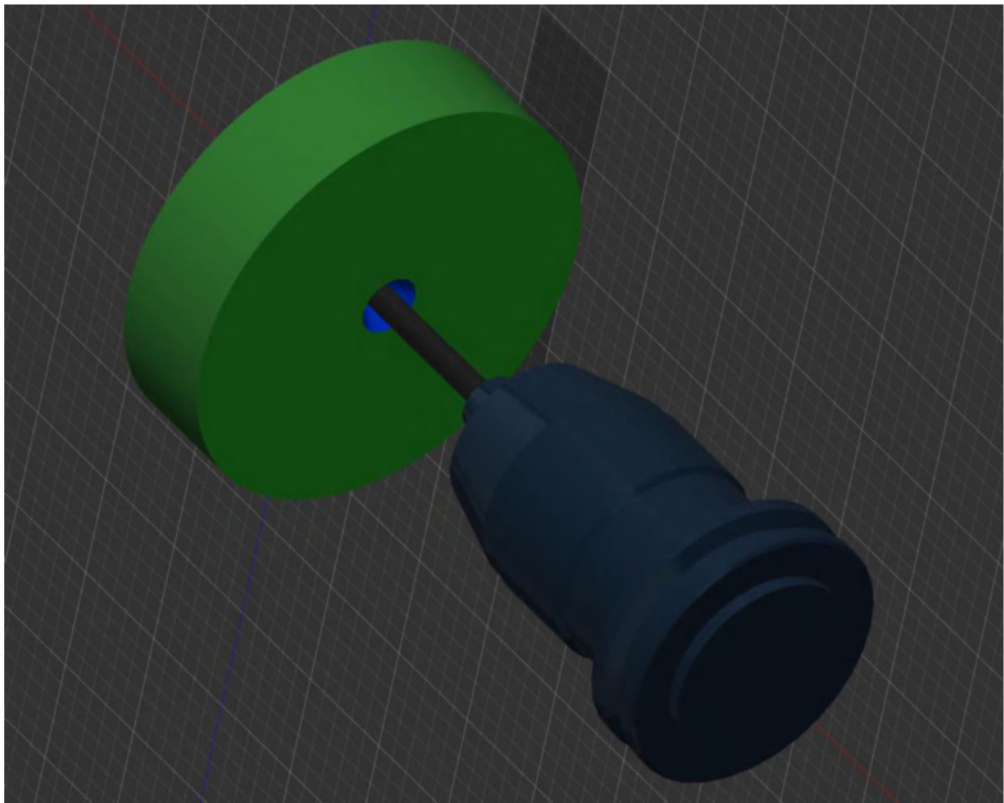


Рис.4.4. Операція 3. Свердління отвору малого діаметру.

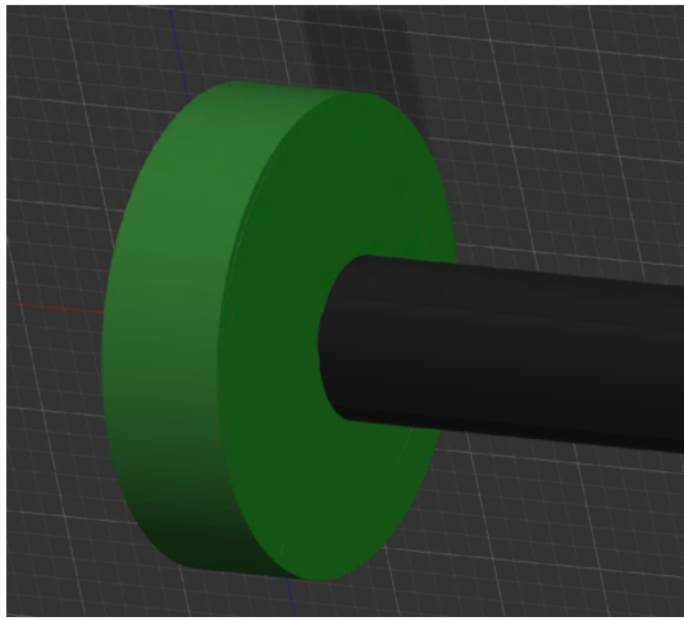


Рис.4.5. Операція 4. Свердління отвору великого діаметру.

