

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри ПГМ
_____ Олег ЛЕВЧЕНКО
“ ____ ” _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані
механічні системи»**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні _____

Виконав : студент 2 курсу, групи МА-21мп
(шифр групи)

Самусенко Микола Олегович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор, Губарев О.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

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

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ПГМ

_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Самусенку Миколі Олеговичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні

науковий керівник дисертації Губарев Олександр Павлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5127-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні

4. Вихідні дані Максимальне навантаження 300 кН, швидкість руху робочої ланки 6 м/хв, хід поршня 450 мм, максимальний допустимий тиск 25 МПа та максимальна витрата 26 л/хв електрогідрравлічного модуля.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Розділ 1. Аналіз конструктивних рішень приводів. Розділ 2. Розробка модульної електрогідрравлічної системи приводу. Розділ 3. Побудова математичної моделі електрогідрравлічної системи приводу. Розділ 4. Технологія машинобудування. Розділ 5. Безпечна

експлуатація та обслуговування об'єкта проектування. Розділ 6. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу A1 – 3шт., A2 – 3шт., A3 – 1шт., A4 – 1шт.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування	Кореньков В.М., к.т.н., доцент кафедри ТМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд конструктивних рішень приводів	18.09.2023	
2	Дослідження способів керування в системах без датчиків зворотного зв'язку	24.09.2023	
3	Розробка гідравлічної принципової схеми електрогідравлічного модуля	05.10.2023	
4	Розрахунок кулькового клапана та запираючих об'ємів для розробки системи пружно-гідравлічного дозування	10.10.2023	
5	Продумування і створення математичної моделі електрогідравлічної системи приводу	08.11.2023	
6	Проведення математичного моделювання та обробка результатів	12.11.2023	
7	Технологія машинобудування	15.11.2023	
8	Безпечна експлуатація та обслуговування об'єкту проектування	20.11.2023	
9	Стартап-проект	05.12.2023	
10	Розробка та оформлення креслень	16.12.2023	

Студент

Микола САМУСЕНКО

Керівник

Олександр ГУБАРЕВ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні_____

Анотація

Дана робота присвячена розробці схематичного рішення позиціонування робочої ланки компактного електрогідравлічного модуля без датчиків зворотного зв'язку. У дипломній роботі проаналізовано різні конструктивні рішення приводів та систем керування без датчиків зворотного зв'язку, було знайдено основні переваги та недоліки. Скориставшись цими знаннями, було запропоновано позиціонування робочої ланки за рахунок дозованої подачі рідини шляхом розробки модуля пружно-гідравлічного дозування з фіксованими об'ємами. У роботі було виконано необхідні розрахунки для розробки даної системи.

Розроблено математичну модель електрогідравлічного модуля з метою визначення кількості спрацювань модуля пружно-гідравлічного дозування для переміщення вихідної ланки гідроциліндра в задане положення під дією зовнішнього навантаження.

Ключові слова: електрогідравлічний привід, дозування робочої рідини, математична модель, позиціонування гідроприводу, система керування.

Annotation

This work is devoted to the development of a schematic solution for positioning the working link of a compact electrohydraulic module without feedback sensors. The thesis were analyzed various design solutions for drives and control systems without feedback sensors, were identified the main advantages and disadvantages. Using this knowledge, it proposed to position the working link through a dosed fluid supply by developing an elastic-hydraulic dosing module with fixed volumes. In the work, the necessary calculations for the development of this system were performed.

A mathematical model of the electrohydraulic module has been developed to determine the number of activations of the elastic-hydraulic dosing module to move the output link of the hydraulic cylinder to a given position under the influence of an external load.

Keywords: electrohydraulic drive, dosing of the working fluid, mathematical model, hydraulic drive positioning, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИВОДІВ	10
1.1. Різновиди приводів та сфери їх застосування	10
1.2. Системи керування без датчиків зворотного зв'язку	29
1.2.1. Віртуальні датчики	29
1.2.2. Гідравліка з прямим приводом	30
1.3. Мета та задачі досліджень	38
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДУЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ	39
2.1. Опис та принцип дії приводу	40
2.2. Розробка гідравлічної схеми електрогідравлічного приводу.....	43
2.3. Визначення витрати і тиску в гідродвигуні	46
2.4. Розрахунок кулькового клапана	47
2.5. Розрахунок запираючих об'ємів модульної системи пружно-гідравлічного дозування	52
Висновки до розділу 2.....	55
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ	56
3.1. Побудова математичної моделі	56
3.1.1. Обґрунтування математичної моделі гідроциліндра.....	58
3.1.2. Обґрунтування математичної моделі гідравлічного розподільника з електричним керуванням.....	60
3.1.3. Обґрунтування математичної моделі модульної системи пружно-гідравлічного дозування	64
3.2. Модельне дослідження електрогідравлічної системи приводу з модульною системою пружно-гідравлічного дозування	68
Висновки до розділу 3.....	73

					<i>МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Самусенко</i>			<i>Автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Гударев</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
						<i>Лист.</i>	<i>Аркуш</i>
							<i>Аркушів</i>
							7113
						<i>КПІ ім. І. Сікорського</i>	

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	74
4.1. Технологічний контроль якості кресленика	74
4.2. Технологічні операції.....	76
4.3. Розрахунок часу обробки.....	80
Висновки до розділу 4.....	80
РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	81
5.1. Мікроклімат	81
5.2. Пожежна безпека.....	83
5.3. Освітлення	85
Висновки до розділу 5.....	88
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	89
6.1. Опис ідеї проекту	89
6.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	90
6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	91
6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	101
6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	105
Висновки до розділу 6.....	109
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	111

ВСТУП

У сучасному світі головною тенденцією є те, що машини та системи повинні бути меншими, простішими та дешевшими. Водночас зростає потреба в енергоефективності та безпеці виробничих процесів, а також прагнення до електрифікації та модуляризації. Автономні приводи є цікавим рішенням. Вони дозволяють створювати децентралізовані інфраструктури з електричним керуванням, незважаючи на меншу площу та менший об'єм мастила в системі. Завдяки герметичній гідравлічній трансмісії, автономні приводи є простою у використанні, надійною і довговічною альтернативою електромеханічним лінійним приводам.

Так як автоматизовані операції широко використовуються в жорстких умовах, де інформація про положення виконавчої ланки має важливе значення. У більшості систем для досягнення кращої точності позиціонування використовуються різні датчики положення: магнітострикційні, потенціометричні, змінної індуктивності. У результаті цього підприємства стикаються з значними фінансовими витратами для виконання переобладнання та відповідності сучасним стандартам. У зв'язку з чим, в даній роботі пропонується розробка рішення позиціонування робочої ланки компактного мобільного електрогідравлічного приводу за рахунок дозованої подачі рідини шляхом встановлення модульної системи пружно-гідравлічного дозування. Дану систему, можна буде застосувати в нафтобудівній галузі при подачі технологічних рідин у свердловину, сталеливарній промисловості на кільцепрокатних станах, харчовій промисловості при пресуванні заморожених рибних блоків, в металообробному обладнанні від ковальських, порошкових і листових пресів до машин для гарячого формування, штампування та ізостатичного пресування.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				9
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИВОДІВ

1.1. Різновиди приводів та сфери їх застосування

Привід – це пристрій, що змушує перетворювати енергію у фізичний рух або механічне переміщення. Привід ініціює рух робочого органу машини після отримання частини вхідної енергії у вигляді сигналу керування зі зворотним зв'язком.

Залежно від джерела енергії, що використовується для живлення приводу, розрізняють вісім типів приводів [1]:

1. Електричні приводи

Електричні приводи використовують для роботи електричну енергію. Швидкість передачі сигналу в електроприводах досить висока. Крім того, вони прості в експлуатації та мають високу точність і чутливість. Електричні приводи поділяються на три великі категорії, а саме: електромеханічні, електрогідравлічні та електростатичні приводи.

Електромеханічний привод

Електромеханічний привід – це привід, який перетворює електричну енергію в механічну силу для переміщення об'єкта або пристрою. Принцип дії більшості електромеханічних приводів заснований на концепції похилої площини. Різьба ходового гвинта використовується як рампа, яка перетворює невелику силу обертання, збільшуючи її на великій відстані (рис. 1.1). Це дозволяє переміщувати великі вантажі на невелику відстань.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		10

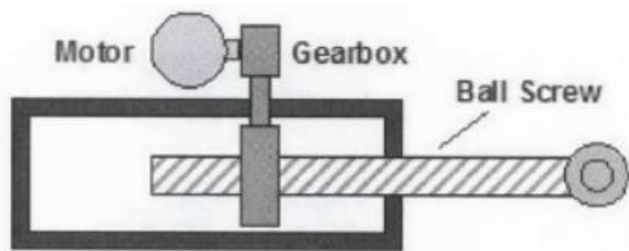


Рис. 1.1 – Основна концепція системи електромеханічного приводу [2]

Електромеханічний привід може бути лінійного або роторного типу (рис. 1.2). У лінійних електромеханічних приводах обертальний рух двигуна перетворюється на лінійний за допомогою механічного вузла, наприклад, кулькового або роликового гвинтового механізму. У роторних – швидкість двигуна зменшується за допомогою редуктора, який з'єднаний з поверхнею або прямолінійно з лінією шарніра, або за допомогою шатуна в зборі.

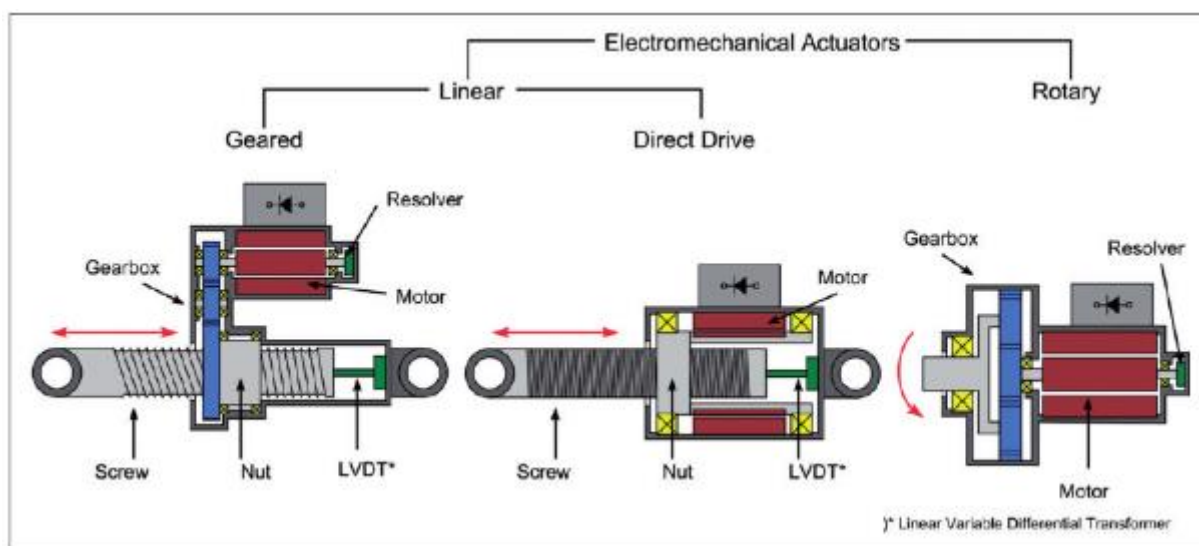


Рис. 1.2 – Класифікація різних типів електромеханічного приводу [3]

Різні галузі промисловості починають знаходити області в своїх процесах, де можна використовувати електромеханічні приводи. Такі галузі, як пакувальна, харчова, енергетична, управління технологічними процесами, будівництво, авіаційна та автомобільна промисловість почали застосовувати електромеханічні системи приводів.

Електрогідравлічний привод

Електрогідравлічний привід – це привід, де рух виконавчого механізму безпосередньо контролюється насосом та електродвигуном, в класичному варіанті без потреби в гідроаккумуляторі та клапанному керуванні (рис. 1.3).

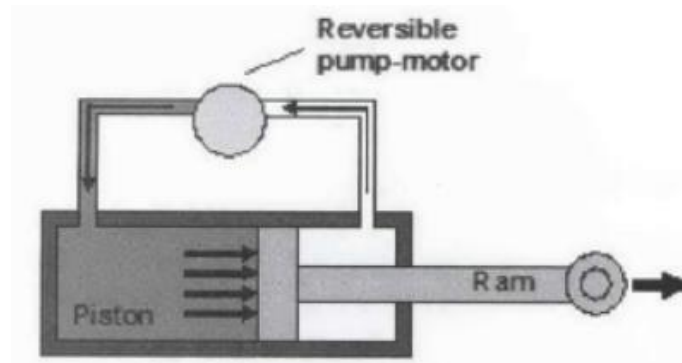


Рис. 1.3 – Основна концепція системи електрогідравлічного приводу [2]

Безклапанні системи електрогідравлічного приводу можна класифікувати залежно від наступних схем замкненого контуру [2]:

1. Гідравлічний насос зі змінним робочим об'ємом і електродвигун з фіксованою швидкістю. Рух лінійного приводу активно контролюється гідравлічним насосом і електродвигуном. Використання цього методу найбільш поширене серед машин з декількома приводами (компактні екскаватори), де унікальний насос живить систему регулювання переміщення кожного агрегату.
2. Гідравлічний насос з постійним робочим об'ємом і електродвигун з регульованою частотою обертання. Кутова швидкість і напрямок обертання валу електродвигуна керують рухом лінійного приводу. Електродвигун може бути як синхронним, так і асинхронним.
3. Гідравлічний насос зі змінним робочим об'ємом і керований електродвигун зі змінною швидкістю, які активно керують рухом лінійного приводу.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		12

Клас енергоефективних автономних електрогідравлічних приводів із можливістю самоблокування

Такі приводи розглядалися як зі звичайними резервуарами, так і повністю автономними приводами, що використовують насоси зі змінним робочим об'ємом або зі змінною швидкістю (фіксованим робочим об'ємом). Будова такого приводу може складатися з одного або декількох насосів.

Підходи керування переміщенням робочої ланки за допомогою насосів [4]:

1. Підхід зі змінним робочим об'ємом насоса

Будова системи, що показана на рис. 1.4, базується на чотирьох квадрантних трансмісійних насосах, які традиційно застосовуються в автомобільних трансмісіях. Така будова системи підтримує належну жорсткість приводу, оскільки тиск у нижній камері підтримується на певному рівні за допомогою зарядного насоса, що з іншого боку спричиняє певні втрати в результаті постійного потоку на виході. Ще однією перевагою цієї будови є те, що фільтрація та охолодження рідини можуть бути реалізовані через відповідний резервуар. Такий варіант виконання розглядався стосовно кранів, колісних навантажувачів та екскаваторів.

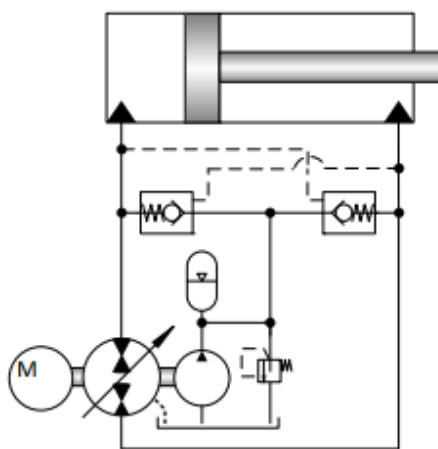


Рис. 1.4 – Привід замкнутого контуру зі змінним робочим об'ємом насоса [4]

		Самусенко			МА21mп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		13

2. Підхід зі змінною швидкістю з одним насосом фіксованого об'єму

Будова системи, що показана на рис. 1.5, базується на електричному приводі зі змінною швидкістю та насосі з фіксованим робочим об'ємом. Як правило, будова такої системи страждає від низької жорсткості приводу через низький тиск у камері циліндра, що не несе навантаження. Низька жорсткість приводу є наслідком нерозчиненого повітря в гідравлічній рідині при низькому тиску ($<25\text{-}30$ бар), що призводить до високого рівня податливості рідини в камері/шлангу/трубі. Отже, зміна тиску в камері нижче цього рівня призведе до сильної зміни динамічних властивостей приводу. Крім того, оскільки більша частина об'єму рідини циркулює між камерами циліндрів – охолодження та фільтрація рідини ускладнені, що ускладнює підтримання рідини в необхідному температурному діапазоні.

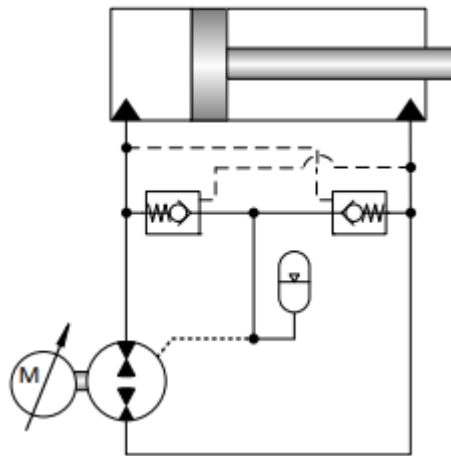


Рис. 1.5 – Привід замкнутого контуру з регульованою швидкістю [4]

3. Підхід зі змінною швидкістю з двома насосами фіксованого об'єму

Будови систем, що показані на рис. 1.4 та 1.5, в літературі вважаються замкнутими контурами, так як основна частина потоку проходить безпосередньо між камерами циліндра за допомогою насоса. Будова системи на рис. 1.6 вважається відкритим контуром, оскільки рідина проходить між камерами через резервуар, а не безпосередньо між камерами. Основна перевага використання двох насосів замість одного 4-квадрантного

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		14

насоса/двигуна, як показано на рис. 1.4 та 1.5, полягає в тому, що асиметрія потоку в диференціальному циліндрі може бути безпосередньо врахована у випадку, якщо відношення об'ємів насосів обрано рівним відношенню площ поршнів циліндра. Подібно до підходу зі змінною швидкістю з одним насосом фіксованого об'єму, цей підхід також страждає від роботи при низькому тиску, що спричиняє низьку жорсткість приводу. Як наслідок, це призводить до тих самих проблем, які обговорювалися вище. Це може бути покращено шляхом включення додаткового насоса, що дає можливість підтримувати низький тиск на певному рівні в більшій частині робочого діапазону.

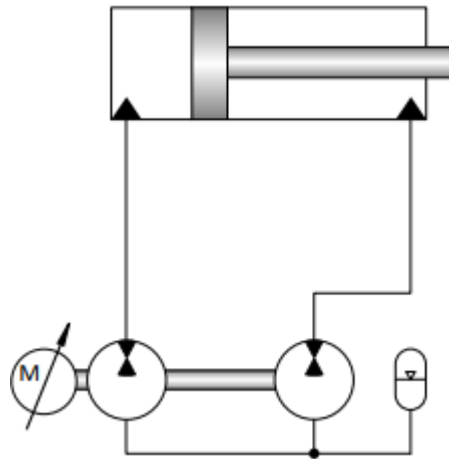


Рис. 1.6 – Привід відкритого контуру з регульованою швидкістю [4]

Наступним кроком розглянемо базову концепцію приводу зі змінною швидкістю в розімкнутому контурі (рис. 1.7). Якщо припустити, що немає жодних обмежень на тиск на вході насоса і що пропорційні клапани не мають витоків, то ця концепція принципово відрізняється від існуючих циліндрових приводів, керованих насосом. Відмінність в тому, що вона є самоблокувальною, тобто розділяє шляхи прямого і зворотного потоків, причому останній є спільним для обох камер циліндра.

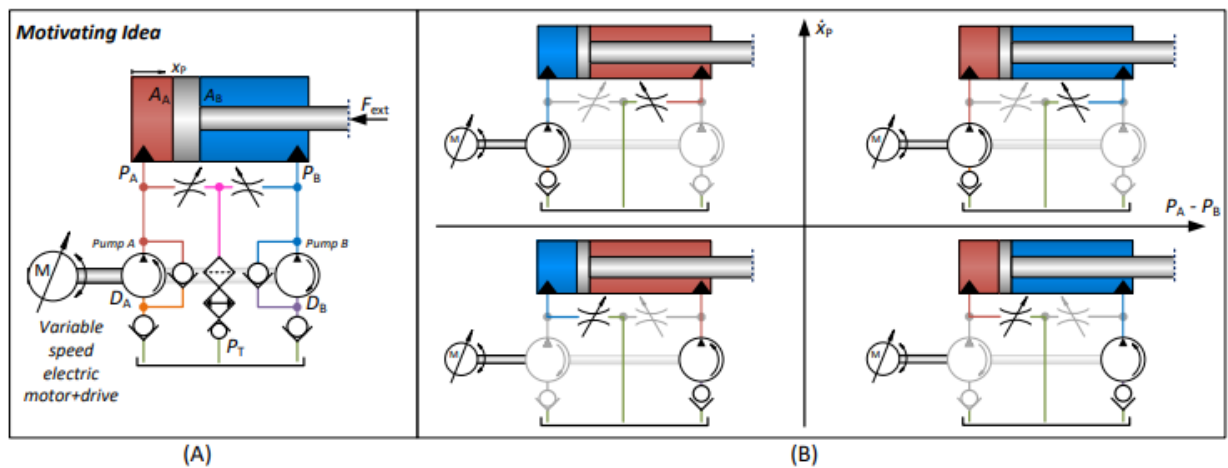


Рис. 1.7 – Базова концепція приводу зі змінною швидкістю в розмікненому контурі: А) концепція приводу насоса з самоблокуванням; В) чотиритактна ілюстрація передбачуваної базової роботи приводу [4]

Вплив вище згаданих особливостей самоблокування на систему описано нижче.

1. Можливість самоблокування

Концепція приводу ідеально самоблокується, тобто, якщо електродвигун і клапани не приведені в дію, поршень циліндра ідеально заблокований. Таким чином, у стаціонарних ситуаціях витік насоса врівноважує різницю тисків на кожному насосі, так що загальний вал насоса не навантажується і не споживає енергію. Таким чином, функція самоблокування дозволяє досягти нульового споживання енергії при стаціонарній роботі (в ідеалі). Однак при наявності навіть невеликого витоку привід не є самоблокувальним, але рівень витоку може бути значно знижений у порівнянні з існуючими приводами, що керуються насосом, оскільки це диктується клапаном, а не насосом. У цьому випадку привід можна назвати квазісамоблокуючим приводом [4].

2. Окремі канали прямого та зворотного потоків

Ця функція дозволяє контролювати рівень тиску в циліндрі, тобто тиск в нижній камері. Це в свою чергу, дозволяє контролювати жорсткість приводу циліндра, як наслідок, розширює діапазон застосування концепції приводу. З іншого боку, ця особливість не дозволяє регенерувати енергію, коли на рух поршня діє зовнішня сила. Тоді потужність, що передана навантаженням, буде розсіюватися у вигляді тепла в приводі. Однак, коли циліндр повинен виконувати роботу, тобто коли навантаження є резистивним, передача енергії може бути досить ефективною, оскільки рідина передається безпосередньо до циліндра через насос [4].

3. Загальний канал зворотного потоку

Зворотний потік проходить через клапан і спрямовується загальним шляхом до резервуару, забезпечуючи охолодження та фільтрацію рідини. При правильній реалізації, рідина може підтримуватися в необхідному діапазоні чистоти і температури, а отже, і в'язкості, що має вирішальне значення для довговічності та надійності самої рідини, а також її компонентів. Слід зазначити, що рідина може циркулювати з резервуара за допомогою насоса і клапана через систему фільтрації та охолодження, зберігаючи при цьому охолодження та положення поршня і відповідно гідравлічне зусилля на виході постійними [4].

