

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

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

“ ___ ” _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

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

на тему: Лабораторний стенд для дослідження лінійного електроприводу

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-92

_____ Сливка Микола Миколайович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ доц., к.т.н. Зілінський А. І. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з охорони праці _____

(назва розділу)

_____ к.т.н. Ковтун А.І. _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з технології машинобудування _____ к.т.н., доц. Кореньков В.М. _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, 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 – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Навчально-науковий 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)

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Сливка Микола Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Лабораторний стенд для дослідження лінійного електро приводу,
керівник проєкту Зілінський Андрій Іванович, доц.

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

затверджена наказом по університету від “25” 05 2023 року № 1951-С

2. Термін подання студентом проєкту _____ до 20.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту: Хід штоку електро актуатора-100мм, Зусилля 6.8кН,
Підключення 24В, Швидкість руху V_{max} -18мм/с.

4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Сучасні застосування лінійних електро
приводів, Розділ 2. Розробка стенду та розрахунок гідроприводу на основі лінійного
актуатора, Розділ 3. Технологія виготовлення деталі, Розділ 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів,
презентацій тощо)

Пояснювальна записка, Креслення збірка гідроприводу, Схема гідравлічна
принципова, Деталювання гідроприводу, Загальний вигляд стенду, Специфікація.

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 27.03.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проектування	27.03.2023- 28.04.2023	Виконав
2	Проходження практики	18.04.2023- 21.05.2023	Виконав
3	Розробка проекту	28.04.2023- 11.05.2023	Виконав
4	Робота над проектом та виконання креслень	11.05.2023- 08.06.2023	Виконав
5	Оформлення дипломного проекту	08.06.2023- 16.06.2023	Виконав
6	Доопрацювання проекту	12.06.2023- 20.06.2023	Виконав
7	Захист дипломного проекту	20.06.2023- 25.06.2023	

Студент

_____ (підпис)

Микола СЛИВКА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Андрій ЗІЛІНСЬКИЙ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: Лабораторний стенд для дослідження лінійного електроприводу.

Київ – 2023 року

Анотація

Бакалаврська дипломна робота на тему: “Лабораторний стенд для дослідження лінійного електро приводу”, яка складається з чотирьох розділів.

Мета даної роботи полягає в розробці стенду, який дозволить ознайомитися з принципом роботи електро актуаторів, налаштування синхронної їх роботи, можливість порівняння гідравлічного проводу з електричним

Перший розділ відведений на аналіз сучасних застосувань лінійних електро приводів, їх видів, сфери застосування та можливість визначити актуальність даного продукту в сучасних технологічних рішеннях.

Другий розділ дипломної роботи складається з розробки стенду та розрахунку гідроприводу на основі лінійного актуатора, розробки гідравлічної та електричної схеми принципової , проведення необхідних гідравлічних розрахунків для неї, які дали можливість підібрати необхідне обладнання по аналогічних даним лінійного актуатора. Також, слід зазначити, що третій на четвертий розділ розроблені на основі даних другого розділу.

Дана робота містить 6 таблиць, 32 зображення та 28 літературних джерел.

Ключові слова: лабораторний стенд, електро лінійний актуатор, гідравлічний привід, мобільна техніка, прицевійні лінійні приводи.

ANNOTATION

A bachelor's thesis on the topic: "Laboratory bench for the study of linear electric drive", which consists of four sections.

The purpose of this work is to develop a bench that will allow you to get acquainted with the principle of operation of electric actuators, setting up their synchronous operation, the ability to compare hydraulic wire with electric wire.

The first section is devoted to the analysis of modern applications of linear electric drives, their types, scope and the ability to determine the relevance of this product in modern technological solutions.

The second section of the thesis consists of the development of a test bench and calculation of a hydraulic actuator based on a linear actuator, development of a hydraulic and electrical circuit diagram, and the necessary hydraulic calculations for it, which made it possible to select the necessary equipment based on similar data of the linear actuator. It should also be noted that the third and fourth chapters are based on the data of the second chapter.

This work contains 6 tables, 32 images and 28 references.

Keywords: laboratory bench, electric linear actuator, hydraulic actuator, mobile machine, precision linear actuators.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРО ПРИВОДУ	11
1.1 Чому потрібно обирати лінійні актуатори?	11
1.2 Вибір приводу під конкретне застосування	15
1.3 Принцип роботи та засоби керування.	18
1.4 Особливості та переваги лінійних приводів	19
1.5 Розвінчання міфів про перетворення гідравлічного приводу на електричний	20
1.5.1 Міф №1: Електричні приводи не можуть витримувати суворі умови.	21
1.5.2 Міф №2: Електричні лінійні приводи не такі надійні, як гідравлічні.	22
1.5.3 Міф № 3: Електричні лінійні приводи дорожчі	23
1.5.4 Міф №4. Електричні лінійні приводи ускладнюють конструкцію	24
1.6 Прицезійні лінійні приводи	26
1.6.1 Вибір між електромеханічними та рідинними лінійними приводами в проектуванні промислових систем	26
1.6.2 Прецизійні лінійні в переробній і пакувальній промисловості, вентиляційному обладнанні та транспортних засобах.	26
1.6.3 Прецизійні лінійні в позиціонуванні вантажів	27
1.6.4 Прецизійні лінійні приводи, чому вони є кращим вибором, та їх переваги	28
1.6.5 Прецизійні лінійні приводи в транспортно-розвантажувальній, пакувальній, медичній та електронній промисловості.	29
1.7 Застосування електромеханічних лінійних приводів на підйом капотів двигунів позашляховиків та мобільної техніки.	30
1.8 Система керування та контроль руху	33
1.9 Мета та задачі дипломного проєкту	36
1.10 Висновки до розділу.	37

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Сливка М.М.</i>			<i>Арк.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Провірів.</i>						7	72
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затв.</i>							

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТЕНДУ ТА РОЗРАХУНОК ГІДРОПРИВОДУ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОГО АКТУАТОРА	38
2.1 Визначення розмірів гідроциліндра	38
2.2 Визначення розмірів підводящих отворів	39
2.3 Визначення витрат та тисків в гідродвигунах.....	40
2.3.1 Визначення витрат	40
2.3.2 Визначення тисків	41
2.4 Вибір розмірів трубопроводів	42
2.5 Визначення втрат тиску на гідравлічне тертя.....	44
2.6 Розрахунок товщини стінки гільзи гідроциліндра:	46
2.7 Підбір обладнання:.....	47
2.7.1 Електро лінійний актуатор:.....	47
2.7.2 Насосна станція	49
2.7.3 Шестеренний насос.....	50
2.7.4 Розподільний клапан	50
2.7.5 Електродвигун.....	51
Висновки до розділу.....	51
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	52
3.1 Технологічний контроль креслення	52
3.2 Аналіз технологічності деталі та вибір заготовки	53
3.3 Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь	55
3.4 Вибір інструментальної оснастки	56
3.5 Інструментальні пристрої:.....	57
3.6 Вимірювальні пристрої:	58
3.7 Верстатні пристрої:.....	59
3.8 Висновок до розділу	59
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	60
4.1 Характеристики переміщення:	60
4.2 Аналіз мікрокліматичних умов та їх забезпечення:	61
4.3 Освітлення.....	62

4.3.1 Розрахунок освітленості	63
4.4 Пожежна безпека	65
4.5 Електробезпека.....	66
4.6 Висновок до розділу.....	67
Висновки	68
Використана література	70

					<i>ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

На даний час для отримання якісної освіти невід’ємним фактором є закріплення знань на реальних прикладах, тим не менш на лабораторних стендах. Лабораторні стенди є невід’ємною частиною освітнього процесу в багатьох галузях, зокрема в науці, техніці, інженерії та медицині.

Лабораторні стенди дозволяють студентам отримати теоретичні знання, які вони отримали на лекціях, у реальних ситуаціях. Вони можуть вивчати принципи та закони, проводячи експерименти, аналізуючи дані та виконуючи практичні завдання. Це все студентам дає глибше зрозуміти матеріал і бачити його практичну цінність.

Робота з лабораторними стендами покращує розвиток різноманітних навичок у студентів. Вони вчаться планувати та організовувати експерименти, збирати та обробляти дані, аналізувати результати та формувати висновки. Вони також навчаються працювати з науковим обладнанням, орієнтуються в лабораторних процесах та слідуєть правилам безпеки. Ці навички дозволяють розвиватися в їх майбутній професійній діяльності.

Лабораторні стенди часто вимагають співпраці та взаємодії між студентами. Вони працюють в команді, обмінюються ідеями, допомагають один одному та вчаться взаємодіяти в професійному оточенні. Це сприяє розвитку комунікативних та міжособистісних навичок. Розглядаючи певне завдання за стендом стимулюється критичне мислення та проблемні підходи. В студентів є можливість задати питання, формувати гіпотези, шукати рішення, проблеми та прогнозувати результати. Це розвиває їх здатність до аналітичного мислення та самостійного розв’язання задачі.

					<i>ДЛБ.МА9213.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1. СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРО ПРИВОДУ

1.1 Чому потрібно обирати лінійні актуатори?

Електричні лінійні приводи є універсальними, простими у використанні та доступними порівняно з іншими альтернативами. Вони забезпечують ефективне переміщення з ручного руху до силового за допомогою електрики, яка є простим та доступним джерелом енергії. Незалежно від джерела електрики - мережі, акумулятора чи іншого джерела - існують приводи для змінного та постійного струму з різними напругами. Це дозволяє легко підключати і запускати їх. Крім того, нові актуатори останнього покоління є розумнішими та міцнішими, що відкриває нові можливості застосування. Тому, там, де раніше потрібні були дорогі та складні рішення на замовлення, стандартний електричний привід часто є кращим вибором.



Рис.1.1 Лінійний електро актуатор

Ці моделі вбудовані в керуючі пристрої, що дозволяють поліпшити контроль за функціями, які раніше вимагали складних зовнішніх пристроїв. Вони відрізняються високою маневреністю та забезпечують можливість діагностики для підвищення ефективності і продуктивності.

Лінійні приводи є економічною альтернативою іншим приводам з кількох причин:

					ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

• Використання електричної енергії коштує менше, ніж гідравлічна або пневматична. Електричні приводи споживають енергію тільки під час переміщення, а на місці вони блокуються без додаткового витрати енергії.

- Кабелі є дешевшими, ніж трубки та шланги.
- Встановлення та закупівля кабелів є швидшими та простішими.
- Системи електричних приводів є компактними та не потребують багато місця.
- Мінімальне або відсутнє обслуговування зменшує загальні витрати.

Більш того, електричні приводи є екологічно чистими, оскільки вони не мають брудних компресорів, фільтрів, масел або інших забруднюючих речовин. Більшість з них можуть бути використані в чутливих середовищах без необхідності додаткової очистки. Електричні лінійні приводи від компанії "Thomson" також не потребують обслуговування - вони не вимагають періодичної перевірки або заміни. Електричні приводи не приховують додаткових витрат, що дозволяє уникнути неприємних сюрпризів протягом їх експлуатації.

Лінійні приводи широко використовуються в різних галузях, включаючи промисловість, автоматизацію, мехатроніку та робототехніку. Вони є важливими компонентами для перетворення обертального руху на лінійний, забезпечуючи точний та контрольований переклад сили та руху.

Одним з основних застосувань лінійних приводів є автоматизоване переміщення об'єктів в просторі. Вони можуть використовуватися на виробничих лініях для переміщення робочих деталей, у роботах для контрольованого руху сегментів або пристроїв, а також у системах позиціонування, де точність та повторюваність руху є важливими факторами.

					ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

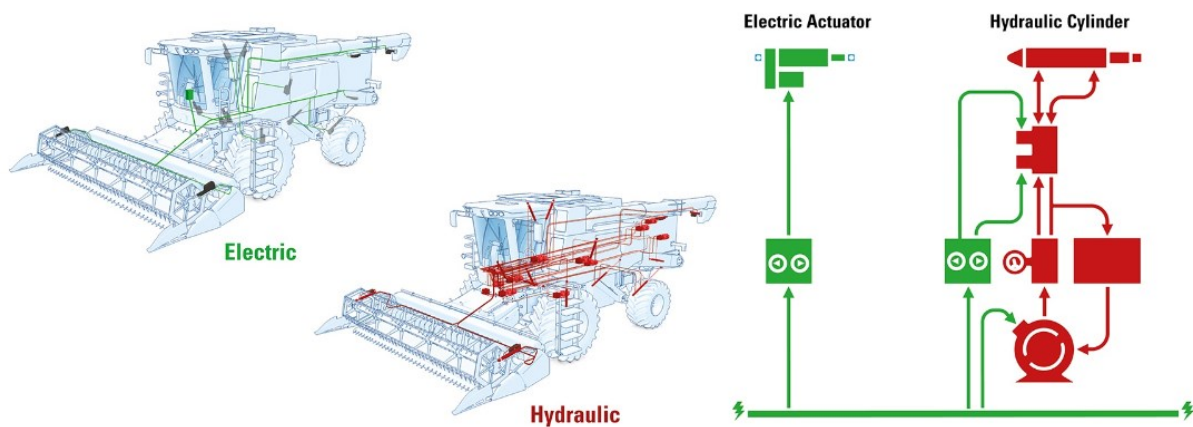


Рис.1.2 Погляньте на зображення вище, і ви легко зрозумієте, наскільки простішою може бути ваша система та чому так багато клієнтів перейшли на електрику

Лабораторний стенд, який використовує лінійний привід, може бути корисним для студентів, що вивчають аспекти механіки, автоматизації та контролю руху. Вони можуть використовувати лінійні приводи в вивченні законів руху, вимірювання сили та швидкості, аналізу кінематики та динаміки руху, а також для розробки та тестування алгоритмів керування.

Наприклад студенти можуть проводити експерименти з рухом лінійного приводу за допомогою різних сигналів керування, спостерігати за залежністю швидкості або сили від введених параметрів, аналізувати вплив різних факторів на рух системи. Це дозволяє їм краще розуміти принципи роботи лінійних приводів та розвинути навички практичного застосування у реальних системах.