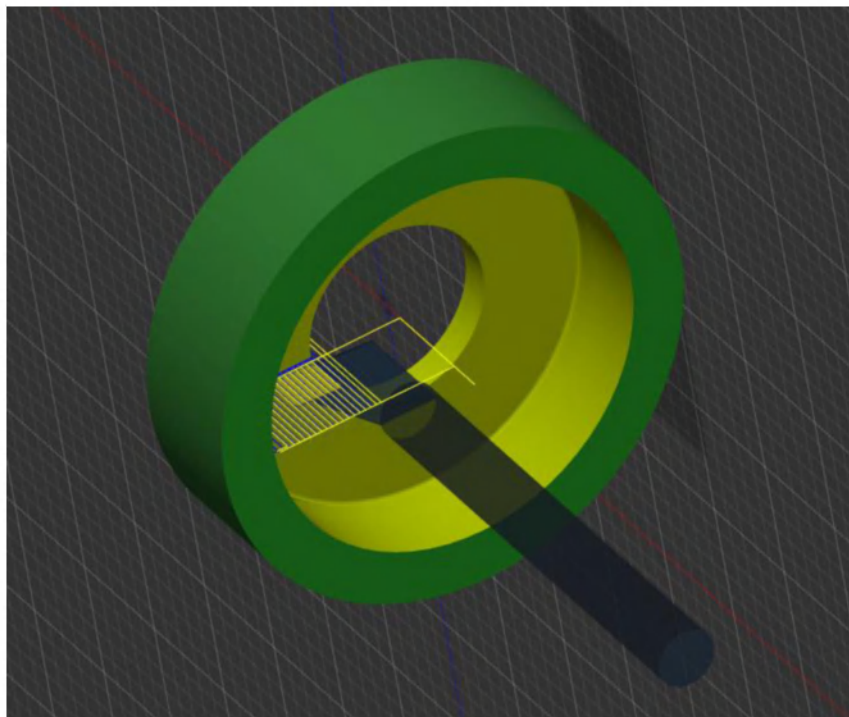


Рис. 4.6. Операція 5. Чорнове розточування внутрішньої поверхні.

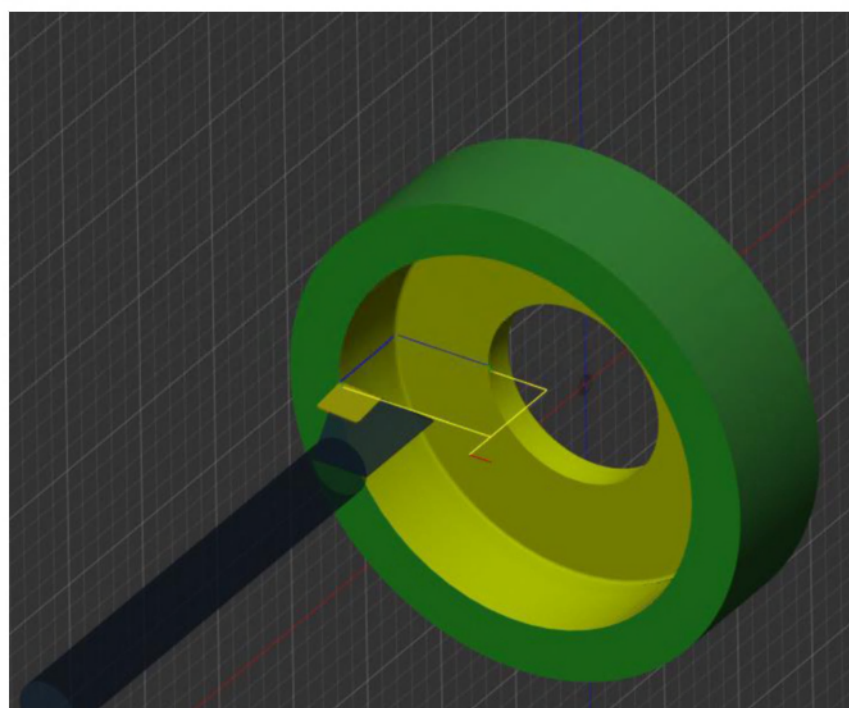


Рис.4.7. Операція 6. Чистове розточування внутрішнього діаметру.