Очевидно, що заявлені властивості сильно залежать від системи керування приводом. Можна побачити, що ця концепція передбачає великий ступінь свободи в управлінні приводом і дозволяє досягти різних цілей з точки зору жорсткості, охолодження, фільтрації, ефективності. Так як насоси, регулювальні клапани, зворотні клапани, електродвигуни та відповідні приводи легко доступні в широкому асортименті, концепція приводу має високу масштабованість. Отже, якщо реалізувати її за низькою вартістю та

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				17
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

належним чином контролювати, то ця концепція є альтернативою традиційним клапанним рішенням у широкому діапазоні застосувань.

Реалізація класу будов приводів з можливістю самоблокування

Приклади реалізації можливості самоблокування приводу наведено на рис 1.8. Будови (А), (В) і (С) мають охолодження і фільтрацію в загальній зворотній лінії і без можливості рекуперації енергії в разі допоміжних навантажень. Будови (D), (E) і (F) подібні до (А), (В) і (С), однак вони модифіковані допоміжними клапанами таким чином, що енергія пов'язана з допоміжними навантаженнями, може бути рекуперована в певній мірі. Рекуперація енергії відбувається за рахунок допоміжних жовтих клапанів.

Крім того, будови (С) і (F) можуть бути реалізовані зі мотор-редукторами, (В) і (E) – зі шестеренними насосами з зовнішнім зачепленням. Будови (В), (С), (E) і (F) характеризуються наявністю випрямлення потоку між джерелом потоку і камерами циліндра. Тобто це означає, що перед джерелом потоку повинен накопичуватися тиск, перш ніж може відбутися спрацювання циліндра. Це призведе до деякого запізнення реакції приводу, яку можна зменшити за рахунок зменшення об'єму між джерелом потоку та зворотними клапанами у поєднанні з належним керуванням. Будови (А) і (D) не мають цих особливостей, оскільки виходи насосів безпосередньо з'єднані з камерами циліндрів, і фаза нарощування тиску перед спрацюванням циліндра не потрібна. Однак ці будови вимагають, щоб насоси забезпечували високий тиск на стороні всмоктування, уникаючи при цьому зливу з корпусу.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		18

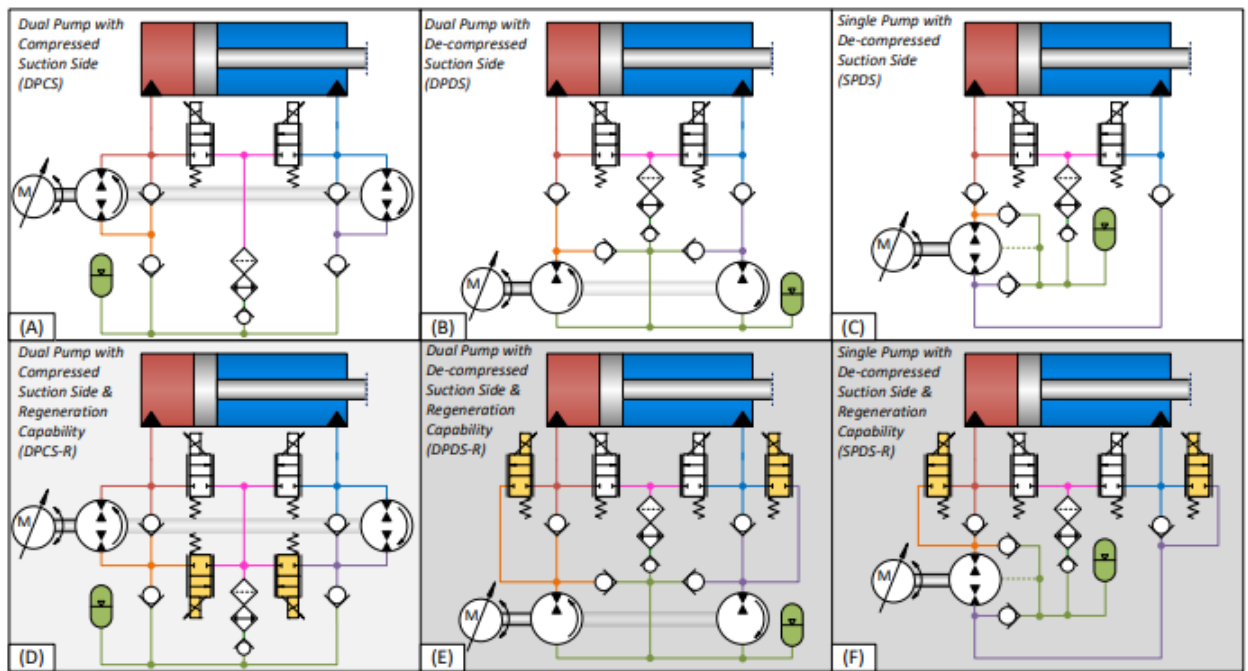


Рис. 1.8 – Приклади реалізації можливості самоблокування приводу:
(А-С) – без можливості рекуперації енергії; (D-F) – з можливістю рекуперації енергії [4]

На рис. 1.9 зображено модульний вигляд автономного електрогідравлічного приводу. Такий привід об'єднує всю систему живлення рідини з добре впізнаваною компоновкою, тобто привід, клапани, гідроаккумулятор і привід живлення. Цей тип приводу є популярним рішенням завдяки модульності та зменшенню ймовірності витоків.

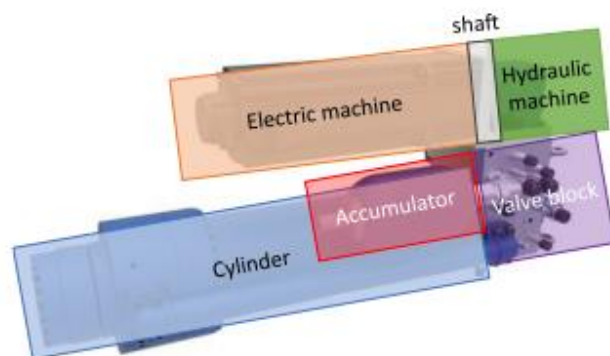


Рис. 1.9 – Класична конфігурація електрогідравлічного приводу [5]

Електрогідравлічні приводи можуть працювати в широкому діапазоні температур і тиску, що дає їм здатність ефективно функціонувати в умовах великого навантаження, таких як морські нафтові вишки, військові транспортні засоби та промислове обладнання. При цьому вони можуть мати компактні розміри та невелику вагу, що робить їх ідеальними для використання в аерокосмічній і оборонній сферах, де вага і простір є критично важливими факторами [6].

Електрогідростатичний привід

Електрогідростатичний привід – це автономна гідравлічна система, що складається з безщіткового двигуна постійного струму, двонаправленого насоса, акумулятора, елементів керування, гідроприводу та контролера, змонтованих на центральному колекторі.

Блок діаграму типового електрогідростатичної системи наведено на рис 1.10. Контролер надсилає електричний керуючий сигнал на серводвигун відповідно до вхідної команди, а серводвигун приймає цей електричний сигнал і надає відповідний напрямок обертання і швидкість насосу. Насос в свою чергу, направляє гідравлічний потік на кінець поршня і створює різницю тисків по обидва боки поршня. Під дією цієї різниці тисків поршень починає переміщуватися. Датчик на штоці циліндра передає інформацію про переміщення назад до контролера. Під час руху поршень повинен витримувати силу пружності, силу тертя, силу демпфування та силу навантаження. Елементи керування включають зворотні клапани, клапани скидання тиску і байпасний клапан. Акумулятор можна використовувати як вторинне гідравлічне джерело, що дозволяє повторно впорскувати рідину, що відповідає витоку насоса в гідравлічному контурі, а також використовувати при недостатньому внутрішньому тиску в лінії подачі, щоб уникнути кавітації [7].

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				20
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

- преси;
- спеціальні верстати;
- обробка матеріалів;
- випробувальні машини (лабораторні);
- харчова промисловість.

2. Гідравлічні приводи

Гідравлічний привод (рис. 1.12) – це привод, що перетворює енергію робочої рідини в механічну енергію, пов'язану зі зворотно-поступальним рухом. Тиск робочої рідини діє на поршень і створює силу, що змушує поршневий вузол рухатися. В результаті поршневий шток може виконувати корисну роботу. Гідроприводи є виконавчим елементом силових гідравлічних систем.



Рис. 1.12 – Гідравлічний привід

3. Пневматичні приводи

Пневматичний привід (рис. 1.13) – це тип приводу, який використовується для перетворення енергії стисненого повітря в рух. Існують різні виробники, які пропонують різні форми пневматичних приводів, де деякі приводи перетворюють енергію стисненого повітря в лінійний рух, а деякі приводи – в обертальний рух. Ці приводи мають різні назви в промисловості, такі як повітряні балони, повітряні приводи та пневматичні балони.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		22



Рис. 1.13 – Пневматичний привод

4. Теплові приводи

Теплові приводи (рис. 1.14) перетворюють теплову енергію в кінетичну. Ці типи приводів містять термочутливий елемент, який розширюється і стискається відповідно до змін температури навколишнього середовища. Коли температура зовні ковпачка 6 підвищується, термоматеріал 5 розширюється і видавлює діафрагму 4; діафрагма 4 штовхає плунжер 2 що викликає рух поршня 1.

Теплові приводи надійні і найкраще підходять для використання в небезпечних зонах. Теплові приводи використовуються в таких сферах, як регулювання температури, захист від замерзання тощо.

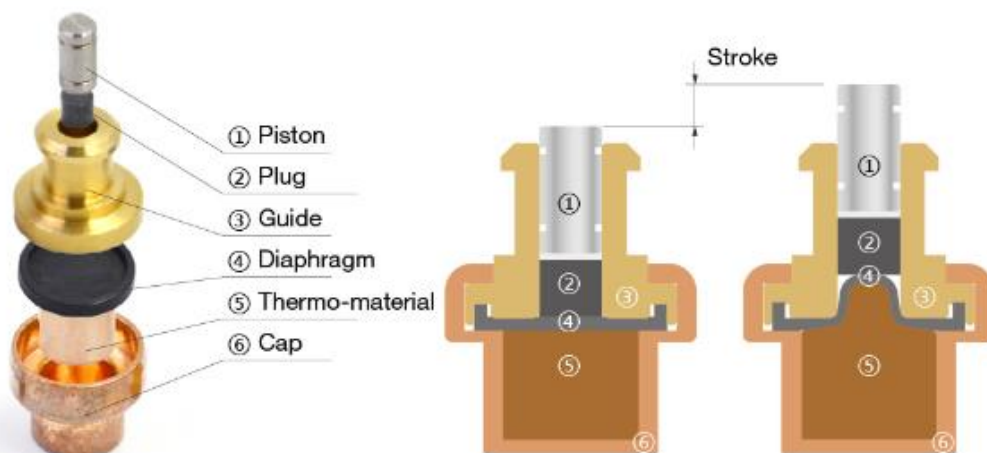


Рис. 1.14 – Тепловий привод [9]

		Самусенко			МА21mн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				23
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

5. Механічні приводи

Механічний привід працює на основі принципу передачі сили через механічні елементи. Джерелом енергії може бути електродвигун, тепловий двигун, газовий двигун або будь-яке інше джерело енергії. Приводна система складається з обертових і нерухомих елементів, які передають рух від вхідного вала до вихідного вала. Наприклад, видатними прикладами механічних виконавчих механізмів є система шківів, зубчасті колеса, зубчаста рейка тощо.

6. Полімерні приводи

Полімерні приводи в основному використовуються в робототехніці та в медицині для створення протезів кінцівок. Вони використовують котушку, яка стискається при охолодженні і розширюється при нагріванні, таким чином використовуючи тиск для індукції руху.

7. Магнітні приводи

Магнітні приводи (рис. 1.15) працюють за принципом магнітного приведення в дію на основі рівняння сили Лоренца. Сила, необхідна для того, щоб змусити частину машини зміститися з початкового положення за допомогою магнітних приводів, створюється шляхом розміщення струмопровідного провідника в статичному магнітному полі. Магнітне поле, що створюється навколо струмоведучого провідника, взаємодіє зі статичним магнітним полем і генерує силу великої величини.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		24



Рис. 1.15 – Магнітний привод [11]

8. П'єзоелектричні приводи

П'єзоелектричні приводи (рис. 1.16) – це приводи, які приймають електронні сигнали на вході і використовуються для керування механічним рухом пристрою. П'єзоелектричні приводи не використовують напрямні та поршні для передачі енергії, натомість вони використовують зміни тиску, спричинені стисненням та розширенням таких матеріалів, як кераміка, для створення високочастотних ходів. Ці типи приводів мають високочастотну характеристику та більшу роздільну здатність переміщення.



Рис. 1.16 – П'єзоелектричний привод [12]

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				25
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Табл. 1.1 – Порівняльна характеристика приводів [9-14]

Тип	Переваги	Недоліки
Електромеханічний	Висока енергетична ефективність, простота монтажу, просте обслуговування, добре підходить для поворотного приводу	Велика важка конструкція, заклинювання редуктора, виникнення люфту
Електрогідравлічний	Мобільність, компактність, висока питома потужність, висока енергетична ефективність, низькі вимоги до технічного обслуговування, низький рівень шуму	Висока чутливість до зовнішніх магнітних полів, небезпечно використовувати в зонах з надзвичайно високою температурою
Електрогідростатичний	Мобільність, висока енергетична ефективність, висока питома потужність, екологічно безпечний, швидке програмування, знижений ризик поломок і більш швидке технічне обслуговування, низький рівень шуму	Висока чутливість до зовнішніх магнітних полів, ціна комплектуючих одиниць, обмежена жорсткість, небезпечно використовувати в зонах з надзвичайно високою температурою

Гідравлічний	Великі зусилля при малих габаритах, висока питома потужність, простота монтажу та обслуговування, довговічність	Наявність витоків, втрати тиску, низька швидкодія передавання сигналу, екологічність
Пневматичний	Проста конструкція, не потрібні складні передавальні механізми, висока сила та швидкість руху, довговічність, пожежобезпека, екологічність	Стисливість повітря, неможливість отримання рівномірної та постійної швидкості руху робочих органів, труднощі в роботі на низьких швидкостях, обмеженість умов експлуатації
Механічний	Проста конструкція, надійність, ефективність передачі руху, можливість передавати великий крутний момент	Обмежена гнучкість, обслуговування, зношення елементів
Тепловий	Компактні розміри, низька робоча напруга, високе вихідне зусилля	Високе енергоспоживання, повільний час відгуку, залежність спрацьовування від

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				27
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

		навколишнього середовища
Полімерний	Низька щільність, відновлення при високих навантаженнях біосумісність, здатність до біологічного розкладання	Вимагають відносно високої напруги, складне виробництво
Магнітний	Висока точність, низьке енергоспоживання та можливість роботи в суворих умовах	Вплив зовнішніх магнітних полів, потреба в джерелі живлення для генерації електричного струму
П'єзоелектричний	Швидкий час відгуку, робота при високій напрузі	Обмежена довжина робочого ходу

1.2. Системи керування без датчиків зворотного зв'язку

Автоматизовані операції широко використовуються в жорстких умовах, де інформація про положення виконавчої ланки має важливе значення. Для досягнення кращої точності та певної міри автоматизації рухів у з'єднаннях з гідравлічним приводом було досліджено застосування різних датчиків положення. Найчастіше для вимірювання положення поршня гідравлічних циліндрів використовують магнітострикційні, потенціометричні, датчики змінної індуктивності та на основі тягового дроту. На перший погляд такі датчики здаються простими і надійними, однак вони можуть бути напрочуд дорогими або складними для впровадження в системах, де потрібна надійність і стійкість в жорстких умовах експлуатації. Так як такі датчики мають певні недоліки, що призвело до пошуку альтернативних методів, одним з яких є віртуальні датчики.

1.2.1. Віртуальні датчики

Щоб зменшити кількість необхідних датчиків, були проведені дослідження в галузі бездатчикового контролю різних застосувань за допомогою віртуалізації датчиків. Віртуальний датчик означає обчислення потрібного вимірювання за допомогою значень з інших датчиків і використання їх у моделі процесу для отримання потрібного значення. Таким чином, термін "бездатчиковий" означає не відсутність датчиків, а відсутність прямих вимірювань, які, як згадувалося раніше, можуть бути проблематичними через вартість, ненадійність або складність в обслуговуванні.

Наприклад, автомобільні електромеханічні приводи, в яких положення безщіткового двигуна постійного струму вимірюється за коливанням струму в пазах двигуна, були досліджені для економії витрат на вікна електромобілів

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		29

[15]. В іншому прикладі [16] розглядалися два з'єднані між собою резервуари з технологічною рідиною, рівень якої вимірювався датчиками тиску. Коли один з датчиків виходив з ладу, його показання можна було обчислити на основі даних іншого датчика тиску та датчиків витрати, використовуючи лінеаризовану фізичну модель. Інші приклади включають обчислення товщини сталевих смуг на виході з валків прокатного стану за товщиною і швидкістю на вході і швидкості на виході, враховуючи, що ширина смуги постійна. У переробній промисловості віртуальні датчики починають набувати все більшого поширення в подібних випадках.

Хоча віртуальні датчики можуть призвести до економії витрат на компоненти та механічне проектування, вони збільшують інші витрати на проектування та час. Однак, оскільки моделювання стає рутиною у всіх процесах проектування, планування додавання віртуальних датчиків може стати більш поширеним явищем.

1.2.2. Гідравліка з прямим приводом

Гідравлічні приводи знайшли своє застосування в різних галузях промисловості завдяки високому співвідношенню потужності до ваги та надійності. Підвищення енергоефективності гідравлічних систем завжди було досліджуваною областю. Модернізація традиційно проявлялася у вдосконаленні окремих компонентів і більш комп'ютеризованому управлінні, хоча основна схема гідравліки з клапанним керуванням залишилася.

Найпоширенішою схемою в гідравліці є клапанне керування, коли головний насос використовується для подачі робочої рідини до всіх виконавчих механізмів. Коли система працює на холостому ході, весь потік спрямовується або через відкрите центральне положення регулювальних клапанів, або через запобіжний клапан, який також захищає систему від

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		30

надлишкового тиску, відкриваючись, коли тиск в системі досягає заданого рівня. Потік спрямовується до різних виконавчих механізмів за допомогою розподільних клапанів. Оскільки потік від насоса зазвичай постійний, потік до виконавчого механізму регулюється положенням клапана. Будь-який потік, що залишився, проходить або через центр клапана, або через запобіжний клапан. Як і будь-який інший отвір, розподільники також спричиняють втрати тиску. На рис. 1.2.1 показано приклад простої двоциліндрової гідравлічної системи з відкритим контуром, керованої клапаном [17].

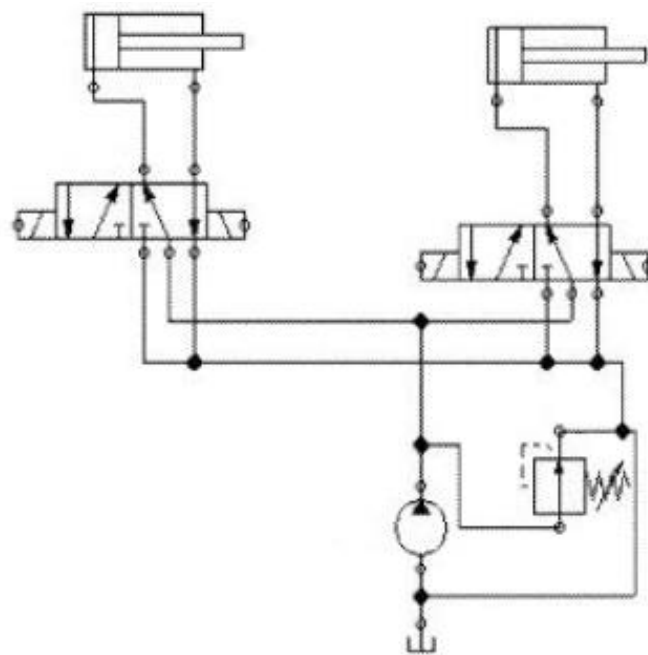
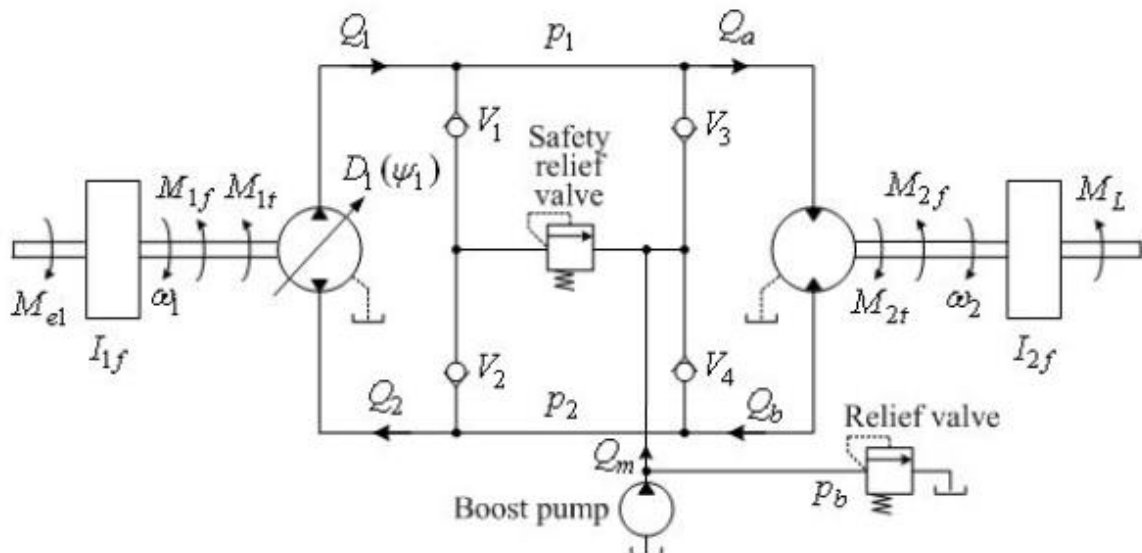


Рис. 1.2.1 – Приклад традиційної гідравлічної системи з відкритим контуром, керованої клапаном [17]

Для підвищення ефективності гідравлічної передачі потужності очевидно, що необхідно зменшити втрати потужності на холостому ході та часткову подачу на виконавчі механізми. Простий спосіб – вимкнути двигун насоса, коли він не потрібен. Однак такий варіант не підходить для гідравлічних систем, де затримка від запиту управління до дії повинна бути мінімальною. Використання електродвигуна забезпечить швидкий час відгуку і високий крутний момент з самого початку, що робить їх більш придатними. Однак це в основному справедливо для невеликих машин, а не для великих

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		31

Продовженням цього є перехід від систем з керуванням клапанами до систем з керуванням насосом, де двигун приводить в дію насос для керування потоком до одного виконавчого механізму. Гідравлічні двигуни з насосним керуванням використовувалися в гідростатичних трансмісіях мобільних робочих машин рис. 1.2.2, однак гідроциліндри з насосним керуванням були рідкістю через різницю в необхідному об'ємі рідини. Цю проблему співвідношення зазвичай вирішували за допомогою двоштокових циліндрів, де обидві сторони поршня циліндра мають однакову площу і, відповідно, однаковий необхідний потік. Однак це означає, що для циліндра потрібно більше місця. Це може бути прийнятним для деяких застосувань і для коротких рухів, але, наприклад, у стрілі екскаватора або навантажувача часто не вистачає місця для протилежного штока.



Одним із прикладів замкнутих систем, керованих насосом, є електрогідростатичні приводи (ЕГП). Приклад системи з насосом і двоштоковим циліндром представлений на рис. 1.2.3. Підтип ЕГП називається

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідравлікою з прямим приводом (ГПП). В якості двигуна використовується електродвигун з сервоприводом, що дозволяє точно контролювати швидкість насоса і кількість обертів.