Рис.1.3 Реалізація керування приводом

					<i>ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Ця проста система електричного приводу пропонує послідовну двонаправлену роботу, що вигідна як для виробників машин OEM, так і для кінцевих користувачів. Для OEM-виробників це означає зниження вартості, спрощення установки та більш ефективне рішення, що надає значну перевагу перед конкурентами. Кінцеві користувачі отримують покращений контроль над критичними операціями машини з високою точністю, а також нульову потребу в технічному обслуговуванні протягом усього терміну служби машини, що сприяє значному збільшенню продуктивності.

В цій системі основна думка полягає у тому, що електричний привід забезпечує надійну та ефективну роботу без складних механічних компонентів, що потребують обслуговування. Це означає, що машина може працювати більш тривалий час без необхідності у заміні або ремонті деталей, що зменшує витрати на утримання.

Завдяки високій точності і контролю, ця система дозволяє досягнути кращої якості продукції і покращити продуктивність машини. Кінцеві користувачі можуть отримати більш точні результати своєї роботи, що сприяє підвищенню ефективності і якості виробництва.

Крім того, ця система електричного приводу є простою у використанні і монтажі. Вона може бути швидко і легко інтегрована в існуючі машини або встановлена в нові конструкції. Це дозволяє зменшити час і витрати на встановлення, що стає додатковою перевагою для OEM-виробників і кінцевих користувачів.

					<i>ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

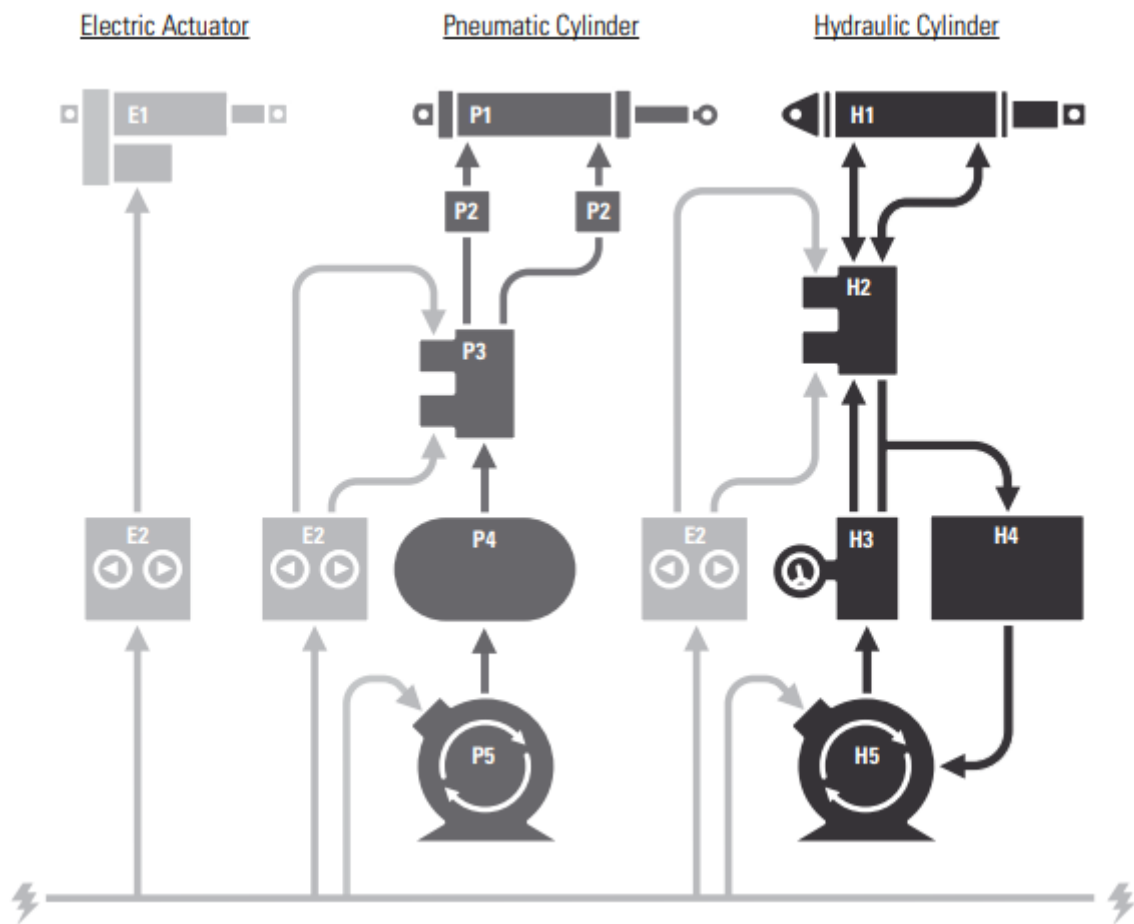


Рис.1.4 Приклад наповнення систем керування приводами

- | | | |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| E1. Електричний лінійний привід | P1. Пневматичний циліндр | H1. Гідроциліндр |
| E2. Електричні вимикачі | P2. Односторонні клапани регулювання потоку | H2. Клапан двостор. дії |
| | P3. Клапан двостор. дії | H3. Клапан скидання тиску |
| | P4. Бак стисненого повітря | H4. Резервуар гідравлічного мастила |
| | P5. Пневматичний повітряний Компресор | H5. Гідравлічний масляний насос |

На ілюстрації вище порівнюються три поширені, прості способи запуску електричного приводу, пневматичний циліндр і гідравлічний циліндр вперед і назад. Виявляється очевидним, пневматичний і гідравлічний циліндри вимагають складніших рішень, які вимагають докласти більше зусиль для складання та конструювання для потрібного режиму роботи системи.

1.2 Вибір приводу під конкретне застосування

Який тип приводу найкраще підходить для вашого застосування?

Знання того, який привод найкраще підходить для вашого застосування,

залежить від вашого робочого середовища. Це може бути важке зовнішнє середовище, де популярні гідравлічні приводи, швидко рухоме середовище в приміщенні, де звичайні пневматичні приводи, або чисте приміщення, де єдиним реалістичним варіантом є електричні приводи.

Основна відмінність між приводами полягає в потужності, яку вони можуть витримувати. Усі приводи перетворюють певну форму накопиченої енергії в рух, але їх здатність обробляти цю енергію та перетворювати її на фізичну роботу різна.

Це загальне застосування для трьох основних типів приводів:

Гідравлічні приводи: ніщо не може зрівнятися з гідравлічною потужністю для важких робіт. Стиснення рідини, як нафти, створює набагато більшу потужність руху, ніж стиснення газу, як повітря. Гідравлічна потужність також перевершує електричні приводи.

Пневматичні приводи: стиснене повітря не виробляє потужності, яку генерують гідравлічні приводи, але вони будуть сильнішими за приводи з електричним живленням. Пневматичні системи, як правило, працюють швидше, ніж гідравлічні та електричні приводи.

Електричні приводи: приводи, що працюють від електричного струму, мають свої переваги та недоліки. Хоча, як правило, не виробляють міцності, на яку здатні гідравлічні та пневматичні системи, вони чистіші та іноді економічно ефективніші.

Щоб оцінити, який привод найкраще підходить для вашої програми, ви повинні знати параметри його робочого середовища та те, що ви очікуєте від нього.

Є набагато більше міркувань, ніж міцність, які повинні впливати на вибір приводу.

Деякі важливі критерії:

					ДЛБ.МА9213.00.00.00ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- Нахил і поворот: необхідний ступінь руху
- Підйом і опускання: Регулювання лінійного ходу
- Положення, рух і ковзання: розміщення приводу
- Відкрити та закрити: перемикання приводу
- Натяг: Регулювання пристрою та системи

Усі три типи приводів мають унікальні особливості. Окрім конкретного застосування, яке ви маєте на увазі, перед вибором типу приводу слід враховувати й інші фактори.

Інші параметри для підбору:

- Ємність: кількість необхідної сили
- Напруга: важливо для електричних приводів або електричних компонентів
- Довжина ходу: необхідне вимірювання ходу
- Швидкість: необхідний час або швидкість роботи
- Робочий цикл: як часто привід відкривається та закривається
- Орієнтація: положення або напрямок встановлення
- Особливі вимоги: погодні умови, пожежа або вологе середовище

Існує більше факторів, які беруть участь у виборі правильного приводу для конкретного застосування. Однак ваш кінцевий вибір залежатиме від типу потужності, який ви оберете найкращим для вашого приводу.[2]

					<i>ДПБ.МА9213.00.00.00ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.3 Принцип роботи та засоби керування.

Принцип роботи електро лінійного актуатора базується на перетворенні електричної енергії в механічний рух. Він використовується для пересування або приведення в дію різних механізмів та систем.

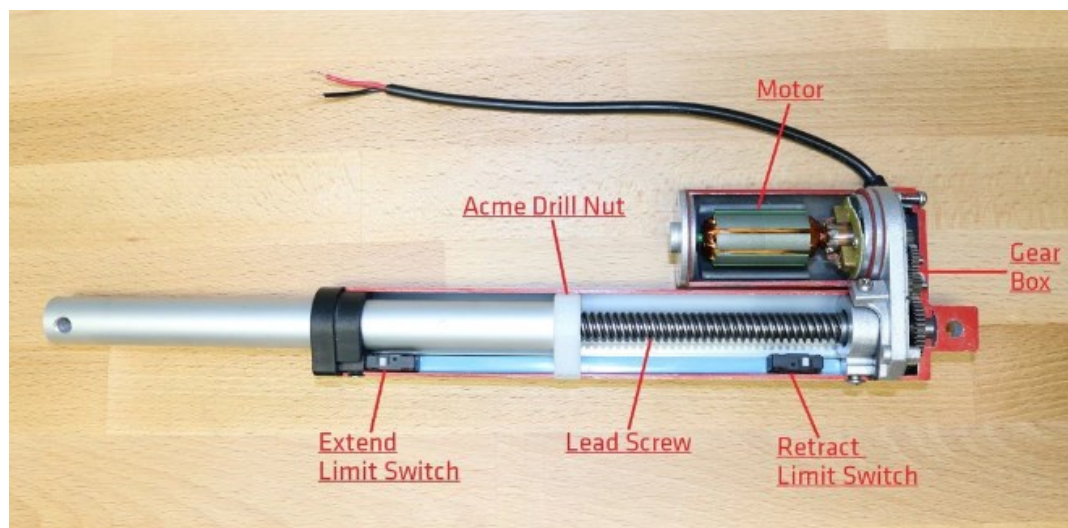


Рис1.5 Основні компоненти актуатора[3]

Основні компоненти електро лінійного актуатора включають:

1. Електричний двигун: це основний елемент, який перетворює електричну енергію в механічний рух. Двигун може бути різних типів, таких як постійного струму(ПС) або змінного струму(ЗС), залежно від конкретної конструкції актуатора.

2. Лінійний виконавчий механізм: механізм, який перетворює обертальний рух двигуна в лінійний рух. Він може включати гвинтовий вал, шестерні, рейки або інші механічні елементи, що забезпечують рух по прямій лінії.

3. Контроллер: це електронний пристрій, який керує роботою електро-лінійного актуатора. Він приймає сигнали керування (наприклад, з кнопок або з датчиків) і керує подачею електричного струму до двигуна, що визначає напрямок, швидкість і сили руху актуатора.

Процес роботи електро лінійного актуатора включає наступні етапи:

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Сигнали керування: Користувач або система надсилає сигнали керування до контролера актуатора. Ці сигнали визначають напрямок руху, швидкість та потрібну позицію актуатора.

2. Керування електричним струмом: Контроллер обробляє сигнали керування і регулює подачу струму до двигуна актуатора. Залежно від напрямку руху, контроллер змінює полюси двигуна для забезпечення руху в потрібному напрямку.

3. Механічний рух: після отримання електричного струму, двигун почанає обертатися, передаючи рух на лінійний виконавчий, який в свою чергу перетворює обертальний рух в лінійний, ззабезпечуючи перміщення актуатора.

4. Досягнення потрібної позиції: Контроллер моніторить рух актуатора та забезпечує його зупинку, коли досягнуто потрібної позиції або отримано відповідний сигнал з зовнішніх датчиків.

1.4 Особливості та переваги лінійних приводів

- Електричні приводи – вдосконалені компоненти, які забезпечують економію часу і коштів, підвищуючи продуктивність. Вони пропонують високу ефективність та тривалий життєвий цикл без потреби в технічному обслуговуванні. Ці приводи мають інтегровані елементи керування, вантажопідйомність, компактність, легку вагу та тиху роботу. Також вирізняються екологічною стійкістю, надійністю та енергоефективністю.

- Однією з особливостей електричних приводів є їх бортова електроніка, яка включає розширені функції керування, такі як перемикання, зворотній зв'язок положення та діагностика системи. Ця інтеграція спрощує комунікацію сім приводами і зовнішніми мережами.

- Також варто відзначити поліпшені параметри контролю та зворотнього зв'язку у електричних приводах. Завдяки підтримці шини CAN J1939, ці приводу пропонують найкращі засоби керування, включаючи

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторинг струму, кінцеві вимикачі ходу, динамічне гальмування, синхронізацію і перемикання низького рівня.

- Забезпечення покращеної функціональності і продуктивності машин. Електричні приводи здатні працювати з важкими завданнями, що виходять за межі традиційних лінійних приводів, завдяки вищій вантажопідйомності і більшій довжині ходу.

- Також електричні приводи мають переваги у зменшенні компонентів та кабелів. Порівняно з гідравлічними циліндрами, які потребують складної зовнішньої системи шлангів, з'єднувачів, фільтрів, перемикачів, клапанів і насосів, електричні приводи містять усі необхідні компоненти в корпусі приводу, що спрощує монтаж і зменшує ризик витoku небезпечних рідин.

- Крім того, електричні приводи є екологічно стійкими і мають неперевершений захист від навколишнього середовища. Вони пройшли найсуворіші випробування OEM на механічні й електронні компоненти, і мають високий рівень захисту від проникнення й соляних туманів.