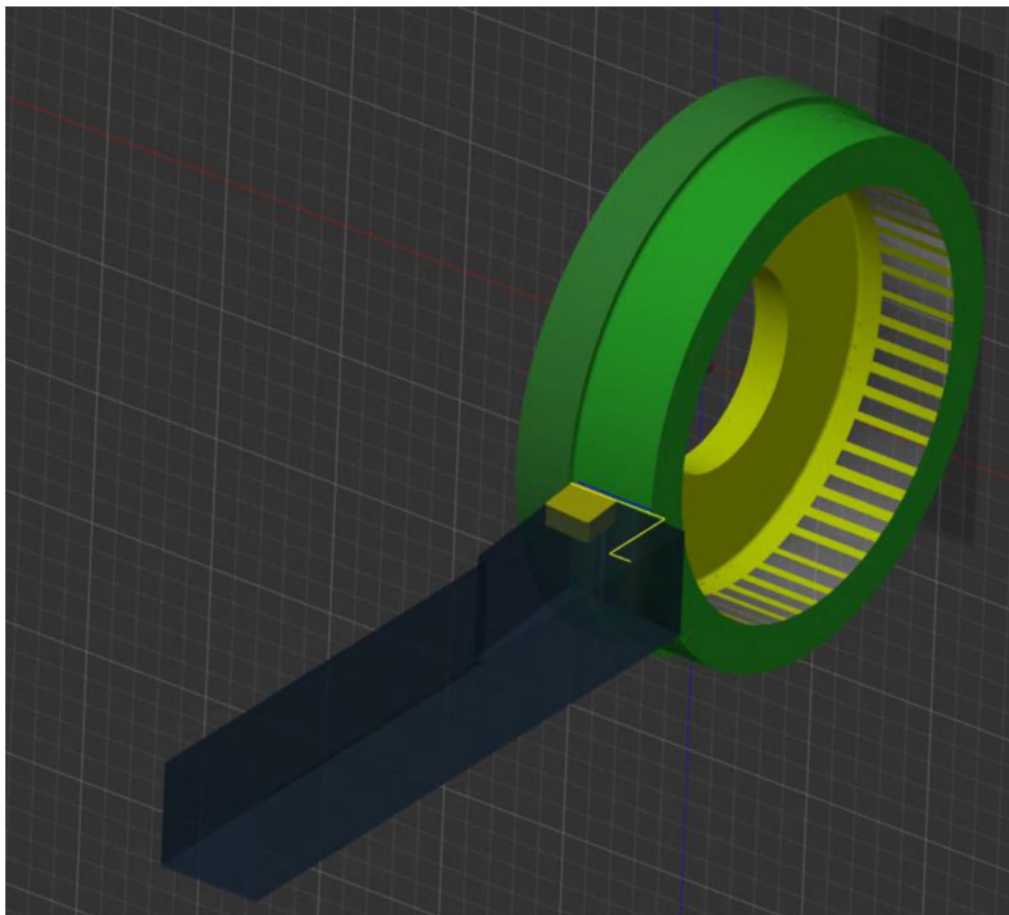


Рис.4.8. Операція 7. Чорнове проточування зовнішнього діаметру

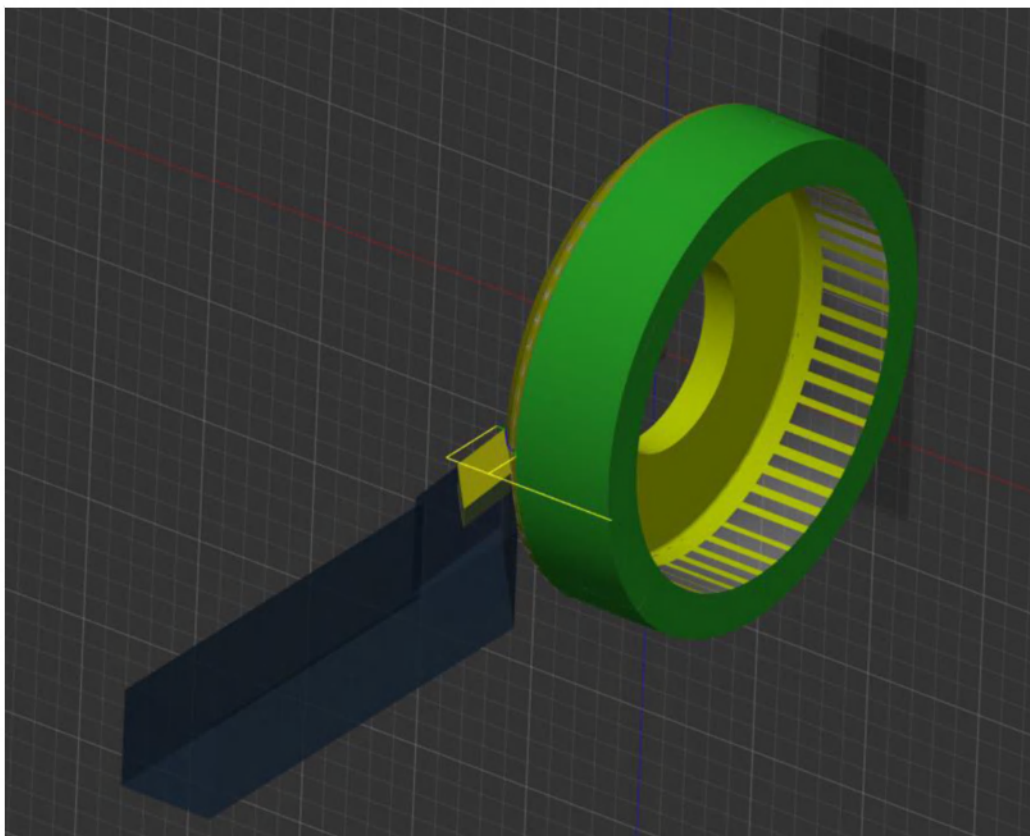


Рис.4.9. Операція 8. Чистове проточування зовнішнього діаметру