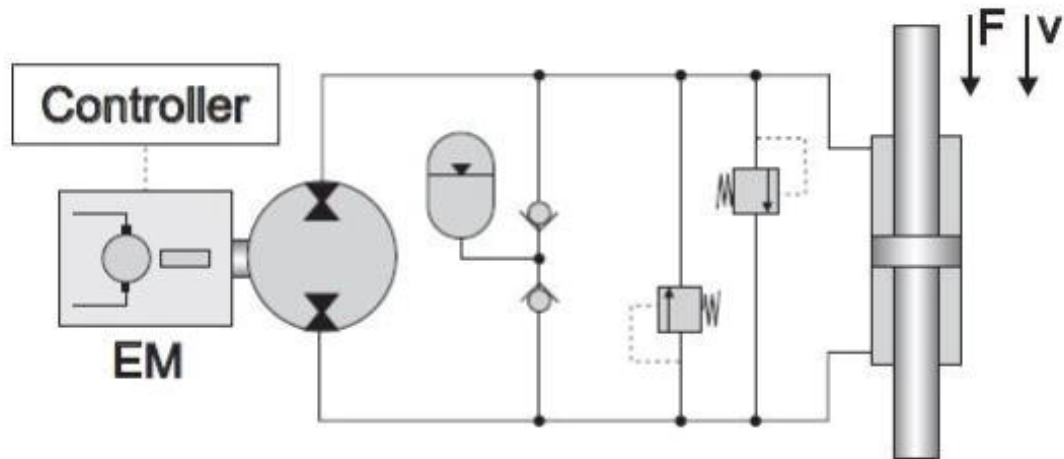


Рис. 1.2.3 – Приклад системи електрогідростатичного приводу з двоштоковим циліндром [17]

Таким чином, системи гідравліки з прямим приводом, що керуються насосом, є індивідуальними системами для кожного виконавчого механізму, в ідеалі розташовані близько до самого виконавчого механізму. Використання гідравліки з прямим приводом дозволяє створити більш компактну гідравлічну систему для одного приводу завдяки зменшенню кількості труб і шлангів від двигуна і насосної секції до приводів, що значно підвищує загальну ефективність системи.

Бездатчикове покрокове позиціонування гідравлічного лінійного приводу

Гідравлічний лінійний кроковий привід живиться від гідравлічного джерела постійного тиску $p_0 = \text{const}$, що представляє собою ідеальне джерело гідравлічної енергії незалежно від витрати. Два однакових нерегульованих дросельних клапана розміщені на вході правої та лівої сторони камери приводу. На виході гідравлічного лінійного крокового приводу є n бінарних клапанів вмикання/вимикання. Бінарні клапани вмикання/вимикання

		Самусенко			МА21м03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				33
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

(тарілчастого типу) схожі на зворотні клапани з пілотним відкриттям, але вони працюють як повітряні клапани. Як показано на гідравлічній схемі на рис. 1.2.4, бінарний клапан стравлює потік у стані "Увімкнено" і перекриває потік у стані "Вимкнено". Бінарний клапан вмикання/вимикання приводиться в дію електромагнітною котушкою і повертається у вихідне положення під дією пружини. Після ввімкнення живлення електромагніту бінарний клапан негайно відкриває шлях потоку від вихідних отворів до баку. У випадку високошвидкісного вмикання/вимикання електромагнітного клапана це означає час затримки перемикавання 5-20 мс. З іншого боку, тарілчастий клапан відкривається на стільки, на скільки потрібно для проходження потоку. Тарілчастому клапану потрібно пройти меншу відстань, щоб зупинити потік, тому його реакція швидша, ніж у інших клапанів (наприклад, золотникових). Після відкриття і-го бінарного вмикаючого/вимикаючого клапана відбувається падіння тиску в одній камері приводу. Під дією перепаду тиску $\Delta p = |p_1 - p_2|$ поршень приводу переміщується до місця витікання потоку через вихідні щілини 1 і 2. У нестационарному режимі тиск p_1 і p_2 в лівій і правій камерах циліндра може поперемінно збільшуватися і зменшуватися до тих пір, поки не буде досягнуто фіксованого положення поршня приводу. Поршень приводу рухається до тих пір, поки не буде досягнутий стаціонарний стан, в якому існує рівновага сил що діють на поршень приводу, коли тиск p_1 в лівій камері і p_2 в правій однакові. Вихідні щілини 1 і 2 з поршнем приводу створюють симетричну дозуючу кромку з від'ємним перекриттям, як показано на деталі А на рис. 1.2.5. [18]

Різні відмінні положення поршня приводу по відношенню до вихідних отворів 1 і 2 схематично показані на рис. 1.2.5. Для кожного окремого положення поршня приводу позначені витрати q_{vij} (де: i - кількість камер приводу, j - кількість вихідних щілин). [18]

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				34
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

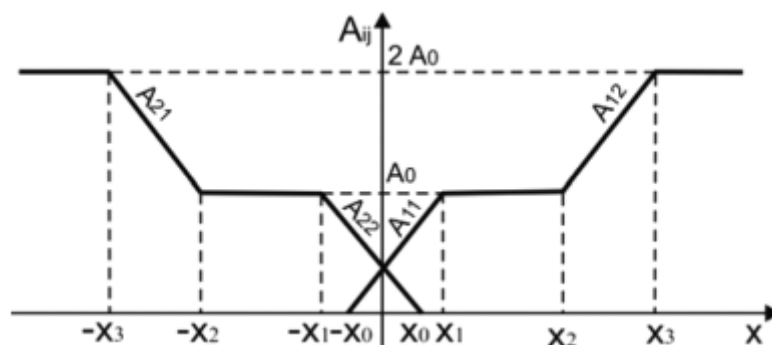


Рис. 1.2.6 – Статичні характеристики площі поперечного перерізу потоку A_{ij} [18]

Динамічні характеристики бездатчикової системи позиціонування гідравлічного лінійного крокового приводу було визначено автором статті на основі динамічної моделі за допомогою методу графів зв'язків. Цифрове моделювання було проведено з використанням доступного програмного забезпечення - CAMPG (Computer Aided Modelling Program with Graphical Input) з інтерфейсом до середовища Matlab&Simulink. CAMPG приймає топологічний опис моделі фізичної системи, що описується графом зв'язків, і трансформує його в динамічну імітаційну модель гідравлічного лінійного крокового приводу у вигляді вихідного коду [18]. Основні значення параметрів при цифровому моделюванні наведено в таблиці 1.2.1.

Табл. 1.2.1 – Основні параметри моделювання [18]

Назва	Позначення	Значення
Джерело енергії, яке відповідає тиску p_0	SE_p	15 MPa
Джерело зусилля, яке відповідає кулонівському тертю	SE_c	100 N
Площа поршня	A	$0.77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Інерція при накопиченні кінетичної енергії, що відповідає масі поршня і корисному навантаженні	I	12 kg
Гідравлічні опори дросельних клапанів	R_1, R_2	$0.41 \cdot 10^9 \text{ Pas/m}^3$
Об'єми порожнин циліндра	C_1, C_2	$0.85 \cdot 10^{14},$ $0.42 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{Pa}$

Результат динамічних характеристик гідравлічного лінійного крокового приводу при одному кроці h_1 поршня представлений на рис. 1.2.7.

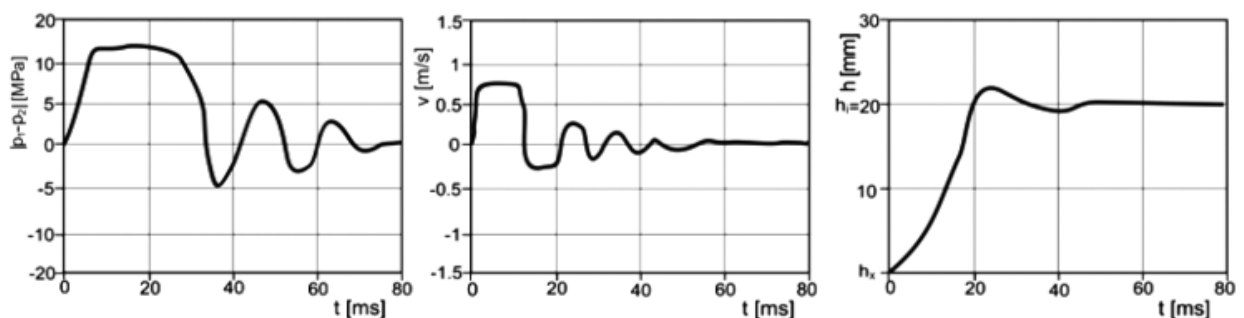


Рис. 1.2.7 – Динамічні характеристики при одноступінчастому позиціонуванні гідравлічного лінійного крокового приводу [18]

У статті автор представив нове рішення і принцип роботи бездатчикової системи позиціонування гідравлічного лінійного крокового приводу, керованого комбінацією одиночних бінарних вентилів вмикання/вимикання. Бездатчикова система позиціонування має перевагу в тому, що вона точно керується в розімкненому контурі без зворотного зв'язку, необхідного для позиціонування гідравлічного лінійного крокового приводу. Оскільки датчик зворотного зв'язку по положенню не потрібен, це дозволяє заощадити кошти в порівнянні з системою сервоуправління.

1.3. Мета та задачі досліджень

Метою даної роботи є розробка рішення позиціонування робочої ланки компактного мобільного електрогідравлічного модуля за рахунок дозованої подачі рідини шляхом встановлення системи пружно-гідравлічного дозування. Такий модуль має наступні переваги:

- скорочення часу монтування;
- підвищена енергетична ефективність;
- спрощена система керування за рахунок відсутності датчиків зворотного зв'язку;
- можливість використання для широкого кола систем за рахунок модульної будови приводу.

Задачі дослідження

- Аналітичний огляд конструктивних рішень систем приводів, особливостей їх конфігурацій та виконуваних задач;
- Аналіз способів керування в системах без датчиків зворотного зв'язку;
- Розробка схематичного рішення дозованої подачі рідини на базі мобільного електрогідравлічного модуля за рахунок системи пружно-гідравлічного дозування;
- Розробка модернізованого конструктивного рішення модульної системи пружно-гідравлічного дозування із запиранням об'ємів;
- Модельне дослідження електрогідравлічної системи приводу. Обґрунтування залежності кількості спрацювань модульної системи пружно-гідравлічного дозування для переміщення вихідної ланки гідроциліндра в задане положення під дією зовнішнього навантаження.
- Маркетинговий аналіз стартап-проекту, що базується на запропонованому рішенні позиціонування робочої ланки за рахунок дозованої подачі.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				38
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДУЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ

Тенденцією вдосконалення засобів автоматизації є підвищення якості продуктів виробництва, і як наслідок, підвищення точності відпрацювання виробничих функцій виконавчими пристроями мехатроніки. Більшість автоматизованих виробничих систем, в яких задіяна значна кількість виконавчих пристроїв, побудовані із зворотними зв'язками, які фактично забезпечують необхідну якість продукції та високі показники технології. Але наявність значної кількості асинхронних об'єктів контролю і керування, разом з чисельними лініями зворотного зв'язку у складі однієї системи, не тільки призводить до суттєвого переобладнання виробництва, але якісно підвищують складність керування і вартість експлуатації системи. Компромісним варіантом є часткова відмова від використання зворотного зв'язку на користь дозованої подачі рідини [19].

У зв'язку з цим пропонується рішення позиціонування робочої ланки гідроприводу за рахунок дозованої подачі рідини на базі компактної електрогідравлічної системи приводу.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		39

2.1. Опис та принцип дії приводу

Компактна електрогідравлічна система приводу (рис. 2.1) застосовується для перетворення електричної енергії в точний, контрольований рух гідравлічного циліндра. Складається з синхронного двигуна з датчиком обертання (1), малошумного шестеренного насоса з внутрішнім зачепленням з можливістю працювати в чотирьохтактному режимі (2), гідроциліндра (3), гідроаккумулятора (4), блок керуючої апаратури (5), система вимірювання положення поршня гідроциліндра (6). Керування та контроль роботи приводу відбувається за допомогою контролера.

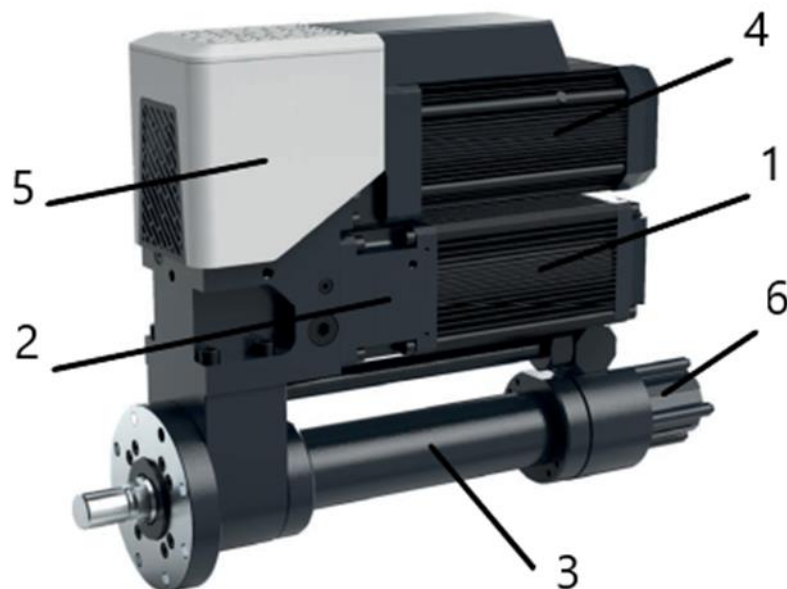


Рис. 2.1 – Будова компактної електрогідравлічної системи приводу

Визначимо функції кожної складової цього приводу:

1. Мотор-насосна група

Моторно-насосна група забезпечує гідравлічну потужність за мірою необхідності.

2. Гідроциліндр

Гідроциліндр перетворює витрату і тиск в лінійний рух з силою.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				40
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

3. Гідроаккумулятор

Так як електрогідравлічний привід є системою закритого типу, тому гідроаккумулятор служить для компенсації перепаду об'єму при втягуванні та виштовхуванні штоку, а також для зменшення температурних коливань.

4. Блок керуючої апаратури

Реалізується виштовхування, втягування та фіксація штоку в певному положенні під навантаженням. Також відбувається контроль та обмеження робочого тиску в системі.

5. Система вимірювання положення поршня гідроциліндра

Положення поршня визначається за допомогою встановленої системи вимірювання абсолютного положення.

Табл. 2.1 – Основні характеристики модуля

Параметр	Значення
Діаметр поршня	120 мм
Діаметр штоку	65 мм
Довжина ходу	450 мм
Максимальне зусилля, що генерується під тиском	300 кН
Максимальний допустимий тиск	25 МПа
Ємність гідроаккумулятора	10 л

Електрогідравлічні приводи можуть використовуватися в багатьох сферах застосування. Завдяки своїм специфічним властивостям вони мають переваги з точки зору точності, динаміки та керованості. Таким чином, вони

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		41

сприяють скороченню часу циклу, підвищенню гнучкості та якості виробничого процесу.

Приклади основних операцій, що виконують мобільні електрогідравлічні приводи (рис. 2.2).

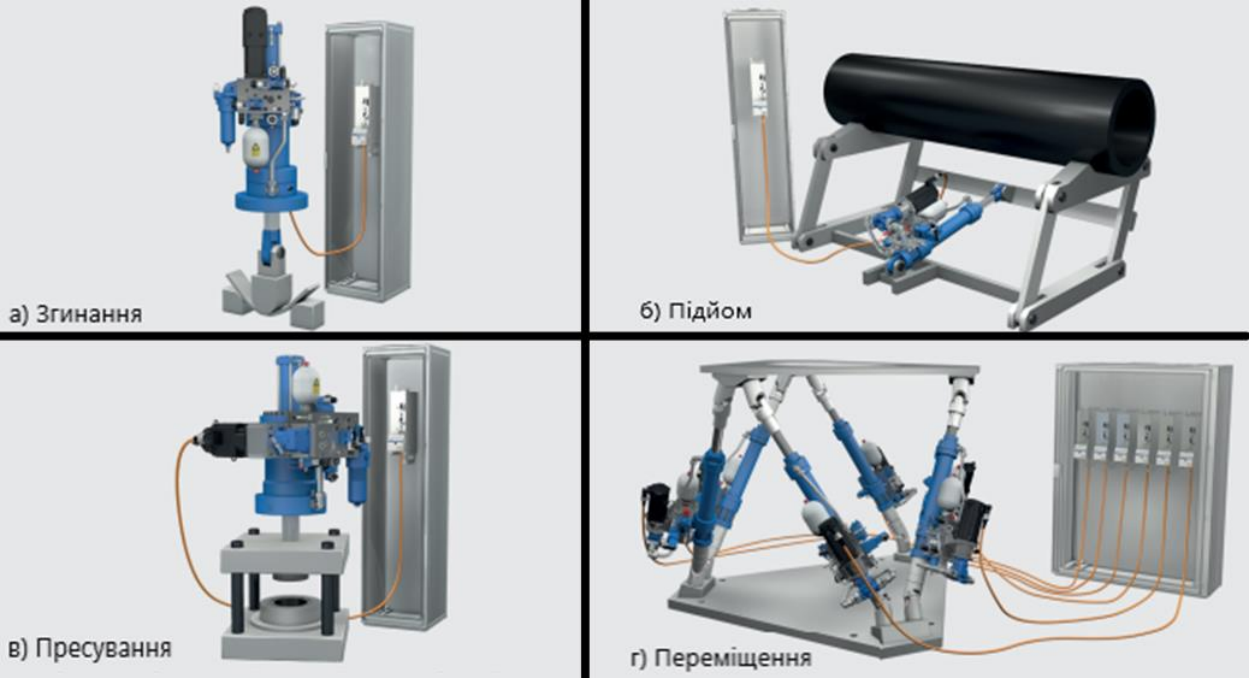


Рис. 2.2 – Приклади виконання основних операцій мобільними електрогідравлічними приводами

2.2. Розробка гідравлічної схеми електрогідравлічного приводу

Гідравлічна схема електрогідравлічного приводу (рис. 2.3) складається з нерегульованого реверсивного насоса Н, гідроакумулятора АК, основного розподільника Р1, двох модулів пружно-гідравлічного дозування рідини ГПД1 та ГПД2, тандемного гідроциліндру Ц, розподільників для зливу рідини Р2 і Р3.

Клапани тиску КТ1 та КТ2 необхідні для запобігання виникненню надмірного тиску, що може бути спричинений навантаженням в системі. ТанDEMний гідроциліндр Ц дає змогу зменшити вхідну потужність. Так як гідропривід має систему замкнутого типу, то функції баку бере на себе гідроакумулятор АК. Також він необхідний для компенсації різниці об'ємів при втягуванні та виштовхуванні штоку.

Створення потоку робочої рідини в системі відбувається за рахунок насоса з серводвигуном. За рахунок перемикання розподільника Р1 відбувається подача рідини в один з дозуючих модулів. Таким чином, дозатори, що підключені до тандемного гідроциліндра Ц, виконують імпульсну подачу дозованої кількості рідини. Відповідно, в поршневу порожнину дозована подача рідини відбувається за рахунок модуля ГПД1, а в штокову порожнину – за рахунок ГПД2. Завдяки такому виконанню можливо виконати позиціонування руху в обох напрямках. Робочими елементами у модулі пружно-гідравлічного дозування є кулькові клапани між якими в порожнинах можуть запиратися два об'єми, менший та більший, для можливості керуванням ходом поршня.

Відповідно, за рахунок подачі сигналів управління на електромагніти У6 та У7, робоча рідина під тиском подається до порожнин дозуючого модуля. Таким чином, після заповнення порожнин відбувається припинення подачі сигналів управління У6 та У7 з утворенням камер більшого та меншого об'єму. При подачі сигналу на електромагніт У5, рідина під дією пружно-

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		43

деформуючих сил перемістить поршень на величину, що відповідає об'єму камері в якій вона запиралась. Злив рідини при висуванні та втягуванні штока відбувається за рахунок переключення розподільників P2 та P3.

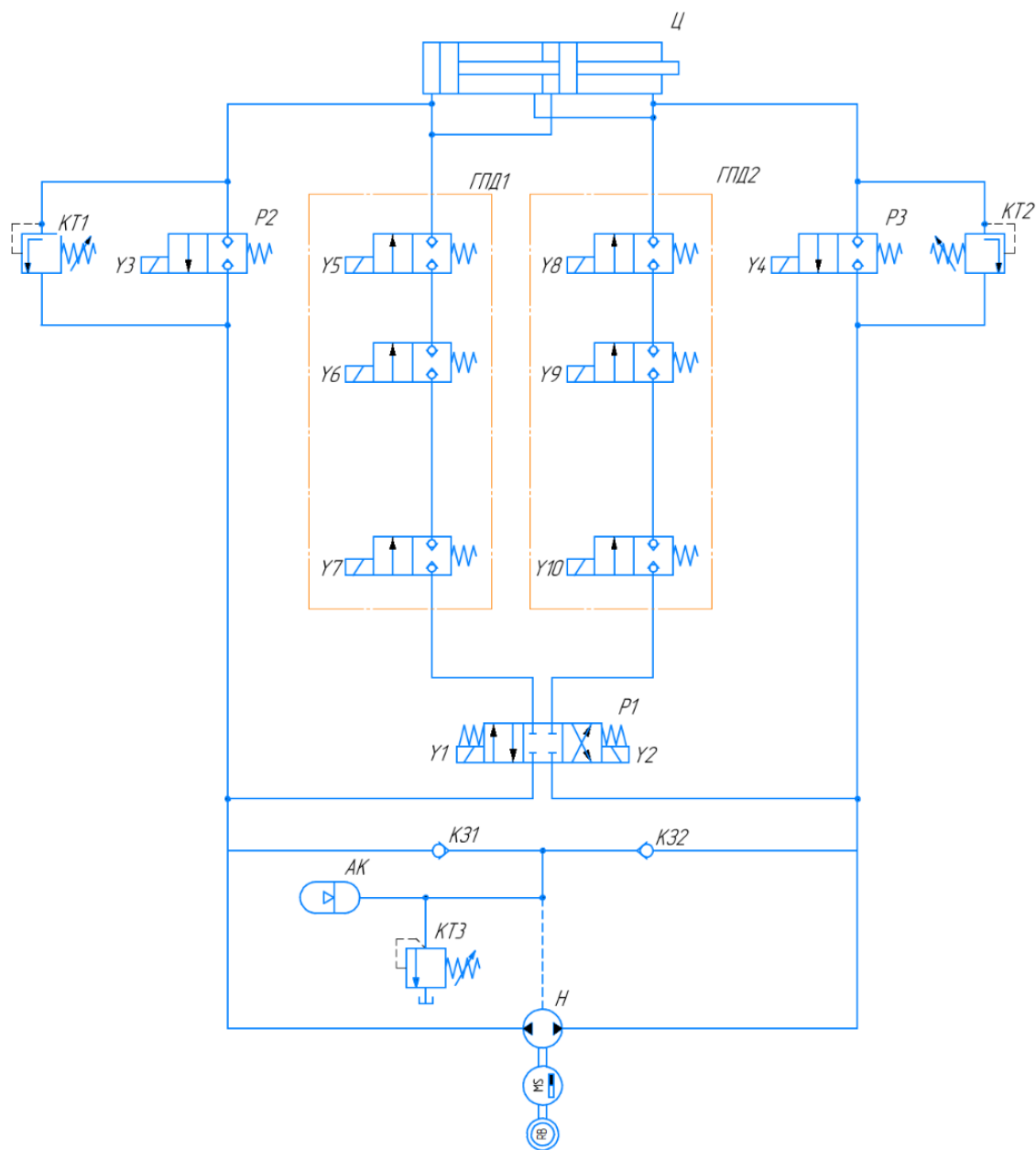
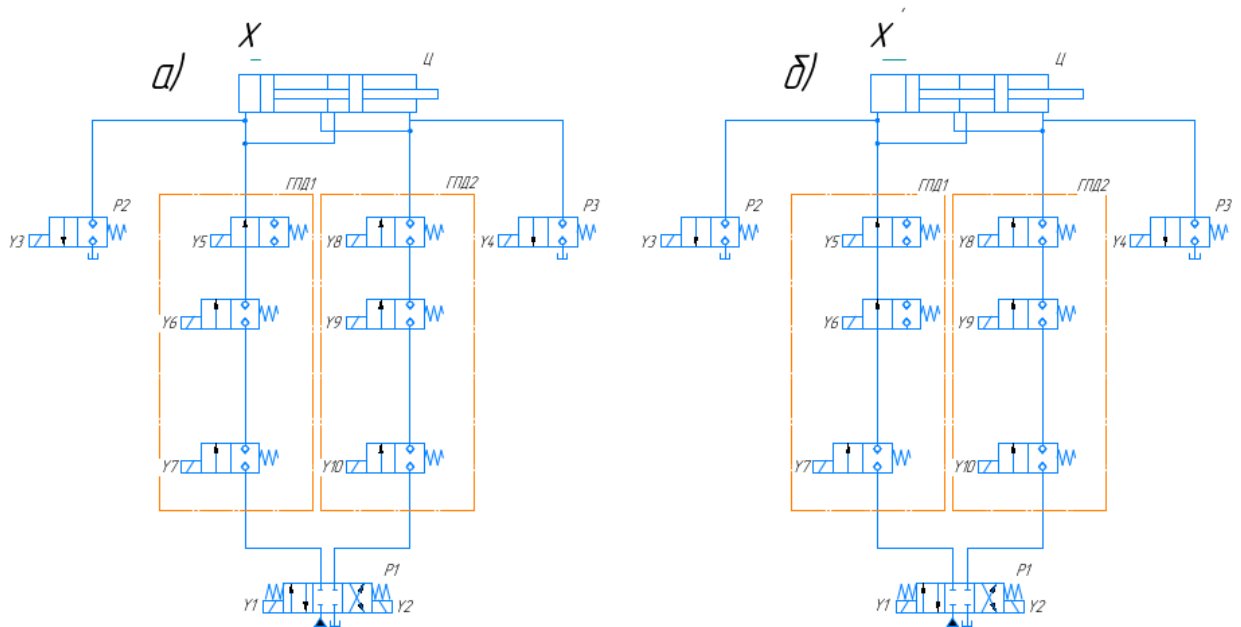


Рис. 2.3 – Гідравлічна схема електрогідравлічного приводу

Тобто, при подачі відповідних сигналів керування на електромагніти У5-10 модулів пружно-гідравлічного дозування можна регулювати переміщення поршня гідроциліндра (рис. 2.4), таким чином позиціонуючи його в бажаній точці.