Загалом вибір електричних приводів призводить до зменшення витрат завдяки підвищенню ефективності і продуктивності, скороченню кількості компонентів, мінімізації технічного обслуговування і інших переваг.[4]

1.5 Розвінчання міфів про перетворення гідравлічного приводу на електричний

Багато виробників позашляхового обладнання замінили гідравлічні циліндри електричними приводами, щоб усунути насоси, шланги та клапани та зробити транспортні засоби меншими, легшими та тихішими. Вони скористалися перевагами гнучкості взаємодії з системами керування, щоб надати широкий спектр нових функцій і можливостей. Наприклад, електричні приводи можуть легко взаємодіяти з контролером транспортного засобу для виконання складних рухів, таких як їзда на велосипеді певну кількість разів у

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різних положеннях, що призводить до покращення роботи та продуктивності машини на бездоріжжі. Сьогодні переваги електричних приводів можна реалізувати в додатках зі статичними навантаженнями до 22кН і динамічними навантаженнями до 14кН фунтів, при цьому значення навантаження збільшуються з кожним роком. Наразі гідравлічні циліндри потрібні для більших навантажень або під час переміщення вантажів із 100% робочим циклом. Але виникли певні міфи про електричні лінійні приводи, які сповільнили їх впровадження в багатьох сферах застосування, де вони потенційно пропонують значні переваги для OEM і кінцевих користувачів. У решті цієї статті ми детально розглянемо ці міфи та обговоримо можливості інтеграції електричних лінійних приводів у позашляховики та техніку, включаючи транспортні засоби для відпочинку, штанги обприскувачів, снігоочисники, газон, садове, будівельне та сільськогосподарське обладнання.

1.5.1 Міф №1: Електричні приводи не можуть витримувати суворі умови.

Технологія застосування гідравлічних приводів в промисловості використовувалася протягом багатьох років і відома своєю міцністю та надійністю в умовах високих навантажень, вібрації, пилу, вологи та інших небезпек. Також гідравлічні приводи мають перевагу потужності над електричними приводами, що покращує їх продуктивність в складних умовах. Однак, за останнє десятиліття питома потужність та міцність електричних приводів значно покращилася, тоді як гідравлічні приводи майже не отримали подібних вдосконалень.

Покращення в електричних приводах відбулися завдяки прогресу в магнітних матеріалах, ефективності гвинта, конструкції та електроніці. Це дозволило передавати більше потужності при високій ефективності. Конструкція коробки передачі руху також була оптимізована для електричних приводів, що призвело до підвищення потужності та зменшення ваги приводу.

Сучасні електро лінійні приводи, призначені для роботи в

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

промисловості, були розроблені під суварі умови. Вони витримують високі механічні навантаження завдяки аналізу кінцевих елементів та захисту від ударів і вібрацій. Вдосконалення також включають в себе використання роз'єму в корпусі замість джгута проводів для керування двигуном, що поліпшує геометричність та запобігає замиканню двигуна.

Отже, сучасні електро лінійні приводи є міцними та надійними, подібно до гідравліки. Вони мають покращену потужність та інші переваги, що дозволяють їм успішно працювати в складних умовах. [5]

1.5.2 Міф №2: Електричні лінійні приводи не такі надійні, як гідравлічні.

Міф про більшу надійність гідравлічних приводів може походити від попередніх проблем з надійністю старіших моделей електричних лінійних приводів. Проте сучасні електричні лінійні приводи виграють у надійності завдяки покращеній технології. Вони мають просту конструкцію з меншою кількістю можливих точок відмови, порівняно зі складними гідравлічними системами.

Електричні лінійні приводи не потребують технічного обслуговування і мають менше ймовірності поломок через відсутність потреби в обслуговуванні. Гідравлічні системи, натомість, вимагають регулярного обслуговування, включаючи заміну рідини та фільтрів, а також підтримку рівня рідини в системі. Гідравлічн рідина швидко забруднюється в непридатних умовах і може пошкодити компоненти системи, що призводить до ремонту або заміни.комплексні гідравлічні системи, які декількома осями, можуть бути схильні до проблем, які можуть впливати на роботу всього обладнання.

Крім того, гідравлічні системи мають обмежену можливість утримувати навантаження без живлення. Наприклад, при розриві шланга або клапана

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність гідравліки утримувати навантаження значно погіршується. З іншого боку, електричні приводи забезпечують тривалий час утримання навантаження без живлення та мають можливість точного регулювання.

Таким чином, електричні лінійні приводи стали альтернативою в багатьох застосуваннях, забезпечуючи надійну роботу та простоту експлуатації. [5]

1.5.3 Міф № 3: Електричні лінійні приводи дорожчі



Рис.1.6. Чому лінійні приводи дорожчі[6]

Головна мета лінійних приводів полягає у досягненні високої ефективності та якості. Це охоплює всі аспекти, починаючи від витрат на виробництво та тестування, отримання необхідних сертифікатів, аж до складання складних компонентів. Усі ці фактори впливають на вартість лінійного приводу, забезпечуючи його оптимальну функціональність. Крім того, важливо враховувати логістику доставки цих продуктів від виробника до дистриб'ютора.[6]

Уявлення про високу вартість електро лінійних приводів може виникати через необхідність компонентів, таких як двигун, ходовий гвинт і коробка передачі руху для кожної вісі, порівняно з гідравлічними приводами. Однак, гідроциліндр – це лише один з компонентів гідравлічної системи, яка включає

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клапани, шланги, фітинги. Крім того, економіка приводу залежить від кількості осей, які потребують управління. Зазвичай, коли гідравлічна система керує лише кількома осями, електричні лінійні приводи можуть бути дешевшим варіантом. Крім того, експлуатаційні витрати електричних приводів, зазвичай, нижчі, адже вони вимагають тільки енергію під час переміщення, тоді як гідравлічні системи мають постійні втрати.

Електричні лінійні приводи також є простішими у встановленні та не потребують такого ж рівня технічного обслуговування, як гідравлічні приводи. [5]

1.5.4 Міф №4. Електричні лінійні приводи ускладнюють конструкцію

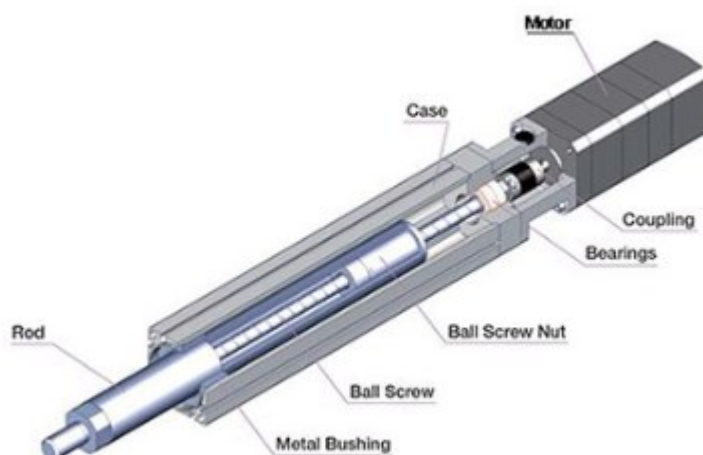


Рис1.7 Електричні лінійні приводи[7]

Ідея про ускладнення процесу проектування електричних лінійних приводів може походити від того, що багато промислових виробництво не використовують їх. Додавання електро приводів потребує роботи з двома типами приводів замість одного, що може бути складним. Багато інженерів, що працюють з різними типами обладнання на виробництві, не мають досвіду роботи з електричними лінійними приводами. Однак, сучасні електричні приводи стали простішими в використанні, ніж гідравлічні. Вони постачаються як інтегровані системи, що потребують лише підключення двох

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

проводів та подвійного перемикача. Визначення розміру приводу стало легшим завдяки трьом простим крокам: вимірювання навантаження, визначення робочого циклу та вказання довжини ходу. Навантаження можна визначити за допомогою програмних пакетів або вимірювань за допомогою тензодатчика.

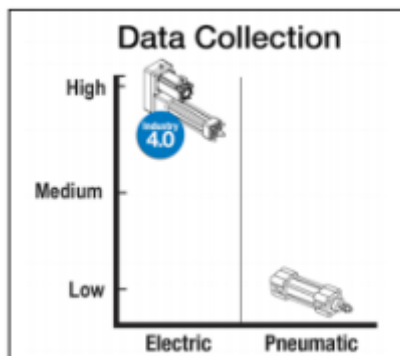


Рис1.8 Характеристика даних[8]

Керування електродвигунами та електроприводами вже давно вдосконалюється, тому вони використовують більш досконалі системи керування. Збір даних легше реалізувати, оскільки багато з цих функцій вже включені. Більша кількість протоколів зв'язку промислових мереж, таких як EtherNetIP, Profinet та EtherCAT, доступні для підключення до різних ПЛК, НМІ та ІРС. Хоча пневматичні та гідравлічні приводи також розвиваються, може бути складно наздогнати момент, коли дані можна буде використовувати для керування процесом у режимі реального часу.[8]

Виробники легко налаштовують електричні лінійні приводи для різних застосувань. Принцип одного приводу і однієї осі дозволяє інженерам зосередитися на проектуванні осі без взаємодії з іншими приводами. На відміну від цього, гідравлічні приводи вимагають уваги до відключення електроенергії і її впливу на інші осі.

Проаналізувавши ці міфи, стає зрозуміло, що електричні лінійні приводи є чудовою альтернативою гідравліці в багатьох бездоріжжях. Міцність електричних лінійних приводів покращилася за останні роки до такого рівня,

що вони такі ж міцні та надійні, як і гідравлічні приводи. Вони також нечутливі до проблем, які можуть викликати серйозні проблеми з гідравлікою, таких як забруднення або коливання температури. Вартість електричної системи залежить від застосування та, як правило, нижча, ніж гідравліка в одно-, дво- та тривісних застосуваннях. Нарешті, сучасні інтегровані електричні лінійні приводи дуже просто вмонтувати в будь-який тип позашляхового обладнання.[5]

1.6 Прицевійні лінійні приводи

1.6.1 Вибір між електромеханічними та рідинними лінійними приводами в проектуванні промислових систем



Рис.1.9 Застосування прецизійного приводу

1.6.2 Прецизійні лінійні в переробній і пакувальній промисловості, вентиляційному обладнанні та транспортних засобах.

Електромеханічні приводи забезпечують значні переваги в більш складних застосуваннях, оскільки вони забезпечують інженеру повний контроль над профілем руху. Багато приводів мають вбудовані енкодери, які можна використовувати для точного контролю швидкості та положення. Інші також дають вам можливість контролювати та контролювати крутний момент і, отже, прикладену силу. Електромеханічні системи приводу можна програмувати, тому профіль сили та руху можна змінювати в програмному забезпеченні без необхідності вимикати та переконфігурувати машину.

Інженер виробника обладнання для видувного формування, який

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

перейшов з пневматичних приводів на електромеханічні, прокоментував: «Електромеханічні приводи швидші та більш передбачувані. У минулому коливання тиску повітря в машині спричиняли зміну процесу. Завдяки електромеханічному приводу ми маємо більше можливостей керування, оскільки ми можемо змінювати швидкість і весь профіль руху. Це призвело до кращої якості деталей і меншої кількості відмов».[9]

1.6.3 Прецизійні лінійні в позиціонуванні вантажів



Рис.1.10 Позиціонування двигуна на приводі

Загальна вартість володіння є важливим фактором майже в кожному застосуванні. Приводи, що працюють на рідині, зазвичай мають економічну перевагу в програмах, де джерело живлення вже доступне, оскільки для додавання нової осі потрібні лише циліндр, клапани, шланги та фітинги. З іншого боку, електромеханічні приводи зазвичай дешевші в тих випадках, коли рідинне живлення недоступне або використовується рідинне живлення, але для роботи з новою віссю необхідно ввести додаткову потужність. Як зазначалося раніше, споживання енергії також є важливим фактором при розгляді загальної вартості володіння. Час, потрібний для повернення початкової вищої премії, сплаченої за електромеханічні приводи, природно, буде відрізнятися залежно від конкретного застосування, але нерідко це відбувається менше ніж за рік через зниження споживання енергії.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Електромеханічні приводи також зменшують складність процесу проектування, оскільки їх легше специфікувати та проектувати, ніж пневматичні або гідравлічні приводи. Щоб визначити розмір приводу для конкретного застосування, потрібно виконати лише три кроки: виміряти навантаження, визначити робочий цикл і вказати довжину ходу та втягування. Навантаження можна визначити за допомогою програмних пакетів, які імітують механічні системи, або шляхом виконання вимірювань за допомогою тензодатчика на приводі. Електромеханічні приводи можуть бути легко налаштовані виробником відповідно до вимог будь-якого застосування шляхом зміни передавальних чисел, ходового гвинта, двигуна та параметрів електронного керування, щоб передбачувано впливати на ключові змінні продуктивності.[9]

1.6.4 Прецизійні лінійні приводи, чому вони є кращим вибором, та їх переваги



Рис.1.11. Прецизійний привод

Підсумовуючи, можна сказати, що три основні чинники спонукають до переходу від гідравлічної енергії до електромеханічних рішень. По-перше, це підвищення продуктивності шляхом покращення керованості, скорочення часу перемикання та підвищення точності та надійності. По-друге, зменшити експлуатаційні витрати машини за рахунок підвищення енергоефективності, збільшення часу безвідмовної роботи та скорочення технічного обслуговування. По-третє, електромеханічні системи є чистішими та

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

тихішими, ніж системи рідинного живлення. Постачальники електромеханічних приводів можуть допомогти виробникам комплектного обладнання визначити ідеальний привод для застосування, збалансувавши вартість з продуктивністю та надійністю.[9]

1.6.5 Прецизійні лінійні приводи в транспортно-розвантажувальній, пакувальній, медичній та електронній промисловості.



Рис.1.12 Транспортно-розвантажувальна лінійка з застосуванням прецизійного електро приводу

Великий виробник упаковки знайшов значні переваги в системі електричного приводу їхніх машин, яка дозволяє контролювати профіль руху та легко змінювати тривалість циклу, регулюючи обсяг продукту та швидкість лінії машини. Ця система електричного приводу пропонує різні швидкості руху залежно від етапу процесу.

На початковому етапі руху привід працює з високою швидкістю, але без значної сили. Головна мета цього етапу полягає у швидкому переміщенні до необхідної позиції. Під час самого пресування продукту привід сповільнюється до нижчої швидкості, що дозволяє контрольовано пресувати продукт з необхідною силою та точністю. Після цього привід повертається з високою швидкістю до початкового положення.

Цей профіль руху дозволяє забезпечити потрібну плавність для продукту з особливими характеристиками. Крім того, ця система електричного приводу мінімізує споживання електроенергії, оскільки

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроенергія витрачається лише під час активної роботи приводу.