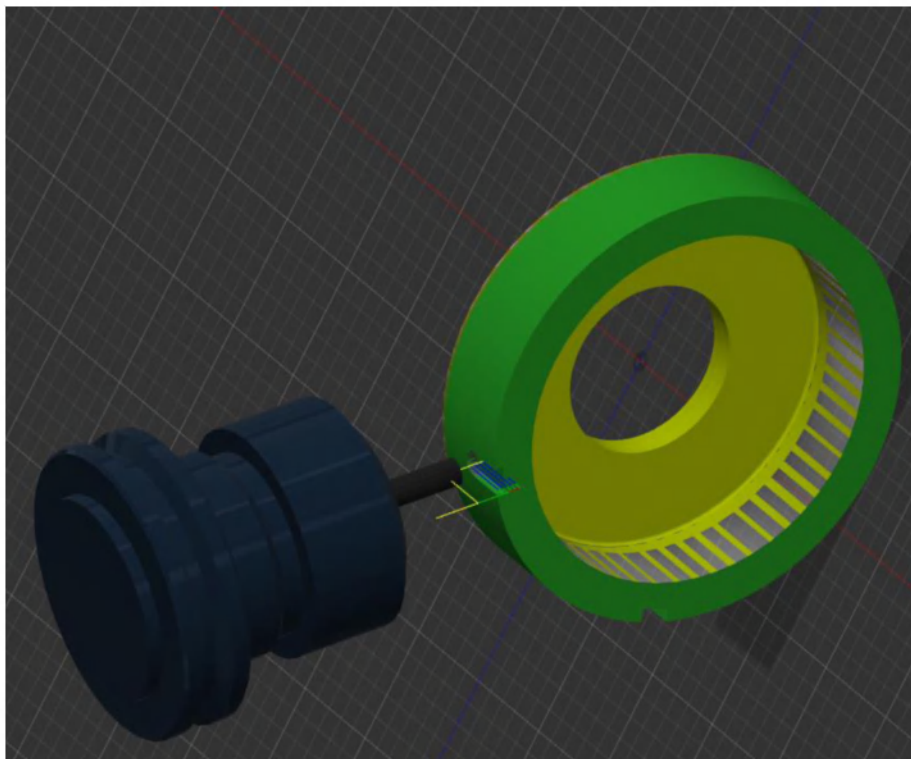


Рис.4.10. Операція 9. Виготовлення пазів для ключа під круглi гайки

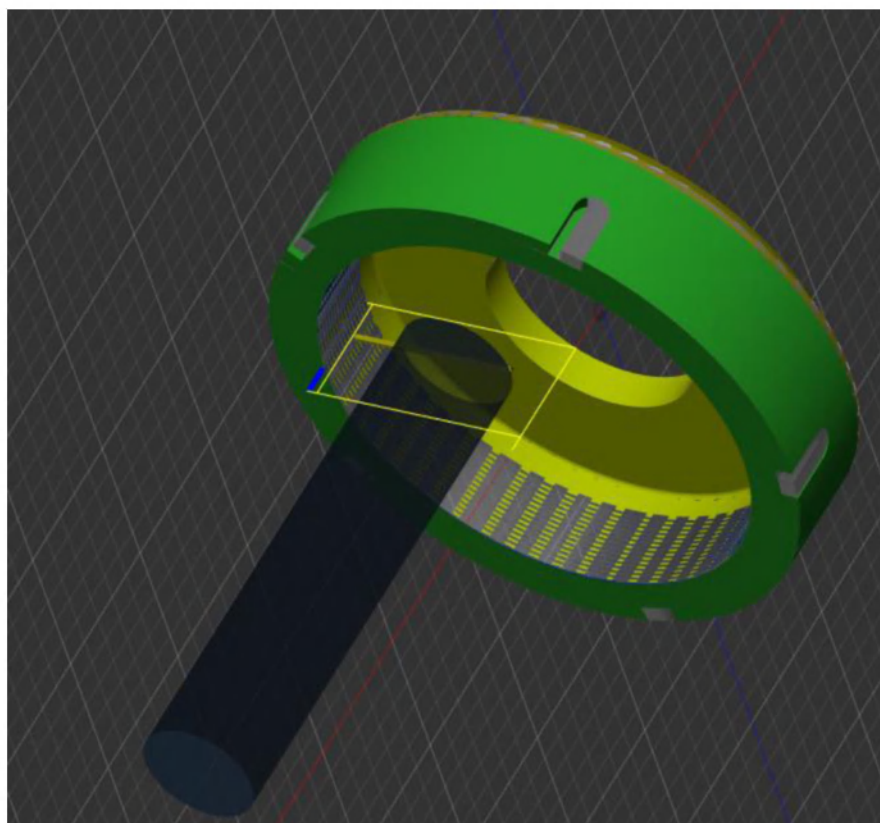


Рис.4.11. Операція 10. Нарізання внутрішньої різьби

Операція 11. Перевстановлення заготовки у другий шпиндель

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						84
Зм	Арт	№ документа	Підпис	Дата		