2.3. Визначення витрати і тиску в гідродвигуні

Система має тандемний циліндр з такими характеристиками: діаметр поршня $D = 120$ мм, діаметр штоку $d = 65$ мм, хід $l = 450$ мм, зусилля $P = 300$ кН, $V_{\max} = 100$ мм/с = $0,1$ м/с.

Зусилля P та швидкість V переміщення такого двопоршневого циліндра визначаються за формулами [22]:

$$P = p \cdot (F_1 + F_2); \quad V = \frac{Q}{F_1 + F_2}$$

де $F_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ та $F_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$ – площі перерізів поршнів.

Визначимо площі перерізів поршнів:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} = 0,011 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,12^2 - 0,065^2)}{4} = 0,0079 \text{ м}^2.$$

Розрахуємо тиск та витрату в гідроциліндрі:

$$p = \frac{P}{F_1 + F_2} = \frac{300 \cdot 10^3}{0,011 + 0,0079} = 15\,550\,991 \text{ Па} = 15,55 \text{ МПа};$$

$$Q = V(F_1 + F_2) = 0,1 \cdot (0,011 + 0,0079) = 0,00189 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 113,4 \frac{\text{л}}{\text{хв}}.$$

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		46

2.4. Розрахунок кулькового клапана

Звичайно визначають прохідний переріз клапана у відповідності з заданою витратою і підбирають пружину, тиск задається [24].

Витрату рідини крізь клапан можна визначити по виразу [24]

$$Q = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p},$$

де μ – коефіцієнт витрати 0,52...0,55;

$\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад тисків (до клапана і після клапана).

$f_{\text{кл}}$ – площа вихідного перерізу.

Вибір основних параметрів для кулькових клапанів беремо з довідника, а саме [23, Табл. 113]:

- $d = 4,5$ мм – діаметр підводу;
- $d_{\text{к}} = 6$ мм – діаметр кульки;
- $h = 1,75$ мм – максимальний хід кулькового клапана.

Розрахункова схема клапану представлена на рис. 2.5.

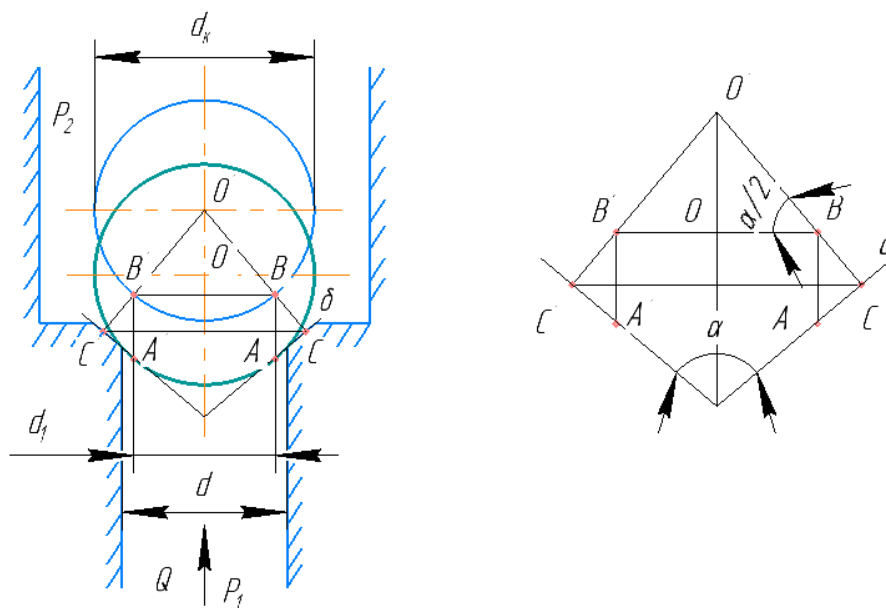


Рис. 2.5 – Розрахункова схема клапану

		Самусенко			МА21мн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				47
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Площа дроселюючої щілини клапана визначається за формулою [23]:

$$f_{\text{кл}} = \frac{\pi}{2} \left(d + \frac{d \cdot d_{\text{к}}}{2A} \right) \left(A - \frac{d_{\text{к}}}{2} \right);$$

$$A = \sqrt{\frac{d^2}{4} \left(\pi + \sqrt{\frac{d_{\text{к}}^2 - d^2}{4}} \right)^2}.$$

Отже, площа дроселюючої щілини дорівнює:

$$A = \sqrt{\frac{4,5^2}{4} \left(\pi + \sqrt{\frac{6^2 - 4,5^2}{4}} \right)^2} = 11,52 \text{ мм};$$

$$f_{\text{кл}} = \frac{\pi}{2} \left(4,5 + \frac{4,5 \cdot 6}{2 \cdot 11,52} \right) \left(11,52 - \frac{6}{2} \right);$$

$$f_{\text{кл}} = \frac{\pi}{2} \left(4,5 + \frac{27}{23,04} \right) (11,52 - 3) = 75,84 \text{ мм}^2 = 7,58 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Визначимо витрату рідини крізь клапан:

$$Q = 0,55 \cdot 7,58 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{880}} = 0,00199 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 119,4 \frac{\text{л}}{\text{хв}}.$$

Нехтуючи масою кульки приймемо, що при відкритому клапані на кульку в загальному випадку діє сила гідростатичного $P_{\text{ст}}$ і гідродинамічного тиску $P_{\text{дин}}$, яка врівноважується зусиллям пружини [24]

$$P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}} = P_{\text{пр}}.$$

При відкритому клапані тиск p_1 діє на трохи меншу площу з діаметром d_1 , а в зазорі тиск падає до p_2 . Оскільки закон зміни тиску в зазорі невідомий, то застосовуємо його таким, що змінюється по лінійному закону [24]:

$$P_{\text{ст}} = (p_1 - p_2) \frac{\pi d_1^2}{4} + \frac{\pi}{4} (d_{\text{к}}^2 - d_1^2) \frac{p_1 - p_2}{2};$$

		Самусенко			МА21мн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				48
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{ст}} = (15,55 - 14,55) \cdot \frac{3,14 \cdot 3,9^2}{4} + \frac{3,14}{4} \cdot (6^2 - 3,9^2) \cdot \frac{15,55 - 14,55}{2};$$

$$P_{\text{ст}} = 11,93 + 8,16 = 20,09 \text{ Н.}$$

Силу гідродинамічного тиску визначаємо з умови зміни кількості руху робочої рідини, приймаючи, що швидкість руху рідини перед кулькою v_1 , в зазорі v_2 будемо мати [24]

$$P_{\text{дин}} = Q\rho \left(v_1 - v_2 \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

де $\alpha = 100^\circ \dots 110^\circ$.

Тоді

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,00199}{3,14 \cdot 0,0045^2} = 125,2 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$v_2 = \frac{Q}{f_{\text{кл}}} = \frac{0,00199}{7,58 \cdot 10^{-5}} = 26,25 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$P_{\text{дин}} = 0,00199 \cdot 880 \cdot \left(125,2 - 26,25 \cdot \cos \frac{100^\circ}{2} \right) = 189,68 \text{ Н.}$$

Отже, зусилля пружини дорівнює

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}} = 20,09 + 189,68 = 209,77 \text{ Н.}$$

Розрахунок та проектування пружини стиснення було проведено в програмі Autodesk Inventor.

У генераторі компонентів пружини стиснення (рис. 2.6) було введено наступний перелік параметрів: робочий хід, навантаження, довжина при мінімальному навантаженні та матеріал пружини.

		Самусенко			МА21мн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				49
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Генератор компонентов пружины сжатия

Размещение

Ось

Начальная плоскость

Установочная длина

Мин. нагрузка

Длина при минимальной нагрузке: 12,0 мм

Направление навитки: правое

Проволока пружины

Диаметр проволоки: d 1,8 мм

Начало пружины

Торцевые витки: n_{z1} 1,5 бр

Поджатые витки: n_{t1} 1 бр

Шлифованные витки: z_{o1} 0,75 бр

Конец пружины

Торцевые витки: n_{z2} 1 бр

Поджатые витки: n_{t2} 0,75 бр

Шлифованные витки: z_{o2} 0,5 бр

Длина пружины

Входные значения: $L_0, n \rightarrow t$

Длина пружины в свободном состоянии: L_0 12,2 мм

Шаг: t 4,1 мм

Рабочие витки: n 2,0 бр

Диаметр пружины

Диаметр: Наружный

D_1 9,5 мм

Генератор компонентов пружины сжатия

Расчет прочности пружины

Проектирование пружин сжатия

Параметры расчета

Тип проекта: $F, \text{сборочные размеры} \rightarrow d, L_0, n, D$

Метод коррекции кривизны напряжения: Без поправочного коэффициента

Подбор сборочных размеров: Подбор всех сборочных размеров L_1, L_8, H

Нагрузка

Мин. нагрузка: F_1 20,000 Н

Макс. нагрузка: F_8 335,000 Н

Рабочая нагрузка: F 330,0 Н

Размеры

Диаметр проволоки: d 1,8 мм

Наружный диаметр: D_1 9,5 мм

Длина пружины в свободном состоянии: L_0 12,2 мм

Витки пружины

Округление числа витков: 1

Рабочие витки: n 2,0 бр

Материал пружины

☒ Упрочненная тянутая углеродистая сталь - 1-ый класс

Предел прочности при растяжении: σ_{yk} 2500,0 МПа

Допустимое напряжение при кручении: τ_A 1250,0 МПа

Модуль упругости поверхности: G 80500,0 МПа

Плотность: ρ 7850 кг/м³

Коэффициент использования материала: us 0,9 бр

☐ Проверка на изгиб

Тип пружины: Установка по инструкции - параллельные торцевые концы

☐ Усталостная нагрузка

Пружина без дробеструйной обработки

Срок службы в тысячах сжатий: N >10000

Запас прочности: k_f 1,2 бр

Сборочные размеры

$H, L_1 \rightarrow L_8$

Длина при минимальной нагрузке: L_1 12,0 мм

Длина при максимальной нагрузке: L_8 10,3 мм

Рабочий ход: H 1,75 мм

Длина при рабочей нагрузке: L_w 10,3 мм

Рис. 2.6 – Введення переліку параметрів до генератора компонентів пружини стиснення

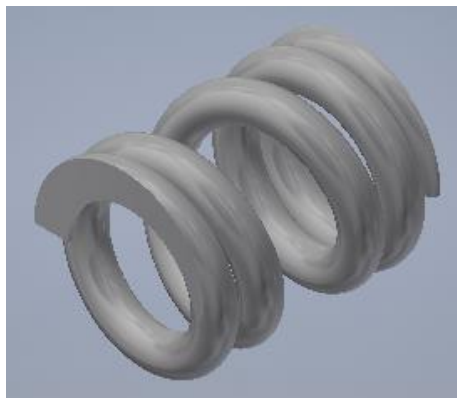


Рис. 2.7 – Твердотільна модель пружини стиснення

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				50
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Основні параметри спроектованої пружини:

- $D_1 = 9,5$ мм – зовнішній діаметр;
- $H = 1,75$ мм – робочий хід;
- $n = 2$ – кількість робочих витків;
- $d = 1,8$ мм – діаметр проволки;
- $L_1 = 12$ мм – довжина при мінімальному навантаженні;
- $c = 114,3$ Н/мм – жорсткість;
- матеріал – зміцнена тягнута вуглецева сталь - 1-ий клас.

Величину зусилля R (рис. 2.8), яке необхідно прикласти до кулькового клапана для підняття або утримання його в піднятому положенні (без врахування реактивних сил потоку рідини), можна знайти по виразу [22]

$$R = p_1 F - p_2 (F - f) + P_{\text{пр}} + S_{\text{п}},$$

де p_1 та p_2 – тиск відповідно в порожнині 1 підводу рідини до клапанного розподільника та в порожнині 2 – відведення рідини далі по корпусу;

$S_{\text{п}}$ – сила тертя спокою;

$P_{\text{пр}}$ – зусилля пружини;

$F = \frac{\pi D^2}{4}$ – площа контакту конусної частини затворного клапанного розподільника з сідлом;

$f = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа штовхача від електромагніта.

Тоді величина зусилля дорівнюватиме

$$R = 15,55 \cdot \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} - 14,55 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 5^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \right) + 209,77 + 0,43;$$

$$R = 15,55 \cdot 19,625 - 14,55 \cdot 12,56 + 209,77 + 0,43 = 332,612 \text{ Н.}$$

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				51
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

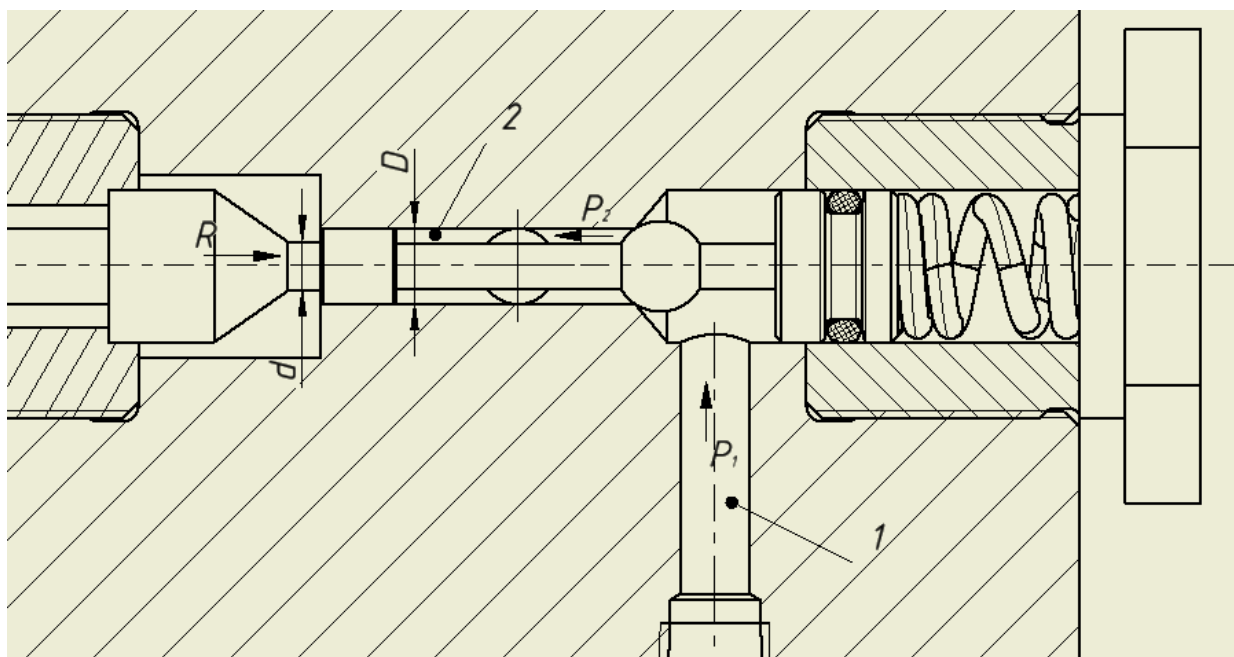


Рис. 2.8 – Схема прикладання зусилля на кульковий клапан

2.5. Розрахунок запираючих об'ємів модульної системи пружно-гідравлічного дозування

Було проведено розрахунок запираючих об'ємів між 1 і 2 (рис. 2.8) та 2 і 3 (рис. 2.9) кульковими клапанами модуля.

Перший розрахунковий об'єм було розділено на об'єми $V_{1.1}$, $V_{1.2}$, $V_{1.3}$.

Тоді перший загальний розрахунковий об'єм дорівнюватиме

$$V_1 = V_{1.1} + V_{1.2} + V_{1.3},$$

Об'єм $V_{1.1}$

$$V_{1.1} = \pi R^2 h - V_{\text{кл}} = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 16 - 117,09;$$

$$V_{1.1} = 314 - 117,09 = 196,91 \text{ мм}^3 = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Об'єм $V_{1.2}$

$$V_{1.2} = \pi R^2 h = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 45 = 883,12 \text{ мм}^3 = 8,83 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Об'єм $V_{1.1} = V_{1.3} = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$.

Тоді

$$V_1 = 1,96 \cdot 10^{-7} \cdot 2 + 8,83 \cdot 10^{-7} = 12,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 = 1,275 \text{ мл.}$$

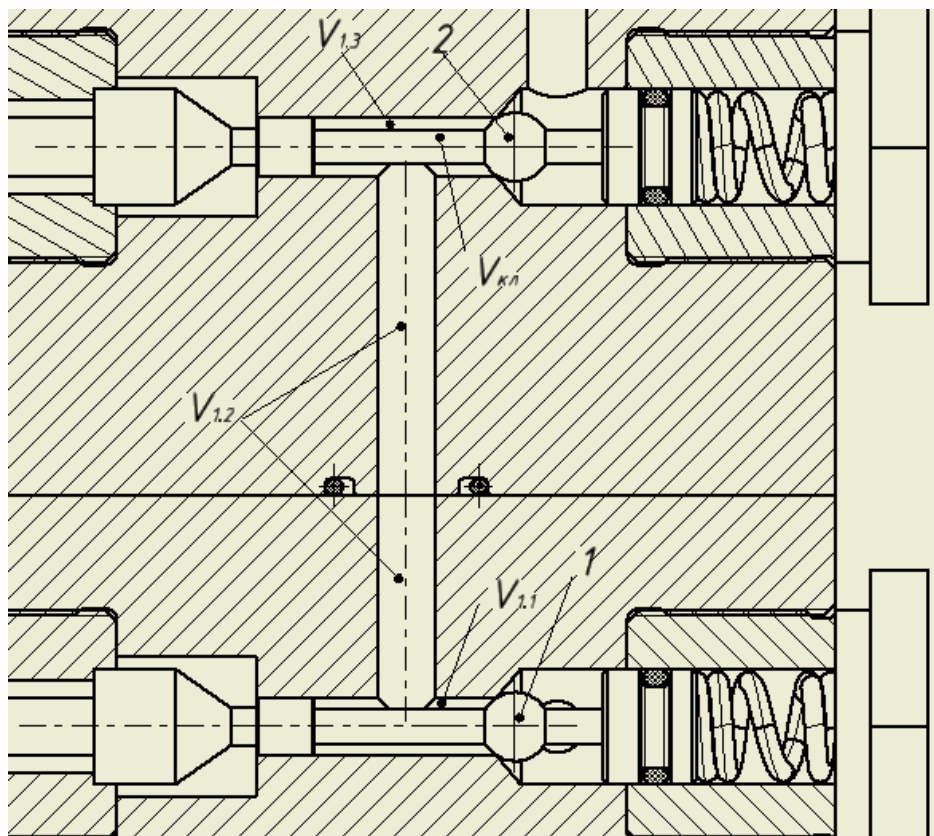


Рис. 2.8 – Позначення об'ємів для розрахунку першого об'єму V_1

Аналогічним методом було визначено другий запираючий об'єм

$$V_2 = V_{2.1} + V_{2.2} + V_{2.3},$$

Об'єм $V_{2.1} = V_{2.3}$

$$V_{2.1} = V_{2.3} = 657 - 145,6 = 551,4 \text{ мм}^3 = 5,51 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Об'єм $V_{2.2}$

$$V_{2.2} = \pi R^2 h = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 40 = 785 \text{ мм}^3 = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Тоді

$$V_2 = 2 \cdot 5,51 \cdot 10^{-7} + 7,85 \cdot 10^{-7} = 18,87 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 = 1,87 \text{ мл.}$$

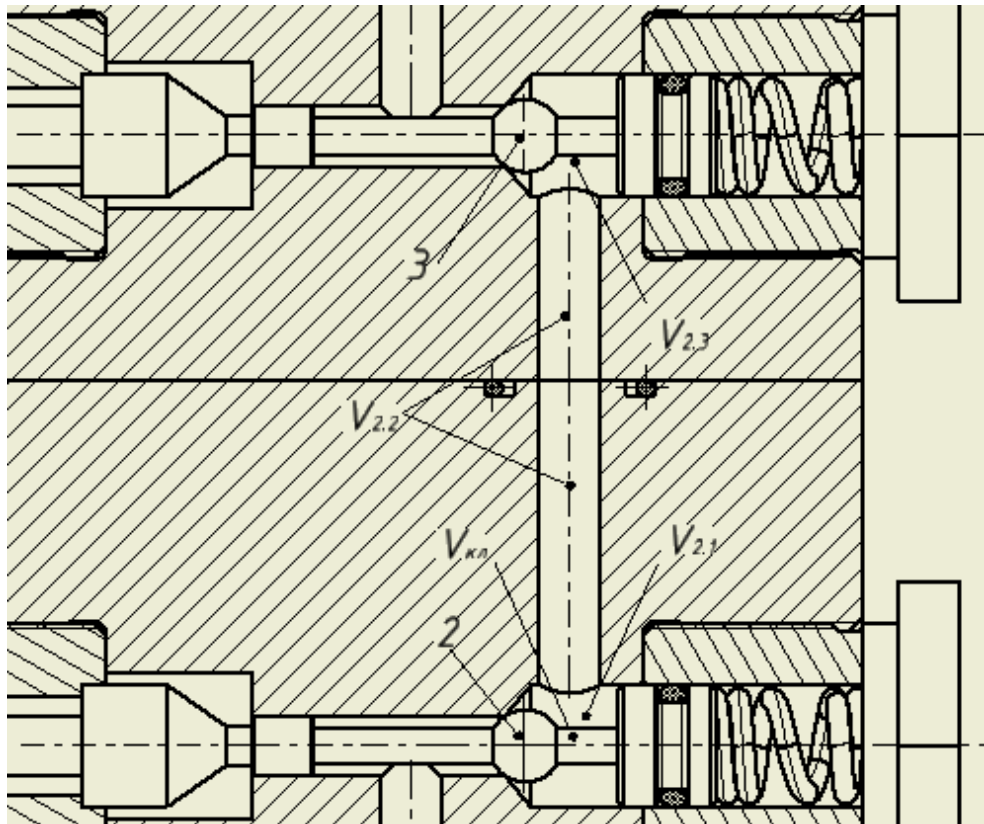


Рис. 2.9 – Позначення об'ємів для розрахунку другого об'єму V_2

Більший об'єм запирання рідини дорівнюватиме

$$V_{\text{більш.}} = V_1 + V_2;$$

$$V_{\text{більш.}} = 1,275 + 1,87 = 3,145 \text{ мл.}$$

Менший об'єм запирання рідини дорівнюватиме $V_{\text{менш.}} = V_2 = 1,87 \text{ мл.}$

Висновки до розділу 2

При написанні другого розділу було проаналізовано будову та функції мобільного компактного електрогідравлічного привода. Розроблено гідравлічну принципову схему, яка забезпечує пружно-гідравлічне дозування рідини в системі. Проведено розрахунки параметрів кулькового клапана для подальшого проектування модульної системи пружно-гідравлічного дозування. Дана система здатна забезпечувати два об'єми дозування, менший $V_2=1,87$ мл та більший $V=3,145$ мл, для позиціонування поршня тандемного гідроциліндра.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		55

РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ

3.1. Побудова математичної моделі

Опис об'єкту моделювання:

Об'єктом моделювання є електрогідравлічна система приводу з модульною системою пружно-гідравлічного дозування.