Загалом, ця система електричного приводу дозволяє виробнику упаковки отримати значні переваги у контролі профілю руху та зміні тривалості циклу. Вона забезпечує швидке переміщення на позицію, контрольоване пресування та швидкий поворот приводу. Такий профіль руху виконується з мінімальним споживанням електроенергії, що сприяє ефективності та економії ресурсів.[10]

1.7 Застосування електромеханічних лінійних в мобільній техніці



Рис.1.13 Реалізація підйому причепу

Електричні лінійні приводи Thomson із зв'язком по шині CAN J1939 забезпечують ефективне керування продуктивністю для садових, будівельних і службових транспортних засобів.

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

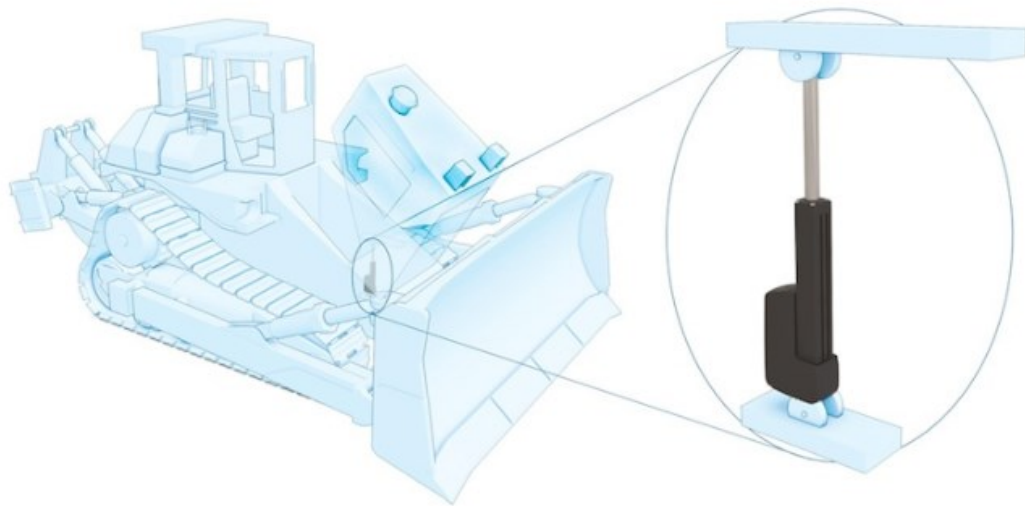


Рис1.14 Регулювання положення ковша бульдозера

Вбудована підтримка стандарту шини SAE J1939 CAN відкриває нові захоплюючі можливості для інтеграції електромеханічних приводів у сільськогосподарські, будівельні та мобільні види техніки. Стандарт шини SAE J1939 CAN (Controller Area Network) є промисловим протоколом комунікації, який забезпечує стандартизований спосіб обміну даними між різними компонентами транспортних засобів і машин.

Завдяки підтримці стандарту SAE J1939 CAN, електромеханічні приводи можуть передавати дані про свій стан, параметри роботи, вимоги до налаштувань і контрольні сигнали через шину CAN до інших пристроїв у системі. Це дозволяє забезпечити взаємодію та координацію роботи різних компонентів системи, що сприяє покращенню продуктивності, ефективності та керованості.

Таким чином, вбудована підтримка стандарту шини SAE J1939 CAN відкриває нові можливості для електромеханічних приводів у сільськогосподарських, будівельних та мобільних видах техніки, дозволяючи їм легко інтегруватись у систему, взаємодіяти з іншими компонентами та забезпечувати ефективну та надійну роботу у вимогливих умовах. [10]



Рис.1.15 Міні екскаватор CAT[12]

В останні роки в будівельній галузі зростає інтерес до використання автономних екскаваторів замість людей-операторів. Це пов'язано з високими витратами на оплату праці кваліфікованих операторів та ризиком для їхньої безпеки. Автономні екскаватори можуть працювати без оператора на майданчику, а одна людина може керувати кількома машинами віддалено, плануючи завдання та контролюючи їх виконання.

Перехід до автономних екскаваторів може принести значну економію часу та коштів у довгостроковій перспективі. З урахуванням глобального потепління та дефіциту викопного палива, зростає попит на електричні транспортні засоби та машини. Екскаватори споживають значну кількість енергії, а гідравлічні екскаватори втрачають енергію через шланги, клапани та з'єднувачі. Використання електричних приводів може знизити втрати енергії, оскільки вони не потребують шлангів та клапанів.

Таким чином, дослідження спрямоване на розробку автономних екскаваторів з використанням електричних лінійних приводів, що дозволить зменшити витрати на оплату праці, поліпшити безпеку операторів та знизити споживання енергії. Додатково проводиться аналіз траєкторій руху та розробка алгоритмів для оптимального копання з мінімізацією витрат та впливу на довкілля.[12]



Рис.1.16 Лінійні актуатори в автомобілях[13]

З розвитком електроніки та магнітів електричні лінійні приводи стали дуже потужними, довговічними та надійними. В результаті більшість лінійних приводів зараз використовуються в автомобільній промисловості для відкривання дверей, багажників, дахів тощо. Найчастіше електричні лінійні приводи використовуються в автомобілях. Ці приводи відкривають і закривають двері одним натисканням кнопки, тим самим значно полегшуючи вам життя.[12]

1.8 Система керування та контроль руху

Вбудована підтримка стандарту шини SAE J1939 CAN в електромеханічних приводах пропонує покращений контроль руху, який доповнює моніторинг стану. Основні функції, які все частіше інтегруються в ці приводи, включають:

1. Перемикання потужності низького рівня: За допомогою бортової електроніки для керування живленням, використовуються менші

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

енергоефективні реле або незалежні контролери, що дозволяє створити простішу та економічнішу систему.

2. Аналоговий зворотний зв'язок позиції: Додавання безконтактного потенціометра дозволяє отримати сигнал напруги, що вказує на положення, швидкість та напрямок приводу, покращуючи його керуваність.

3. Цифровий зворотний зв'язок позиції: За допомогою одноканального кодера імпульсного сигналу можна синхронізувати приводи або передавати інформацію про положення та швидкість.

4. Динамічне гальмування: Бортова електроніка контролює динамічне гальмування, яке дозволяє приводу точно зупинитися після відключення живлення, уникаючи небажаного вибігання, що може вплинути на повторюваність та точність руху.

5. Вихід кінцевого вимикача: Важливо знати, коли привід досяг кінця свого ходу з міркувань безпеки та продуктивності. Наявність вихідного сигналу, наприклад, світлодіодного індикатора, може попередити оператора про досягнення кінця ходу та захистити його від небезпечних умов.

6. Внутрішні кінцеві вимикачі: Ці вимикачі автоматично відключають привід у кінці його ходу, уникавши механічних ударів та подовжуючи термін його служби.

Підтримка SAE J1939 додає модульності та гнучкості

Зв'язок шини SAE J1939 CAN — це стандарт, який за останні 15 років набув значного поширення на ринку сільськогосподарського та будівельного обладнання. Використовуючи електричні приводи з сумісністю з J1939, розробники обладнання та кінцеві користувачі повністю користуються перевагами моніторингу стану та розширених можливостей керування. [14]

Завдяки вбудованій сумісності з J1939, привід «розмовляє» тією ж мовою, що й електронний блок керування обладнанням (ECU), що дозволяє йому спілкуватися через мережу, що складається з крученої пари проводів. Для роботи традиційних електричних приводів потрібен автономний ECU.

У традиційних комунікаційних схемах привід підключається до ECU

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лише через автономний контролер (рис. 1.11).

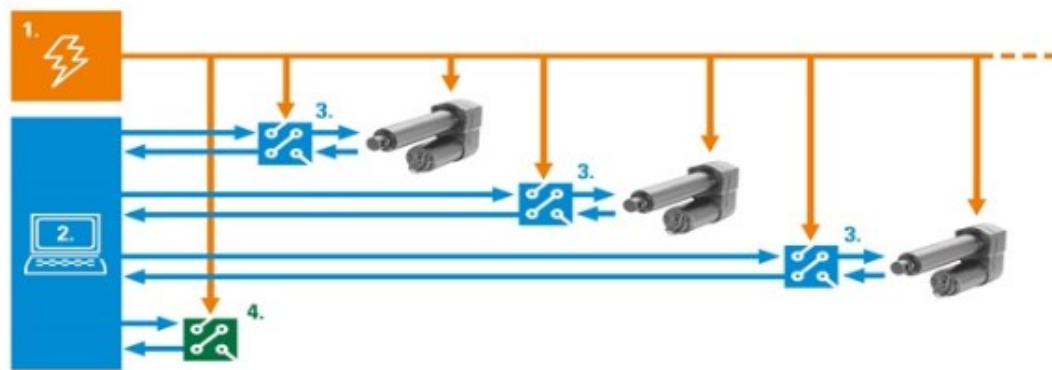


Рис.1.17 – Система без шини CAN

Однак, використовуючи інтелектуальні приводи, які сумісні зі стандартом шини CAN J1939, можна керувати декількома приводами в мережі через один головний ECU. Це відкриває раніше недоступні можливості для більш складних стратегій контролю. Це також додає значної гнучкості, оскільки той самий привод можна використовувати в різних програмах.

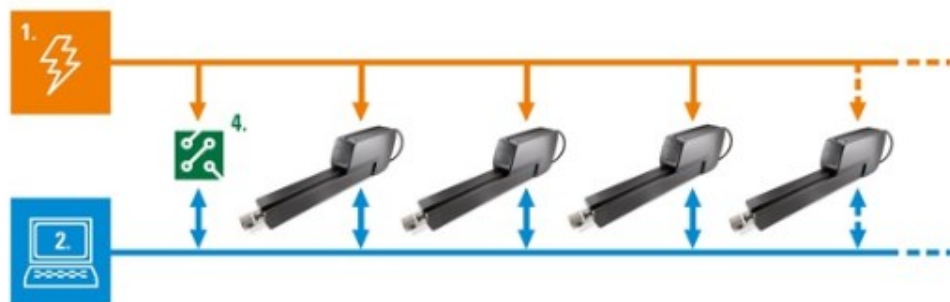


Рис.1.18 – Система з CAN-шиною

Також є значна економія часу та вартості проектування, а також значне скорочення проводки. Раніше для встановлення приводу в ECU потрібен був спеціальний кабель зв'язку з цим ECU, товстий кабель живлення до батареї обладнання та реле або перемикач. Актуатор із вбудованою сумісністю просто підключається до шини J1939, що забезпечує більш ефективне підключення до джерела живлення.

Використання стандарту шини SAE J1939 CAN у електромеханічних приводах також приводить до значної економії часу і коштів при проектуванні, а також спрощення проводки. Раніше для підключення приводу до ECU

(електронної блоку управління) потрібні були окремі кабелі зв'язку, живлення від батареї та використання реле або перемикачів. Актуатори зі вбудованою підтримкою J1939 просто підключаються до шини J1939, що дозволяє більш ефективно підключати їх до джерела живлення.

Це означає, що для інтеграції електромеханічних приводів не потрібно проводити додаткові кабелі для зв'язку з ECU, що спрощує процес проектування. Крім того, використання шини J1939 дозволяє передавати сигнали керування та інформацію про стан привода через один кабель, що допомагає скоротити проводку і зменшити витрати на матеріали.[14]

1.9 Мета та задачі дипломного проєкту

Після аналізу існуючих рішень та методів експлуатації лінійних електроприводів метою даного проєкту є розробка лабораторного стенду, який дозволить проводити дослідження лінійних електро приводів(актуаторів), вичати принципи їх роботи та їх динамічні характеристики, провести розрахунок гідроприводу на основі отриманих даних електроактуатора та порівняти їх продуктивність.

Для досягнення цілі необхідно вирішити такі задачі:

1. Розробити дизайн лабораторного стенду, включаючи гідропривід, систему керування та регулювання параметрів приводу.
2. Розрахувати параметри гідроприводу з основних параметрів обраного лінійного актуатора, визначити його продуктивність.
3. Вибрати та зібрати основні компоненти для лабораторного стенду, включаючи гідравлічний привід спроектований по заданим характеристикам, насосну станцію, системи керування.
4. Монтаж , налаштування та інтеграція всіх компонентів.

В результаті очікується розробка функціонального лабораторного стенду, здатного досліджувати та аналізувати роботу лінійного електро приводу, порівнюючи з роботою гідросистеми.

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

1.10 Висновки до розділу

Розглянуто сучасні інженерні рішення в застосуванні електро лінійних приводів, їх характеристику, основні їх види. Було проведено аналіз чи визначено переваги та особливості електродієвих приводів відповідно гідравлічних та пневматичних циліндрів та їх систем. Наведено приклади, як налаштувати синхронну роботу декількох приводів та яким чином це впливає на ефективність виробничого процесу.

Поставлено мету та задачі на розробку лабораторного стенду, де можна буде оцінити вплив електричних характеристик, навантаження та способу керування на рух електроприводу та гідроприводу. Це дозволить отримати необхідні параметри та надасть висновок про доцільність використання даних систем в конкретних умовах.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						37
<i>Зм..</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТЕНДУ ТА РОЗРАХУНОК ГІДРОПРИВОДУ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОГО АКТУАТОРА

2.1 Визначення розмірів гідроциліндра

Початкові данні з завдання, необхідні для розрахунку розмірів основного гідроциліндра:

Корисне зусилля основного циліндра:

$$P = 6.8\text{кН} = 6800\text{Н}$$

Робочий тиск основного циліндра:

$$p = 12.5\text{МПа} = 12500000\text{Па}$$

Довжина ходу основного циліндра:

$$l = 100\text{мм} = 0.1\text{м}$$

Оскільки у основного циліндра початкове положення - шток втягнуто, він працює на стиск при виштовхуванні поршня. Внутрішній діаметр гідроциліндра D визначаємо за формулою [1]

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \left(\frac{p_1}{\psi} - p_2 \right) \eta_M}} \quad (2.1)$$

де D внутрішній діаметр гільзи, p_1 тиск в напірній лінії, p_2 тиск в зливній лінії, ψ коефіцієнт відношення площ, η_M механічний ККД гідроциліндра, P корисне зусилля основного циліндра.