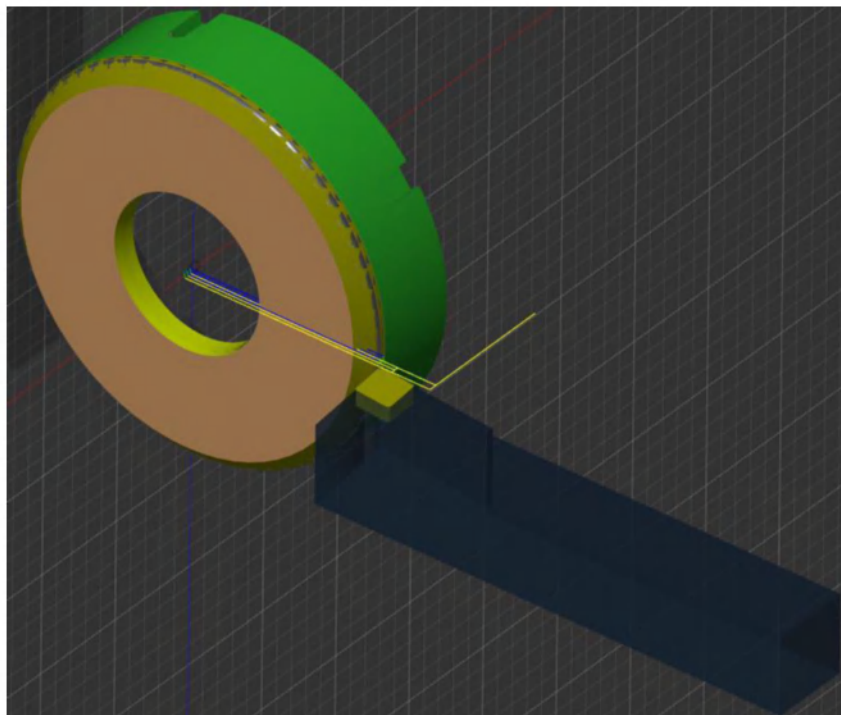


Рис.4.12. Операція 12. Торцювання другої зовнішньої поверхні кришки.

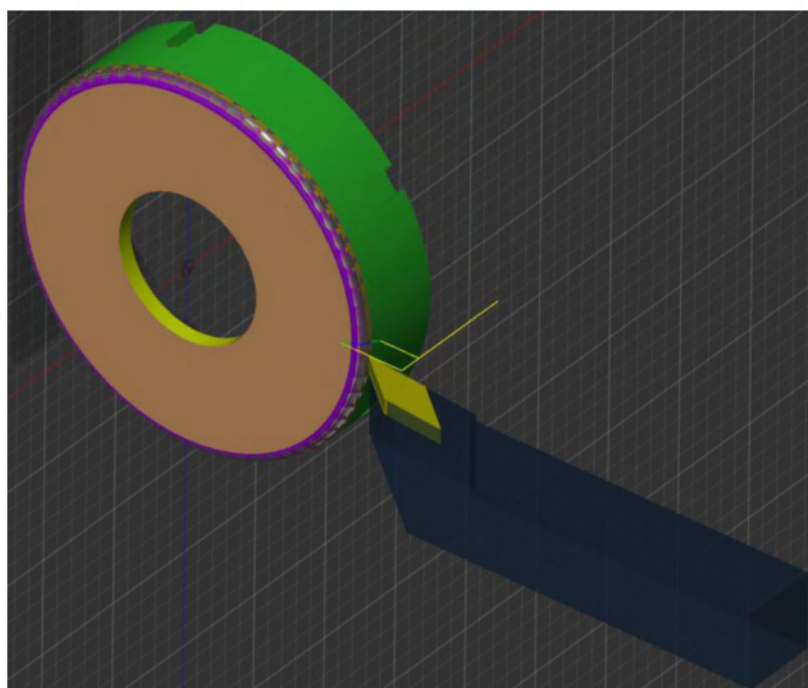


Рис.4.13. Операція 13. Фінішна обробка зовнішніх поверхонь

Необхідно мати 6 цангових зажимів для тримання різних сверدل та фрез, щоб не замінювати їх в ході виготовлення. Так як деталь виготовляється на токарно фрезерному станку з перевстановленням логічно використати двохпатронну компоновку. Потрібно два патрона для заготовок діаметром 180+ мм. Для цього купуємо два трьохкулачкових патрона ВВ 208 (420131 0080) за 2.468 євро [28]. З списку операцій і оснастки бачимо патрон для сверدل та фрез

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						85
Зм	Арт	№ документа	Підпис	Дата		

Maritool CAT40-ER32-2.35, але так як в нього вставлені різні свердла і фрези таких потрібно 4 шт по 105\$, також використовується Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck по 186\$. Потібно також купити державки під токарні пластини, правий під пластину 55° 50,5 євро, лівий в таку ж саму ціну, під пластини 35° по 38,5 євро.