Мета моделювання:

Змоделювати систему та отримати залежність кількості спрацювань модульної системи пружно-гідравлічного дозування для переміщення вихідної ланки гідроциліндра в задане положення під дією зовнішнього навантаження.

Вхідні дані моделі:

Схема гідроприводу (рис. 3.1) складається з тандемного гідроциліндра Ц, що має діаметри поршня $D = 120$ мм, штоку $d = 65$ мм, хід $l = 450$ мм та переміщує вантаж масою m і долає силу F . Керування рухом гідроциліндром відбувається за рахунок розподільника Р1 з електричним керуванням та модульною системою пружно-гідравлічного дозування ГПД1 та ГПД2. Розподільники Р2 і Р3 використовуються для зливу рідини з порожнин гідроциліндра. Площа прохідного перерізу розподільника Р1 при повністю відкритому положенні – $28,26$ мм². Модульна система пружно-гідравлічного дозування ГПД складається з трьох клапанів кулькового типу, де кожен з них має площу прохідного перерізу при повністю відкритому положенні – $75,84$ мм². Система має замкнутий контур, тому в якості джерела енергії використовується нерегульований реверсивний об'ємний насос Н.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		56

Початковий стан об'єкту моделювання:

У початковому стані насос вимкнений, подача живлення на електромагніти відсутня, шток гідроциліндра втягнутий.

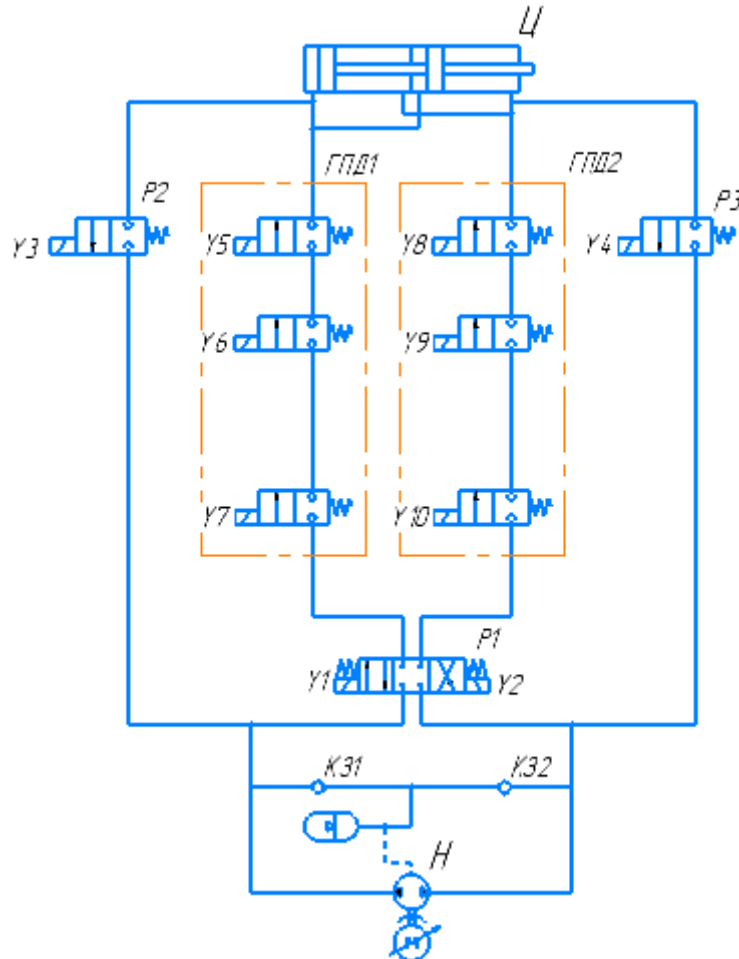


Рис. 3.1 – Спрощена принципова схема гідроприводу з пружно-гідравлічним дозуванням: Ц – тандемний гідроциліндр, ГПД – модульна система пружно-гідравлічного дозування, P1– золотниковий розподільник з електричним керуванням, P2, P3 – клапанний розподільник з електричним керуванням, Н – нерегульований реверсивний насос

3.1.1. Обґрунтування математичної моделі гідроциліндра

Почнемо з моделі виконавчого пристрою – гідроциліндра, розрахункову схему якого зображена на рис. 3.2.

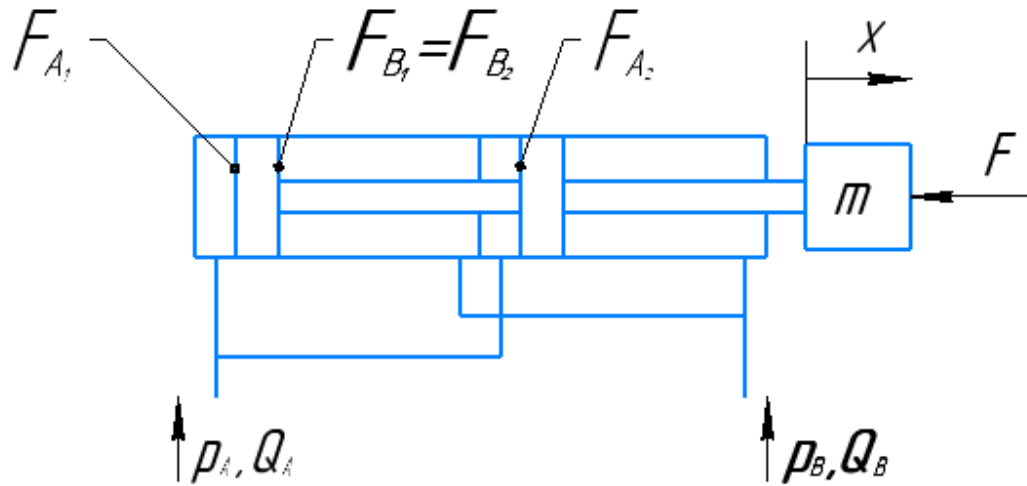


Рис. 3.2 – Розрахункова схема гідроциліндра

Згідно представленої схеми (рис. 3.2) на гідроциліндр під час його роботи діятимуть:

- сили інерції, які створюватимуться масами рухомих частин робочого органу, що рухаються з прискоренням;
- динамічні сили, які виникають в гідроциліндрі зі сторони поршневої та штокової порожнин від дії тиску робочої рідини.

Згідно з принципом Д'аламбера маємо диференціальне рівняння руху штоку гідроциліндра:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_A \cdot F_A - p_B \cdot F_B - b \frac{dx}{dt} - F,$$

де m – зведена маса рухомих частин робочого органу, кг; x – переміщення штоку гідроциліндра, м; p_A та p_B – тиск в поршневій та штоковій порожнинах, Па; $F_A = F_{A_1} + F_{A_2}$ – площа поршневої порожнини; $F_B = F_{B_1} \cdot 2$ – площа штокової порожнини, м²; b – коефіцієнт в'язкого тертя, Н*с/м; F – навантаження, кН.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				58
Зм.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Зміну тисків в порожнинах гідроциліндра визначаємо з рівнянь нерозривності потоку з врахування стискання робочої рідини. Відповідно будемо мати наступні залежності:

$$\frac{dp_A}{dt} = \frac{E}{V_A} \left(Q_A - F_A \frac{dx}{dt} \right);$$

$$\frac{dp_B}{dt} = \frac{E}{V_B} \left(Q_B + F_B \frac{dx}{dt} \right);$$

де Q_A і Q_B – витрати рідини в поршневій та штоковій порожнині, $\text{м}^3/\text{с}$; E – модуль пружності, МПа; V_A і V_B – об'єми робочої рідини в камерах А і В при нульовому зміщенні поршня, м^3 .

Маючи необхідні дані, було побудовано структурну схему моделі гідроциліндра в середовищі MathLab&Simulink (рис. 3.3).

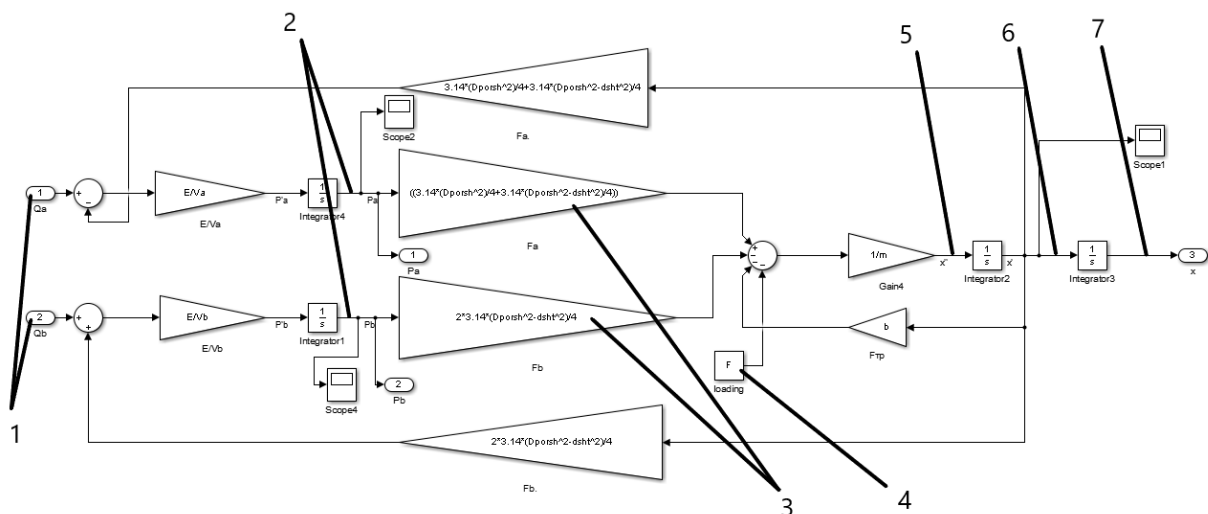


Рис. 3.3 – Структурна схема моделі гідроциліндра в середовищі MathLab&Simulink: 1 – вхідні значення витрат Q_A та Q_B ; 2 – тиск в порожнинах А і В гідроциліндра; 3 – площа поршневої та штокової порожнини; 4 – навантаження; 5 – значення прискорення; 6 – значення швидкості; 7 – значення переміщення штоку

3.1.2. Обґрунтування математичної моделі гідравлічного розподільника з електричним керуванням

Золотниковий гідророзподільник було розглянуто з позиції дроселюючого пристрою, який, окрім перемикання робочих каналів подачі рідини, також виконує функцію дроселя (рис. 3.4). Отже, маємо корпус із розточками в який вставлено циліндричний золотник із трьома буртиками. У центральну проточку подається тиск живлення, а крайні з'єднані зі зливом. Порожнини між буртиками золотника можуть бути з'єднані з відповідними порожнинами гідроциліндра. Кромки золотника утворюють із розточками корпусу дроселюючі щілини $f_{PA}, f_{PB}, f_{TA}, f_{TB}$, площі яких залежать від зміщення золотника.

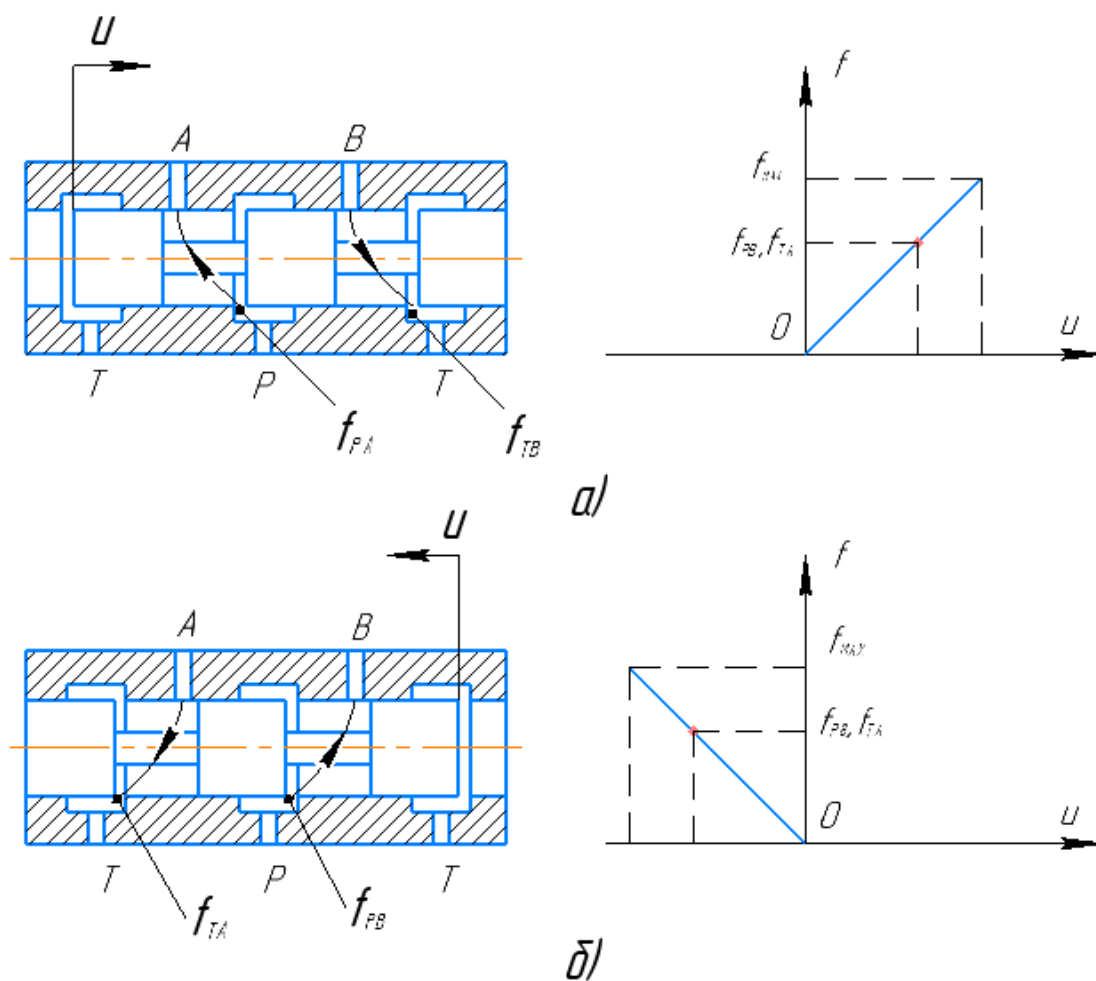


Рис. 3.4 – Принцип роботи золотникового розподільника: а) прямий хід золотника; б) зворотний хід золотника

Кожну дроселюючу щілину представимо у вигляді дроселя зі змінною площею прохідного перерізу (рис. 3.5). Знак витрати буде визначатися виходячи зі знаку перепаду тисків.

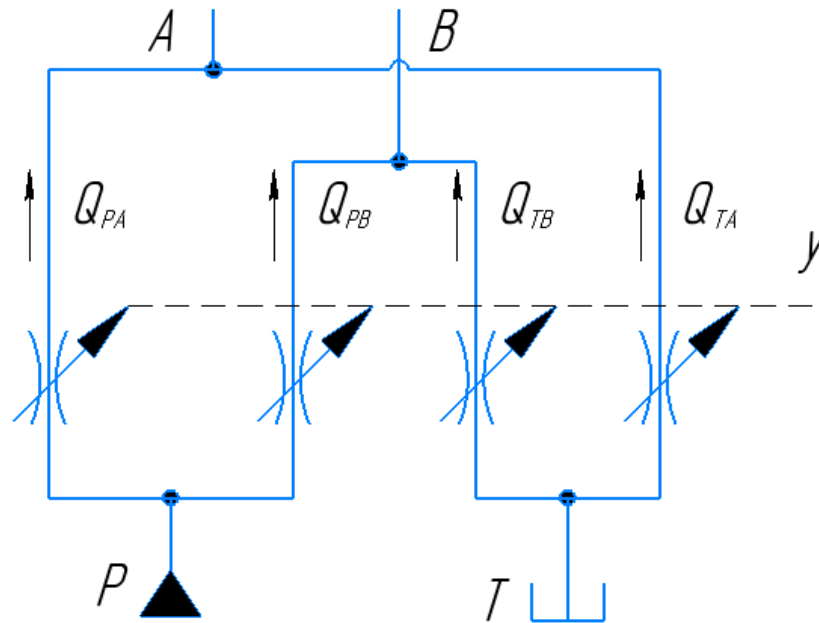


Рис. 3.5 – Принципова гідравлічна схема золотникового розподільника

Таким чином, золотниковий розподільник через свої прохідні канали може пропускати таку кількість рідини:

- рідина, що нагнітається до гідроциліндра від насоса,

$$Q_{PA} = \mu_S \cdot f_{PA(y)} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_H - p_A| \cdot \text{sign}(p_H - p_A)};$$

$$Q_{PB} = \mu_S \cdot f_{PB(y)} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_H - p_B| \cdot \text{sign}(p_H - p_B)};$$

- рідина, що відводиться від гідроциліндра,

$$Q_{TB} = \mu_S \cdot f_{TB(y)} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_T - p_B| \cdot \text{sign}(p_T - p_B)};$$

$$Q_{TA} = \mu_S \cdot f_{TA(y)} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_T - p_A|} \cdot \text{sign}(p_T - p_A),$$

де μ_S – коефіцієнт витрат робочої рідини крізь дросельні канали розподільника; ρ – густина робочої рідини, кг/м³; p_H – робочий тиск насоса; p_T – тиск в зливній магістралі, МПа.

В останніх двох рівняннях під час обчислення перепаду тисків ми віднімаємо з тиску зливу тиск у відповідній порожнині. Знак витрати при цьому визначається функцією `signum`. Таким чином за нульового тиску зливу ці витрати практично ніколи не будуть додатними, але тим не менш ми спрямовуємо їх саме так, щоб під час аналізу не було плутанини. Тобто, якщо витрата додатна то вона спрямована від джерела живлення до споживача, як що від’ємна – навпаки.

Для знаходження всіх витрат, що надходять у розподільник або ті, що виходять із нього, складемо відповідні складові:

$$Q_A = Q_{PA} + Q_{TA};$$

$$Q_B = Q_{PB} + Q_{TB};$$

$$Q_P = Q_{PA} + Q_{PB};$$

$$Q_T = Q_{TA} + Q_{TB}.$$

Маючи необхідні дані, було побудовано структурну схему моделі розподільника в середовищі MathLab&Simulink (рис. 3.6).

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		62

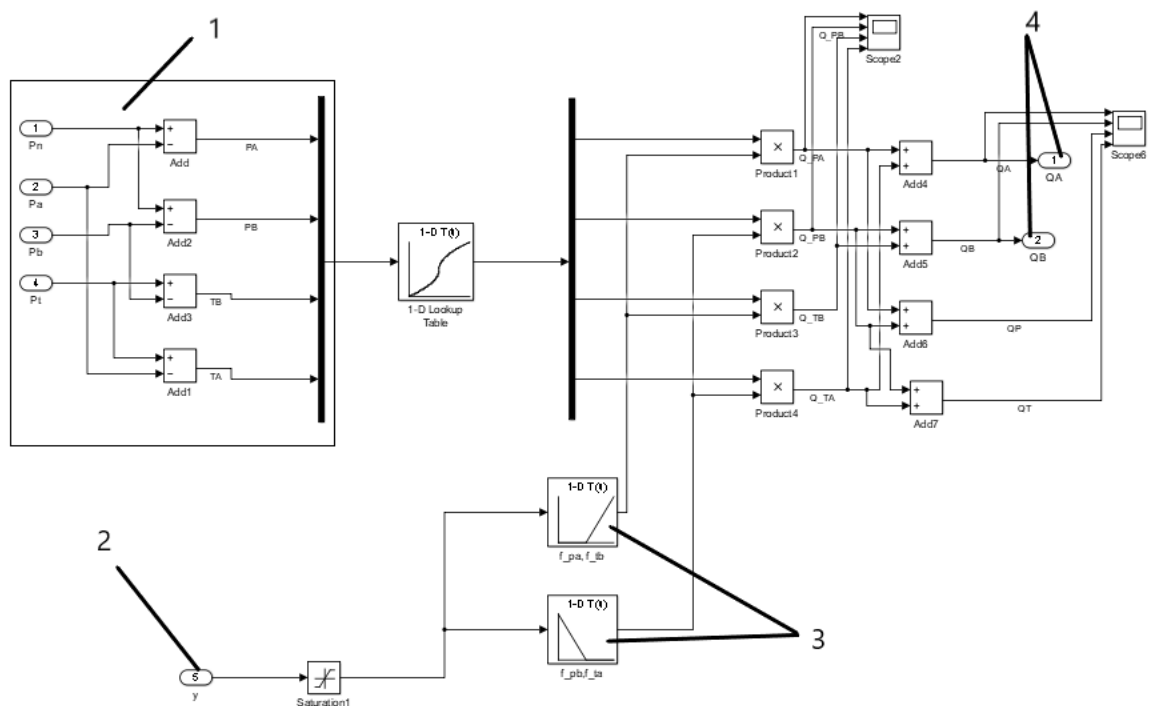


Рис. 3.6 – Структурна схема моделі розподільника в середовищі MathLab&Simulink: 1– знаходження перепаду тисків; 2 – задання сигналу управління; 3 – площі дроселюючих щілин; 4 – вихідні значення витрати Q_A та Q_B

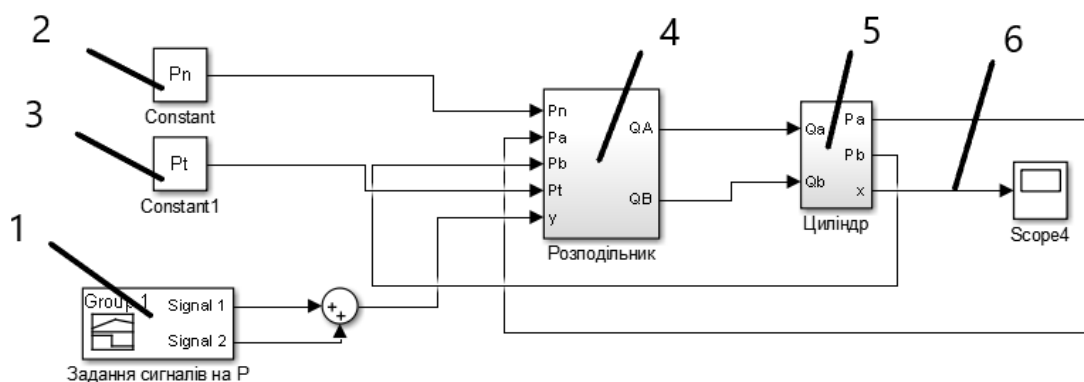


Рис. 3.7 – Структурна схема моделі розподільника з гідроциліндром в середовищі MathLab&Simulink: 1 – подання сигналу керування; 2 – тиск насоса; 3 – тиск на зливній лінії; 4 – модель розподільника; 5 – модель гідроциліндра; 6 – вихідне значення переміщення штоку

3.1.3. Обґрунтування математичної моделі модульної системи пружно-гідравлічного дозування

Модульна система пружно-гідравлічного дозування містить три клапани кулькового типу за допомогою яких відбувається запирання об'ємів в порожнинах модуля. Під кульку подається тиск живлення, що призводить до її підйому з утворенням дроселюючої щілини $f_{кл}$. Внаслідок зривання клапану зі сідла відбувається перепад тисків $\Delta P = P_1 - P_2$ (рис. 3.8).