При розрахунку попередньо приймаємо

$$p_1 = 12.5\text{МПа} = 12500000\text{Па}$$

$$p_2 = 0.5\text{МПа} = 500000\text{Па}$$

Коефіцієнт відношення площ обираємо для циліндра із нормальним діаметром штока.

$$\psi = 1.33$$

Механічний ККД вибираємо для гідроциліндра з манжетними ущільненнями.

$$\eta_M = 0.95$$

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо внутрішній діаметр циліндра за формулою (2.1), домножуємо на 1000, щоб отримати значення в мм:

$$D = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi \left(\frac{p_1}{\psi} - p_2\right) \eta_M}} = 0.32\text{м} = 32\text{мм}$$

Округляємо до найближчого значення

$$D = 32\text{мм} = 0.032\text{м}$$

Визначаємо діаметр штока зі співвідношення:

$$d = D \sqrt{1 - \frac{1}{\psi}} = 0.0159\text{м}$$

Округляємо до найближчого значення

$$d = 16\text{мм} = 0.016\text{ м}$$

2.2 Визначення розмірів підводящих отворів

Визначаємо діаметр підводящих отворів основного циліндра

$$d_{1,\text{п}} = \sqrt{\frac{4 * Q_{1,\text{max}}}{\pi * v_p}} \quad (2.2)$$

де $d_{1,\text{п}}$ діаметр підводящих отворів основного циліндра, $Q_{1,\text{max}}$ максимальна витрата рідини через прохідний отвір основного циліндра,

P корисне зусилля основного циліндра, p робочий тиск основного циліндра, d діаметр штока, v_p середня швидкість руху рідини.

Визначаємо максимальну витрату для основного циліндра.

Площа поршневої порожнини основного циліндра:

$$F_1 = \frac{\pi * D^2}{4} = 8\text{см}^2$$

Швидкість ШВ/ШВ:

$$v_{\text{ш}} = \frac{1.08\text{м}}{\text{хв}} = \frac{0.018\text{м}}{\text{с}}$$

Максимальна витрата рідини через прохідний отвір основного циліндра:

$$Q_{1,\text{max}} = F_1 * v_{\text{ш}} = \frac{0.864\text{л}}{\text{хв}}$$

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Середню швидкість, м/с, приймаємо за

$$v_{ш} = \frac{4M}{c}$$

Визначимо діаметр підводящих отворів за формулою:

$$d_{1,п} = \sqrt{\frac{4 * Q_{1,max}}{\pi * v_p}} = 2\text{мм}$$

Округляємо до найближчого значення

$$d_{1,п} = 6\text{мм} = 0.006\text{м}$$

2.3 Визначення витрат та тисків в гідродвигунах

2.3.1 Визначення витрат

Визначаємо площі робочих порожнин основного і допоміжного циліндрів.

Площа поршневої порожнини основного циліндра:

$$F_1 = \frac{\pi * D^2}{4} = 8\text{см}^2$$

Площа штокової порожнини основного циліндра:

$$f_1 = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} = 6\text{ см}^2$$

Визначимо час такту виходячи зі швидкості руху поршня і довжини ділянки:

$$v_1 = 1.08\text{м/хв}$$

$$l_1 = 100\text{мм} = 0.1\text{м}$$

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} = 5.5\text{с}$$

Робоча площа на виштовхування:

$$f_1 = 8\text{см}^2$$

Витрата:

$$Q_1 = v_1 * f_1 = 0.864 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Втягування:

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо час такту виходячи зі швидкості руху поршня і довжини ділянки:

$$v_8 = 1.08 \text{ м/хв}$$

$$l_8 = 100 \text{ мм} = 0.1 \text{ м}$$

$$t_8 = \frac{l_8}{v_8} = 5.5 \text{ с}$$

Робоча площа на втягування:

$$f_8 = 6 \text{ см}^2$$

Витрата:

$$Q_8 = v_8 * f_8 = 0.648 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

2.3.2 Визначення тисків

Знайдемо перепад тисків в порожнинах гідроциліндрів. Він визначається за формулою:

$$\Delta p = p_n - p_{зл}$$

де Δp перепад тиску, p_n тиск в робочій порожнині, $p_{зл}$ тиск в зливній порожнині, p робочий тиск основного циліндра.

Визначаємо тиск в робочій порожнині за формулами:

Виштовхування:

При виштовхуванні штока:

$$p_{н,1} = \left(\frac{P_1}{f_1 * \eta_m} + p_{зл} \right) * \psi = 12.5 \text{ МПа}$$

Втягування:

При втягуванні штока:

$$p_{н,8} = \left(\frac{P_8}{f_8 * \eta_m} + \frac{p_{зл}}{\psi} \right) = 12.3 \text{ МПа}$$

Вибір насоса та схеми насосної установки

Оптимальна витрата насоса визначаємо

$$Q_n = \frac{0.9 \text{ л}}{\text{хв}}$$

					ДЛБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2.4 Вибір розмірів трубопроводів

Визначимо внутрішній діаметр труби для напірної і зливної ліній кожного з циліндрів за формулою зі [2.2 ст.33].

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}}$$

де d_T внутрішній діаметр трубопроводу, Q_T витрата рідини на ділянці, що розраховується, v_{cp} середня швидкість руху рідини.

Після цього за визначеним стандартним розміром трубопроводу знайдемо дійсну швидкість рідини за формулою:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} \quad (2.3)$$

де d_T внутрішній діаметр трубопроводу, Q_T витрата рідини на ділянці, що розраховується, v_p дійсна швидкість руху рідини.

Трубопроводи, що відносяться до Ц, розраховуємо за витратою дев'ятого такту. Середню швидкість руху рідини визначаємо

$$Q_T = 0.864 \text{ л/хв} = 0,0000144 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для напірної лінії.

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 4 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби.

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0000144}{3.1415 * 4}} = 2.1 \text{ мм}$$

Округляємо до найближчого значення.

$$d_T = 6 \text{ мм}$$

Визначаємо дійсну швидкість

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0.0000144}{3.1415 * 6^2} = 5 \text{ м/с}$$

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для напірних ліній.

$$3\text{м/с} \leq 5\text{м/с} \leq 6\text{м/с}$$

Для зливної лінії.

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{\text{ср}} = 2\text{м/с}$$

Внутрішній діаметр труби.

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{\text{ср}}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0000108}{3.1415 * 2}} = 2.6\text{мм}$$

Округляємо до найближчого значення за [1, стр. 56].

$$d_T = 6\text{мм}$$

Визначаємо дійсну швидкість

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0.0000108}{3.1415 * 6^2} = 2.01\text{м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для зливних ліній.

$$1,4\text{м/с} \leq 2.01\text{м/с} \leq 2,2\text{м/с}$$

Для всмоктувальної лінії.

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{\text{ср}} = 1\text{м/с}$$

Внутрішній діаметр труби.

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{\text{ср}}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.000263}{3.1415 * 1}} = 11.7\text{мм}$$

Округляємо до найближчого значення за [1, стр. 56].

$$d_T = 12\text{мм}$$

Визначаємо дійсну швидкість

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = \frac{4 * 0.0000108}{3.1415 * 12} = 0.954 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для всмоктувальних ліній.

$$0,5 \text{ м/с} \leq 0.954 \text{ м/с} \leq 1,5 \text{ м/с}$$

2.5 Визначення втрат тиску на гідравлічне тертя

Гідравлічні втрати в гідролініях складаються з втрат на гідравлічне тертя

Δp_T , втрат у місцевих опорах Δp_M і втрат у гідроапаратах Δp_G .

Визначимо втрати на гідравлічне тертя Δp_T за формулою:

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

де d_T внутрішній діаметр трубопроводу, Δp_T втрат на гідравлічне тертя, λ коефіцієнт тертя, v_p дійсна швидкість руху рідини, l довжина трубопроводу, ρ густина.

З розділу 3 беремо значення ρ та ν . Густина:

$$\rho = 0.88 \text{ г/см}^3 = 880 \text{ кг/м}^3$$

Кінематична в'язкість рідини:

$$\nu = 46 \text{ мм}^2/\text{с} = 0.046 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$$

Втрати на гідравлічне тертя Δp_T на всмоктувальні лінії при постійній витраті насоса.

Довжина трубопроводу:

$$l_T = 0.5 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_T = 12 \text{ мм}$$

Дійсна швидкість руху рідини:

$$v_p = 0.954 \text{ м/с}$$

$$Re = \frac{v_p * d_T}{\nu} = 249$$

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки $Re < 2300$, коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{75}{Re} = 0,3$$

$$\Delta p_T = \frac{0.5 * l * v_p^2 * \lambda * \rho}{d_T} = 0,005005 \text{ МПа}$$

Втрати на гідравлічне тертя Δp_T в напірній лінії при зміні витрати в кожному такті.

Довжина трубопроводу:

$$l_T = 0.5 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_T = 6 \text{ мм}$$

Дійсна швидкість руху рідини:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = 5 \text{ м/с}$$

$$Re = \frac{v_p * d_T}{\nu} = 1304.3$$

Оскільки $Re < 2300$, в усіх тактах коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{75}{Re} = 0.0575$$

$$\Delta p_T = \frac{0.5 * l * v_p^2 * \lambda * \rho}{d_T} = 0.0527 \text{ МПа}$$

Втрати на гідравлічне тертя Δp_T на зливній лінії при зміні витрати в кожному такті.

Довжина трубопроводу:

$$l_T = 0.5 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_T = 6 \text{ мм}$$

Дійсна швидкість руху рідини:

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2} = 2.01 \text{ м/с}$$

$$Re = \frac{v_p * d_T}{\nu} = 2200$$

Оскільки $Re < 2300$, в усіх тактах коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{75}{Re} = 0.034$$

$$\Delta p_T = \frac{0.5 * l * v_p^2 * \lambda * \rho}{d_T} = 0.005036 \text{ МПа}$$

2.6 Розрахунок товщини стінки гільзи гідроциліндра:

Використовують декілька різноманітних формул для визначення товщини стінки циліндричних резервуарів і труб, що знаходяться під дією внутрішнього тиску.

Для розрахунку тонкостінних циліндрів і труб з в'язких матеріалів:

$$S = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}} - 1,73p}} - 1 \right)$$

Де, D-внутрішній діаметр, $\sigma_{\text{доп}}$ -154МПа для сталі 20, p-робочий тиск.

Товстостінні циліндри розраховують по формулах, що впливають з чотирьох теорій тривкості в залежності від характеристик матеріалів.

$$S = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}} - 1,73p}} - 1 \right) = S = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{154}{154 - 1,73 * 12.5}} - 1 \right) = 1.25 \text{ мм}$$

Товщину стінки прийняли 3мм.

					ДЛБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Підбір обладнання:

2.7.1 Електро лінійний актуатор:

HD24B068-100LLX1MASD

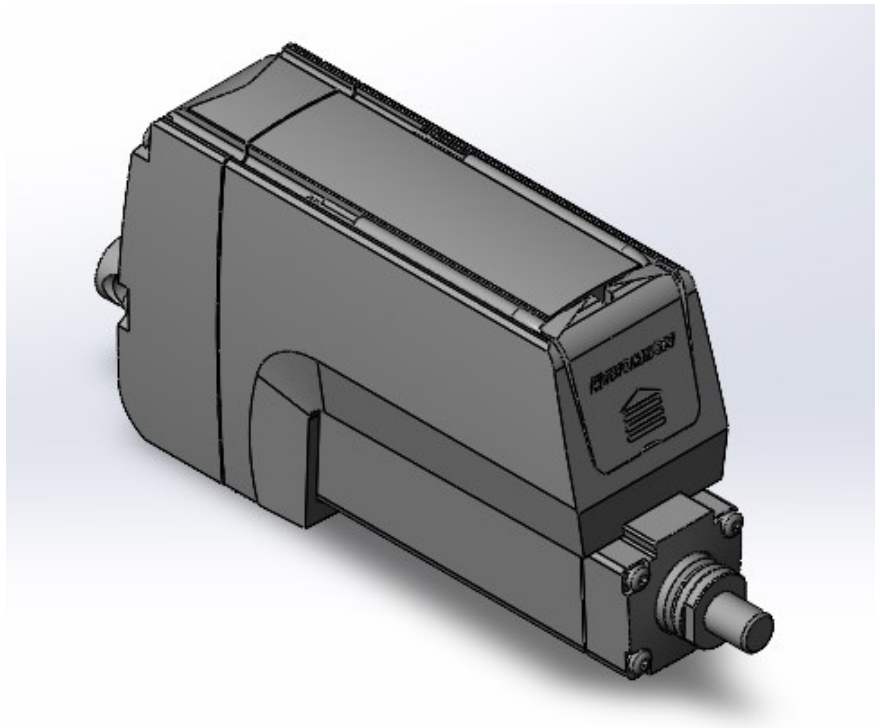


Рис. 2.1 Електро лінійний актуатор[15]

Характеристики:

Виріб і напруга HD24 = Electrak HD, 24 В постійного струму

Динамічне навантаження B068- = кульковий гвинт, 6,8кН

Хід = 100 мм

Управління LLX = EXX + LXX + вихід індикації кінця ходу

Приєднання = кабелі довжиною 0,3 м з вивідними проводами

Орієнтація адаптера S = стандартна

Спеціальний з'єднувач D = вивідні кабелі

Вага приводу [кг] 6,5

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

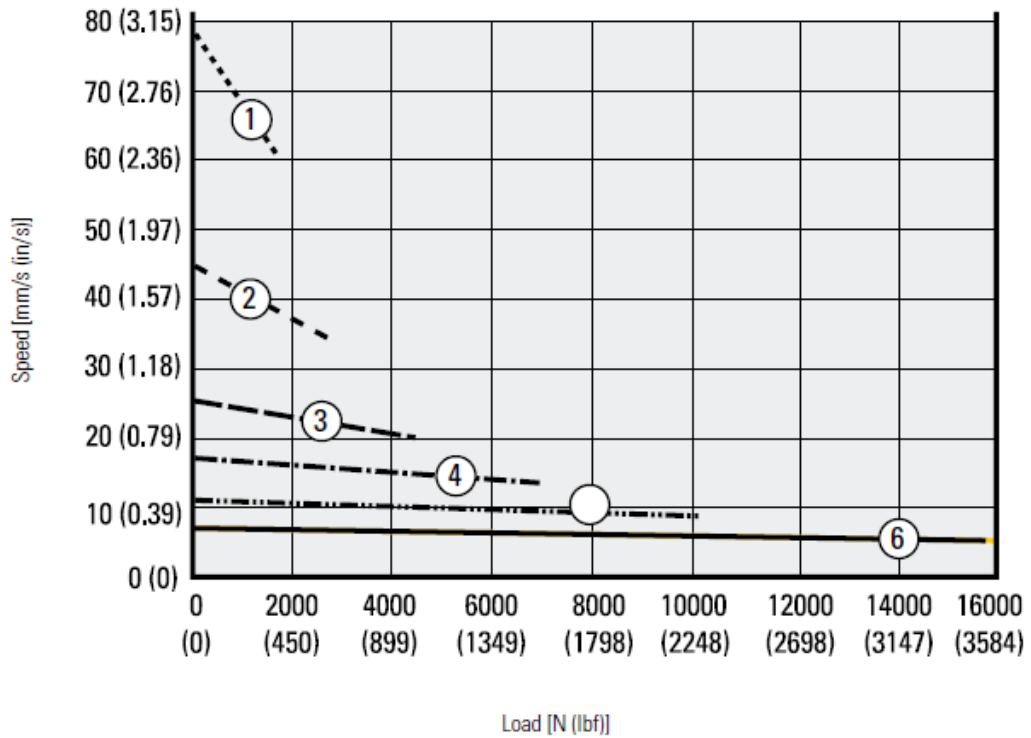


Рис.2.2 Залежність навантаження від швидкості руху штока (1.HDxxB017 (1.7 kN) 2.HDxxB026 (2.6 kN) 3. HDxxB045 (4.5 kN) 4. HDxxB068 (6.8 kN) 5. HDxxB100 (10 kN) 6. HDxxB160 (16 kN))

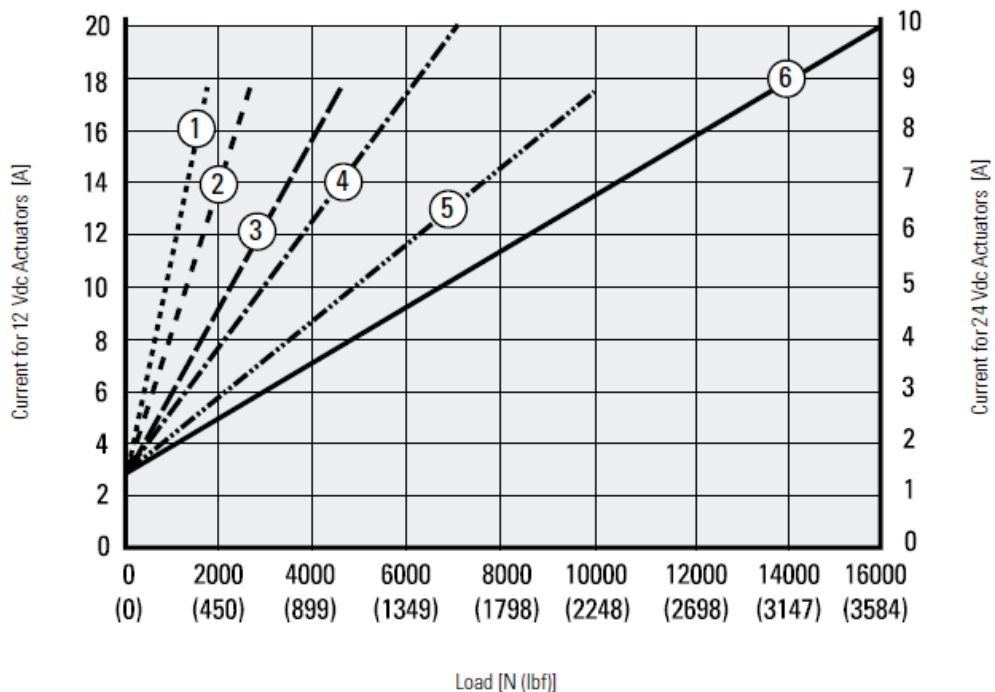


Рис.2.3 Залежність струму від навантаження (1.HDxxB017 (1.7 kN) 2.HDxxB026 (2.6 kN) 3. HDxxB045 (4.5 kN) 4. HDxxB068 (6.8 kN) 5. HDxxB100 (10 kN) 6. HDxxB160 (16 kN))

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.7.2 Насосна станція Parker D5J0.9U1S3B[16]

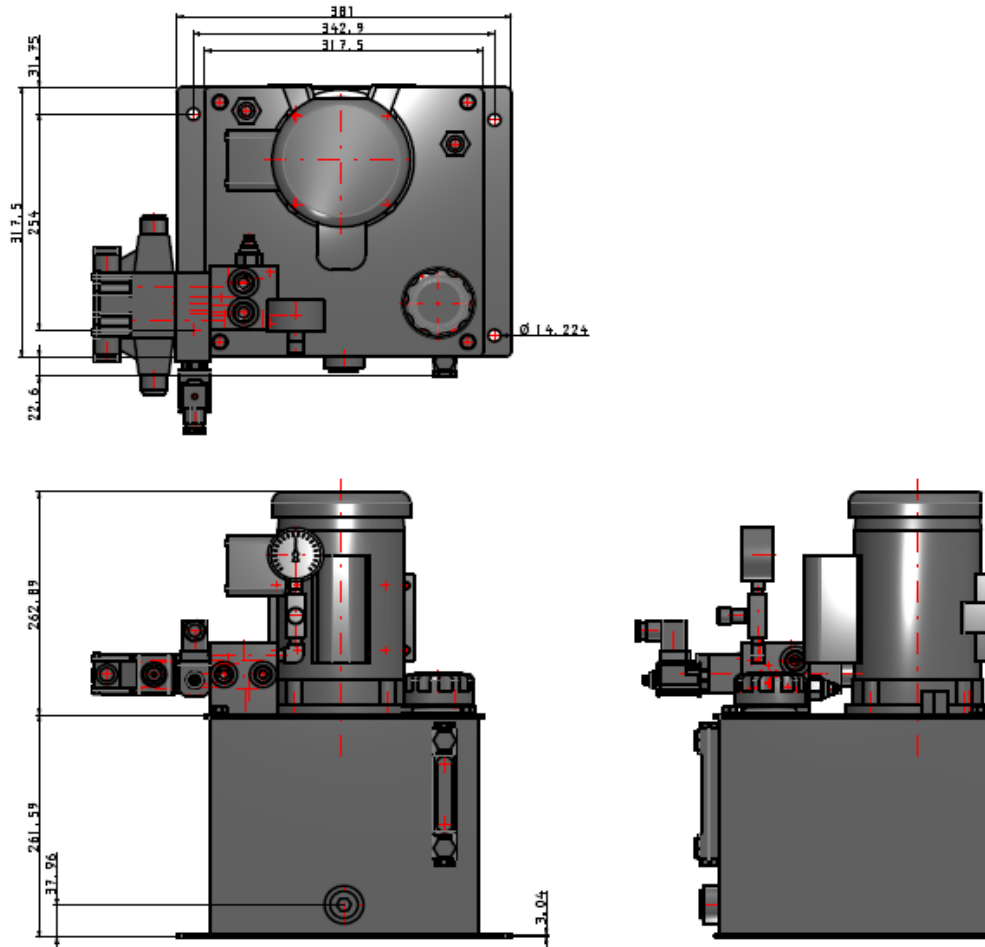


Рис 2.4 Насосна станція D5J0.9U1S3B

Характеристики:

D5J0.9U1S3B

Серія D-Пак

Резервуар - D5

Регулятор тиск- J - Клапан скидання тиску в системі з розвантажувальним клапаном

Витрата насоса- 0,9л/хв - 331-9110-267 шестеренчастий насос

Електродвигун U1 - 1/2HP, 1725RPM, 56C, 1PH, TEFC

Колектор S3 - Одинарна станція D03, підкладка з запобіжним клапаном; порт SAE-8 "A"&"B"

Розподільний клапан станції B - D1VW1CNYCF (номінальна витрата 7л/хв, подвійний електромагніт, пружина відцентрована, закритий центр).

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ

Арк.

49

2.7.3 Шестеренний насос[17]



Рис 2.5 Шестеренний гідравлічний насос Parker 3319110267

Характеристики:

Артикул 3319110267

СЕРІЯ: P230

Матеріал: ЧАВУН

Витрата насоса- 0,9л/хв

2.7.4 Розподільний клапан [18]



Рис 2.6 Розподільний клапан PARKER D1VW1CNYCF56-75

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Характеристики:

Тип: 4/3 позиційний клапан з закритим центром

Максимальна швидкість потоку: 7л/хв (залежно від золотника)

Вхідна напруга: 120/60 - 110/50 В змінного струму

Тип котушки: Вставна кабельна коробка

Матеріал корпусу: Ковкий чавун

2.7.5 Електродвигун[19]



Рис2.7 Електродвигун General 0.37kW 4P B56 1Ph 230V 50Hz IC411-TEFC

Характеристики:

Потужність: 0.37кВт

Кількість полюсів: 4

Частота обертання: 1500об/хв

Клас захисту: IP55

Частота: 50Hz

Висновки до розділу

Було розраховано основні параметри гідроприводу, здійснено підбір обладнання необхідних компонентів для збору лабораторного стенду та дослідження основних параметрів, тобто, залежності швидкості від навантаження та струму в залежності від навантаження.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

3.1 Технологічний контроль креслення

В результаті проведення технологічного контролю креслення можна сказати, що на кресленні є всі необхідні розміри для виготовлення деталі та шорсткість усіх поверхонь деталі позначена відповідно до ГОСТ 2789-73. Допуски та відхилення розмірів наведено відповідно до ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82.

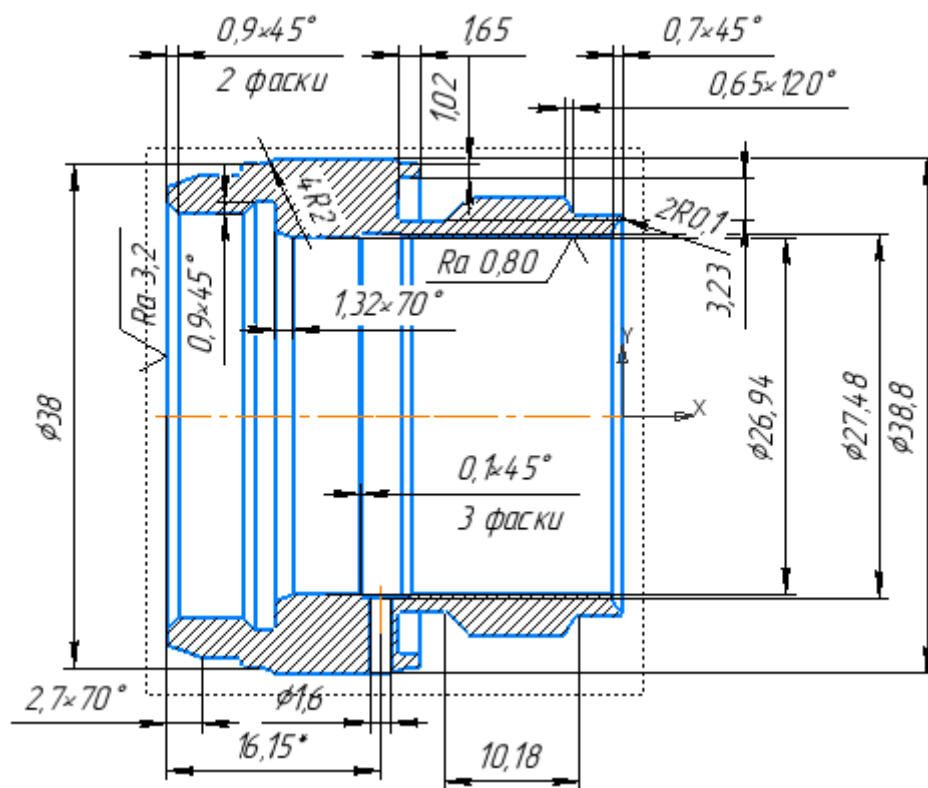


Рис.3.1 Технологічне креслення

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ

Арк.

52

3.2 Аналіз технологічності деталі та вибір заготовки

Потрібно виготовити деталь Корпус, який належить до збірки станції для захисту від вологостійкого середовища кабеля, до якого приєднується ущільнююче кільце.

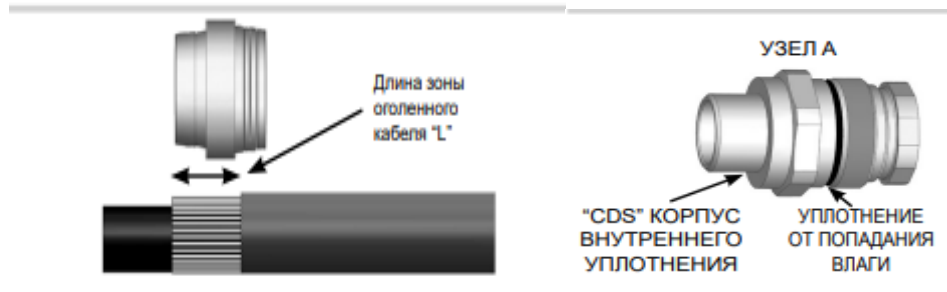


Рис.3.2 Застосування деталі

Основним процесом обробки є обробка на токарному верстаті.

Для деталі, що підлягає обробці, оберемо матеріал СТ20.