Для перевірки потрібні такі інструменти як штанген-циркуль (500213 0300) 195 євро, індикатор (511020 0002) за 145, стійка для нього (25501 0012) за 129, стіл і центри, в які зажимається деталь для перевірки на биття (554002 0004) 350 [28].

Таб.4.1. Найменування необхідних розхідних матеріалів та їх ціна

Назва	Артикул	Кількість	Ціна
HSK-A 63 DIN 69893 – HSK type A	6316 4101	6	9 826грн
Державка для токарних пластин CNMG прохідних для зовнішнього точіння	2020 K12	2	1 624грн
Державка для токарних пластин VNMG прохідних для зовнішнього точіння	2020 K16	1	1 624грн
Державка для токарних пластин CNMG прохідних для внутрішнього точіння	E12Q SCLCR / L 06	1	7 504грн

Штанген циркуль 150мм	0150 5108	1	246 грн
Індикатор 5/0,001 (з калібровкою)	511002 0001	1	5 219грн
Магнітна стійка для індикатора	550110 6400	1	3 145 грн
Висотомір 200/0,04 (з калібровкою)	530501 0202	1	21 828грн
Калібр-пробка 6мм	540103 0006	1	765грн
Калібр-пробка 14мм	540103 0014	1	945,2грн
Калібр-пробка 7мм	540103 0007	1	765грн
Загальна ціна	104 245грн		

Загальна ціна за станок 3 187 364грн

Станок і оснастка 3 668 974грн

Повна ціна 3 773 219грн

Назва	Ціна
Матеріал	612 990грн
Розходники (пластини, фрези...)	93 064грн
Оснастка і станок	3 773 219грн
Робота майстра	238 320грн
Сума	4 717 593

Сумарний час роботи станка на одну деталь 1 год 53хв, час на встановлення та зняття деталі приймаю 30хв, і того загальний час 2год 23хв, на 500 деталей 1 191год 40хв (1 191,66(6)), оплата працівника приймаю 200 грн/год, і того сума на оплату його роботи 238 320грн.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		



## ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто і модернізовано існуючий мобільний маніпулятор Brokk 110. Аналіз ринку датчиків показав, що найкраще підходять три технології відслідковування положення гідроциліндрів, а саме - магнітострикційна, потенціометрична, індуктивна. Розглянуто та порівняно датчики всіх цих типів та прийнято рішення встановлювати магнітострикційний датчик WayCon LMI 12 – 350 – F – SL. Основною ціллю модифікації було встановлення зворотного зв'язку між приводом і контролером. Згідно до завдання розглядалося два підходи до розробки нового гідроприводу.

Перший підхід полягав у тому, щоб забезпечити незмінним зовнішній габарит гідроциліндрів. Після розробки приводу став відомий хід поршня, який складав 246мм проти 350мм у штатному виконанні. Використовуючи хід пороховано кінематичні властивості кожної ланки, які показали, що такий підхід не є оптимальним через малу рухомість стріли.

Другий підхід полягав у тому, щоб забезпечити незмінним хід поршня. Розроблений привід має нову кінематичну характеристику, яка по максимальних параметрах краща, але при цьому мінімальні розміри маніпулятора збільшилися.

Спроектований гідроциліндр розрахований по міцності і стійкості елементів, проведено розрахунок зусилля на штоці та порівняння з штатним виконанням.

Цех, в якому працює маніпулятор перевірено по нормам охорони безпеки по електробезпеці, санітарно-гігієнічному стані, системі опалення, освітленості, пожежній та вибухобезпеці.

Розроблена технологія виготовлення елемента гідроциліндра, а саме передньої внутрішньої кришки. Вона виготовляється на токарно-фрезерному станку, протягом розрахованого часу. Після чого було підібрано матеріал заготовки, витратні матеріали, інструменти, станки та визначено загальну ціну одиниці продукції.