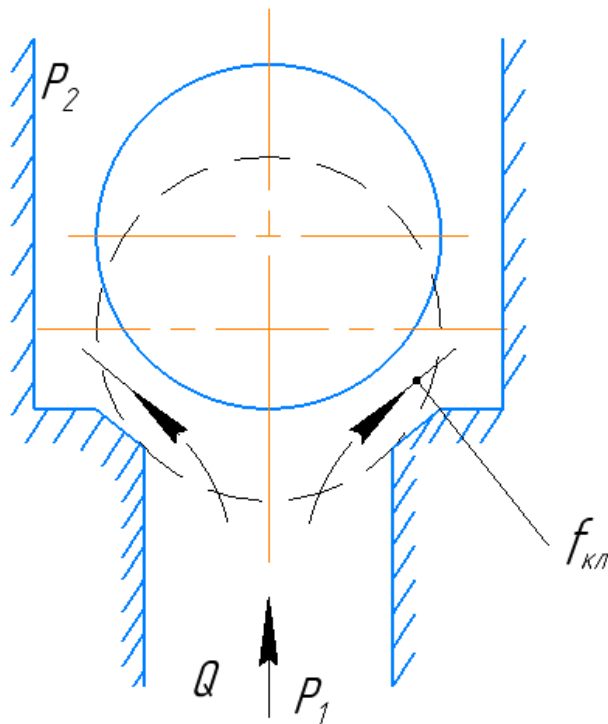


Рис. 3.8 – Розрахункова схема кулькового клапану: P_1 – тиск перед клапаном; $f_{кл}$ – площа дроселюючої щілини клапана; P_2 – тиск після клапан

На рис 3.9 зображено подачу з порожнин меншого та більшого об'єму. Запирання більшого об'єму відбувається між 1 та 3 кульковим клапаном, а меншого об'єму – між 2 та 3. Таким чином при подачі сигналу на магніти Y5 та Y6, рідина під дією пружно-деформуючих сил перемістить поршень на величину, що відповідає об'єму камери в якій рідина була заперта.

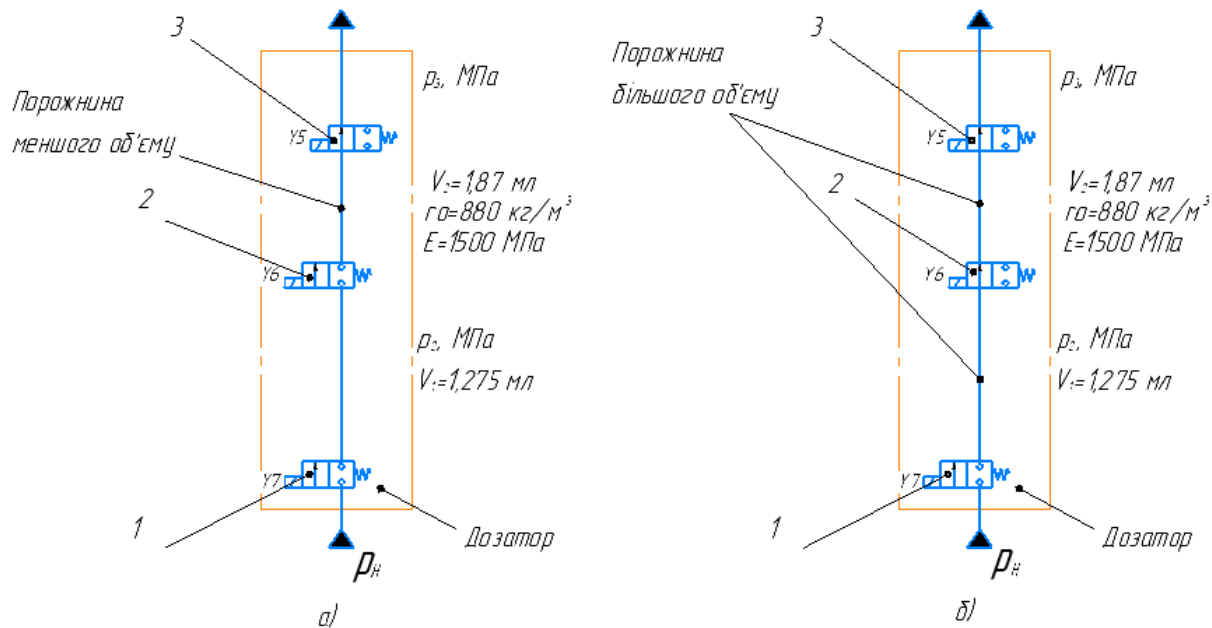


Рис. 3.9 – Спрацювання електромагнітів клапанів для подачі об'ємів з порожнин модуля: а) порожнина з меншим об'ємом; б) порожнина з більшим об'ємом

Таким чином, кулькові клапани через свої прохідні канали можуть пропускати таку кількість рідини:

$$Q_1 = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)},$$

$$Q_2 = Q_3 = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = \mu f_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_2 - p_3)},$$

де P_3 – тиск після клапана, МПа; μ – коефіцієнт витрати.

Маючи необхідні дані, було побудовано структурну схему моделі модульної системи пружно-гідравлічного дозування в MathLab&Simulink (рис. 3.10).

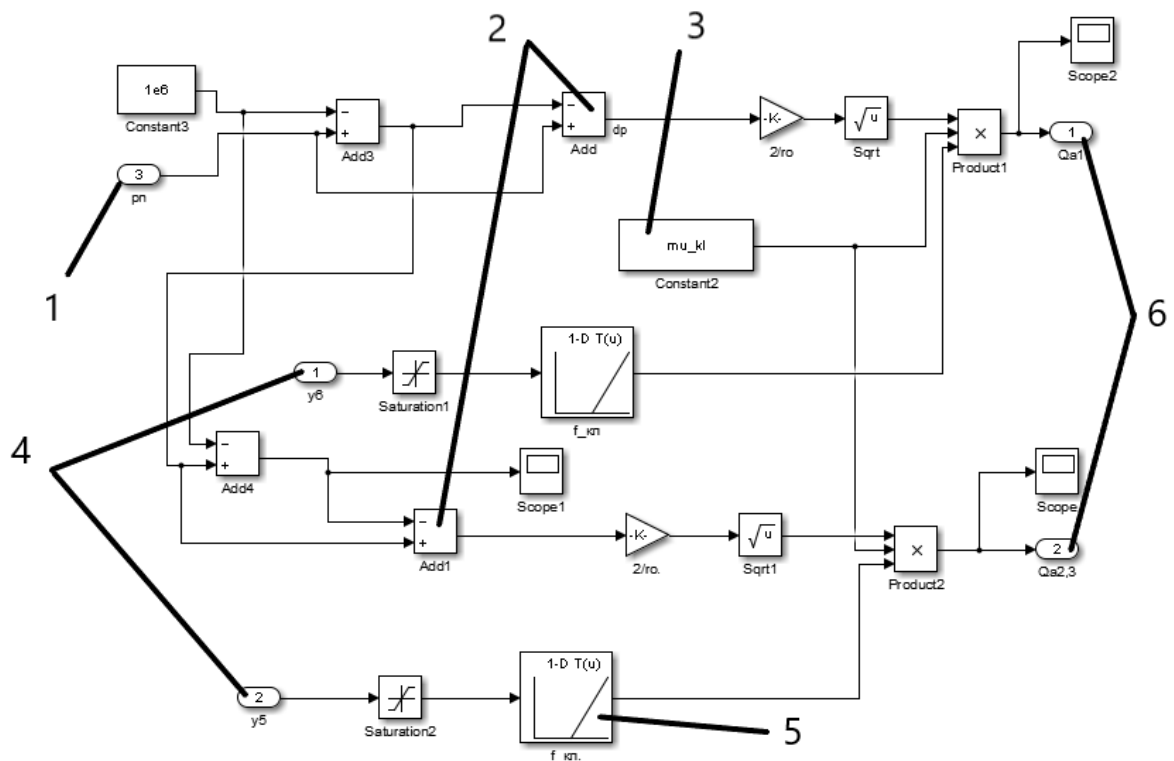


Рис. 3.10 – Структурна схема моделі модуля пружно-гідравлічного дозування в середовищі MathLab&Simulink: 1 – тиск живлення; 2 – визначення перепаду тисків; 3 – коефіцієнт витрати; 4 – подання сигналів керування на електромагніти; 5 – площа дроселюючої щілини; 6 – вихідні значення витрати 1 і 2,3 кулькових клапанів

На рис. 3.11 зображено логіко-структурну схему гідроприводу.

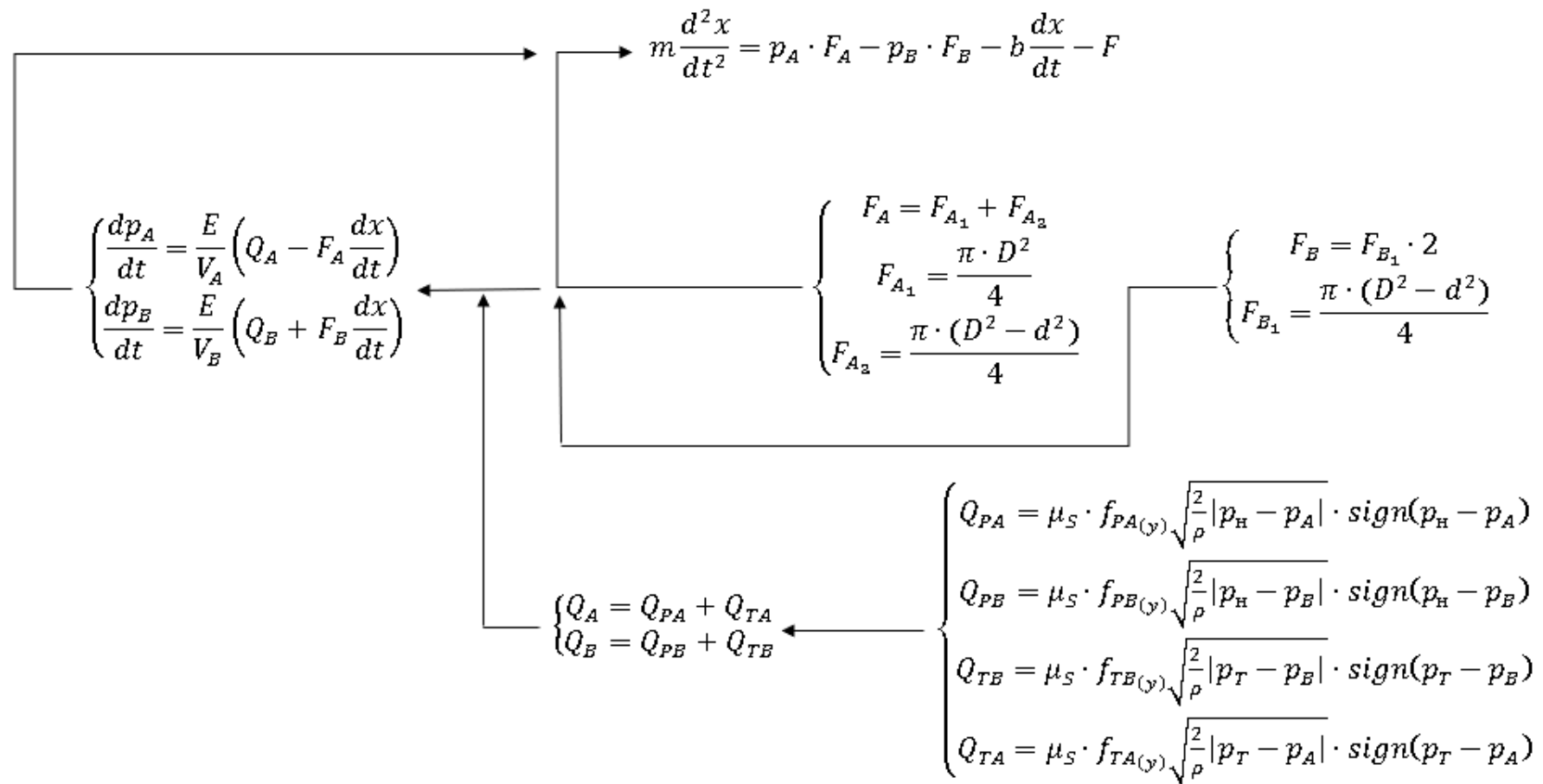


Рис. 3.11 – Логіко-функціональна схема гідроприводу

3.2. Модельне дослідження електрогідравлічної системи приводу з модульною системою пружно-гідравлічного дозування

За допомогою математичної моделі виконаної в пакеті MathLab&Simulink було отримано залежності часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при заданому тиску насоса. У табл. 3.1 наведено параметри, які використовувалися в процесі моделювання.

Табл. 3.1 – Параметри моделювання системи гідроприводу

Назва	Позначення	Значення
Коефіцієнт в'язкого тертя	b	1000 Н*с/м
Діаметр поршня	D	0.12 м
Діаметр штока	d	0.065 м
Модуль пружності	E	1500 МПа
Зусилля прикладене до штоку	F	0...300 кН
Площа прохідного перерізу розподільника у відкритому положенні	f	$28,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
Хід штока	l	0.45 м
Маса рухомих частин	m	5 кг
Коефіцієнт витрати робочої рідини крізь дросельні канали розподільника	μ_s	0.7
Тиск насоса	P_H	2...20 МПа
Тиск на зливній лінії	P_T	0.7 МПа

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		68

Густина робочої рідини	ρ	880 кг/м ³
Об'єм поршневої порожнини при нульовому зміщенні поршня	V_A	$5 \cdot 10^{-6}$ м ³
Об'єм штокової порожнини при нульовому зміщенні поршня	V_B	$5 \cdot 10^{-6}$ м ³
Площа прохідного перерізу кулькового клапана у відкритому положенні	$f_{кл}$	$75,84 \cdot 10^{-6}$ м ²

На графіках (рис. 3.12-3.14) зображено залежності зміни часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при заданому тиску насоса до максимального значення ходу штока.

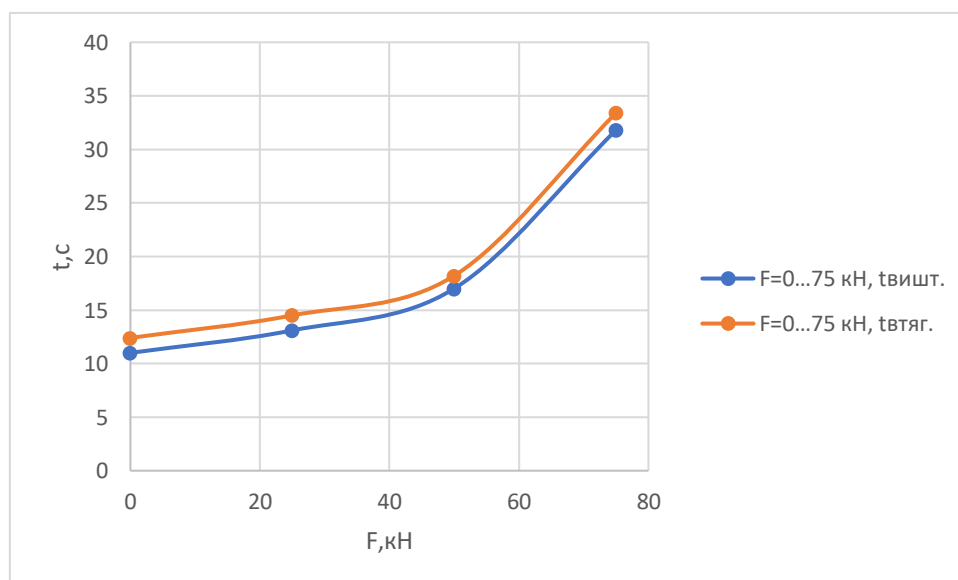


Рис. 3.12 – Залежність часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при $P_n=5$ МПа

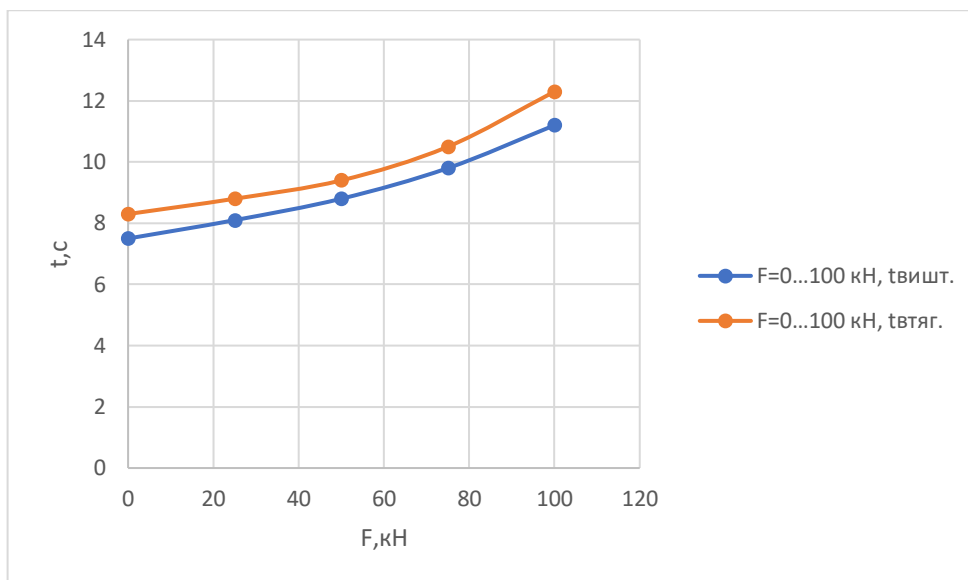


Рис. 3.13 – Залежність часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при $P_n=10$ МПа

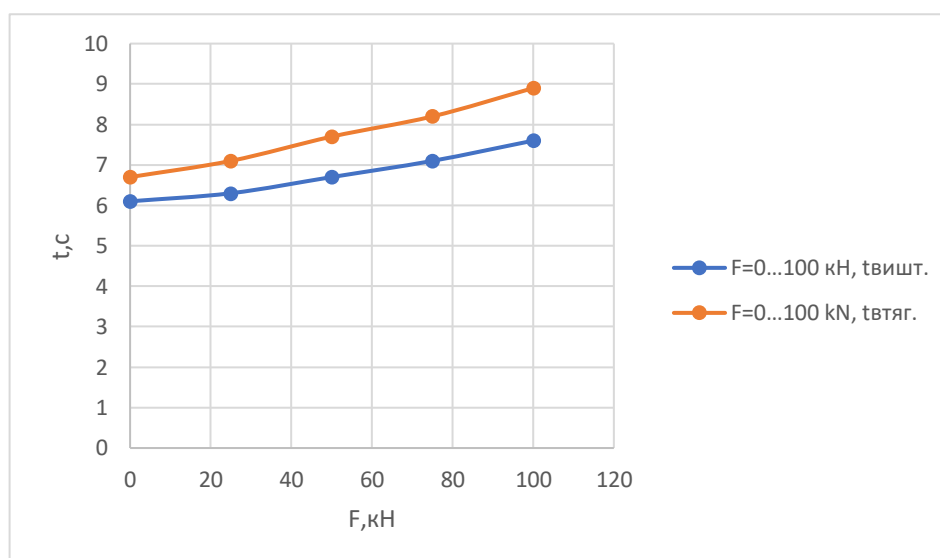


Рис. 3.14 – Залежність часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при $P_n=15$ МПа

Таким чином, можна зробити висновок, що при збільшенні навантаження – збільшується час виштовхування та втягування штоку гідроциліндра.

Наступним кроком, враховуючи структурну модель модуля пружно-гідравлічного дозування було побудовано залежності переміщення штока від навантаження при подачі меншого та більшого об'ємів до поршневої та штокової порожнин гідроциліндра (рис. 3.14 – 3.17).