Для виготовлення знайдемо пропозицію, наприклад:

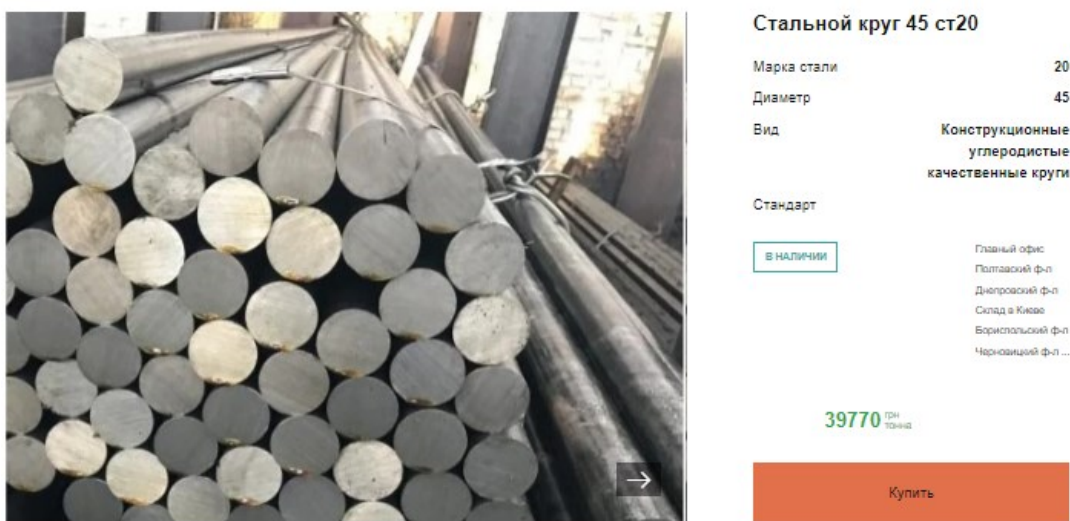
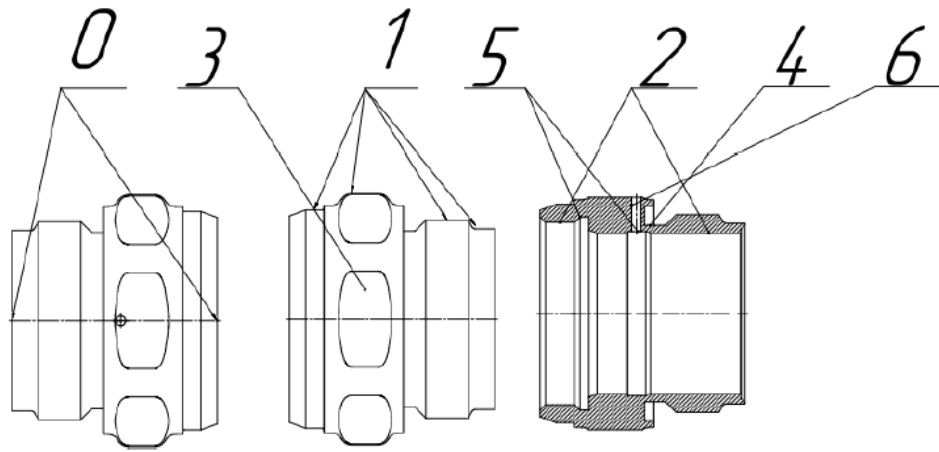


Рис.3.3 Вибір профілю

Стальний круг 45мм ст20_ тип металопродукату з круглим поперечним перерізом. Стандартна порізка 6.05м. Один погонний метр важить 12.5 кг, в тоні- 80м. Діаметр заготовки складає 45мм. Виготовляється гарячим прокатуванням з ст20- якісної конструкційної вуглецевої сталі.



0-торцове відрізання заготовки; 1- оброблення різцем прохідним упорним відігнутим; 2- обробка розточувальним різцем; 3- фрезерування посадочного місця(лисок) під ключ; 4- фрезерування зовнішніх пазів (поперечна обробка); 5-Розточування внутрішніх пазів; 6- свердління отвору;

Рис.3.4 Перелік технологічних операцій

0. Заготовка відрізається від труби суцільного круглого профілю дисковою пилою, тому допуск на торець становить Rz(160...320)
1. Виріб виготовляється на токарному верстаті, посадочне місце під отвір чистової обробки має допуск Ra(2...2,5), торці з обох боків- чорнова обробка з допуском Rz(80...40)
2. Для розточування посадочного місця необхідно дотримати допуск Rz(40...20)
3. Шість продольних пази під рожковий ключ необхідно виготовити фрезеруванням з допуском Rz(160...80)
4. Пази отримуємо поперечною обробкою різцем з допуском Rz(40...20)
5. Для розточування посадочного місця упорним відігнутим різцем поверхні необхідно дотримати допуск Rz(40...20)
6. Деталь має отримати отвір зазначеного діаметру у суцільному металі, тому Rz(160...40)

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.3 Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь

Таблиця 3.1

№ операції	Поверхня	Спосіб обробки	Шорсткість після виконання операції	Точність обробки
0		Відрізання стрічковою пилою	Rz160	JT12-JT9
1		Зовнішнє точіння Чорнове Чистове	Rz40 Ra2.5	JT14-JT12 JT11-JT9
2		Розточування Чорнове Чистове	Rz80 Rz20	JT12-JT11 JT10-JT9
3		Фрезерування Чистове	Rz20	JT11-JT8

4		Розточування Чорнове Чистове	Rz80 Rz20	JT12-JT11 JT10-JT9
5		Розточування Чорнове Чистове	Rz80 Rz20	JT12-JT11 JT10-JT9
6		Свердління	Rz40	T12-JT11

3.4 Вибір інструментальної оснастки

Скористаємось постачальником [20]

Таблиця 3.2

	Артикул	Назва	Розмір	Кількість	Ціна, за 1 шт.
0	18322	Ножівкове полотно машинне	400x32	1	186 грн.
1	19129	Прохідний упорний різець відігнутий	16x12x100	4	78 грн.
2	19410	Розточний різець	12x12x100	4	125 грн.
3	61055	Фреза кінцева 9 ц/х z=4 двухстор. "рад."	4	2	84 грн.
4	19129	Прохідний кінцевий різець відігнутий	16x12x100	2	78 грн.

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

5	18572	Різець канавковий внутрішній	16x16x105	1	92.4 грн.
6	20515	Свердло 1.6 ц	1.6	1	4.75 грн.

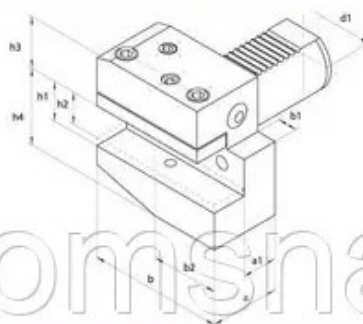
3.5 Інструментальні пристрої:

Таблиця 3.3

1-5	341114001200	Різетримач правий короткий	B1-16x12x24	1	5200грн
6	400101 0013	Precision drill chuck Goldstück	0 - 15	1	139 євро.

Тип 1114P

■ правая короткая



promsnab-

КОД	Тип	DIN 69880	d1	a	a1	b	b1	b2
341114001200	1114-16P	B1-16 x 12 x 24	16	24	13	42	5,0	23,0
341114004000	1114-16P-L	B1-16 x 12 x 34	16	34	23	42	5,0	23,0
341114003800	1114-20P	B1-20 x 16 x 30	20	30	16	55	7,0	30,0
341114006600	1114-20P-L	B1-20 x 16 x 40	20	40	26	55	7,0	30,0
341114008100	1114-25P	B1-25 x 16 x 30	25	30	16	55	7,0	30,0
341114009400	1114-25P-L	B1-25 x 16 x 40	25	40	26	55	7,0	30,0
341114005300	1114-30P	B1-30 x 20 x 40	30	40	22	70	10,0	35,0
341114007900	1114-30P-L	B1-30 x 20 x 60	30	60	42	70	10,0	35,0
341114010100	1114-40P	B1-40 x 25 x 44	40	44	22	85	12,5	42,5
341114020300	1114-50P	B1-50 x 32 x 55	50	55	30	100	16,0	50,0

Рис.3.5 Різетримач правий

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ

Арк.

57

3.6 Вимірювальні пристрої:

Таблиця 3.4

Артикул	Назва	Розмір	Кількість	Ціна за 1 шт.
500107 0150	Sliding callipers	150x40	1	20.50 євро
570521 0010	SURFTEST SJ-210 surface roughness tester	Measurement range: 360 μm	1	2215 євро

SARA Sliding callipers



- Reading parts matt chrome-plated
- Raised guideways
- Vernier scale 0.05 mm extended to 39 mm

Locking screw on top

Measurement range mm	Jaw length mm	Vernier mm/inch	art.no.	€	Calibration art.no.	€
150	40	0.05 / 1/128 inch	500107 0150	20,50	070101 0001	7,25
5108						



Рис.3.6 Розсувний штангенциркуль

Mitutoyo Surftest SJ-210 surface roughness tester

Digimatic USB

- Portable main-independent skid system for determining surface roughness
- Separate feed allows measurements in hard-to-reach places, as well as overhead measurements
- Dustprotected, touch-sensitive control panel and integrated printer
- Externally easy-to-use and intuitive menu navigation
- Measurement results / profiles shown clearly on a 14.5 cm [5.7"] colour display
- 16 languages
- Storage of up to 10 measurement conditions
- Statistics function and colour-coded tolerance analysis
- Customisable password protection
- Storage of measurement data on an optional SD card
- Automated calibration function / can be calibrated based on the average of up to 12 measurements
- Choice of mains or battery operation
- Profile method with single skid system
- Measurement range: X-axis feed = 1.0 mm, Z feed = 5.0 mm
- 60° contact point with 2 μm radius / measuring force 0.75 mN
- Measuring speed: 0.25 mm/s, 0.5 mm/s, 0.75 mm/s
- Analysis parameters: Ra, Rq, Rz, Ry, Rp, Rv, Rz, Rz2, Rsk, Rku, Rk, RPl, RSm, Rmax, Rz1max, S, HSC, Rz1S, Rpm, RDa, RDa, Rli, Rm, Rm(c), RSc, Rk, Rpk, Mv1, Mv2, A1, A2, Va, Aq, Ia, Rpm, tp, Htp, R, Rk, AR, W, AW, Wx, Wte
- Cut-off length: 0.08mm / 0.25 mm / 0.8 mm / 2.5 mm / 8 mm
- Number of individual measurement sections: 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, 8x, 9x, 10x, user length
- Digital filter: 2CF5 / PCFS / Gaussian
- Parameters in accordance with DIN EN ISO, VDA, JIS, ANSI and MOTIF
- Data communication: Digimatic, RS-232, SD memory card
- Supplied with roughness standard, mains adapter and 5 rolls of spare paper



Can be used with height meter 530520000 by attaching adaptor 5705310016



Traverse measurement, S version

Designation	art.no.	€	Device calibration art.no.	€	Standard calibration art.no.	€
SURFTEST SJ-310 surface roughness tester	570526 0001	4.490,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-
SURFTEST SJ-310 R surface roughness tester with automatic probe head lifting and lowering	570526 0002	4.890,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-
SURFTEST SJ-310 S surface roughness tester with traverse measurement feed	570526 0003	4.390,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-

5195

Рис.3.7 Тестер шорсткості поверхні SURFTEST SJ-210[21]

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ

Арк.

58

3.7 Верстатні пристрої:

Таблиця 3.5

Артикул	Назва	Розміри	Кількість	Ціна
71167	Ступінчастий прихват з регульованим опорним винтом	45	2	
73296	Універсальна прокладка	Висота ступеня: вертикально: 4 мм, горизонтально: 2 мм	2	

3.8 Висновок до розділу

В даному розділі розроблено технологічний процес оброблення деталі, який реалізується на 1-му токарному верстаті, 2-му фрезерному та 3-му свердлильному. Усі ці операції виконуються послідовно на відповідних верстатах, щоб довести деталь до кінцевого вигляду. Сумарний час виготовлення однієї деталі становить 20 хв.

Для реалізації технологічного процесу використано 6 найменувань різального інструменту загальною вартістю 1263,15грн.

Використання трьох різних верстатів дозволяє оптимізувати час виготовлення деталі. В цілому, розроблений технологічний процес покращує конкурентоспроможність виробництва та забезпечує задоволення вимог замовника.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ охорони праці є надзвичайно важливою частиною будь-якого дипломного проекту, особливо того, що пов'язаний з лабораторним стендом. Цей розділ зосереджений на заходах безпеки та заходах для забезпечення охорони праці під час роботи з лабораторним стендом, з метою запобігання травмам, випадкам та забезпечення безпеки персоналу та студентів.

Охорона праці, спираючись на Закон України «Про Охорону праці», є важливим аспектом у виконанні трудових обов'язків, забезпечуючи безпеку праці, збереження життя, здоров'я та працездатності людей. Вона представляє собою сукупність законів, нормативно-правових актів, а також різноманітних заходів та засобів.

Охорона праці вирішує дві задачі: інженерно-технічну та соціальну. Інженерно-технічна задача полягає в запобіганні небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом застосування таких заходів, як заміна небезпечних матеріалів менш небезпечними, використання нових технологій, проектування та конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці, розробка засобів індивідуального та колективного захисту. [22]

4.1 Характеристики переміщення:

Навчальна аудиторія, де будуть проводитися лабораторні роботи матиме наступні параметри:

Висота $h=3\text{м}$;

Довжина $l=6\text{м}$:

Ширина $b=4\text{м}$:

Тому опираючись на ці дані визначимо площу та об'єм приміщення:

$$S = l * b = 4 * 6 = 24\text{м}^2$$

$$V = l * b * h = 4 * 6 * 3 = 72\text{м}^3$$

Згідно з вимогами до ДСанПіН 3.3.2.007-98 по організації робочого місця на одного працюючого необхідно: площа – не менше 6м.кв., об'єм – не менше 20 куб.м. [23]

					<i>ДЛБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У навчальній аудиторії працюватиме та матиме змогу проводити лабораторні дослідження 3 людини.

Тому обраховані дані відносно площі та об'єму на одного працівника є нормативними.

4.2 Аналіз мікрокліматичних умов та їх забезпечення:

Нормативним документом який визначає допустимі параметри мікроклімату є ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату в промислових приміщеннях [24]

Середньою температурою приміщення в теплу пору року вважається 19-21 °С, відносна вологість сягає близько 48-52%. А в холодну пору року – 19 °С, завдяки централізованому опаленні будинку, відносна вологість становить 57%.