					МА 71.14.ДП.001.000.000 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арт.	№ документа	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури

1. Попов Е. П., Верещагин А. Ф., Зенкевич С. Л. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. — М.: Наука, 1978. — 400 с.
2. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем.- М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005. — 384 с.; ил. ISBN 5-7038-2207-6
3. IBM Manufacturing System:  
[https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/robotics/robotics\\_3.html](https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/robotics/robotics_3.html)
4. Документація Kawasaki robotics Dual Arm Scara Robot  
[https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Asia-Oceania/kawasaki\\_Dual-Arm\\_Scara\\_Robot.pdf](https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Asia-Oceania/kawasaki_Dual-Arm_Scara_Robot.pdf)
5. Документація Kawasaki robotics K-Series Robot  
[https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Asia-Oceania/Kawasaki\\_K-Series.pdf](https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Asia-Oceania/Kawasaki_K-Series.pdf)
6. Стаття А. Gasparetto, L. Scalera «A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century» [https://file.scirp.org/Html/2-2810274\\_90517.htm](https://file.scirp.org/Html/2-2810274_90517.htm)
7. Б. Малоне George Devol: A Life Devoted to Invention, and Robots. — 26 sep. 2011.
8. Булгаков, А.Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. - М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2007. - 488с. : ил. ISBN 978-5-91359-013-8.
9. Е. В. Герц, А. И. Кудрявцев, О. В. Ложкин и др. Пневматические устройства и системы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1981. — 408с.
10. Документація WayCon Incremental Encoder B36  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/encoders/Incremental-Encoder-B36.pdf>
11. Документація WayCon Ultrasonic Sensor UX Micro  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/ultrasonic-sensors/Ultrasonic-Sensor-UX-Micro.pdf>

12. Документація Posital inclinometers AKS-090-2-CA01-HK2-PW;  
<https://www.posital.com/en/products/inclinometers/tiltix-product-finder/AKS-090-2-CA01-HK2-PW/167743401/detail.php>
13. Документація WayCon Magnetostrictive Transducer MSB Series  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/magnetostrictive-transducers/Magnetostrictive-Transducer-MSB.pdf>
14. Документація WayCon Laser Displacement Sensor LAS-T5  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/laser-sensors/Laser-Displacement-Sensor-LAS-T5.pdf>
15. Документація WayCon Linear Potentiometer LRW Series  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/linear-potentiometers/Linear-Potentiometer-LRW.pdf>
16. Документація WayCon Inductive Sensor LVPH Series  
<https://www.waycon.biz/fileadmin/inductive-sensors-lvdt/Inductive-Sensor-LVPH.pdf>
17. Brokk products overview <https://www.brokk.com/product/brokk-110/>
18. *Медведев В. С., Лесков А. Г., Ющенко А. С.* Системы управления манипуляционных роботов. — М.: Наука, 1978. — 416 с.
19. *Козлов В. В., Макарычев В. П., Тимофеев А. В., Юревич Е. И.* Динамика управления роботами. — М.: Наука, 1984. — 336 с.
20. *Фу К., Гонсалес Р., Ли К.* Робототехника / Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 624 с. — [ISBN 5-03-000805-5](#).
21. *Шахинпур, М.* Курс робототехники / Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 527 с. — [ISBN 5-03-001375-X](#).
22. М.С. Одарченко, А. М. Одарченко, В. І. Степанов, Я. М. Черненко  
Основи охорони праці. – М.:Стиль-Издат, 2017. – 334 с. – ISBN 966-7885-84-4
23. В.Г. Грибан, О. В. Негодченко Охорона праці. Навч. посіб. 2-ге вид. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 280с. ISBN 978-966-364-832-3

24. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.
25. М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 А 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912с.: ил.
26. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов.– М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.: ил.
27. Зрюкин, В.В. Точность механической обработки: методические указания по курсу «Технология машиностроения» для студентов заочного факультета. – Иваново: ИвТИ, 1973. – 64 с.: ил
28. Егоров, М.Е. Технология машиностроения [Текст]: учебник для вузов.– М.: Высшая школа, 1976. – 536 с.: ил.