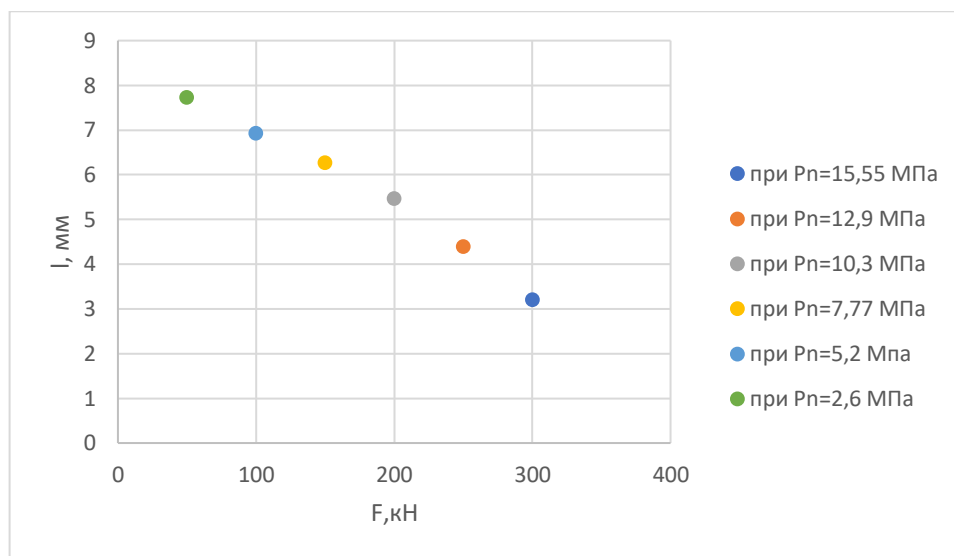


Рис. 3.14 – Залежність кроку переміщення від навантаження з використанням камери меншого об'єму для поршневої порожнини ($V_2 = 1,87$ мл, $f_{кл} = 75,84$ мм², кількість імпульсів 15)

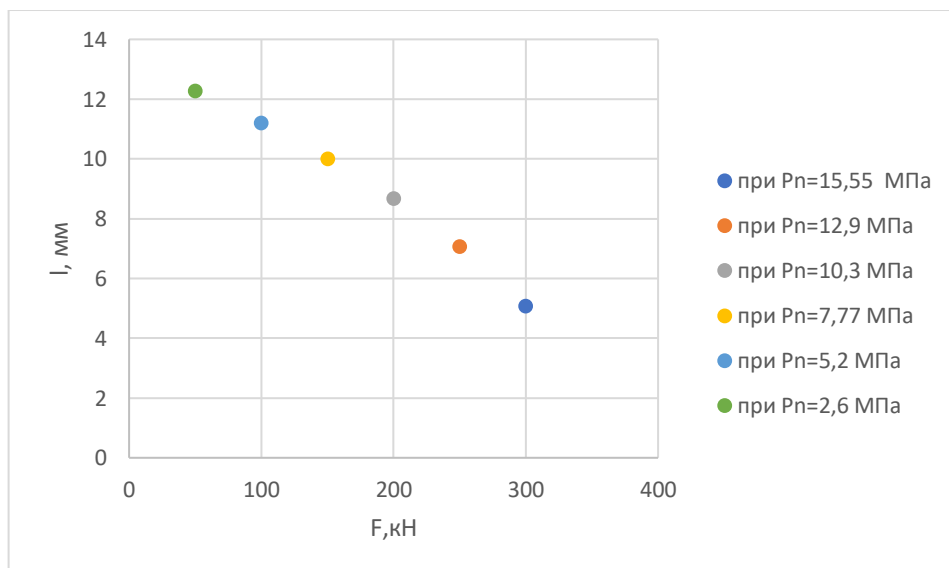


Рис. 3.15 – Залежність кроку переміщення від навантаження з використанням камери більшого об'єму для поршневої порожнини ($V = 3,145$ мл, $f_{кл} = 75,84$ мм², кількість імпульсів 15)

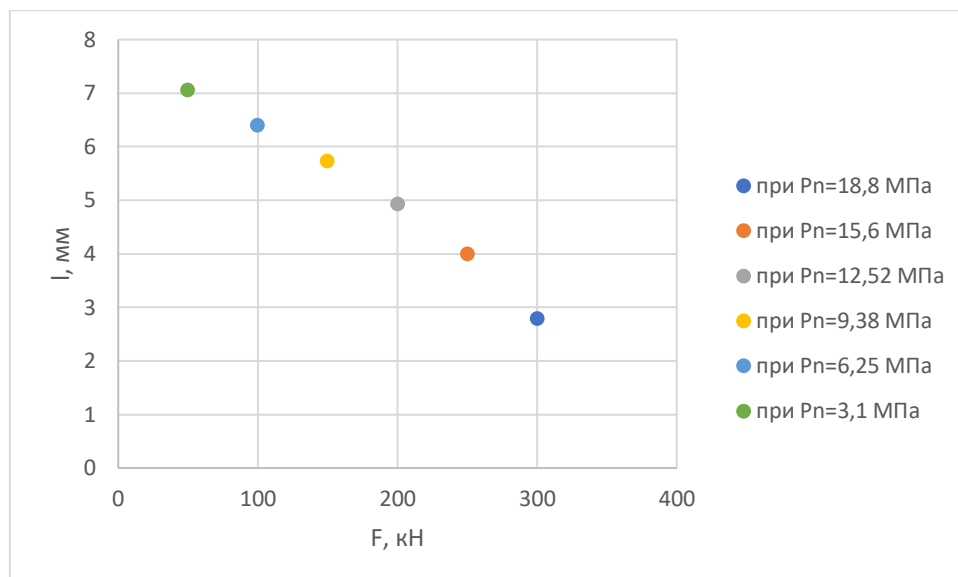


Рис. 3.16 – Залежність кроку переміщення від навантаження з використанням камери меншого об'єму для штокової порожнини ($V_2 = 1,87$ мл, $f_{кл} = 75,84$ мм², кількість імпульсів 15)

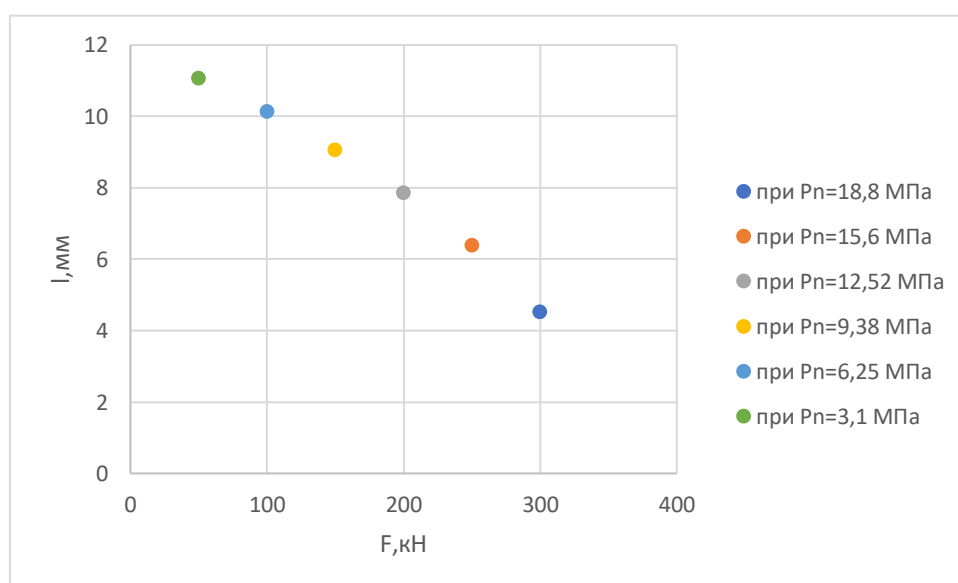


Рис. 3.17 – Залежність кроку переміщення від навантаження з використанням камери більшого об'єму для штокової порожнини ($V = 3,145$ мл, $f_{кл} = 75,84$ мм², кількість імпульсів 15)

Згідно з отриманими результатами можна побачити, що зі збільшенням навантаження на гідроциліндрі відбувається зменшення ходу його штоку.

Висновки до розділу 3

Було описано процес роботи електрогідравлічної системи приводу з модульною системою пружно-гідравлічного дозування рідини.

На базі розроблених математичних моделей було побудовано наступні залежності:

- часу виштовхування та втягування штоку гідроциліндра від навантаження при заданому початковому тиску;
- кроку переміщення від навантаження з використанням камери меншого об'єму для поршневої порожнини;
- кроку переміщення від навантаження з використанням камери більшого об'єму для поршневої порожнини;
- кроку переміщення від навантаження з використанням камери меншого об'єму для штокової порожнини;
- кроку переміщення від навантаження з використанням камери більшого об'єму для штокової порожнини.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				73
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

На сьогоднішній день велика увага приділяється інтенсифікації та підвищенню ефективності виробництва на базі упровадження досягнень науково-технічного прогресу. Провідна роль у вирішенні даної проблеми відводиться машинобудуванню. Перед цією галуззю поставлені завдання підвищення якості продукції та продуктивності праці, зниження питомої металоємкості машин та обладнання. Саме тому технологічний процес виготовлення деталей має бути таким, щоб з найменшими витратами ресурсів забезпечити встановлений конструктором рівень якості.

У пояснювальній записці описані порядок і всі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Клапан кульковий»: технологічний контроль якості кресленика, аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі, призначення послідовності виконання операцій та проектування їх змісту, вибір устаткування та інструментів для кожної операції технологічного процесу та визначення елементів режимів різання аналоговим способом.

4.1. Технологічний контроль якості кресленика

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вихідним документом є її креслення. Технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до ГОСТ 14.206-73. У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деталь «Клапан кульковий» є складовою частиною гідравлічних розподільників, такі пристрої мають ряд певних переваг: гарна герметичність та великий діапазон робочих тисків до 1000 бар.

Дана деталь має загалом циліндричну зовнішню форму. Її можна віднести до класу спеціальних деталей. Деталь має фаски на торцевих поверхнях, центрові отвори, сферу (кульку), канавку на зовнішній циліндричній поверхні під гумове кільце ГОСТ9833-73. По направляючим поверхням Ø5g6 та Ø10f8 відбувається з'єднання кулькового клапана з корпусом в якому він розташований. Невказані граничні відхилення виконані за ГОСТ1 00022-81. Деталь і її конструктивно-технологічні елементи зображено на рис. 4.1.

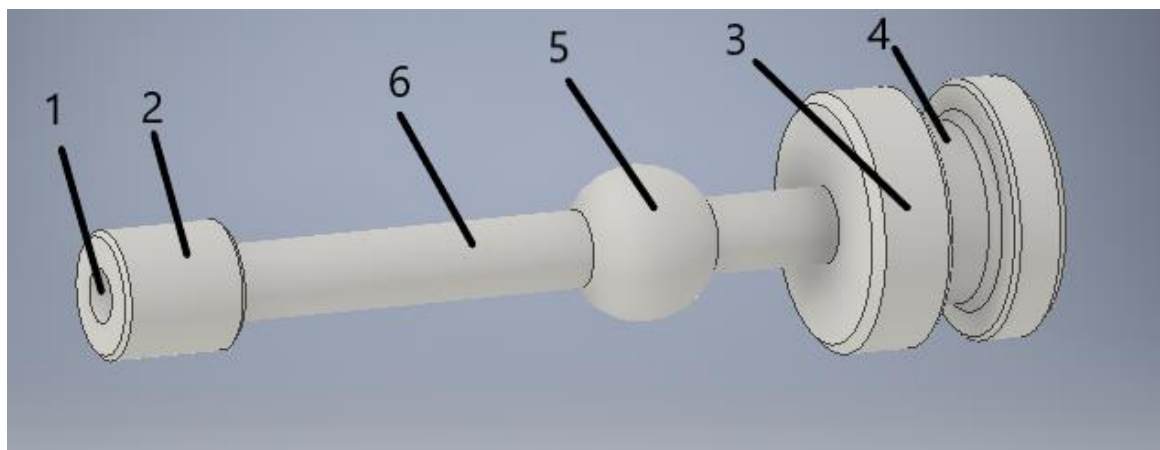


Рис. 4.1 – Кульковий клапан модульної системи пружно-гідравлічного дозування. Конструктивно-технологічні елементи:

1 – центровий отвір А1 ГОСТ 14034-74 (2 шт.); 2 – зовнішня циліндрична поверхня Ø5g6; 3 – зовнішня циліндрична поверхня Ø10f8; 4 – канавка під гумове кільце; 5 – сфера; 6 – зовнішня циліндрична поверхня Ø3

Кульковий клапан виготовляється із матеріалу Сталь 40Х. Сталь 40Х – це конструкційна легована сталь. Конструкційну леговану сталь марки 40Х при виробництві деталей підвищеної міцності (осі, вали, вал-шестерні,

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		75

плунжери, штоки, колінчаті і кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправлення, рейки, губчаті вінці, болти, втулки та інші).

4.2. Технологічні операції

Розробку технологічного процесу виготовлення деталі починають з вибору заготовки. На даному етапі проектування визначаємо послідовність виконання технологічного процесу механічної обробки заданої деталі.

000. Заготівельна операція

В якості заготовки обираю пруток $\varnothing 12$ мм ГОСТ 2590-2006 (рис. 4.2), спосіб різання приводними ножівками. Якими можна проводити різання круглого і профільного прокату діаметром до 300 мм. Ширина різання 1-3,5 мм, точність різання 2 мм до 4,5 мм.

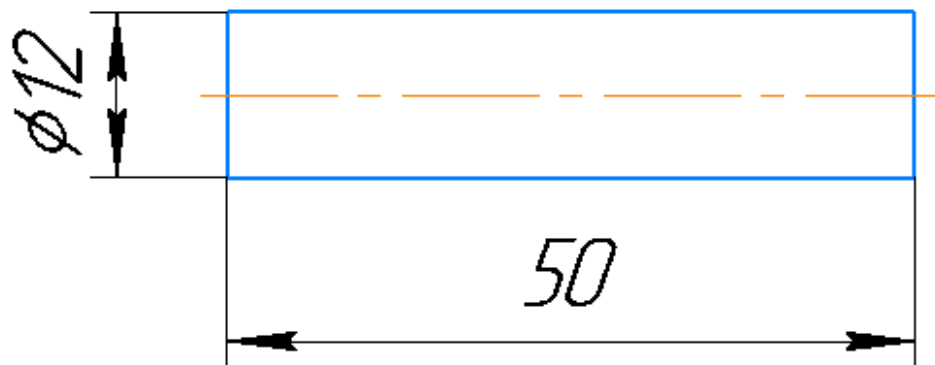


Рис. 4.2 – Розміри заготовки

005. Токарна операція

Обладнання: Токарний верстат 02 - малий ($\leq 6'$ патрон). Модель: HAAS ST-10Y.

Обробляються зовнішні циліндричні поверхні клапана та виконується центрування.

Різальний інструмент, який необхідний для виконання роботи:

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				76
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

- 005.01. Призматична державка SCLCR 2020K 12, ріжуча пластина CCMT 12 04 12-PR 4335;
- 005.02-03. Призматична державка TR-D13NCN 2020 K, ріжуча пластина TR-DC1312-M 1125;
- 005.04. Різець контурний для зняття фасок QS-TR-V13JBL 12HP;
- 005.05. Сверло центрувальне Ф 1,0 Р6М5 тип А.

005.01. Підрізати торець в розмір 1 (рис.4.3)

005.02. Обточити за розмірами 2,3 (рис.4.3)

005.03. Обточити за розмірами 4,5 (рис.4.3)

005.04. Зняти фаску в розмір 6 (рис.4.3)

005.05. Виконати центрування отвору в позиції 7 А1 ГОСТ 14034-74 (рис.4.3)

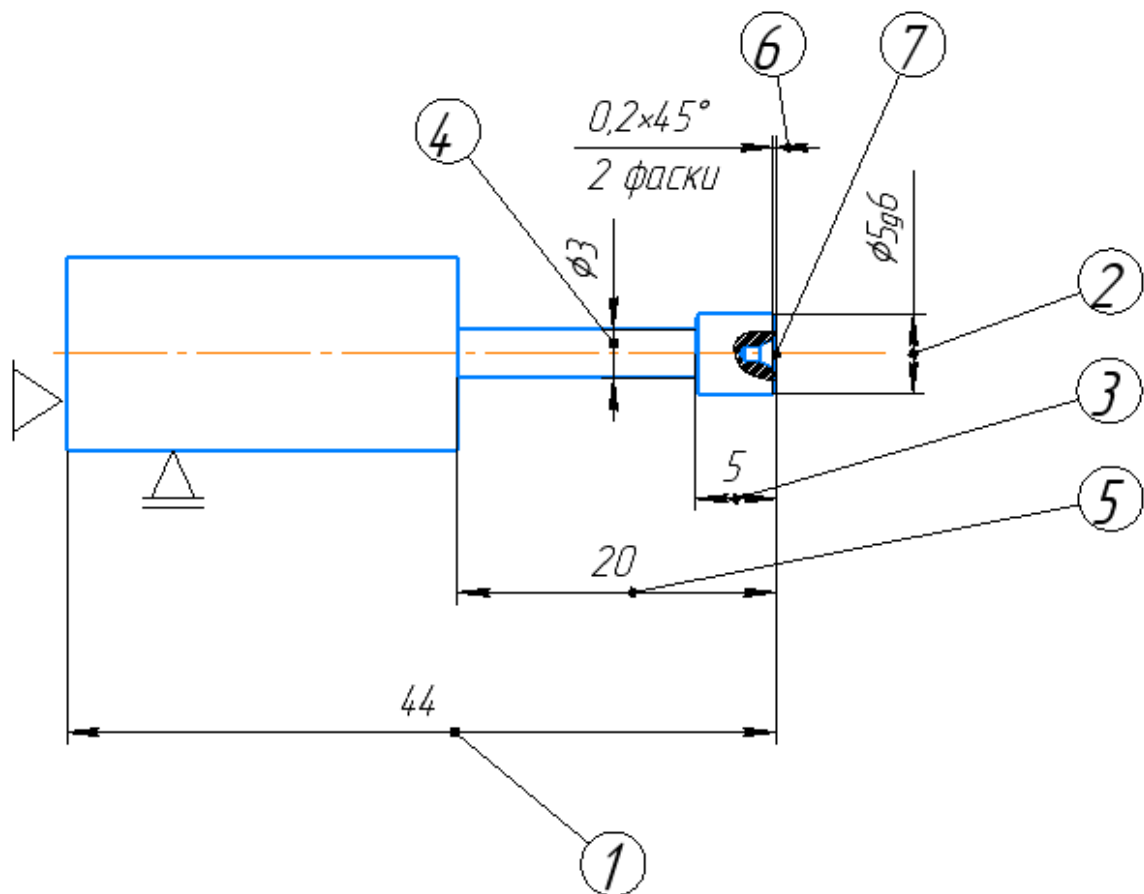


Рис. 4.3 – Операція 005

		Самусенко			МА21м03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				77
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

010. Токарна операція

Обладнання: Токарний верстат 02 - малий ($\leq 6'$ патрон). Модель: HAAS ST-10Y.

Обробляються зовнішні циліндричні поверхні клапана, канавка під гумове кільце та виконується центрування.

Різальний інструмент, який необхідний для виконання роботи:

- 010.01-02. Призматична державка SSDCR 2020K 12, ріжуча пластина SCMT 12 04 12-MM 1125;
- 010.03. Призматична державка TR-D13NCN 2020 K, ріжуча пластина TR-DC1312-M 1125;
- 010.04. Різець контурний для зняття фасок QS-TR-V13JBL 12HP;
- 010.05. Відрізне лезо N123H55-25A2, ріжуча пластина N123H2-0400-0004-TF 4325;
- 010.06. Державка для точіння QS-SRDCR-252525-10XC, ріжуча пластина CP-B1208D-M5 4425;
- 010.07. Сверло центрувальне Φ 1,0 P6M5 тип А.

010.01. Підрізати торець в розмір 1 (рис.4.4)

010.02. Обточити за розмірами 2,3 (рис.4.4)

010.03. Обточити за розмірами 4,5 (рис.4.4)

010.04. Зняти фаску в розмір 6 (рис.4.4)

010.05. Виконати канавку за розмірами 7,8,9 (рис.4.4)

010.06. Обточити до сфери за розмірами 10, 11(рис.4.4)

0.10.07. Виконати центрування отвору в позиції 12 А1 ГОСТ 14034-74 (рис. 4.4)

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				78
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

4.3. Розрахунок часу обробки

Розраховуємо час обробки однієї деталі.

Табл.4.1 – Розрахований час обробки

Назва операції	Час загальний, с
005. Токарна	
005.01	0,44
005.02	0,7
005.03	2,83
005.04	0,15
005.05	4
010. Токарна	
010.01	0,44
010.02	0,24
010.03	1,05
010.04	0,19
010.05	0,5
010.06	6
0.10.07	4

Отримали приблизно загальний час обробки однієї деталі 20,54 с.

Висновки до розділу 4

Під час роботи над цим розділом було визначено технологію виготовлення деталі «Клапан кульковий», підібрано інструмент, проаналізовано службове призначення деталі та роботу у вузлі, її матеріал, розраховано час для обробки деталі.

		Самусенко			МА21mп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				80
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

В розділі проводиться аналіз шкідливих та небезпечних факторів на робочому місці під час дипломного проектування. Завданням магістерської дисертації є «Автономний гідропривод позиціонування робочої поверхні» в якому головною метою є розробка системи пружно-гідравлічного дозування для нього. Розробка проводилася в кімнаті квартири будинку з використанням персонального комп'ютера.

Фактори, які мають велике соціальне та економічне значення і безпосередньо впливають на підвищення продуктивності праці – це поліпшення умов праці, підвищення її безпеки та нешкідливість.

В даному розділі мною будуть розглянуті шкідливі та небезпечні фактори, такі як: мікроклімат, пожежна безпека, освітлення.

5.1. Мікроклімат

Робочою зоною являлась кімната в квартирі, яка була постійним робочим місцем під час розробки дипломної роботи (рис.5.1). Характеристика житлової площі з врахуванням проживання 2 осіб в кімнаті наведена в табл.5.1.

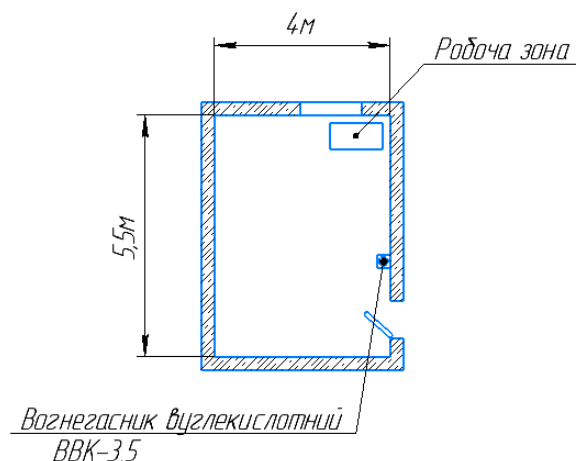


Рис. 5.1 – План робочого приміщення

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				81
Зм.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Табл. 5.1 – Характеристика житлової площі з врахуванням проживання
2 осіб в кімнаті

	Мінімальне значення	Дійсне значення
Житлова площа на 1 особу, м ²	6	9
Об'єм житлового приміщення на 1 особу, м ³	20	22
Ширина прорізу дверей, м	0,85	0,85
Розміри вікна, м ²	1,3	1,4

Величини показників мікроклімату у робочій зоні порівнюються з допустимими показниками умов мікроклімату приміщень. Виходячи з «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99, визначаємо дану роботу, як легку фізичну роботу (категорія І) при якій витрата енергії дорівнює 105 - 140 Вт (90 - 120 ккал/год.) - категорія Іа, тобто робота, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження.

Інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні, швидкість, відносна вологість, температура повітря – такі показники характеризують мікрокліматичні умови приміщень.

Параметри мікроклімату робочого місця представлені в табл. 5.2.

Табл. 5.2 – Параметри мікроклімату робочого місця

Категорія Іа.	Допустиме значення	Дійсне значення	Відповідність нормам
Теплий період року			
Температура повітря, °С	23-25	24	Відповідає
Відносна вологість, %	60-40	52	Відповідає
Швидкість руху, м/с	Не більше 0,1	0,1	Відповідає

Проаналізувавши мікроклімат на робочому місці можна зробити висновок, що він відповідає вимогам.

5.2. Пожежна безпека

Приміщення, які мають встановлені ПК, по пожежній небезпеці відносяться до категорії В, і повинні задовольняти вимогам по запобіганню і гасінню пожежі.

У магістерській дисертації передбачено проведення ряду заходів, що спрямовані на забезпечення пожежної безпеки в приміщенні.

Перелік документів за якими дотримується протипожежний захист будинку:

1. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні;
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги;
3. ДБН В.2.2-9-2018 Громадські будинки та споруди. Загальні вимоги.

Головними причинами виникнення пожеж в квартирі найчастіше є такі:

- необережне поводження з вогнем;
- неправильний монтаж електричного обладнання та порушення цілісності проводки, некоректне її розташування;
- неправильна експлуатація електроприладів;
- використання саморобних електроприладів;
- неправильна експлуатація опалювальних приладів;
- витік газу;
- ризиковане поводження з хімічними легкозаймистими засобами;
- залишання маленьких дітей без нагляду дорослих.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		83

Так як в приміщенні використовуються переважно електричні прилади, тому для нього підбираємо основні запобіжні заходи і правила пожежної безпеки при експлуатації електричних та нагрівальних приладів, що використовуються у побуті:

- не включати до однієї розетки одночасно кілька електроприладів;
- не користуватись несправними електроприладами;
- не залишати електрообігрівачі включеними на ніч;
- не користуватися саморобними електроприладами;
- нагрівальні прилади до їх включення встановлювати лише на підставки з негорючих матеріалів;
- не накривати електролампи та світильники папером, тканиною та іншими горючими матеріалами.

Для запобігання пожежі в квартирі пропоную провести ряд заходів: по-перше, придбати вуглекислотний вогнегасник ВВК-3,5, а по-друге, встановити бездротовий датчик детектування диму та чадного газу Ajax FireProtect Plus, яким легко можна керувати з допомогою смартфона.