Виходячи з «Санітарних норм мікроклімату в промислових приміщеннях», визначаємо дану роботу, як фізичну роботу середньої тяжкості(категорія II) охоплюючи вид діяльності, при якому витрата енергії складає 176-232Вт (151-200ккал/час) – категорія Па. До цієї категорії відносяться роботи пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих деталей чи предметів в положенні стоячи, потребуючі невеликого фізичного навантаження.[24]

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальні норми температури, вологості у приміщенні згідно санітарних норм

Таблиця 4.1

Чинники мікроклімату	Нормативні		Фактичні	
	Тепла пора року	Холодна пора року	Тепла пора року	Холодна пора року
Температура, °C		19 - 21	21	20
Вологість, %	60 - 40	60 - 40	48	57

Для створення оптимальних кліматичних умов в приміщенні передбачено вентиляцію, та вибрано кондиціонер, який буде забезпечувати необхідну температуру та свіжість повітря, Cooper&Hunter CH-S09XN7, який може забезпечувати своєю роботою приміщення в 27 м.кв., що є достатнім. Також має низький рівень шуму в 24Дб.[\[25\]](#)

Виходячи з «Санітарних норм мікроклімату в промислових приміщеннях», бачимо, що всі фактичні параметри є в межах допустимих, як в теплу, так і в холодну пору року. Тому можемо зробити висновок, що мікроклімат сприяє проведенню робіт.

4.3 Освітлення

Освітлення в лабораторному приміщенні є важливим аспектом охорони праці, спрямованим на забезпечення безпеки та комфорту працівників. Дотримання вимог і стандартів, пов'язаних з освітленням, є необхідною умовою для ефективного та безпечного виконання роботи.

Основні аспекти, які необхідно враховувати в підрозділі "Освітлення" охорони праці для лабораторного приміщення, включають:

1. Забезпечення достатнього рівня освітленості на робочих місцях відповідно до вимог нормативних документів та стандартів.

					ДЛБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

2. Рівномірний розподіл освітлення по всьому робочому простору, уникання різкого контрасту та мінімізація відблисків на робочій поверхні.
3. Забезпечення природної кольорової передачі для точного спостереження та аналізу матеріалів та зразків.
4. Мінімізація відблисків від освітлювальних приладів, обладнання та робочих поверхонь.
5. Використання енергоефективних світлодіодних джерел та систем керування освітленням для забезпечення оптимального рівня освітленості при економії електроенергії.
6. Регулярна перевірка та обслуговування освітлення, включаючи заміну пошкоджених ламп, чищення світильників та регулювання напрямку світлового потоку.

4.3.1 Розрахунок освітленості

Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.[26]

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи.

Скористаємося методом використання світлового потоку. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

$$F = \frac{E * K * S * Z}{\eta}$$

де,

F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=24м²);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z =1,1);

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

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

η – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{ст.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{ст.} = 40\%$ і $\rho_{стелі} = 60\%$.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{24}{3(4 + 6)} = 0.8$$

S – площа приміщення, $S = 24\text{м}^2$; h – розрахункова висота підвісу, $h = 3$ м; A – ширина приміщення, $A = 4$ м; B – довжина приміщення, $B = 6$ м.

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею 4 [ДБН В.2.5-28-2006] знаходимо $\eta = 0,32$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F :

$$F = \frac{E * K * S * Z}{\eta} = \frac{300 * 1.5 * 24 * 1.1}{0.32} = 29700\text{Лм}$$

Для освітлення використаємо люмінесцентні лампи типу philips tl-d 18w/54-765, світловий потік яких складає близько 5000Лм.

Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках:

$$N = \frac{F}{F_{л}} = \frac{29700}{5000} = 5.94$$

N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік, $F = 29700$ Лм; $F_{л}$ - світловий потік лампи, $F_{л} = 5000$ Лм.

Тому необхідно використати 6 ламп у світильниках для забезпечення норми освітлення.

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконання цих вимог відповідно до національних нормативних документів та стандартів допоможе забезпечити належні умови освітлення в лабораторному приміщенні, зменшити ризик виникнення нещасних випадків та покращити комфорт працівників. Такий підхід сприятиме безпеці, здоров'ю та продуктивності працівників в лабораторії.

4.4 Пожежна безпека

Розділ "Пожежна безпека" для охорони праці в лабораторних приміщеннях передбачає ряд рекомендацій, спрямованих на запобігання пожежам та забезпечення безпеки працівників. Основна думка полягає в тому, що виконання цих рекомендацій допоможе знизити ризик пожежі і забезпечити безпеку працівників.

Рекомендації з плану пожежної безпеки включають створення докладного плану евакуації, який повинен бути розміщений на видному місці. Він має включати маршрути евакуації, місцезнаходження пожежних виходів, місця збору під час евакуації, а також процедури сповіщення про пожежу та виклику пожежної служби. Згідно Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України.

Для забезпечення пожежної безпеки у лабораторіях рекомендується мати наявність вогнегасників правильного типу та кількості. Наприклад, вогнегасники з класом пожежі В можуть бути використані в разі пожеж, спричинених рідкими речовинами чи газами з високою температурою спалаху. Важливо розміщувати вогнегасники у легкодоступних і помітних місцях, поблизу потенційних осередків пожежі. Визначення категорії приміщення за пожежною безпекою регламентує ДСТУ Б В.1.1.-36.2016.[27]

Рекомендації включають усунення можливих джерел загоряння, таких як запальні рідини чи газу, з місць зберігання. Небезпечні речовини мають бути збережені відповідно до вимог пожежної безпеки, в окремих контейнерах, які відповідають стандартам.

Працівники повинні бути інструктовані та навчені з питань пожежної безпеки. Це включає ознайомлення з процедурами евакуації, використанням

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

вогнегасників та правилами поведінки під час пожежі. Регулярні тренування та інструктажі допоможуть підготувати працівників до дій в екстрених ситуаціях.

Забезпечення пожежної безпеки в лабораторних приміщеннях є необхідним для запобігання пожежам та забезпечення безпеки працівників. Виконання рекомендацій щодо плану пожежної безпеки, використання вогнегасних засобів, дотримання електробезпеки, видалення пожежної небезпеки та проведення інструктажу та навчання допоможе забезпечити безпеку працівників і зменшити ризик пожежі у лабораторних приміщеннях.[28]

4.5 Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки варто керуватись національними нормативами та стандартами, які визначають вимоги до електроустаткування, монтажу та експлуатації обладнання. Норми включають вимоги до заземлення, використання захисту від перевантажень та короткого замикання, а також проведення регулярних перевірок та оглядів.

Працівники повинні використовувати тільки обладнання, яке відповідає стандартам електробезпеки. Це означає, що обладнання має бути перевірене, заземлене, мати належні захисні пристрої та бути відповідно обслуговуваним. При підключенні або відключенні електричних приладів необхідно використовувати правильні методи та засоби.

Кабелі повинні бути відповідно обслуговуваними, не пошкодженими та не перетягнутими. Під час перенесення кабелів необхідно уникати їх перекручування та закриття. Також необхідно уникати перевантаження кабелів підключенням занадто багатьох приладів до одного контакту.

Працівники повинні бути навчені правилам електробезпеки та інструктажу з роботи з електричним обладнанням. Це включає ознайомлення з правильними процедурами використання, вимкнення та обслуговування електрообладнання, а також з поведінкою під час аварійних ситуацій.

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дотримання вимог електробезпеки є важливою складовою охорони праці. Забезпечення безпеки працівників під час роботи з електричним обладнанням залежить від дотримання норм та стандартів, використання безпечного обладнання, правильного підключення та відключення, коректного використання електричних кабелів та навчання працівників правилам електробезпеки.

4.6 Висновок до розділу

Було взято до уваги приміщення для розміщення лабораторного стенду та проведено аналіз мікроклімату, вибрано кондиціонери які будуть забезпечувати необхідну температуру, описано основні вимоги, які повинні бути дотримані згідно охорони праці. Розраховано необхідну кількість світла, визначено клас та категорію приміщення згідно правил пожежної безпеки. Також описано правила електробезпеки які повинні бути прописані в інструктажі для проведення робіт в приміщенні.

Зроблено необхідні посилання на державні норми та правила дотримання правил охорони праці.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

На основі проведеної роботи дослідження лінійного електроприводу, враховуючи розрахунок гідроприводу на основі електроприводу, сучасні рішення з лінійними приводами, охорону праці та технологію виготовлення деталі було представлено комплексне дослідження, спрямоване на розробку та впровадження лабораторного стенду, який дозволить проводити експерименти з лінійними електроприводами та вивчати їх функціональні можливості, робити виміри лінійного приводу як на електро, так і на гідроприводі, також налаштовувати синхронну роботу актуаторів, що є немало важливим фактором в налаштуванні комплексних систем.

Одним з ключових аспектів роботи є розрахунок гідроприводу на основі електроприводу. Цей розрахунок дозволяє визначити оптимальні параметри гідроприводу, що забезпечують передачу потужності та керованість лінійного руху. Це може включати врахування гідравлічних параметрів, електричних характеристик та вимог до швидкості, точності та навантаження системи.

У рамках дипломного проєкту також вивчаються сучасні рішення з лінійними приводами, що включає аналіз технологічних та науково-дослідних розробок в цій галузі. Зокрема, розглядаються новітні матеріали для виготовлення лінійних приводів, алгоритми керування, сенсорні системи та інтеграція з автоматизованими системами. Це дозволяє ознайомитися з останніми тенденціями та досягненнями у сфері лінійних приводів і використовувати їх для розвитку розробленого лабораторного стенду.

Охорона праці є невід'ємною складовою дипломної роботи, оскільки розробка лабораторного стенду передбачає роботу з механічними та електричними компонентами, що потенційно можуть бути небезпечними для оператора. У роботі детально розглянуті принципи безпеки, встановлені норми та правила експлуатації, а також розробляються заходи для забезпечення безпеки під час роботи з лабораторним стендом, наведені

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
						68
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рекомендації щодо мікроклімату, освітленості, пожежної безпеки та електробезпеки.

Технологія виготовлення деталей є важливою складовою дипломної роботи, оскільки правильний вибір матеріалів та процесів обробки визначає якість та функціональність лабораторного станду. Оптимальний вибір технології виготовлення деталей допомагає забезпечити якісне виготовлення лабораторного станду з урахуванням його функціональних вимог та експлуатаційних умов. Таким чином наведено технологічний розділ виготовлення деталі, вибрано інструментарії для її обробки та наведено основні технологічні операції.

Отже, дана робота поєднує аспекти лінійних електроприводів, гідроприводів, та сучасних рішень з даними системами, розглянуто переваги кожної зі сторін. Це дослідження внесе важливий вклад у розвиток галузі електроприводів і надасть практичні навички для дослідження подібних систем та їх налагодження.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використана література

1. Чому потрібно обирати лінійні актуатори? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.thomsonlinear.com/downloads/actuators/Linear_Actuators_G_ctuk.pdf.
2. Який тип приводу найкраще підходить для вашого застосування? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://yorkpmh.com/resources/hydraulic-vs-pneumatic-vs-electric-actuators/>.
3. Основні компоненти актуатора [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.progressiveautomations.com/blogs/products/inside-an-electric-linear-actuator>.
4. Особливості та переваги лінійних приводів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thomsonlinear.com/en/products/linear-actuators/about-linear-actuators>.
5. Debunking the Myths of Hydraulic to Electric Actuator Conversion [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/Debunking_the_Myths_of_Hydraulic_to_Electric_Actuator_Conversion_tae.pdf.
6. Чому лінійні приводи дорожчі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.progressiveautomations.com/blogs/news/are-linear-actuators-expensive-are-quality-actuators-worth-the-investment>.
7. Електричні лінійні приводи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.orientalmotor.com/linear-actuators/linear-actuators-eac-az-series-absolute-encoder.html>.
8. Data Collection [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.orientalmotor.com/pneumatic-actuators-vs-electric-actuators-which-is-better>.
9. Прецизійні лінійні актуатори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.thomsonlinear.com.cn/downloads/actuators/Precision_Linear_Actuators_bruk.pdf.
10. Choosing Between Electromechanical and Fluid Power Linear Actuators in Industrial Systems Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/Choosing_Between_Electromechanical_and_Fluid_Power_tae.pdf.
11. Electromechanical Linear Actuators Give Heavy Duty Off-Highway Vehicle Engine Hoods a Welcome Lif [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thomsonlinear.com/en/support/20160816-na>.
12. Energy Saving in an Autonomous Excavator via Parallel Actuators Design and PSO-Based Excavation Path Generation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mendeley.com/catalogue/62e6753b-da9c-38ab-b61f-776ce14a8bcb/>

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

13. What is a linear actuator used for [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.firgelliauto.com/blogs/news/what-is-a-linear-actuator-used-for>.
14. Onboard Electronics Make Linear Actuators Safer – Smarter <https://www.thomsonlinear.com/en/support/20160107-na> (2016-01-07)
15. Електро лінійний актуатор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thomsonlinear.com/en/product/HD24B068-0100LLX1EEMD>.
16. Hydraulic Power Units D, H, and V-Pak Series HY28-2661-CD/US [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Hydraulic-Pump-Division/Hydraulic-Pump-Division.pdf>
17. Шестеренний насос: [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.radwell.co.uk/en-GB/Buy/PARKER/HYDRAULIC%20PUMPS%20DIVISION/331-9110-267>.
18. Розподільчий 4/3 позиційний клапан: [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ph.parker.com/pl/en/product/directional-control-valve-d1vw/d1vw001cnygf561m>
19. Електродвигун [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.weg.net/catalog/weg/UA/en/Electric-Motors/Low-Voltage-NEMA-Motors/TEFC/Rolled-Steel/Rolled-Steel/General-0-37-kW-4P-B56-1Ph-230-V-50-Hz-IC411---TEFC---Foot-mounted/p/11134882>.
20. Постачальник інструменту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://likant.com.ua/>.
21. Тестер шорсткості поверхні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://speranza-ua.com/kontrol-pokrytij/profilomery-etalony-sheroxovatosti/sj-210/>.
22. К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк «Основи охорони праці» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/01/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8-%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96.pdf>.
23. Охорона праці офісних працівників [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ips.ligazakon.net/document/DG140149>.
24. Санітарні норми мікроклімату в промислових приміщеннях [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/31678/doc-%D0%94%D0%A1%D0%9D_3.3.6.042-99.
25. Кондиціонери Cooper&Hunter CH-S09XN7 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://topclimat.kiev.ua/1127/1189/2415.html?>

					ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf
27. ДСТУ БВ.1.1.-36.2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
28. Наказ про затвердження Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-16#Text>.

					<i>ДПБ.МА9213.01.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72