Вогнегасник вуглекислотний ВВК-3,5 (ОУ-5) - легкий і зручний засіб ліквідації вогнищ займання або задимлення. Цією моделлю без зусиль можуть скористатися люди без відповідної кваліфікації і навичок, жінки і особи похилого віку. Конструкційно вогнегасник складається з металевого балона червоного кольору, замочно-пускового механізму із запобіжником і розтруба. Ціна такого вогнегасника складає 1200 грн.

Ajax FireProtect Plus – датчик диму з температурним та СО сенсорами. Цей датчик цілодобово стежить за пожежною безпекою в приміщенні та миттєво сповіщує про появу диму, небезпечний рівень чадного газу та різкі перепади температури. Ціна такого датчику складає 3099 грн.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				84
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Наведений ряд правил поведінки при пожежі в квартирі будинку:

- подзвонити до служби порятунку за номером «101»;
- вивести із квартири людей, допомагаючи дітям, старим громадянам, маломобільним групам населення;
- при евакуації уникати користування ліфтом, бо є ризик відключення ліфта від електроструму;
- пересуватися слід швидко; оскільки кисню більше біля підлоги, до виходу краще повзти, закриваючи обличчя вологою тканиною;
- вимкнути електрику, щоб уникнути ураження електрострумом;
- не відчиняти вікна, щоб не живити пожежу свіжим притокою кисню;
- якщо можливості вийти з квартири немає, треба вийти на балкон і постаратися привернути увагу перехожих, щоб викликали службу порятунку та пожежників.

5.3. Освітлення

Визначаємо згідно ДБН В.2.5.-28-2018 нормоване значення освітленості у робочому приміщенні.

На підставі характеристики системи освітлення і розмірів приміщення визначте фактичну освітленість у приміщенні. Для цього визначаємо індекс приміщення і по формулі:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_c(a + b)} = \frac{5,5 \cdot 4}{1,6(5,5 + 4)} = 1,44$$

де $a = 5,5$ м і $b = 4$ м довжина і ширина приміщення, $h_c = 1,6$ м – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				85
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Виходячи з індексу приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги ($\rho_{\text{сл}}, \rho_{\text{ст}}, \rho_{\text{п}}$), визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку η .

Стеля приміщення свіжопобілена $\rho_{\text{сл}} = 70\%$, стіни мають світло сірий колір $\rho_{\text{ст}} = 50\%$, підлога з дубового паркету $\rho_{\text{п}} = 30\%$. Висота робочої поверхні h_p становить 0,8м.

Для встановленої системи освітлення визначимо нормоване значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової роботи при роботі над дипломною роботою: $s_0 = 3$ мм - мінімальний розмір об'єкта, що розпізнається, характеристика фону – світла, контраст об'єкта розпізнавання з фоном – великий.

З заданих параметрів можемо встановити, що $E_n = 200$ лк. Виходячи з типу ламп, а саме дві LED Philips (світлодіодні) лампи потужністю 40 Вт, світловий потік відповідатиме значенню $F_{\text{л}} = 3450$ лм.

Визначаємо фактичне значення освітленості в приміщенні $E_{\text{ф}}$:

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

де $N = 2$ – кількість світильників, од.,

n = кількість ламп в світильнику, од.,

$\eta = 0,49$ – коефіцієнт використання світлового потоку,

$S = 22 \text{ м}^2$ – площа приміщення,

$k_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу,

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності.

$$E_{\text{ф}} = \frac{3450 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,49}{22 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 93,14$$

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				86
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Порівняємо фактичне значення освітленості, що створює у приміщенні задана система загального штучного освітлення, з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони.

$$\frac{E_{\text{н}} - E_{\text{ф}}}{E_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{200 - 93,14}{200} \cdot 100\% = 53,43\%$$

Оскільки маємо невідповідності освітленості приміщення нормам, розрахуємо необхідну кількість світильників.

Кількість світильників N_p , необхідних для досягнення оптимального значення освітленості:

$$N_p = \frac{s \cdot k_3 \cdot z \cdot E_{\text{н}}}{F_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta} = \frac{22 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 200}{3450 \cdot 1 \cdot 0,49} = 4$$

Освітленість з оптимальною кількістю світильників:

$$E_p = \frac{F_{\text{л}} \cdot N \cdot n \cdot \eta}{s \cdot k_3 \cdot z} = \frac{3450 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 0,49}{22 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 186,28 \text{ лк}$$

Повторно проводимо порівняння фактичного значення освітленості з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони.

$$\frac{E_{\text{н}} - E_p}{E_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{200 - 186,28}{200} \cdot 100\% = 6,86\%$$

Отже, на підставі отриманих результатів можна відзначити відповідність перерахованої системи штучного освітлення у розглянутому приміщенні нормативним вимогам, оскільки відхилення фактичного значення від нормативного знаходиться в межах $\pm 10\%$.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				87
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 5

В розділі охорона праці мною було розглянуто шкідливі та небезпечні фактори, такі як: виникнення пожеж у квартирі будинку, засоби і заходи щодо запобігання пожеж, проаналізовано мікроклімат приміщення, виконано розрахунок освітленості приміщення та дано рекомендації щодо покращення його освітлення. Дане приміщення відповідає діючим нормативним документам.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				88
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап-проекту для того, щоб визначити принципові можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження [31].

6.1. Опис ідеї проекту

У табл. 6.1. відображено інформацію про зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару[31].

Табл.6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка рішення позиціонування робочої ланки компактного мобільного електрогідравлічного модуля за рахунок дозованої подачі рідини шляхом встановлення системи пружно-гідравлічного дозування	1. Різні галузі машинобудування	Компактність, легкість, підвищена енергетична ефективність, скорочення часу монтування
	2. Системи транспортування	Збереження точності переміщення зі зменшенням витрат на устаткування за рахунок спрощеної системи керування з відсутністю датчиків зворотного зв'язку

У табл. 6.2. проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [31].

На основі аналізу сильних, слабких та нейтральних характеристик ідей проекту можна зробити висновок щодо його конкурентоспроможності.

Табл. 6.2. – Визначення характеристик ідеї проекту

	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Електрогідро-статичний привід	Гідравлічний привід			
1	Точність позиціонування, %	95	99	98		+	
2	Температура експлуатації	Визначається замовником	Визначається виробником	Визначається виробником		+	
3	Компактність, мобільність	Визначається нами	Визначається виробником	Визнач. виробником			+

6.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Проводимо аудит технології на основі якої можна реалізувати ідею проекту (технологія створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту, що передбачає аналіз ряду складових зображено в табл. 6.3.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				90
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Табл. 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Позиціонування робочої ланки компактного мобільного електрогідравлічного модуля без датчиків	Створення модульної системи пружно- гідравлічного дозування з запиранням об'ємів всередині неї	Наявна	Доступна
2	зворотного зв'язку	Використання стандартної лінійки обладнання	Наявна	Доступна

На основі табл. 6.3. можна зробити висновок, що даний проект можна реалізувати на базі стандартної лінійки обладнання та з додаванням розробки модульної системи пружно-гідравлічного дозування з запиранням об'ємів.

6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [31].

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				91
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.4.)

Табл. 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	EN ISO 4413: 2014 «Гідравлічні приводи. Загальні правила застосування та вимоги щодо безпеки для систем і їх складових» [32].
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10%

З таблиці 6.4. видно, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6.5).[31]

Табл. 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Мобільний, компактний привід в якому точність позиціонування вихідної ланки гідроприводу відбувається без датчиків зворотного зв'язку, що значно зменшує вартість обладнання	1) Аерокосмічна галузь; 2) Оборонна галузь; 3) Транспортна промисловість; 4) Нафтодобувна промисловість; 5) Сільськогосподарська галузь.	1) EN ISO 4413: 2014 [32]; 2) Різний тип устаткування; 3) Різні температурні умови; 3) Різні потужності виробництва	1) Зменшення часу монтування системи; 2) Простота в обслуговуванні; 3) Підвищення ККД; 4) Надійність.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 6.6. - 6.7.). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості [31].

Табл. 6.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Поява конкурентних продуктів	Відкриття нового способу позиціювання робочої ланки гідроприводу без датчиків зворотного зв'язку	Роздуми про відмову в подальшій співпраці
2	Вихід з ладу існуючого обладнання	Вартість гідравлічних компонентів системи	Розрив угоди про співробітництво та заміна постачальника

Табл. 6.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Зменшення вартості системи за рахунок відмови від датчиків зворотного зв'язку	Укладення нових контрактів з компаніями за кордоном
2	Підвищення енергетичної ефективності приводу	Компактність та мобільність установки за рахунок відсутності трубопроводів, баку	Укладення нових контрактів з постійними замовниками

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 6.8).

Табл. 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополістична	Підприємства в умовах монополістичної конкуренції мають певний ступінь контролю над цінами своїх товарів чи послуг. Однак підприємства можуть зазнавати коливань в прибутках через конкуренцію і зміни витрат.	Брати участь в різних міжнародних промислових форумах та виставках з метою можливої співпраці з майбутніми партнерами
2. Національний	Сприяє перерозподілу капіталів і товарів між різними регіонами держави, забезпечує збалансований економічний розвиток національного ринку	Відсутність потреби в міжнародному ліцензуванні, так як компанія може визнати, що власне виробництво і збут є ефективнішими, ніж ліцензування
3. Міжгалузева	Передача технологій між різними галузями може сприяти інноваціям та розвитку,	Можливість укладання контрактів з підприємствами, які

	зниження витрат виробництва, нарощування обсягу виробництва продукції	виготовляють продукцію з композитних матеріалів
4. Товарно-видова	Конкуренція між підприємствами, що продають різні види товарів, які можуть виконувати подібні функції, що може призвести до зниження цін	Бажання користувача зменшити витрати
5. Нецінова	Однією з конкурентних переваг є точність позиціювання за відносно невеликі витрати	Бажання користувача зменшити собівартість продукції
6. Не марочна	Ситуація на ринку, де підприємство не розглядає як своїх конкурентів підприємства, що пропонують подібний продукт тим же цільовим покупцям	Необхідність створення репутації на промисловому ринку

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 6.9).

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				96
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Табл. 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	На ринку відзначається тенденція до зростання числа компаній і загострення конкурентної боротьби	Вхід на ринок тривалим тестуванням, яке вимагає подальшого визначення терміну безвідмовної ефективної діяльності	Якість продукції і можливі обсяги її виробництва безумовно залежать від постачальників	Надається гарантія на безкоштовне обслуговування протягом певного терміну	Конкуренція з боку альтернативних товарів або рішень значно зросла

Висновки: спостерігається інтенсивна конкуренція від прямих конкурентів, існує можливість здобуття позиції на ринку, за альтернативні товари пропонують більш високу вартість.

На основі аналізу конкуренції, приведеного в табл. 6.9., а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 6.2.), вимог споживачів до товару (табл. 6.5.) та факторів маркетингового середовища (табл. 6.6.- 6.7.) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [31]. Аналіз оформлений в табл. 6.10.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				97
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Табл. 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Якість продукції або послуг	Висока якість продукції часто визначає конкурентоспроможність на ринку. Це включає в себе якість матеріалів, технології виробництва та відповідність стандартам якості.
2	Цінова стратегія	Ефективна цінова політика може надати підприємству конкурентну перевагу. Це може бути як конкурентоспроможна цінова стратегія, так і стратегія преміальних цін, залежно від позиціонування на ринку
3	Маркетинг і брендування	Сильний маркетинг і ефективне брендування допомагають створювати свідомість і популярність серед споживачів, що впливає на їх вибір
4	Якість обслуговування клієнтів	Задоволені клієнти можуть стати постійними, що має велике значення для конкурентоспроможності

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 6.10.) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 6.11.).

Табл. 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту компактного мобільного електрогідравлічного модуля з системою пружно-гідравлічного дозування

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з даним проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість продукції або послуг						*	/	
2	Цінова стратегія					*	/		
3	Маркетинг і брендування							*, /	
4	Якість обслуговування клієнтів						*	/	

* - Parker Hannifin

/ - Moog

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей) (табл.6.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 6.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення [31].

Табл. 6.12 – SWOT-аналіз стартап проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1. Унікальність продукції;	1. Недостатня фінансова підтримка.
2. Ринковий попит	2. Недостатня маркетингова стратегія.
3. Відносно низька вартість	

Можливості: 1. Розширення продуктової лінійки 2. Партнерство та співпраця з компаніями за кордоном	Загрози: 1. Є ризик втрати клієнтів через збільшення конкуренції в альтернативних продуктах, які можуть виступати в ролі замінників. 2. Висока залежність від ключових постачальників.
--	--

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 6.13).

Табл. 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Участь у виставках та конференціях	Підвищує ймовірність залучення уваги цільової аудиторії та взаємодії з потенційними клієнтами	12 місяців
2	Проведення маркетингових кампаній	Залучення уваги споживачів та	2 роки

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				100
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

		створення попиту на продукт	
--	--	-----------------------------	--

Враховуючи можливість отримання ресурсів та мінімізацію строків впровадження, було обрано першу альтернативу.

6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.6. 14).

Табл. 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Аерокосмічна галузь	+	високий	середня	середня
2	Оборонна галузь	+	високий	середня	середня
3	Транспортна промисловість	+	середній	середня	середня
4	Нафтодобувна промисловість	+	високий	середня	середня

5	Сільськогосподарська галузь	+	високий	середня	середня
Обрано всі цільові групи потенційних споживачів					

На основі аналізу потенційних сегментів споживачів була визначена стратегія охоплення ринку: компанія взаємодіє з усім ринком, пропонуючи стандартизовану програму, включаючи характеристики товару/послуги. Це вказує на використання стратегії диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 6.15).

Табл. 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Невеликі витрати визначають бар'єри для входу потенційних конкурентів і, водночас, служать ефективним захистом від альтернативних продуктів	Стратегія лідерства по витратах
2	Розвиток товару	Диференційований маркетинг	Забезпечення конкурентної переваги за рахунок	Стратегія диференціації

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				102
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

			високої відповідності до очікувань різних сегментів споживачів	
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентрова- ний маркетинг	Розробка продуктів чи послуг, які відповідають унікальним потребам та вимогам цільового сегменту	Стратегія спеціалізації

На основі табл. 6.15 обрана базова стратегія розвитку – стратегія диференціації.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16).

Табл. 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія лідера
2	Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера

3	Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідеру
4	Ні	Так	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі табл. 6.16. стратегія конкурентної поведінки - стратегія виклику лідера.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 6.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 6.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 6.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Табл. 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	1.Зменшення часу монтування системи; 2. Простота в обслуговуванні;	Стратегія диференціації	1. Вартість, яка відзначається невисокими значеннями; 2. Надійність; 3. Модульна будова;	1. Унікальність; 2. Якість; 3. Доступність; 4. Універсальність; 5. Заощадження коштів.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		104

	3.Підвищення ККД; 4. Надійність.		4. Легкий монтаж.	
--	-------------------------------------	--	-------------------	--

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 6.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару[31].

Табл.6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційної послуги

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Мобільність, компактність системи	Підвищення енергетичної ефективності	Швидке програмування та просте обслуговування
2	Оптимізація витрат на систему	Зменшення витрат на виробництво готової продукції	Відносно невелика вартість системи, порівняно з конкурентами

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 6.19).

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				105
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Табл. 6.19 – Опис трьох рівнів моделі послуги

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Мобільний компактний електрогідравлічний модуль з позиціонуванням робочої ланки за рахунок системи пружно-гідравлічного дозування		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точність позиціонування	***	***
	2. Мобільність, компактність		
	Якість: Параметри тестування		
	Пакування		
III. Товар із підкріпленням	До продажу		
	Після продажу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок зберігання ключових аспектів виробництва в секреті			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 6.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Табл. 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Інформація невідома	Інформація невідома	Інформація невідома	Інформація невідома

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Табл. 6.21 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Характерно для наукомістких галузей, такі як виробництво компонентів для машинобудівного сектору, де товари можуть бути дорогими, специфічними та виготовленими за індивідуальними замовленнями або в обмежених серіях	Стратегія просування на ринку базується на більш індивідуальному та персоналізованому підході, а не на масовій рекламі. Основна увага зосереджена на встановленні та розвитку взаємовигідних відносин із потенційними споживачами, які можуть мати конкретні потреби в	Канал першого рівня	Канал включає в себе одного посередника, який виступає між виробником і кінцевим споживачем. Цей посередник може бути дистриб'ютором, оптовиком або роздрібним торговцем, і відіграє ключову роль у передачі товарів від виробника до

	інноваційних продуктах		кінцевого користувача
--	---------------------------	--	--------------------------

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.6.22).

Табл. 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Наукомісткі галузі, такі як виробництво компонентів для машинобудівного сектору, де товари можуть бути дорогими, специфічними, виготовленими за індивідуальним и замовленням и або в обмежених серіях	Включають в себе інтернет-платформи та веб-сайти, комунікацію через популярні соціальні платформи, конференції та виставки	Доступна ціна та вигідні умови для споживачів з впровадженням новітніх технологій та інновацій у продукції	Передача ключової інформації про продукт, такої як особливості, вигоди та умови придбання, як наслідок отримати можливість збільшення обсягу продажів товару	Головними елементами структури реклами є тема реклами, девіз рекламної кампанії та ілюстрації, відео для візуального представлення продукту

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		108

Висновки до розділу 6

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проекту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку гідроприводів з системами позиціювання робочої ланки.

Базуючись на попередньому дослідженню ринку слід зазначити, що даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. Ураховуючи потенційні групи клієнтів та невеликі бар'єри для входу на ринок завдяки унікальній технології, проект виглядає перспективно для впровадження, порівняно з продуктами конкурентів.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				109
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При виконанні даної роботи було розглянуто різні конструктивні рішення систем приводів, знайдено їхні основні переваги та недоліки. У результаті було обрано електрогідравлічний привід, що дає змогу створення більш компактною гідравлічної системи завдяки зменшенню кількості труб і шлангів від двигуна і насосної секції до приводів, що значно підвищує загальну ефективність системи.

Проаналізувавши способи позиціонування робочої ланки гідроприводу без датчиків зворотного зв'язку, було розроблено модульну систему пружно-гідравлічного дозування рідини. Такий варіант є альтернативою системам з різними датчиками положення, які можуть бути досить дорогими та складними для впровадження в системах, де потрібна надійність і стійкість в жорстких умовах експлуатації.

Розроблено гідравлічну систему приводу у вигляді модуля, що дає змогу значно зменшити габарити та час монтування. Завдяки спроектованій модульній системі пружно-гідравлічного дозування можливе утворення меншого та більшого запираючих об'ємів при подачі яких можна регулювати переміщенням поршня.

Змодельовано систему приводу та отримано залежності кількості спрацювань модульної системи пружно-гідравлічного дозування для переміщення робочої ланки гідроциліндра в задане положення під дією зовнішнього навантаження.

Проведено маркетинговий аналіз стартап-проекту в ході якого визначено ключові можливості його впровадження на ринку та можливі шляхи реалізації цієї розробки.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		110

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Actuators: Definition, Types & Examples https://studiousguy.com/actuators-definition-types-examples/#1_Electric_Actuators
2. Samo Goljat, Darko Lovrec, Vito Tič , “Advantages of Pump Controlled Electro Hydraulic Actuators”, 7th International Conference “NEW TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT AND APPLICATION”, pp. 1-9, 2021.
3. A review of electromechanical actuators for More/All Electric aircraft systems / G. Qiao et al. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2017. Vol. 232, no. 22. P. 4128–4151.
4. A Class of Energy Efficient Self-Contained Electro-Hydraulic Drives with Self-Locking Capability / L. Schmidt et al. Energies. 2019. Vol. 12, no. 10. P. 1866.
5. Experimental Verification of An Electro-Hydraulic Actuation System Driven by An Integrated Electro-Hydraulic Unit / S. Qu et al. International Journal of Fluid Power. 2023.
6. Walters R. B. Hydraulic Actuators. Hydraulic and Electro-Hydraulic Control Systems. Dordrecht, 1991. P. 10–12.
7. Review on electro hydrostatic actuator for flight control / N. Alle et al. International Journal of Fluid Power. 2016. Vol. 17, no. 2. P. 125–145.
8. Achieving high-performance electrified actuation system with integrated motor drive and wide bandgap power electronics / W. Lee et al. 2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warsaw, 11–14 September 2017.
9. Thermal Actuators <https://en.wisdom-thermostats.com/introduction>
10. Mechanical Actuator: Design, Working & Its Applications <https://www.elprocus.com/mechanical-actuator/>

		Самусенко			МА21мн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				111
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Arora N. Contribution to the concept of micro factory : design of a flexible electromagnetic conveyor system : thesis. 2017.
12. Piezo Actuators <https://www.nanor.pl/centrum-wiedzy/technologie-motion-control/piezo-actuators/>
13. Advantages/disadvantages of Pneumatic & Hydraulic Actuators <https://automationforum.co/advantages-disadvantages-of-pneumatic-hydraulic-actuators/>
14. Boes, C. & Helbig, A. Electro Hydrostatic Actuators for Industrial Applications, 9th International Fluid Power Conference, Aachen, 2014.
15. A. Consoli, G. Bottiglieri, R. Letor, R. Ruggeri, A. Testa, S. De Caro. Sensorless Position Control of DC Actuators for Automotive Applications. IAS 2004. MIUR-PRIN 2003: Innovative conversion topologies for electric drives.
16. A. Pedro, G. Goodwin. Virtual Sensors for Control Applications. Annual Reviews in Control 26 (2002) 101-112.
17. Sensorless position control of direct driven hydraulic actuators / T. SOURANDER et al. JFPS International Journal of Fluid Power System. 2019. Vol. 11, no. 3. P. 26–35.
18. Sensorless step positioning of hydraulic linear actuator. Czasopismo Techniczne. 2018. Vol. 11.
19. Мехатронний модуль з пружно-гідравлічним дозуванням рідини /С.Ю. Космина, О.С. Ганпанцурова, О.П. Губарев // Збірка праць «Іновації молоді – машинобудуванню». – 2021. – №3. – С. 301–312.
20. Гідропривод з пружно-гідравлічним дозуванням рідини /О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова, Н. С. Д'яконова, А.Ю. Космина // Вісник НТУ «ХПІ». – 2018. – №23. – С. 25–33.
21. Паспорт. Self-contained actuator, Bosch Rexroth Company.
22. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика: Научное пособие. — 2-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1971. — 671 с.

		Самусенко			МА21мн03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Губарев				112
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

23. Абрамов Е.И. Элементы гидропривода: справочник / Е.И.Абрамов, К.А.Колесниченко, В.Т.Маслов. - 2-е изд., перераб. и доп. - К. : Техніка, 1977. - 320 с.
24. Буслов В. К. Об'ємний пневмопривід: Конспект лекцій для студентів, що навчаються за фахом «Гідравлічні і пневматичні машини». 2009.
25. Д. Міщук. Дослідження динамічної моделі гідравлічного циліндра об'ємного гідроприводу / Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - 2016. - Вип. 87. - С. 74-81.
26. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения / Б.М. Базров // Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. - 736 с.
27. Металоріжучий інструмент, <https://www.sandvik.coromant.com/>
28. Верстати, <https://abplanalp.ua/>
29. М.С. Одарченко, А. М. Одарченко, В. І. Степанов, Я. М. Черненко Основы охорони праці. - М.:Стиль-Издат, 2017. - 334 с. - ІВБК 966- 7885-84-4.
30. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська ; за ред. О. Г. Левченка.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 420 с.
31. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
32. ДСТУ EN ISO 4413:2014 Гідроприводи об'ємні. Загальні правила застосування та вимоги щодо безпеки для систем та їх складових.

		Самусенко			МА21мп03.МД01.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
		Гударев				
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		113